



ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ, РОБОТОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ

Материалы Национальной научно-практической
конференции с международным участием

САРАТОВ 2025

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Саратовский государственный университет
генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова**



**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭНЕРГЕТИКИ, РОБОТОТЕХНИКИ
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ**

**Материалы Национальной научно-практической
конференции с международным участием**

Саратов, 2025 г.

УДК 620.9
ББК 31.2
П 78

Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под общ. ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025. – 365 с. илл.

ISBN 978-5-907716-90-2

В сборнике представлены материалы Национальной научно-практической конференции, организованной кафедрой «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация» ФГБОУ ВО Вавиловский университет и проходившей на базе института инженерии и робототехники в декабре 2024 года. В работах, в частности, рассмотрены вопросы энерго- и ресурсосбережения в тепло- и электротехнологиях; автономного электроснабжения потребителей, в том числе с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии; представлены новые подходы по совершенствованию методов и средств электротехнологий. Тематика представленного в сборнике материала будет интересна специалистам в области электроэнергетики, преподавателям и студентам технических вузов, а также всем, кто интересуется указанными направлениями.

Редакционная коллегия:

Бахтеев С.В., к.т.н., заведующий кафедрой «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация», ФГБОУ ВО Вавиловский университет;
Бакиров С.М., д.т.н., профессор кафедры «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация», ФГБОУ ВО Вавиловский университет;
Угаров Г.Г., д.т.н., профессор кафедры «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация», ФГБОУ ВО Вавиловский университет;
Глухарев В.А., д.т.н., профессор кафедры «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация», ФГБОУ ВО Вавиловский университет;
Оськин С.В., д.т.н., заведующий кафедрой «Электрических машин и электропривода», ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ;
Шерьязов С.К., д.т.н., профессор кафедры «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов», ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ;
Каргин В.А., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами» ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»;
Садькова Л.А., к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Техника и технологии» ЧВПОУ «Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет»;
Чурляева О.Н., к.т.н., доцент кафедры «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация», ФГБОУ ВО Вавиловский университет.

УДК 620.9
ББК 31.2

ISBN 978-5-907716-90-2

© ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025

ЗА РОБОТИЗИРОВАННЫМИ ТЕПЛИЦАМИ – БУДУЩЕЕ!

Фярид Кинжаевич Абдразаков¹, Ануар Гиниятович Джумагалиев²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹abdrazakov.fk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>

²anuardg@mail.ru

Аннотация. Использование искусственного интеллекта и роботизация являются трендом развития промышленности и сельского хозяйства. Нами реализуется целый комплекс исследований и разработок по внедрению новых технологий в работу предприятий реального сектора экономики. Необходимо отметить, что наукоемкие проекты требуют кооперации государственных программ и бизнес-инвестиций для разработки, апробации и непосредственной реализации в промышленных масштабах. Робот – это единство инженерии, программирования и математики. Целью работы является повышение урожайности растений за счет своевременного обнаружения отклонения от программы нормального развития растений, а также снижения влияния фактора нехватки рабочих рук.

Ключевые слова: роботизированный манипулятор, распознавание изображений, автоматизированный сбор урожая, сельскохозяйственные роботы, компьютерное зрение.

Для цитирования: Абдразаков, Ф.К. За роботизированными теплицами – будущее! / Ф.К. Абдразаков, А.Г. Джумагалиев // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ROBOTIC GREENHOUSES ARE THE FUTURE!

Fyarid Kinzhayevich Abdrazakov¹, Anuar Giniyatovich Dzhumagaliev²

^{1,2}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹abdrazakov.fk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>

²anuardg@mail.ru

Annotation. The use of artificial intelligence and robotics is a trend in the development of industry and agriculture. We are implementing a whole range of research and development on the introduction of new technologies into the work of enterprises in the real sector of the economy. It should be noted that high-tech projects

require cooperation between government programs and business investments for development, testing and direct implementation on an industrial scale. A robot is a unity of engineering, programming and mathematics. The aim of the work is to increase plant productivity by timely detecting deviations from the program of normal plant development, as well as reducing the impact of the shortage of workers.

Keywords: robotic manipulator, image recognition, automated harvesting, agricultural robots, computer vision.

For citation: Abdrazakov, F.K. Robotic greenhouses are the future! / F.K. Abdrazakov, A.G. Dzhumagaliev // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Сбор урожая в теплицах требует усилий большого числа рабочих. Кадровый дефицит и растущие затраты на организацию непрерывной работы сборщиков (найм, проживание, питание, логистика) создают условия в которых формируются спрос на роботизацию посадки, обработки и сбора урожая. Роботизация процесса сбора снижает издержки на организацию ручного труда, создает рабочие места для IT-специалистов, инженеров, что в конечном итоге снижает себестоимость получаемой продукции.

Цель исследования. Целью исследования является разработка концепции применения роботизации посадки, обработки и сбора урожая.

Методика исследований. При проведении исследования использовался метод эмпирического познания, который послужил синтезом для теоретического анализа литературы дедуктивным методом. Теоретический метод включал в себя реферирование, конспектирование и цитирование общих и специальных научных трудов ученых по данному наукоёмкому направлению.

Результаты исследования. Разработка визуализируется как модульный объект, легко масштабируемый и адаптируемый к различным климатическим условиям. В итоге, предложение представит собой не только прогрессивный шаг к автоматизации сельского хозяйства, но и новый стандарт эффективного и разумного использования ресурсов [1, 2].

Для примера рассмотрим выращивание клубники. Основными операциями при выращивании клубники являются посадка, полив, подкормка, обрезка и сбор урожая. Посадка рассады выполняется с помощью автоматизированной линии, что значительно ускоряет процесс и гарантирует точность. Полив осуществляется автоматически, что позволяет поддерживать оптимальный уровень влаги в почве, что критически важно для роста клубники. Для удобрения растений используются автоматические дозаторы, которые обеспечивают необходимую питательную насыщенность.

После достижения клубники необходимого размера и зрелости, начинается процесс сбора урожая. Мобильные роботы с манипулятором способны аккуратно извлекать плоды, при этом исключая повреждения. Своевременный сбор урожая предохраняет продукцию от перерастания и потери товарного вида.

Также отростки, формирующиеся в процессе роста, собираются для повторного использования или продажи.

После сбора урожая ботва и испорченные плоды не выбрасываются, а перерабатываются в бункере для производства биогаза. Это не только уменьшает отходы, но и генерирует дополнительную энергию для тепличного комплекса, содействуя созданию замкнутого цикла устойчивого производства.

Основными операциями при выращивании клубники являются:

- Подбор подходящего сорта или гибрида.
- Подготовка почвы.
- Обработка от болезней и вредителей.
- Дезинфекция и высадка семенного материала.
- Полив и удобрение.

От условий выращивания кустиков зависит, как скоро на клубнике появятся первые цветы и завязи. Как правило, для каждого сорта необходимы особые условия посадки и выращивания. Но есть и общие для всех правила, которые гарантируют хороший урожай:

– Во время высадки рассады температура в теплице должна быть 10-12°C, во время роста зелени ее поднимают до 20°C, а к цветению до 24°C.

– Оптимальная влажность в теплице составляет порядка 85% во время посадки, и не выше 70% при цветении клубники.

– Вода при поливе не должна попадать на цветки и листья, поэтому капельный полив клубнике необходим.

– Помимо окон для проветривания, которые можно открывать летом и в положительную температуру, на зимнее время должна быть продумана система принудительной вентиляции.

– Клубнике необходим световой день продолжительностью не менее 8 часов. При таких условиях она зацветет через две недели после посадки, а ягоды завяжет через полтора месяца. Если же увеличить световой день вдвое, то первые цветки появятся уже через 10 дней, а ягоды – на 35-37 сутки. Досвечивать клубнику непрерывно нужно только в пасмурные дни, в остальное же время можно делать это ранним утром (до появления солнца) и после его захода.

– Каждые 14 дней клубнику необходимо подкармливать. Для этого можно брать готовые питательные растворы или приготовить смесь из 40 г аммиачной селитры, 40 г суперфосфата, 10 г калийной соли на ведро воды.

Применение автоматизированных линий и стационарных роботов.

Для автоматического посева потребуются автоматизированные линии для посадки семян [3].

Автоматизированная посадочная линия состоит из следующих частей:

1. Пневматическая машина для выборки тары с двухтактным движением для поддонов из пенополистирола.
2. Ёмкость для почвы 1200 л с мешалкой.
3. Ковшовой погрузчик с двойной цепью.
4. Аппарат для заполнения поддонов с четырехлопастным линейным ротором.
5. Щетка для очистки поддонов с двойным шнеком.

6. Система рециркуляции избытков грунта.

7. Ведомый лункокопатель со щеткой для очистки.

8. Управляемый барабан диаметром 169 мм со вставками, чтобы сделать отверстия с минимальным диаметром 0,15 мм. Воздушные штанги с двойными рядами сопел и колеблющейся пластиной для посева. Молотки с регулируемой скоростью для улучшения размещения семян в центре отверстия.

9. Электрическая панель и сенсорный экран.

10. Крышка барабана для вермикулита с корректировкой скорости и дозировки емкостью 230 л.

11. Поливное устройство с 4 оросительными стержнями.

12. Автоматический балансовый штабелеукладчик.

13. Рама.

Посадочный барабан является главной составляющей автоматизированной системы. Преимущества использования посадочных барабанов:

- Высокая точность. Система обеспечивает точное размещение семян в заданные места, что особенно важно для сельскохозяйственных культур, требующих строгого соблюдения расстояния между растениями.

- Скорость работы. Автоматизированная система способна обрабатывать большое количество семян за короткий промежуток времени, значительно увеличивая производительность труда.

- Универсальность. Посадочные барабаны могут быть настроены под различные типы семян, включая мелкие, крупные, круглые и продолговатые. Это делает систему универсальной и пригодной для широкого спектра задач.

При использовании автоматизированных систем высадки семян, особенно с легкими и мелкими семенами, такими как семена клубники, могут возникать определенные сложности. Давайте рассмотрим эти ситуации подробнее и предложим возможные решения.

Проблема пропуска ячеек.

Когда легкие и небольшие семена, такие как семена клубники, используются в автоматизированных системах высадки, существует риск пропуска некоторых ячеек в кассете. Причины этого могут включать:

1. Недостаточная сила всасывания. Легкие семена могут не всегда надежно фиксироваться на отверстиях барабана из-за недостаточной силы всасывания.

2. Неисправности в системе подачи воздуха. Проблемы с подачей вакуума могут привести к тому, что некоторые семена просто не будут захвачены.

3. Загрязнение или износ сопел. Со временем сопла могут забиваться пылью или мусором, что снижает их эффективность.

Еще одной распространенной проблемой является попадание нескольких семян в одну и ту же ячейку. Причины могут быть следующими:

- Слишком высокая плотность семян в лотке. Если семена расположены слишком плотно друг к другу, возможно одновременное захватывание нескольких семян одним отверстием.

- Неправильная настройка высоты сопел относительно лотка. Сопло может оказаться слишком низко, захватывая одновременно несколько семян.

– Износ или повреждение сопел/отверстий. Поврежденные или изношенные элементы системы могут приводить к неправильному захватыванию семян.

Решения данной проблемы:

– Правильное планирование расположения семян в лотке может значительно повысить вероятность успешного прорастания и роста, минимизируя риск одновременного захвата нескольких семян корнями соседей. Такой подход не только улучшает выход урожая, но и способствует устойчивому развитию аграрных систем.

– Корректировка высоты сопел относительно лотков. Настройте высоту так, чтобы сопла захватывали только одно семя за раз.

– Замена поврежденных элементов. Необходимо регулярно проверять состояние сопел и заменять их при необходимости.

– Дополнительный контроль качества. Некоторые системы имеют функции проверки количества семян в каждой ячейке после высадки. Если обнаружено несколько семян в одной ячейке, система может инициировать повторную высадку.

– Установка дополнительной секции с высокоскоростным дельта-манипулятором и системой компьютерного зрения действительно может стать эффективным решением для устранения ошибок при автоматической высадке семян. Такой подход сочетает в себе высокую скорость обработки данных и гибкость манипулятора, что позволяет быстро реагировать на изменения в процессе высадки.

Одним из известных производителей дельта-роботов является компания FANUC, которая также предлагает широкий ассортимент дельта-манипуляторов, например, серию M-3iA. Эти роботы отличаются высокой производительностью и надежностью, что делает их отличным выбором для автоматизации процессов высадки семян.

Использование систем компьютерного зрения (CV) в сельском хозяйстве действительно открывает новые возможности для автоматизации процессов и повышения эффективности выращивания растений. Таким образом, внедрение технологий компьютерного зрения в сельское хозяйство способствует повышению урожайности, снижению затрат на трудовые ресурсы и улучшению качества продукции.

Разработка моделей мобильных сельскохозяйственных роботов.

Создание мобильных сельскохозяйственных роботов для размещения посевных ящиков и выполнения сопутствующих задач – это значительный шаг вперед в развитии агротехнологий. Такая автоматизация не только упрощает и ускоряет производственные процессы, но и повышает общую эффективность и рентабельность сельскохозяйственного производства [4].

Транспортный робот, является эффективным инструментом для размещения посевных ящиков и автоматизации производственных процессов.

Система датчиков влажности, установленная на манипуляторе мобильного робота, в сочетании с возможностями проведения различных операций по уходу за растениями, делает такую концепцию роботизированной теплицы очень перспективной. Это решение может значительно повысить эффективность сельскохозяйственного производства, снизив трудозатраты и улучшив качество

конечной продукции. Мобильные роботы с манипуляторами в данной концепции роботизированной теплицы могут производить следующие операции: анализ влажности почвы и температуры в различных частях теплицы, пикирование и пасынкование рассады, прищипывание стебля, удаление листьев, сбор урожая и уборка ботвы. Концепция группы взаимодействующих роботов с 5-звенными манипуляторами и сменяемыми концевыми эффекторами действительно открывает широкие возможности для автоматизации различных задач в роботизированной теплице. Она сочетает в себе высокую точность, гибкость и экономическую выгоду, делая производство более эффективным и устойчивым, что позволит решить основные аспекты задач [5]:

– Координация и взаимодействие: Несколько роботов могут работать вместе, выполняя различные задачи одновременно. Это увеличивает общую производительность и позволяет быстрее справляться с большими объёмами работ.

– Распределённые задачи: Каждый робот может специализироваться на определённых операциях, таких как сбор урожая, уход за растениями или анализ почвы. Это улучшает эффективность и снижает нагрузку на отдельных роботов.

– Пятизвенные манипуляторы обеспечивают большую степень свободы, позволяя роботу выполнять сложные манипуляции с высокой точностью. Это критично для таких задач, как пикирование, пасынкование и прищипывание.

– Универсальность: Возможность менять положение манипулятора в широком диапазоне углов и направлений делает роботов пригодными для выполнения множества различных задач.

– Многофункциональность: Использование сменных концевых эффекторов позволяет одному роботу выполнять разные задачи, просто заменяя инструмент на конце манипулятора. Это может включать в себя ножницы, щипцы, захватывающие устройства и многое другое.

– Экономия ресурсов: Вместо того чтобы иметь специализированные роботы для каждой задачи, можно использовать универсальных роботов со сменными инструментами, что снижает затраты на оборудование и обслуживание.

Концепция отказа от статичных конвейерных линий в пользу групп автономных роботов позволит совершить значительный шаг вперед в области автоматизации логистики. Эта система обладает множеством преимуществ, включая гибкость, экономичность, масштабируемость и безопасность. Ее реализация откроет новые возможности для оптимизации процессов сортировки и хранения грузов, что сделает логистику более эффективной и конкурентоспособной.

Заключение. Важным элементом разработки концепции роботизированной теплицы является создание эффективных алгоритмов для управления мобильными роботами. Эти алгоритмы должны обеспечивать не только автономное выполнение задач, таких как полив, удобрение и сбор урожая, но и взаимодействие с другими системами в теплице. Внедрение современных технологий, таких как искусственный интеллект и машинное обучение, позволит роботам адаптироваться к изменяющимся условиям и оптимизировать свои действия на основе данных, получаемых с датчиков. Также стоит отметить роль систем технического зрения в роботизированных теплицах. С их помощью роботы смогут точно определять стадийность роста растений, выявлять заболевания и определять необходимый

уровень ухода. Это повысит качество и количество получаемого урожая, что в свою очередь повысит конкурентоспособность тепличных хозяйств. Социальные аспекты роботизации сельского хозяйства также требуют серьезного обсуждения. Внедрение новых технологий может угрожать традиционным рабочим местам, однако в долгосрочной перспективе может привести к созданию новых вакансий и потребностям в квалифицированных специалистах для работы с роботизированными системами. Таким образом, важно заранее разработать программы переквалификации и повышения квалификации для работников сельского хозяйства.

Список источников

1. «Умные» теплицы и свет по потребностям: как развиваются аграрные технологии в Арктике. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/5446688/>.
2. Каталог автономных сельскохозяйственных роботов для работы в поле, в саду или теплице. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://robotrends.ru/robotopedia/katalogavtonomnyh-robotov-dlya-raboty-v-selskom-hozyaystve?ysclid=m3fr5h02w3514122679>.
3. Линия для посева. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.newtechagro.ru/catalog/liniya_dlya_poseva_semyan_beta.html.
4. Автоматизация и роботизация производства. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/industry-automation-with-robots.html>.
5. Робототехнические манипуляторы с компьютерным зрением. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/rvds/articles/761588/>.
6. Технология выращивания клубники в теплице круглый год. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ogorod.ru/ru/sad/strawberry/13859/tehnologiya-vyrashhivaniya-klubniki-v-teplice-kruglyj-god.htm/>.

© Абдразаков Ф.К., Джумагалиев А.Г., 2025

Научная статья
УДК 631.6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРЯНЫХ МЕЛЬНИЦ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРОШЕНИЯ В АГРАРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Фярид Кинжаевич Абдразаков¹, Андрей Алексеевич Рукавишников²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹abdrazakov.fk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>

²andreirukavishn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8294-881X>

Аннотация. В статье рассматривается интеграция ветряных электростанций в системы орошения сельскохозяйственных земель для

повышения энергетической и водной эффективности. Основное внимание уделяется Саратовской области, где благоприятные ветровые условия сочетаются с высокой потребностью в устойчивых оросительных технологиях. Приводятся расчеты мощности и годовой выработки электроэнергии ветрогенераторами в различных районах региона, таких как Балаковский, Вольский и Энгельский. Оценивается экономическая целесообразность проекта, включая сроки окупаемости и годовую экономию на электроэнергии. Результаты исследования показывают, что использование ветрогенераторов для питания насосных станций может снизить затраты на воду и повысить устойчивость агроэкосистем благодаря применению возобновляемых источников энергии. Наиболее перспективным с точки зрения ветрового потенциала и быстрой окупаемости (2,9 года) оказался Балаковский район. Эти выводы подчеркивают важность внедрения современных технологий в аграрный сектор для достижения экологической и экономической стабильности.

Ключевые слова: оросительные каналы, экологически чистые источники энергии, энергоэффективное орошение, управление водными ресурсами.

Для цитирования: Абдразаков, Ф.К. Использование ветряных мельниц для повышения эффективности орошения в аграрных экосистемах Саратовской области / Ф.К. Абдразаков, А.А. Рукавишников // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

USING WIND MILLS TO INCREASE IRRIGATION EFFICIENCY IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS OF THE SARATOV REGION

Fyarid Kinzhaevich Abdrazakov¹, Andrei Alekseevich Rukavishnikov²

^{1,2}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹abdrazakov.fk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>

²andreirukavishn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8294-881X>

Annotation. The article examines the integration of wind power plants into agricultural irrigation systems to enhance energy and water efficiency. The main focus is on the Saratov region, where favorable wind conditions are combined with a high demand for sustainable irrigation technologies. Calculations are provided for the power output and annual electricity generation by wind turbines in various districts of the region, such as Balakovo, Volsk, and Engels. The economic feasibility of the project is assessed, including payback periods and annual electricity savings. The research findings show that using wind turbines to power pumping stations can reduce water costs and increase the resilience of agroecosystems through the use of renewable energy sources. Balakovo district was found to be the most promising in terms of wind potential and quick payback (2.9 years). These conclusions highlight the importance of

introducing modern technologies in the agricultural sector to achieve environmental and economic stability.

Keywords: wind generators, irrigation, agriculture, sustainable development, Saratov Oblast, energy efficiency, water use.

For citation: Abdrazakov, F.K. Using wind mills to increase irrigation efficiency in agricultural ecosystems of the Saratov region / F.K. Abdrazakov, A.A. Rukavishnikov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Современное сельское хозяйство сталкивается с рядом вызовов, включая изменение климата, нехватку водных ресурсов и рост потребности в продовольствии на фоне увеличивающегося населения планеты. Одним из наиболее перспективных решений этих проблем является внедрение устойчивых и энергоэффективных технологий. В последние годы особое внимание уделяется использованию возобновляемых источников энергии, таких как ветер, для обеспечения энергетической автономности аграрных предприятий [1, 2].

Ветряные мельницы могут служить источником экологически чистой энергии, используемой для перекачки воды через оросительные каналы, тем самым снижая зависимость от традиционных источников энергии и минимизируя углеродный след. Такой подход открывает новые горизонты для интеграции устойчивых технологий в аграрные практики и способствует решению глобальных проблем, связанных с водными ресурсами и изменением климата [7].

Цель данной работы – исследовать возможности использования ветряных мельниц в системах орошения сельскохозяйственных территорий, оценить эффективность таких интегрированных решений в контексте повышения устойчивости аграрных экосистем и минимизации экологических рисков.

Установка ветряных мельниц на сельскохозяйственных территориях может быть очень актуальной, особенно если рассмотреть их использование для генерации возобновляемой энергии для хозяйственных нужд [3, 4].

Без сомнения, возможность использования ветровых установок надо рассматривать с точки зрения их актуальности и целесообразности, соответственно необходимо оценить следующие составляющие [8]:

– *Ветроэнергетический потенциал региона.* Важно оценить, насколько эффективными будут ветряные мельницы в данной местности. Высокая скорость ветра сделает такие установки экономически оправданными.

– *Затраты на установку и обслуживание.* Первоначальные затраты на установку ветрогенераторов могут быть значительными, но их можно компенсировать снижением эксплуатационных расходов и возможными субсидиями на возобновляемую энергетику.

– *Сезонные факторы.* В регионах с сезонными изменениями ветровой активности энергия от мельниц может быть нестабильной, поэтому их можно комбинировать с солнечными панелями.

Также важно отметить, потенциальные проблемы и ограничения данной идеи:

– *Шум и вибрация.* Шум от ветрогенераторов может быть значительным фактором, особенно вблизи жилых зон. Это может потребовать дополнительных мер по выбору места установки и защите населения.

– *Экологические факторы.* Хотя ветряные установки обычно считаются экологически чистыми, они могут оказывать влияние на местные экосистемы, особенно на птиц.

– *Необходимость накопительных систем.* Для бесперебойной работы потребуется установка аккумуляторов или других систем накопления энергии, чтобы компенсировать нерегулярное поступление энергии в условиях слабого ветра.

Методика и материалы исследования. Методика включает в себя теоретический анализ отечественной литературы и современных научных статей по соответствующей теме исследования. Для оценки возможного внедрения ветряных мельниц стоит начать с разработки теоретической модели.

Для выполнения исследования использовались теоретические подходы, включая анализ климатических данных Саратовской области, характеризующих ветровой потенциал районов (среднегодовая скорость ветра). Основой расчетов стали формулы аэродинамики, описывающие мощность ветровой энергии, и принципы оценки энергоэффективности ветрогенераторов с учетом коэффициента полезного действия.

Данные о климате и стоимости оборудования были взяты из открытых источников и предыдущих научных публикаций. Расчеты выполнены с использованием стандартных математических моделей и программных средств, применяемых для повышения точности оценок.

Результаты исследования. Для оценки целесообразности установки ветряных мельниц в Саратовской области нужно выполнить несколько этапов:

1. Анализ ветрового потенциала региона. Саратовская область обладает достаточно высоким ветровым потенциалом, особенно в районах, близких к Волге. Среднегодовая скорость ветра здесь обычно варьируется от 4 до 6 м/с, что подходит для работы ветрогенераторов. При этом в каждом районе, так как ветер в разных частях области может иметь значительные различия по скорости и продолжительности.

2. Технические расчеты мощности ветрогенератора. Определим мощность, которую может обеспечить ветряк в условиях Саратовской области. Для расчета возьмем ветрогенератор с радиусом лопастей 20 м и КПД установки $C_p = 0,4$.

3. Оценка годовой выработки электроэнергии. Определим среднегодовой коэффициент использования мощности для средней скорости ветра 5 м/с, чтобы оценить годовую выработку.

4. Расчет экономической выгоды и сроков окупаемости. Учитываем стоимость электроэнергии в регионе и затраты на оборудование.

Представим, результаты расчетов для нескольких районов Саратовской области [9].

Балаковский район:

Ожидаемая мощность на ветряке – 51,2 кВт;

Годовая выработка электроэнергии – 448,712 кВт·ч;

Вольский район:

Ожидаемая мощность на ветряке – 44,6 кВт;

Годовая выработка электроэнергии – 390,263 кВт·ч.

Энгельский район:

Ожидаемая мощность на ветряке – 28,1 кВт;

Годовая выработка электроэнергии – 245,764 кВт·ч;

Площадь обметаемого круга $A = \pi \cdot 20^2$

$$A = \pi \cdot 20^2 = 1256,64 \text{ м}^2. \quad (1)$$

Мощность ветра

Балаковский район

$$P_w = 0,5 \cdot 1,225 \cdot 1256,64 \cdot 5,5^3 = 128077,94 \text{ Вт}. \quad (2)$$

Вольский район

$$P_w = 0,5 \cdot 1,225 \cdot 1256,64 \cdot 5,25^3 = 111497,38 \text{ Вт}. \quad (3)$$

Энгельский район

$$P_w = 0,5 \cdot 1,225 \cdot 1256,64 \cdot 4,5^3 = 70194,48 \text{ Вт}. \quad (4)$$

Выходная мощность

Балаковский район

$$P_{\text{ген}} = 128077,94 \cdot 0,4 = 51,2 \text{ кВт}. \quad (5)$$

Вольский район

$$P_{\text{ген}} = 111497,38 \cdot 0,4 = 44,6 \text{ кВт}. \quad (6)$$

Энгельский район

$$P_{\text{ген}} = 70194,48 \cdot 0,4 = 28,1 \text{ кВт}. \quad (7)$$

Годовая выработка энергии рассчитывается как произведение выходной мощности и количества часов в году:

$$E_{\text{выработка}} = P_{\text{ген}} \cdot T, \quad (8)$$

где $T = 8760$ количество часов в году.

Балаковский район

$$E_{\text{выработка}} = 51,2 \cdot 8760 = 448712 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (9)$$

Вольский район

$$E_{\text{выработка}} = 44,6 \cdot 8760 = 390263 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (10)$$

Энгельский район

$$E_{\text{выработка}} = 28,1 \cdot 8760 = 245764 \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (11)$$

Годовая экономия на электроэнергии рассчитывается как произведение годовой выработки энергии и стоимости электроэнергии (при средней стоимости кВт в 5 руб.):

Балаковский район – 2243560 руб.

Вольский район – 1951315 руб.

Энгельский район – 1228820 руб.

Срок окупаемости рассчитывается как отношение стоимости установки к годовой экономии электроэнергии.

Если взять начальную стоимость ветряка равную 6650 тыс. руб, то расчеты по районам будут примерно следующие:

Балаковский район – 2,9 года;

Вольский район – 3,4 года;

Энгельский район – 5,4 лет.

Однозначно, чтобы получить экономические выгоды необходимо вложить определённые денежные и трудовые ресурсы. Модель предполагаемого проекта может иметь следующий урбанистический вид (рис.)



Рисунок – Модель ветряных мельниц в совокупности с действующей оросительной сетью

Заключение. В ходе исследования была проведена оценка возможности интеграции ветрогенераторов в системы орошения сельскохозяйственных территорий Саратовской области. Рассмотрены три района региона — Балаковский, Вольский и Энгельский, с учетом их климатических условий и ветрового потенциала. Расчеты показали, что внедрение ветряных генераторов позволяет значительно снизить затраты на электроэнергию для насосных станций, обеспечивая экономическую выгоду и снижение экологической нагрузки за счет использования возобновляемых источников энергии.

Наиболее перспективным оказался Балаковский район, где благодаря высоким среднегодовым скоростям ветра срок окупаемости проекта составил 2,9 года. Вольский район демонстрирует срок окупаемости в 3,4 года, а Энгельский — 5,4 года, что также подтверждает экономическую целесообразность внедрения ветрогенераторов. Результаты исследования подчеркивают, что применение ветряных мельниц в системах орошения не только способствует повышению энергоэффективности аграрного сектора, но и укрепляет экологическую устойчивость агроэкосистем. Полученные выводы могут служить основой для дальнейших исследований и практической реализации подобных проектов в других регионах с аналогичными условиями.

Список источников

1. Абдразаков, Ф.К. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств в мелиоративном производстве / Ф.К. Абдразаков // Саратов. – 2002. – 352 с.
2. Абдразаков, Ф.К. Ресурсосберегающие технологии и машины для интенсификации мелиоративного производства / Ф.К. Абдразаков // Саратов. – 2019. – 164 с.
3. Абдразаков, Ф.К. Актуальные вопросы обслуживания оросительных каналов и рациональное управление водными ресурсами / Ф.К. Абдразаков,

А.А. Рукавишников // Основы рационального природопользования: Материалы IX Национальной конференции с международным участием, Саратов, 12-13 октября 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 7-15.

4. Абдразаков, Ф.К. Интенсификация мелиоративного производства путем совершенствования технологий реконструкции и строительства оросительных каналов / Ф.К. Абдразаков, А.А. Рукавишников // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 6-9.

5. Жинов, А.А. Техничко-экономический анализ эффективности ветроэлектростанции малой мощности в климатических условиях центра Европейской части России / А.А. Жинов, Д.В. Шевелев, Н.Е. Метлицкий // Известия МГТУ МАМИ. – 2020. – № 3(45). – С. 83-87.

6. Панкова, Т. А. Адаптивное нормирование орошения люцерны на темно-каштановых почвах сухостепного Заволжья: специальность 06.01.02 «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Панкова Татьяна Анатольевна, 2016. – 215 с.

7. Рыженков, А.Я. Развитие возобновляемых источников энергии и их значение для перехода России на стандарты «зеленой» экономики / А.Я. Рыженков, Л.Д. Буринова // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 432-439.

8. Шумаев, В.А. Инновационное развитие: ветровая энергетика / В.А. Шумаев // В центре экономики. – 2021. – № 4. – С. 14-21.

9. Постановление комитета государственного регулирования тарифов Саратовской области от 08.05.2024 №35 «Об установлении цен (тарифов) на электрическую энергию для населения и приравненным к нему категориям потребителей по Саратовской области на 2024 год».

© Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А., 2025

Научная статья
УДК 628.1:621.1

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОТИВОТОЧНОГО НАТРИЙ-КАТИОНИРОВАНИЯ В КОТЕЛЬНЫХ

Елена Сергеевна Акимова¹

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹elenagridun@gmail.com

Аннотация. В данной статье приведен анализ противоточных систем по подготовке воды для промышленных и отопительных котельных, указаны преимущества и недостатки существующих фильтров. Проведенный анализ вышеперечисленных технологий показал, что фильтрация воды сверху вниз

является предпочтительной. Статья предназначена для специалистов в области теплоэнергетики и водоснабжения.

Ключевые слова: натрий-катионные фильтры, противоточные системы, водогрейные котлы, реагенты, умягчение воды, регенерация.

Для цитирования: Акимова, Е.С. Применение технологии противоточного натрий-катионирования в котельных / Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

APPLICATION OF COUNTERCURRENT SODIUM CATIONATION TECHNOLOGY IN BOILER ROOMS

Elena Sergeevna Akimova¹

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹elenagridun@gmail.com

Annotation. This article provides an analysis of countercurrent water treatment systems for industrial and heating boilers, and highlights the advantages and disadvantages of existing filters. An analysis of the above technologies has shown that top-down filtration of water is preferable. The article is intended for specialists in the field of thermal power engineering and water supply.

Keywords: sodium-cationic filters, countercurrent systems, hot water boilers, reagents, water softening, regeneration.

For citation: Akimova, E.S. Application of countercurrent sodium cationation technology in boiler rooms / Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Правильно рассчитанный, смонтированный и эксплуатируемый комплекс водоподготовки, дополненный химической программой коррекции котловой воды, является необходимым условием долговечной и экономной работы любого котлоагрегата. Из-за различных примесей вода не соответствует минимально необходимым требованиям для бытовых и производственных нужд [1].

Для потребления вся вода должна пройти водоподготовку с целью улучшения ее качества. Для промышленных и отопительных котельных при подготовке воды руководствуются существующими нормативными требованиями и используют в основном методы известкования, подкисления, натрий-катионирования и водород-катионирования. Исходное качество воды определяет выбор способов и их сочетание в каждом конкретном случае. Однако на практике наиболее распространенным является метод натрий-катионирования.

Эксплуатация натрий-катионитовых фильтров при использовании параллельного тока имеет ряд недостатков:

- многоступенчатость в случае необходимости глубокого умягчения воды (до жесткости 0,01 мг-экв/л);

- значительный расход реагентов на регенерацию, превышающий стехиометрию в 2-3 раза;

- образование минерализованных сточных вод, составляющих 10-30% от производительности установки и имеющих солесодержание 3-10 г/л.

Снижения данных недостатков можно добиться применением технологии противоточного натрий-катионирования. Использование противотока в одну ступень позволяет получить минимальную остаточную концентрацию катионов жесткости [2].

Методика исследований. Все противоточные системы можно разделить на погружные, коллекторные и с плавающим слоем.

За рубежом большое применение получили устройства нижнего, среднего и верхнего дренажа. Эта конструкция позволяет взрыхлять верхний слой смолы, не нарушая нижние слои.

Аналогичный принцип применен в противоточных фильтрах «Аквахим». Опыт их применения фильтров выявил следующие основные недостатки:

- громоздкость и сложность надежного крепления среднего дренажа;

- значительные трудности в обеспечении надежного блокирования среднего дренажного устройства;

- нерациональное использование полезного объема фильтра;

- низкая допустимая скорость фильтрования.

Данных недостатков преимущественно лишены системы противотока с плавающим слоем «Швебебет», «Апкоре» и «Амберпак». Для противоточных фильтров, используемых в перечисленных системах, общим является их оборудование нижним и верхним дренажными устройствами.

Система «Швебебет» предполагает подачу обрабатываемой воды снизу-вверх, регенерационного раствора – сверху вниз. Фильтр практически полностью заполняется смолой, чтобы предотвратить ее слишком большое разжижение. Часть свободного объема фильтра заполняется инертным материалом, предотвращающим засорение колпачков верхней дренажной системы мелкими частицами смолы, часть – остается свободным.

Уплотненный слой катионита перед регенерацией опускается к нижнему дренажу и происходит его разрыхление, что позволяет исключить стадию взрыхления. Периодически, по мере прироста потери напора в фильтре, для эффективного взрыхления смола перегружается в специальную колонну обратной промывки.

Наряду с компактностью и эффективностью серьезным недостатком данной технологии является необходимость постоянного прижатия слоя к верхней дренажной системе, т.е. поддержания постоянного расхода воды, поступающего на фильтр. В противном случае наблюдается ухудшение качества обработанной воды. Ухудшение качества обработанной воды существенно, т. к.

одной из специфических особенностей эксплуатации отечественных установок умягчения воды является значительное колебание нагрузок в течение суток.

Система «Амберпак» по направлению движения потоков аналогична «Швебебет», но предусматривает загрузку всего объема фильтра смолой и периодическую отмывку нижнего слоя смолы в специальной емкости. Основным недостатком данной системы является высокая чувствительность к содержанию взвешенных веществ в исходной воде.

Противоточная технология «Апкоре» предусматривает загрузку фильтра на 80-85% полезного объема фильтра смолой и на 8-10% – инертным материалом. Цикл работы фильтра состоит из следующих операций: обработка воды в направлении сверху вниз, прижатие слоя смолы к верхней дренажной системе потоком воды, регенерация и отмывка – снизу-вверх.

Результаты исследований. Проведенный анализ вышеперечисленных технологий показал, что фильтрация воды сверху вниз по способу «Апкоре» является предпочтительной, т.к. в этом случае исключается зависимость эффекта умягчения от колебания нагрузки на установку. Подача регенерационного раствора снизу также является предпочтительной, что позволяет повысить эффективность регенерации при меньших затратах реагентов.

Эффективность применения зарубежных технологий в существенной степени определяется применением специальных марок катионитов с низкой степенью неоднородности зерен загрузки, т.е. монофазы и жестким ограничением таких показателей качества исходной воды, как содержание механических и биологических примесей, соединений железа. В связи с тем, что отечественной промышленностью не налажен выпуск монофазы, представляется актуальным рассмотрение технологии противоточного ионирования как на основе импортных монодисперсных смол, так и на основе отечественных полидисперсных.

Анализ существующих вариантов систем противоточного умягчения воды позволяет сделать выводы о предпочтительности использования фильтров, оборудованных нижним и верхним дренажом и фильтрацией в рабочем цикле в направлении сверху вниз, а регенерационного раствора и отмывочной воды – снизу-вверх. Фильтр загружается смолой на 85% и инертным материалом. В качестве фильтрующей загрузки может использоваться как импортная полидисперсная или монодисперсная, так и отечественная полидисперсная смола. Регенерация фильтра производится после прижатия слоя смолы к верхнему распределительному устройству в направлении снизу-вверх, отмывка – в том же направлении и с той же скоростью. Особенностью технологии является периодическая перегрузка смолы в емкость взрыхляющей промывки в количестве, необходимом для эффективного удаления из нее механических, биологических и органических примесей.

В настоящее время фактическая производительность водоподготовительных установок не превышает 10 м³/ч. В эксплуатации находятся только противоточные фильтры первой ступени, обеспечивающие при

обработке требуемую глубину умягчения. Фильтры второй ступени демонтированы. [3]

Для условий предприятия ПАО «Т Плюс», предложены следующие стадии процесса умягчения воды на противоточных натрий-катионитовых фильтрах:

- рабочая динамическая обменная емкость КУ-2-8 – 1 100-1 200 г-экв/м³;
- удельный расход поваренной соли на регенерацию – 100-110 г/г-экв;
- жесткость умягченной воды в течение основной части фильтроцикла не превышает 10-15 мкг-экв/л;
- удельный расход воды на отмывку составляет 3,5-4 объема на объем загрузки.

Заключение. В целом полученные в промышленных условиях результаты эксплуатации противоточных натрий-катионитовых фильтров показали их эффективность как с точки зрения получения высоких технологических параметров самих фильтров, так и с точки зрения существенного сокращения расхода воды на собственные нужды, объема сточных вод и количества сбрасываемых со сточными водами солей. [4]

Выбор того или иного метода существенно зависит от состава исходных вод, а также применяемого оборудования. Предварительная водоподготовка наряду с внутрикотловой обработкой воды позволяет поддерживать оптимальный режим работы теплогенерирующих установок, а также минимизировать затраты на обслуживание и ремонт оборудования.

Список источников

1. Кишневский, В.А. Современные методы обработки воды в энергетике / ОГПУ. Одесса, 2019.
2. Балаев, И.С. Водоподготовка: новая противоточная технология / И.С. Балаев, Б.К. Кусманов, Н.Т. Бондарев // Аква-терм. 2018. Июль. С. 46-47.
3. Громов, С.Л. Технологические преимущества процесса противоточной регенерации ионообменных смол UPCORE: промывка взрыхлением // Теплоэнергетика. 2018. № 3.
4. Водоподготовка, водный режим и химконтроль на паросиловых установках. Выпуск 4. – Москва: СПб. [и др.] : Питер, 2019. – 208 с.

© Акимова Е.С., 2025

Научная статья
УДК 631.21

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОДЫ В СТОЯЧИХ ВОДОЕМАХ

Валерия Константиновна Апасеева¹, Антон Павлович Ищенко²

¹Финансово-технологический колледж ФГБОУ ВО Вавиловский университет, г. Саратов, Россия

²Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

²familienname@yandex.ru

Аннотация. В работе рассматривается один из вариантов конструкции устройства мониторинга воды и принципа сбора информации с его датчиков. Представленный процесс мониторинга воды рассматривается для работы на водоеме в УНПК «Агроцентр» и повышения эффективности выращивания рыбы.

Ключевые слова: электропроводность воды, рН-измерение воды, плавающее устройство, контроль параметров, мониторинг состояния воды, сбор информации, устройство мониторинга воды.

Для цитирования: Апасеева, В.К. Разработка устройства мониторинга состояния воды в стоячих водоемах / В.К. Апасеева, А.П. Ищенко // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MONITORING THE STATE OF WATER IN STILL WATER BODIES

Valeria Konstantinovna Apaseeva¹, Anton Pavlovich Ishchenko²

¹College of Finance and Technology Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²familienname@yandex.ru

Annotation. The paper considers one of the design options for a water monitoring device and the principle of collecting information from its sensors. The presented water monitoring process is being considered for operation on a reservoir in the Agrocenter and for improving the efficiency of fish farming.

Keywords: electrical conductivity of water, pH measurement of water, floating device, parameter control, monitoring of water condition, information collection, water monitoring device.

For citation: Apaseeva, V.K. Development of a device for monitoring the state of water in standing reservoirs / V.K. Apaseeva, A.P. Ishchenko // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Современные проблемы загрязнения водных ресурсов являются одним из главных вызовов экологии в настоящее время. Особенно остро эта проблема стоит в отношении стоячих водоемов, как мест обитания множества

водных организмов и источника питьевой воды для человека. Разработка устройства мониторинга состояния воды играет ключевую роль в контроле качества воды, обеспечивая оперативное реагирование на изменения параметров и степени загрязнения воды [1, 5].

Целью данной работы является разработка конструкции устройства для мониторинга состояния воды в стоячем водоеме и организация сбора информации об состоянии основных параметров воды. Разработка устройства будет проводиться для водоема (рис. 1) в УНПК «Агроцентр».



Рисунок 1 – Пруд №1 в УНПК «Агроцентр»

Материалы и методы. Для исследования использовались общие методы научного познания: анализ, исследование существующих решений, наблюдение и системный подход.

Результаты исследования. Разработка устройства для мониторинга состояния воды в стоячих водоемах имеет критически важное значение для охраны экосистемы, здоровья населения, устойчивого управления природными ресурсами, и представляется актуальной задачей способствующей охране водных ресурсов и повышению эффективности выращивания рыбы и т.д.

Постоянный мониторинг позволяет оценивать здоровье водоема, идентифицируя проблемы, такие как эвтрофикация, загрязнение и биологические изменения, вызванные климатическими условиями. Чистота воды напрямую влияет на здоровье людей, особенно в регионах, где стоячая вода используется для питья или в рекреационных целях. Мониторинг способствует предупреждению заболеваний. И также помогает системно управлять водными ресурсами, что крайне важно в условиях изменения климата и роста населения [2, 3, 4].

Для мониторинга состояния воды в стоячих водоемах будут использоваться датчики, которые позволяют измерять ключевые параметры качества воды:

– датчики рН, определяют кислотность и щелочность воды, влияющую на экосистему;

- датчики температуры, это показание влияет на растворимость кислорода и метаболизм водных организмов;
 - датчики растворенного кислорода (DO), показатель, который критически важен для жизни рыб и других водных организмов;
 - датчик турбидности, измеряет степень мутности воды, что может быть связано с присутствием органических и неорганических частиц, а также с процессами эвтрофикации;
 - датчики проводимости;
 - датчики хлорофилла (флуоресцентные датчики), используется для измерения содержания хлорофилла в воде, что позволяет оценить уровень фитопланктона и общее здоровье водоема;
 - датчики химических веществ (аммиак, нитраты, фосфаты).
- Эти параметры помогут создать полную картину состояния водоема и осуществлять эффективное управление водными ресурсами [3, 4].

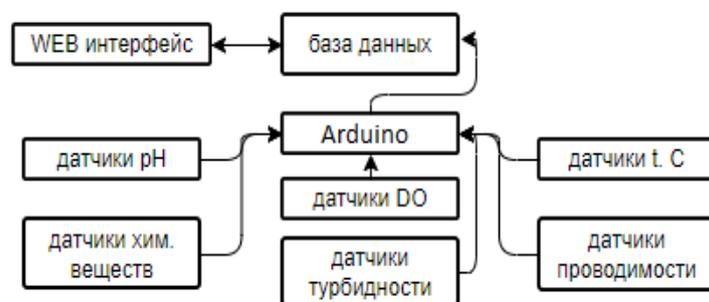


Рисунок 2 – Структурная система взаимодействия датчиков с компьютером

На рис. 2 иллюстрируются взаимодействия датчиков в нашем разрабатываемом устройстве. Мы видим, что наш центральный компьютер Arduino будет осуществлять запросы к основным датчикам каждые 15 минут. Собранные данные будут передаваться через Wi-Fi соединение в базу данных, размещённую на сервере. В качестве сервера используется стационарный компьютер, расположенный на территории УНПК «Агроцентр». Компьютер также будет подключён к интернету, что позволит нам получить доступ к веб-интерфейсу и проверить текущее состояние воды в пруду.

После измерения параметров на 2-3 минуты включать два электродвигателя, которые будут толкать наше устройство вперед, так как у нас стоячая вода устройство находится в неподвижном состоянии. Во время работы устройства будут передаваться данные о его месте расположения, как показано на рис. 3. Если место расположения совпало с предыдущим, то будет включаться либо задний ход, либо разворот.

Для того чтобы повысить энергоэффективность и снизить частоту обслуживания устройства мониторинга мы предлагаем использовать солнечные панели, которые разметим на корпусе нашего устройства. Данные солнечные панели смогут подзаряжать аккумуляторную батарею или же быть основными источниками питания. Также возможен вариант введение устройства в режим «сна» в ночное время, так как в этот период наименьшее количество воздействующих факторов на состояние пруда.

Исходя из режима работы устройства мониторинга можно сделать карту пруда №1 с расположенным оборудованием (рис. 3). Так там показаны примерные места размещения ретрансляторов Wi-Fi и возможный путь по пруду №1 в УНПК «Агроцентр».

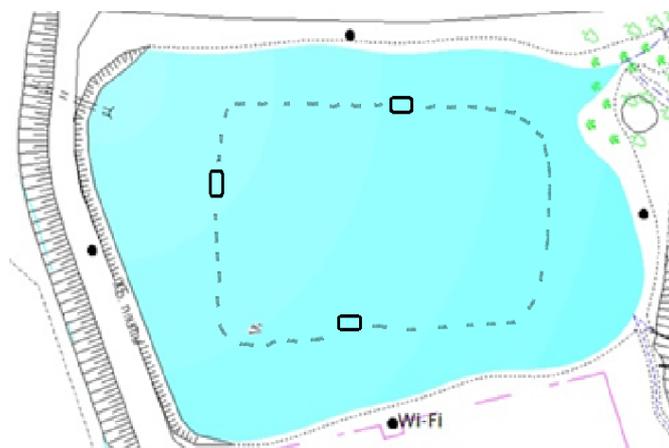


Рисунок 3 – Примерное расположение Wi-Fi ретрансляторов и движение устройства мониторинга

Вся работа по созданию данного устройства будет разбита на несколько этапов. На начальном этапе мы сосредоточимся на технической конструкции, затем перейдем к разработке интерфейса и программного обеспечения. После этого начнется проведение различных испытаний и исследований, которые помогут проанализировать взаимосвязи различных параметров и их влияние на выращиваемую рыбу.

Устройство представляет собой прямоугольную платформу с округленными углами, что позволяет уменьшить сопротивление воде. Она выполнена из композитных материалов, а датчики расположены на нижней части платформы. Верхняя сторона устройства снабжена солнечными панелями, которые обеспечивают энергией датчики и передачи данных, обеспечивая автономность работы. В его конструкцию также входит система беспроводной передачи данных (Wi-Fi), которая отправляет собранную информацию на компьютер или мобильное устройство. Примерный дизайн представлен на рис. 4.

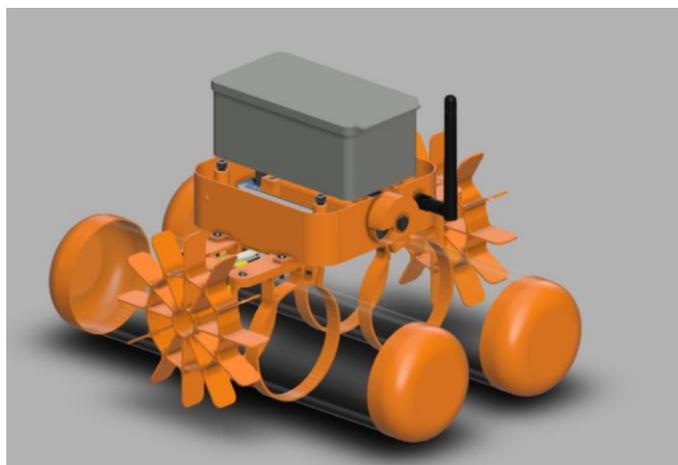


Рисунок 4 – Предполагаемый вид устройства для мониторинга параметров воды в стоячем водоеме

Заключение. Разработка и внедрение устройства мониторинга состояния воды в стоячих водоемах является существенным шагом в направлении сохранения водных ресурсов и обеспечения экологической безопасности.

Эффективный мониторинг качества воды позволит минимизировать воздействие загрязнений на водные экосистемы и обеспечивать непрерывный прирост массы выращиваемой рыбы.

Список источников

1. Донцов, А.А. Специализированная геоинформационная система автоматизированного мониторинга рек и водоемов / А.А. Донцов, И.А. Суторихин // ЖВТ. 2017. №5.

2. Бурлаченко, И.В. Рыбоводные технологии в искусственном воспроизводстве: современное состояние, проблемы, решения / И.В. Бурлаченко, И.В. Яхонтова // Труды ВНИРО. 2015.

3. Баранов, С.А. Тесты, применяемые для оценки качества водной среды рыбоводных прудов и водохранилищ / С.А. Баранов Э.В. Иванов, А.А. Нагорный // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. 2000, №4

4. Lakshmanan, L. «Analysis of the Water Quality Monitoring System» / L. Lakshmanan, A. Jesudoss, A. Sivasangari, S. Maran and M. Mercy Theresa. – 2020 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), Chennai, India, 2020, pp. 1032-1035, doi: 0.1109/ICCSP48568.2020.9182256.

5. Сайт ВОДЭКО. Системы промышленной очистки воды и водоподготовки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://vodeco.ru>.

© Апасеева В.А., Ищенко А.П., 2025

Научная статья
УДК 62-977

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ПЕЛЛЕТ В ПЕЧИ

Сергей Мударисович Бакиров¹, Виктория Сергеевна Абрамова²,
Татьяна Викторовна Барсегян³, Андрей Александрович Шишкин⁴

^{1,2,3,4}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹s.m.bakirov@mail.ru

²vikaabramova16@mail.ru

Аннотация. В статье представлено моделирование процесса горения твердого топлива, а именно пеллет в топке котла. Рассматриваются различные подходы к моделированию псевдоожигенного слоя в зависимости от объема учитываемой информации при моделировании. Подробно представлена теория и модель формирования псевдоожигенного слоя пузырьковой и эмульсионной фазами. Особое внимание уделяется изменению динамических параметров

процесса горения твердого топлива в топке. Результаты моделирования позволяют разработать эффективный котел на твердом топливе.

Ключевые слова: горение твердого топлива, псевдоожигенный слой горения, скорость реакции горения, пузырьково-эмульсионные фазы горения.

Для цитирования: Бакиров, С.М. Моделирование процесса горения пеллет в печи / С.М. Бакиров, В.С. Абрамова, Т.В. Барсегян, А.А. Шишкин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

MODELING THE PROCESS OF PELLET COMBUSTION IN A FURNACE

Sergey Mudarisovich Bakirov¹, Victoria Sergeevna Abramova², Tatyana Viktorovna Barsegyan³, Andrey Aleksandrovich Shishkin⁴

^{1,2,3,4}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹s.m.bakirov@mail.ru

²vikaabramova16@mail.ru

Annotation. The article presents the modeling of the combustion process of solid fuel, namely pellets, in the furnace of the boiler. Various approaches to modeling a fluidized bed are considered depending on the amount of information taken into account in the modeling. The theory and model of the formation of a fluidized bed of bubble and emulsion phases are presented in detail. Particular attention is paid to changing the dynamic parameters of the combustion process of solid fuel in the furnace. The simulation results allow developing an efficient solid fuel boiler.

Keywords: solid fuel combustion, fluidized bed combustion, combustion reaction rate, bubble-emulsion combustion phases.

For citation: Bakirov, S.M. Simulation of the pellet combustion process in a furnace / S.M. Bakirov, V.S. Abramova, T.V. Barseghyan, A.A. Shishkin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Моделирование горения в псевдоожигенном слое в целом включает следующие явления: гидродинамику, массоперенос, химические реакции и теплоперенос [1]. Из-за сложных процессов, происходящих в псевдоожигенном слое, для моделирования этих явлений часто применяются упрощения.

Существуют различные подходы к моделированию псевдоожигенного слоя в зависимости от объема учитываемой информации. Ученые Gómez-Barea и Leskner [2] определили три основных подхода:

- Модели вычислительной гидродинамики (CFDM);

- Модели псевдооживления (FM);
- Модели черного ящика (BBM).

В программах, которые используются для теплогидравлических и гидродинамических расчётов, в том числе для моделирования сложных трёхмерных процессов в активных зонах горения с жидким металлическим теплоносителем – CFDM уравнения импульса решаются для получения полей скорости твердых тел и газа ни дают подробную информацию о поле потока по сравнению с двумя другими подходами, где не решаются уравнения для мгновенного состояния динамических показателей. Следовательно, этот тип моделей также требует гораздо больше вычислительного времени. В отличие от CFDM, технология расчета обслуживания котлов – BBM являются макроскопическими и основаны на глобальных балансах массы и тепла. Они дают только общее описание котла на твердом топливе, без информации о процессах, происходящих внутри него. Наиболее распространенным подходом для всестороннего моделирования процессов горения в котлах на твердом топливе является использование моделей псевдооживления сжигаемого твердого топлива (принцип FM). Эти модели можно рассматривать как гибрид между CFDM и BBM. Уравнения мгновенного состояния показателей не решаются, а двухфазный поток представляется путем разделения газа на эмульсию и пузырьковую фазу. Гидродинамика газа и твердых тел описывается с помощью уравнений переноса, но с использованием более упрощенных подходов, таких как полуэмпирические корреляции и потенциальные потоки.

Материалы и методы. Известно моделирование массо- и теплопередачи, которое осуществляется путем формулирования уравнений переноса для интересующих физических величин [3]. Эти уравнения выводятся из баланса количества по бесконечно малому объему, с учетом чистого переноса через границы объема, генерации или потребления теплоты.

Перенос массы и энергии регулируется конвекцией и/или диффузией. Конвективный вклад возникает, когда поток характеризуется макроскопической скоростью, в то время как диффузионный перенос включает случайное движение на молекулярном уровне. Для трехмерной области уравнение переноса переменной Φ задается как

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + u \frac{\partial \Phi}{\partial x} + v \frac{\partial \Phi}{\partial y} + w \frac{\partial \Phi}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right) + S(\Phi), \quad (1)$$

где Φ – произвольная переменная поля в процессе горения (температура или молярная/массовая концентрация). В левой части уравнения описывается накопление Φ и конвективный перенос, а в правой части первое слагаемое описывает диффузию D , за которым следует второе слагаемое S , которое описывает генерацию теплоты из-за фазовых переходов. Для упрощения моделирования обычно пренебрегают переходным членом с производной по времени и рассматривают только задачу стационарного состояния. Когда Φ принимается за общую массу системы, получается уравнение непрерывности,

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

где ρ – плотность, кг/м³.

Двухфазная модель [4], основана на концепции наличия газа в плотном слое, который распределен между пузырьковой и эмульсионной фазами. Модель предполагает, что эмульсионная фаза, которая также включает твердые частицы, находится в состоянии минимального псевдооживления и что пузырьковая фаза состоит из остальной части газового потока.

Взаимодействие между газом в пузырьке и фазой эмульсии объясняется массопереносом между двумя фазами. Коэффициент массопередачи, K_{be} , является функцией, например, размера слоя, размеров пузырьков и скорости газа в эмульсии и пузырьковой фазе. Значение K_{be} обычно находится в диапазоне $0,1-10 \text{ с}^{-1}$.

Распределение псевдооживающего газа между пузырьковой и эмульсионной фазами в нижней части печи может быть выражено минимальной скоростью псевдооживления u_{mf} , и общей скоростью первичного воздуха u_0 согласно

$$\begin{aligned} x_e &= \frac{u_{mf}}{u_0}, \\ x_b &= \frac{u_0 - u_{mf}}{u_0}. \end{aligned} \quad (3)$$

Модель описывает массо- и теплопередачу в котле ВФВ, работающем в стационарном режиме. Газ в нижнем слое переходит в эмульсионную и пузырьковую фазы. Для преобразования топлива рассматриваются сушка, дегазация, сжигание пеллет и реакции в газовой фазе. Уравнения переноса связаны через исходные члены, описывающие химические реакции и фазовые переходы. Массоперенос включает перенос газообразных веществ как в пузырьковой, так и в эмульсионной фазе, а также перенос компонентов топлива, которые в этой модели рассматриваются как отдельные потоки. Массовый перенос газа в слое описывается балансом компонентов для каждого вида газа в пузырьковой и эмульсионной фазах.

Компонентные балансы видов топлива получаются с использованием модели дисперсии. Для влаги (m) и летучих веществ (v_i) массовые балансы задаются как

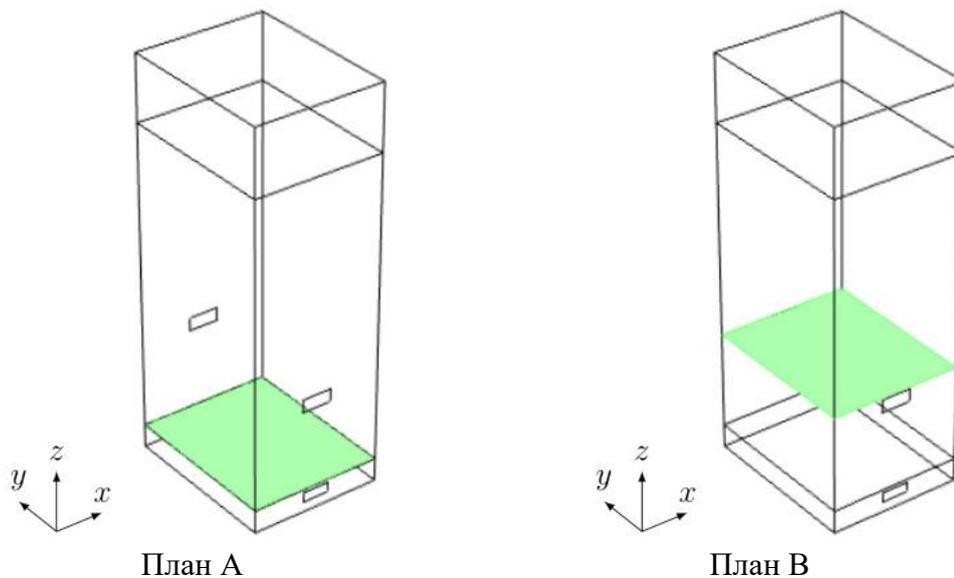
$$\nabla \cdot (-D_f \nabla C_m) = S_m \quad (4)$$

и

$$\nabla \cdot (-D_f \nabla C_{v_i}) = S_{v_i}, \quad (5)$$

где D_f – коэффициент диффузии топлива, который принимается равным $0,05 \text{ м}^2/\text{с}$ в боковом направлении и $0,5 \text{ м}^2/\text{с}$ в вертикальном направлении [5]. Летучие вещества и влага, покидающие топливо, учитываются в исходных членах S_{v_i} и S_m .

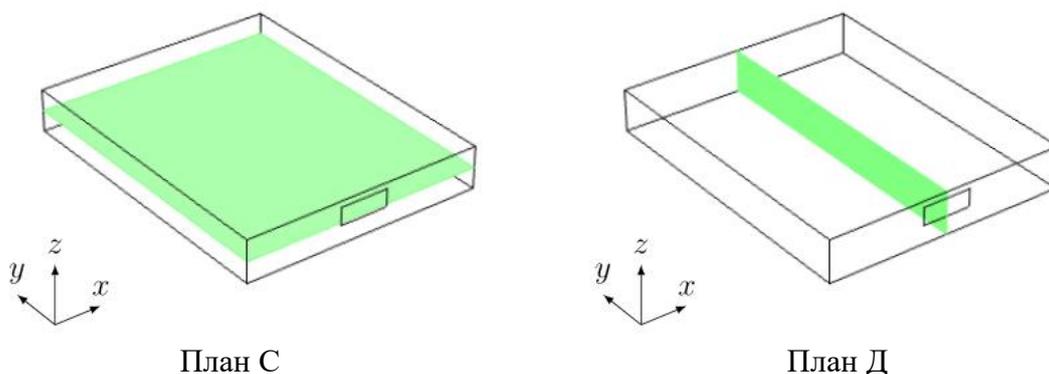
Результаты исследования. Для представления динамических показателей представим четыре различные плоскости пространства горения твердого топлива (горение пеллет в топке). Плоскости определены и названы в соответствии с рис. 1 и рис. 2 соответственно.



План А

План В

Рисунок 1 – Определение плоскости А и плоскости В, используемых для визуализации результатов



План С

План Д

Рисунок 2 – Определение плоскости С и плоскости Д, используемых для визуализации результатов

Примем допущение что, нагрев частиц не включен в модель, тогда большая часть реакций и фазовых переходов происходит вблизи впускного отверстия для топлива. Это касается сушки и удаления летучих веществ, скорости которых наиболее высоки вблизи отверстия для подачи топлива и уменьшаются по глубине печи. Это можно увидеть на рис. 3, на котором показана сумма скоростей сушки и удаления летучих веществ в плоскости Д. Постоянная температура подразумевает, что изменение скоростей происходит только из-за уменьшения концентрации летучих веществ и влаги в топливе.

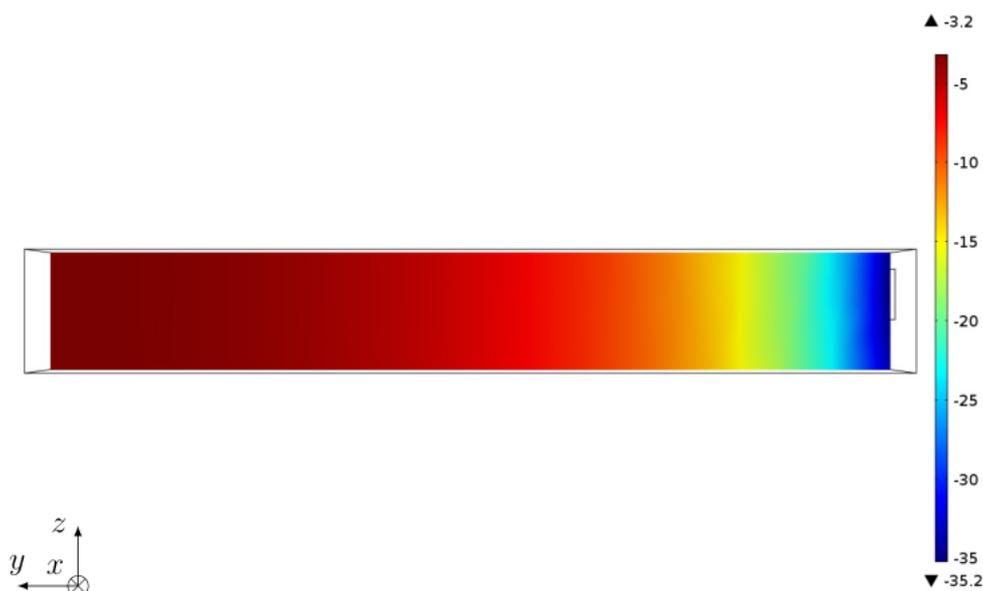


Рисунок 3 – Сумма скоростей сушки и удаления летучих веществ (моль/м³/с) в плоскости Д. Отверстие для подачи топлива расположено справа

На рис. 4 можно увидеть профили концентрации частиц пеллет вместе с векторами потока. Топливо подается в слой на передней стороне плоскости, откуда концентрация пеллет уменьшается по мере того, как частицы диффундируют дальше в печь. Подобно скорости сушки и удаления летучих веществ, скорость преобразования угля является наибольшей вблизи отверстия подачи топлива.

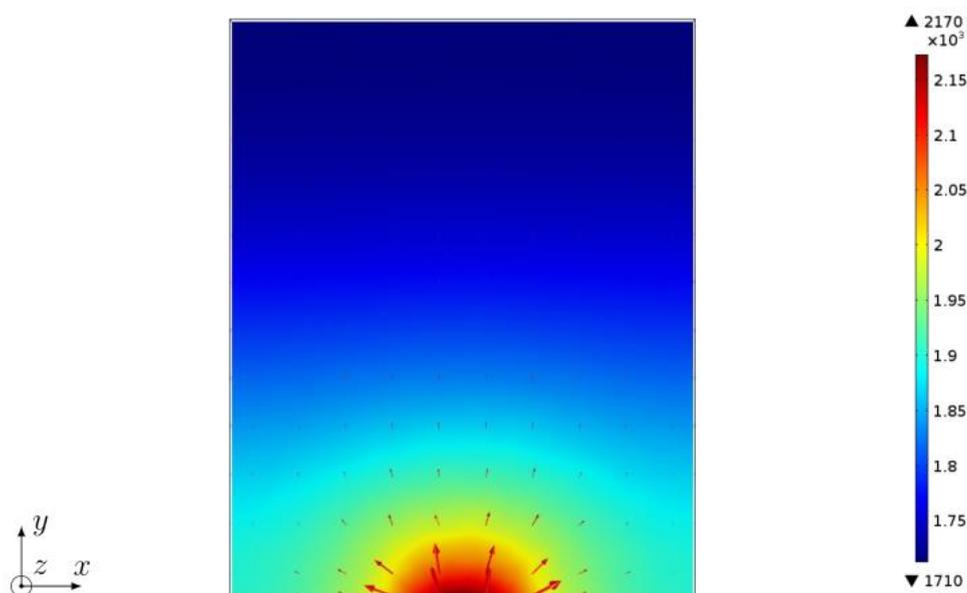


Рисунок 4 – Концентрация подачи пеллет (моль/м³) вместе с векторами молярного потока (моль/м²/с) в плоскости С. Порт подачи топлива расположен в нижней части рисунка

Рисунок 5 показывает скорость преобразования (горения) пеллет. Видно, что самые большие скорости реакции сгорания пеллет обнаруживаются вблизи

порта подачи топлива, где концентрация пеллет высока, и вблизи впуска воздуха, где концентрация кислорода O_2 максимальна.

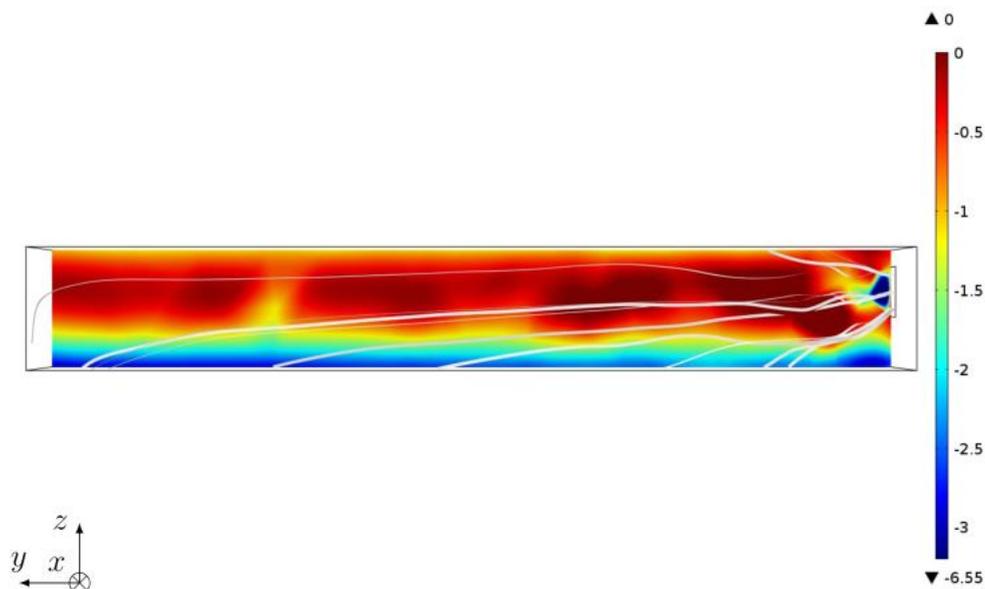


Рисунок 5 – Скорость горения пеллет (моль/м³/с) вместе с линиями тока частицы в плоскости Д. Отрицательный знак указывает на то, что пеллеты сгорают

Поскольку в фазе эмульсии происходит дегазация, чистый поток CO и H_2 переходит из фазы эмульсии в фазу пузырьков. Часть H_2 реагирует в фазе эмульсии с O_2 , доступным в этой фазе. Эта реакция потребляет весь O_2 , доступный в фазе эмульсии, и, следовательно, реакция для CO не происходит. Причина этого в том, что скорость реакции H_2 намного выше, чем у CO , и, следовательно, он (водород) доминирует. Однако в фазе пузырьков есть молярный поток O_2 , покидающий слой в стояк, и все O_2 и H_2 , поступающие в эту фазу, потребляются. Скорость массопереноса между фазами недостаточно высока для подачи O_2 в фазу эмульсии для полного сгорания из-за CO , так и окисления H_2 .

На рис. 6 показан профиль концентрации O_2 для обеих фаз вместе. Как можно видеть, потребление O_2 вблизи впуска топлива высокое, что вызвано окислением H_2 и CO . При просмотре профиля концентрации O_2 с плоскости Д, профиль концентрации показывает картину, которая согласуется со скоростью сгорания пеллет, показанной на рис. 5; он имеет максимум в нижней части слоя и уменьшается с высотой слоя.

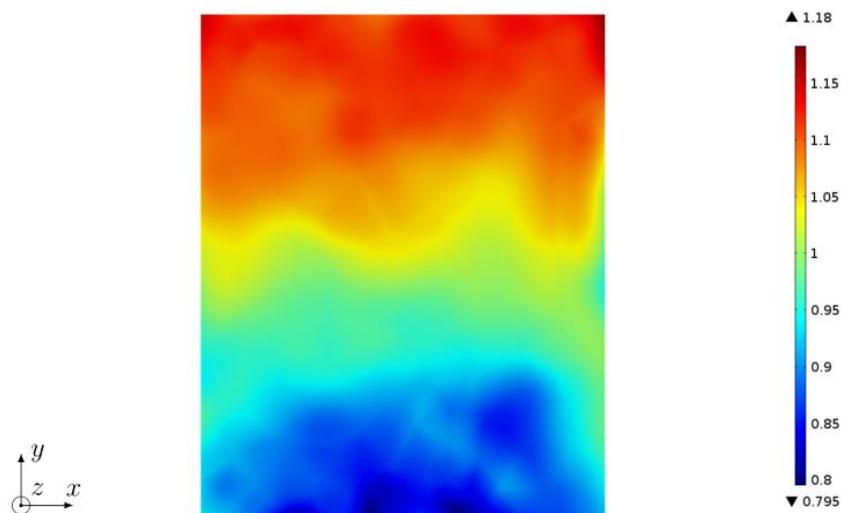


Рисунок 6 – Профиль концентрации O_2 (моль/ m^3) для обеих фаз вместе в плоскости А. Порт подачи топлива расположен в нижней части рисунка

Поля скорости, полученные для двух фаз, можно увидеть на рис. 7 и рис. 8. Наибольшие изменения происходят в фазе эмульсии, особенно вблизи порта подачи топлива.

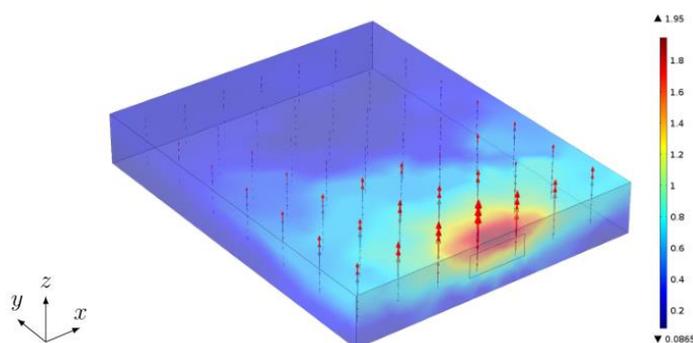


Рисунок 7 – Скорость фазы эмульсии (м/с) вместе с векторами молярного потока (моль/ m^2/c). Порт подачи находки представляет собой прямоугольную поверхность, расположенную в нижней правой части рисунка

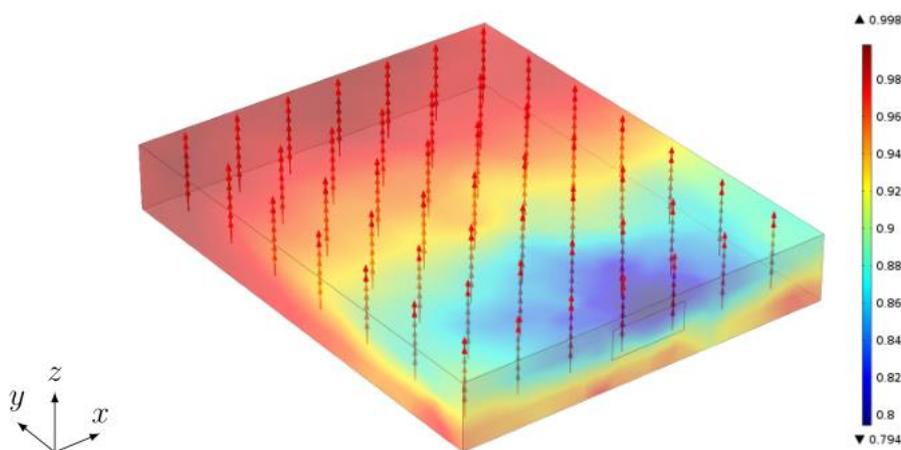


Рисунок 8 – Скорость пузырьковой фазы (м/с) вместе с векторами молярного потока (моль/ m^2/c). Порт подачи топлива представляет собой прямоугольную поверхность, расположенную в нижней правой части рисунка

Из рисунков видно, что две фазы демонстрируют противоположные изменения скорости, т.е. скорость эмульсионной фазы самая высокая там, где скорость пузырьковой фазы самая низкая. Начиная с эмульсионной фазы, область, где скорость достигает максимума, является местом, где происходит сушка и дегазация. Хотя часть влаги и летучих веществ переносятся в пузырьки, более половины произведенного молярного потока остается в эмульсионной фазе. В той же области пузырьковая фаза достигает своей минимальной скорости, что подразумевает сжатие газа в этой фазе. За исключением O_2 , потребляемого во время сжигания пеллет, более половины молярного потока O_2 , присутствующего в пузырьковой фазе, переносится в эмульсионную фазу. Кроме того, окисление CO и H_2 подразумевает чистое уменьшение молекул газа. Эти реакции имеют максимум в области сжатия и, кроме того, происходят в основном в фазе пузырьков.

Заключение. Таким образом, при моделировании процесса горения твердого топлива множество процессов сложно учесть. На рисунках модели смешивание твердого топлива первой и второй подачи не были учтены, и поэтому можно ожидать, что скорости реакции будут завышены. Скорости реакции самые высокие на входе в топку и вблизи впускных отверстий вторичного воздуха. На поверхности слоя концентрация водорода самая высокая в области над портом подачи топлива и уменьшается вблизи впрыска вторичного воздуха, где сгорает конечный H_2 . Похожая картина наблюдается для CO . Для практической реализации полного сгорания твердого топлива, например, пеллет, следует предусмотреть в топке равномерно распределенный впрыск дополнительного воздуха.

Список источников

1. Cima, E. Evaluation of Comsol Multiphysics for modelling of fluidized bed combustion. – 2015.
2. Gómez-Barea A., Leckner B. Modeling of biomass gasification in fluidized bed // Progress in Energy and Combustion Science. – 2010. – Т. 36. – №. 4. – С. 444-509.
3. Левцев, А.П. и др. Моделирование теплопередачи отопительного прибора с пульсирующим режимом течения теплоносителя // Инновации и инвестиции. – 2019. – №. 10. – С. 226-229.
4. Кичатов, Б.В. и др. Медленный режим распространения пламени в горючей вспененной эмульсии // Горение и взрыв. – 2018. – Т. 11. – №. 2. – С. 99-107.
5. Кочергин, Д.О. и др. О структуре прямого и обращенного диффузионного водородо-воздушного пламени // Системы анализа и обработки данных. – 2016. – №. 1 (62). – С. 195-204.

© Бакиров С.М., Абрамова В.С., Барсегян Т.В., Шишкин А.А., 2025

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА СЕКЦИИ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ

Сергей Мударисович Бакиров¹, Сергей Сергеевич Елисеев², Игорь Юрьевич Курятников³
^{1,2,3}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹s.m.bakirov@mail.ru

²s10z@yandex.ru

Аннотация. Дождевальные машины кругового действия комплектуются двигателями переменного тока марки UMC Power Saver 3.5. В то же время распространение получают современные вентильно-индукторные двигатели, обоснование применения которых позволит усовершенствовать электрическую систему машины.

Ключевые слова: дождевальная машина, солнечная батарея, аккумуляторная батарея, варианты коммутации, вентильный электродвигатель.

Для цитирования: Бакиров, С.М. Обоснование применения вентильно-индукторного двигателя для привода секции дождевальной машины кругового действия / С.М. Бакиров, С.С. Елисеев, И.Ю. Курятников // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

RATIONALE FOR USING A VALVE-INDUCTOR MOTOR TO DRIVE A SECTION OF A CIRCULAR IRRIGATION MACHINE

Sergey Mudarisovich Bakirov¹, Sergey Sergeevich Eliseev², Igor Yuryevich Kuryatnikov³
^{1,2,3}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹s.m.bakirov@mail.ru

²s10z@yandex.ru

Annotation. Circular irrigation machines are equipped with UMC Power Saver 3.5 AC motors. At the same time, modern valve-inductor motors are becoming widespread, the rationale for their use will improve the electrical system of the machine.

Keywords: irrigation machine, solar battery, battery, switching options, valve-inductor motor.

For citation: Bakirov, S.M. Justification of the use of a valve-inductor motor to drive a section of a circular sprinkler machine / S.M. Bakirov, S.S. Eliseev, I.Y. Kuryatnikov // Problems and prospects of development of energy, robotics and

Введение. В сельскохозяйственном производстве активно используют асинхронные электродвигатели (АД) для получения механической энергии вращательного действия. Они характеризуются относительно низкой стоимостью, высоким (до 0,94) КПД, широкой номенклатурой и типоразмерным рядом [1].

Материалы и методы. В настоящее время в современных электрифицированных дождевальных машинах применяют мотор-редуктор с АД американского производства UMC PowerSaver 3.5 (350 В; 1,5 А; 175 мин⁻¹). Он имеет высокую степень надежности и защиты IP65 и поставляется в совмещенной конструкции с редуктором (с передаточным числом $i = 40$, $i = 45$, $i = 50$). Редуктор предназначен для снижения частоты вращения и повышения момента электродвигателя и позволяет обеспечить достаточно устойчивый и стабильный пуск.

Современные высокотехнологические электромеханические системы комплектуют вентильно-индукторными электродвигателями (ВИД) мощностью до 10 кВт. Принцип действия ВИД основан на квазидвижущемся электромагнитном поле [2]. Коэффициент полезного действия таких двигателей на 1,5-2,5% выше, чем у АД. ВИД может быть использован в системах с источником постоянного тока, т. е. совместно с солнечными и аккумуляторными батареями.

Сравнительные механические характеристики ВИД и АД представлены на рис. 1, где видны существенные различия их нагрузочных способностей.

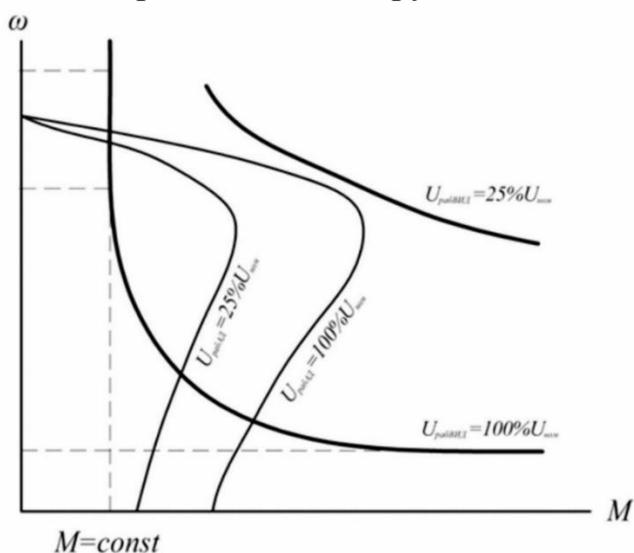


Рисунок 1 – Сравнительные механические характеристики ВИД и АД (ω – частота вращения, мин⁻¹; M – момент на валу, Н·м)

Так, при малой частоте вращения вентильно-индукторный электродвигатель обладает большим моментом на валу, чем асинхронный двигатель. При этом напряжение на зажимах ВИД не ограничивает создаваемый

механический момент на валу. В этом случае недостатком является создание более высокой (в 2,5-3,5 раза) частоты вращения ротора, чем при номинальном напряжении.

Судя по механической характеристике дождевальная машина [3], которая относится к первому типу нагрузок электропривода из-за колесного и моторного редуктора, а также по причине медленного перемещения ДМ, ВИД является более приемлемым электродвигателем, чем АД. Во-первых, при напряжении на зажимах ниже номинального он обеспечивает требуемый момент на валу. Во-вторых, в тяжелых условиях эксплуатации, с моментом на валу в 1,5-2,0 раза превышающим расчетный момент, ВИД не требуется подбирать с запасом по мощности, как это предусмотрено в случае с асинхронными электродвигателями [4].

При применении автономного источника питания на САБ движение секции ДМ обеспечит ВИД, напрямую подключенный к солнечным батареям. Характеристики ВИД и АД одинаковой мощности приведены в табл.

Таблица – Характеристики ВИД марки VM1418ZXF и АД марки UMC Power Saver 3.5 одинаковой мощности

Параметр	Двигатель		Преимущества в пользу ВИД
	VM1418ZXF	UMC Power Saver 3.5	
КПД, %	96	94	+2%
Возможность регулирования частоты вращения при постоянном моменте	+	при наличии дополнительного оборудования	+
Возможность плавного пуска	+	при наличии дополнительного оборудования	+
Максимальный пусковой крутящий момент, Н·м	18,3	8,8	+9,5
Диапазон частоты вращения, мин ⁻¹	1...2000	100...1360	+
Щеточный узел	–	+	+
Температура нагрева обмоток статора в номинальном режиме использования, °С	45	65	+20
Возможность электроснабжения от альтернативных источников	+	при использовании преобразователя	+

Результаты исследования. Как видно из табл., основными преимуществами ВИД являются: высокий КПД двигателя – на 2% выше, чем АД; высокая чувствительность регулирования момента на валу за счет использования контроллера в схеме подключения; возможность регулирования частоты вращения в широком диапазоне; обеспечение плавного пуска [5]. Однако, несмотря на множество преимуществ, ВИД имеет недостаток, который выражается в низкой надежности контроллера управления. Контроллер, создавая программу квазивращающегося магнитного поля, подвержен скоротечному

износу элементов силовой электроники. Причинами частого выхода из строя могут быть низкое качество электронных компонентов, монтажа схемы, неправильная эксплуатация. Упрощенная структурная схема электропривода на базе ВИД представлена на рис. 2.

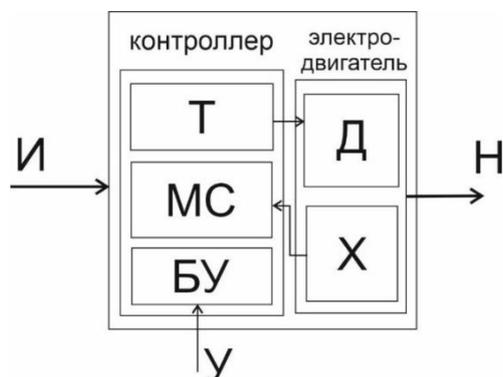


Рисунок 2 – Структурная схема электропривода на базе ВИД:
 И – источник питания; У – входной сигнал управления; БУ – блок управления,
 МС – микропроцессор; Т – силовые транзисторы; Д – электродвигатель;
 Х – датчик Холла; Н – нагрузка (момент на валу)

В структурную схему ВИД входит контроллер управления, который включает в себя три основных элемента. Микропроцессор моделирует работу силовых транзисторов, оценивая параметры источника. В этом случае источник с САБ обеспечивает работу ВИД за счет программируемого процессора. В данной структурной схеме самым ненадежным звеном является каскад транзисторов, которые в процессе работы нагреваются до температуры 80°C и в любой момент могут выйти из строя, хотя в контроллерах предусмотрена защита в виде плавких предохранителей и термореле [6].

Управление частотой вращения ВИД можно осуществлять либо программой в автоматическом режиме, либо в ручном режиме с помощью регулировочного резистора. Эта характерная особенность вентильного электродвигателя способствует плавному регулированию скорости, обеспечивает плавный пуск и открывает возможность точного регулирования перемещения дождевальной машины.

Заключение. Согласно исследованиям [7], в настоящее время управление скоростью перемещения опорными тележками дождевальной машины осуществляют в соответствии с требуемой поливной нормой за счет включения/выключения работы электропривода, который имеет одну частоту вращения для всех опорных тележек, т.е. управление АД осуществляется в повторно-кратковременном (старт-стоповом) режиме [8]. Такой режим работы приводит к частым и тяжелым пускам АД, которые негативно влияют на источник энергии. Например, одновременное включение сразу всех АД электроприводов 10 секций ДМ вызывает кратковременную перегрузку (до 180-200%) переносного дизельного генератора, что может вывести его в аварийный режим и привести к неисправности. Пусковые процессы в электрических цепях с АД можно регулировать с помощью устройств компенсации реактивной составляющей тока или частотного преобразователя.

Однако эти устройства приводят к удорожанию системы электроснабжения дождевальнoй машины, которая находится в эксплуатации от 2 до 3 мес. в году. Альтернативным вариантом двигателя опорных тележек ДМ является вентильно-индукторный электродвигатель, который в своей структурной схеме использует контроллер управления и может работать в паре с нестабильным источником постоянного тока, таким, как солнечные и аккумуляторные батареи.

Список источников

1. Бакиров, С.М. Сравнение нагрузок электропривода опорной тележки на жестких колесах и на колесах с пневматическими шинами / С.М. Бакиров, О.В. Логачёва, М.А. Левин // Актуальные проблемы и перспективы инновационной агроэкономики : сб. статей Национальной (Всероссийской) науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2020. – С. 14-18.

2. Бычков, М.Г. Элементы теории вентильно-индукторного электропривода / М.Г. Бычков // Электричество. – 1997. – № 8. – С. 35-44.

3. Ваганов, М.А. Магнитная индукция в воздушном зазоре вентильного двигателя / М.А. Ваганов, А.А. Гарчук // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – № 8. – С. 68-74.

4. Обоснование показателя эффективности энергоснабжения дождевальнoй машины кругового действия / Д.А. Соловьев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (87). – С. 158-163. – EDN JFUOPR.

5. Бычков, М.Г. Оптимизация режимов вентильно-индукторного электропривода средствами управления / М.Г. Бычков // Вестник МЭИ. – 1998. – № 3. – С. 73-81.

6. Оськин, В.С. Электрический привод : учебник для вузов / В.С. Оськин, Н.И. Богатырев. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 490 с.

7. Режимы и параметры электроприводов дождевальнoй машины кругового действия / Г.П. Ерошенко [и др.] // J. of Adv. Research in Dynamical & Control Systems. – 2018. – Vol. 10. – Special Issue.

© Бакиров С.М., Елисеев С.С., Курятников И.Ю., 2025

Научная статья
УДК 621.311

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ

Саяра Алтыбаевна Балтаева¹

¹Туркменский сельскохозяйственный институт, г. Дашогуз, Туркменистан

¹narmemedowa09@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена анализу развития электроэнергетики в Туркменистане, являющейся одной из ключевых отраслей национальной экономики. Рассматриваются основные достижения страны в этой сфере,

включая модернизацию инфраструктуры, развитие газотурбинных электростанций и использование природных ресурсов. Особое внимание уделяется государственным программам, направленным на внедрение инновационных технологий, повышение энергоэффективности и развитие возобновляемых источников энергии. Также анализируются международное сотрудничество Туркменистана в энергетической сфере и его роль в обеспечении устойчивого развития.

Ключевые слова: Туркменистан, электроэнергетика, газотурбинные электростанции, природный газ, устойчивое развитие, возобновляемые источники энергии, энергосбережение, международное сотрудничество, энергетическая дипломатия, национальная экономика.

Для цитирования: Балтаева, С.А. Развитие электроэнергетики в Туркменистане / С.А. Балтаева // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

DEVELOPMENT OF ELECTRIC POWER INDUSTRY IN TURKMENISTAN

Sayara A. Baltaeva¹

¹Turkmen Agricultural Institute, Dashoguz, Turkmenistan

¹narmemedowa09@gmail.com

Abstract. The article analyzes the development of the electric power industry in Turkmenistan, which is one of the key sectors of the national economy. The country's main achievements in this area are considered, including infrastructure modernization, development of gas turbine power plants and use of natural resources. Particular attention is paid to state programs aimed at introducing innovative technologies, increasing energy efficiency and developing renewable energy sources. Turkmenistan's international cooperation in the energy sector and its role in ensuring sustainable development are also analyzed.

Key words: Turkmenistan, electric power industry, gas turbine power plants, natural gas, sustainable development, renewable energy sources, energy saving, international cooperation, energy diplomacy, national economy.

For citation: Baltaeva, S.A. Development of the electric power industry in Turkmenistan / S.A. Baltaeva // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Туркменистан обладает огромным потенциалом в области электроэнергетики, что обусловлено его богатыми природными ресурсами и стратегически важным географическим положением. Динамичное развитие этой отрасли является неотъемлемой частью Национальной программы социально-

экономического развития Туркменистана на 2022-2052 годы, которая направлена на модернизацию экономики, внедрение инновационных технологий и повышение уровня индустриализации.

Основные достижения электроэнергетического сектора. Важной составляющей развития электроэнергетики является систематическое использование природных ресурсов страны. Туркменистан занимает четвертое место в мире по запасам природного газа, что создает значительные возможности для обеспечения энергией как внутреннего рынка, так и для экспорта. В частности, строительство и ввод в эксплуатацию современных газотурбинных электростанций в различных регионах страны обеспечили значительное увеличение мощностей энергосистемы.

Эти изменения способствовали:

- Полному обеспечению электричеством населения и промышленности.
- Увеличению экспортного потенциала, включая поставки электроэнергии в соседние страны, такие как Иран и Афганистан.
- Развитию экологически чистого производства энергии.

Особое внимание уделяется повышению эффективности энергосистемы и сокращению выбросов углерода. Так, использование природного газа как основного источника энергии позволяет значительно снизить выбросы углекислого газа в атмосферу по сравнению с углем или нефтепродуктами.

Ключевые программы и стратегии. В Туркменистане принимаются и реализуются масштабные программы для поддержки электроэнергетического сектора. Среди них:

- **Концепция развития цифровой экономики на 2019-2025 годы**, способствующая внедрению цифровых технологий в энергосистему.
- **Государственная программа энергосбережения на 2018-2024 годы**, направленная на повышение энергоэффективности.
- **Программа развития энергетической дипломатии на 2021-2025 годы**, способствующая укреплению международного сотрудничества в сфере энергетики.
- **Национальная стратегия развития возобновляемых источников энергии до 2030 года**, нацеленная на развитие «зеленой» энергетики.

Эти программы нацелены на глубокую модернизацию инфраструктуры, внедрение инновационных технологий и подготовку высококвалифицированных специалистов.

Международное сотрудничество. Энергетическая дипломатия играет важную роль в развитии электроэнергетики Туркменистана. Одним из крупнейших проектов является строительство международного газопровода Туркменистан–Афганистан–Пакистан–Индия (ТАПИ), который создаст новые возможности для экспорта энергии. Параллельно рассматривается возможность прокладки линий электропередачи вдоль маршрута ТАПИ, что обеспечит электроэнергией не только инфраструктуру самого газопровода, но и соседние страны.

Туркменистан активно сотрудничает с Международной энергетической хартией. В 2017 году страна стала председателем Международной конференции Энергетической хартии, что стало подтверждением ее растущего авторитета в области энергетики.

Внедрение инноваций и экологическая устойчивость. Важной частью стратегии развития электроэнергетики является переход на возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Туркменистан развивает солнечную и ветровую энергетику, что соответствует международным стандартам устойчивого развития. Также проводится работа по внедрению энергосберегающих технологий, которые позволяют снизить расходы и повысить эффективность производства.

Одним из примеров экологической инициативы является выпуск в стране неэтилового бензина, что значительно снижает вредное воздействие на окружающую среду. Эти шаги свидетельствуют о приверженности Туркменистана глобальным целям по борьбе с изменением климата.

Значение электроэнергетики для экономики. Энергетический сектор является ключевым драйвером роста национальной экономики Туркменистана. Модернизация электроэнергетики способствует:

- Увеличению мощностей промышленности.
- Укреплению экспортного потенциала страны.
- Улучшению качества жизни населения.

Современная система энергоснабжения обеспечивает стабильное функционирование предприятий, непрерывную работу промышленности и развитие инфраструктуры.

Заключение. Электроэнергетика Туркменистана демонстрирует высокие темпы роста, что обусловлено стратегическим подходом к развитию отрасли. Комплексные меры, направленные на модернизацию инфраструктуры, внедрение инновационных технологий и расширение международного сотрудничества, способствуют укреплению энергетической независимости страны и повышению ее авторитета на мировой арене.

Благодаря усилиям по сохранению экологического баланса и внедрению возобновляемых источников энергии Туркменистан уверенно движется к устойчивому развитию своей электроэнергетической системы.

Список источников

1. В Туркменистане активно развивается отрасль возобновляемых источников энергии Orient Link: <https://www.orient.tm/ru/post/66372/v-turkmenistane-aktivno-razvivaetsya-otrasl-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii>

2. Уникальный проект «зелёной» энергетики <https://turkmenistan.gov.tm/ru/post/60378/unikalnyj-proekt-zelyonoy-energetiki>

3. Голицын, М.В. «Альтернативные энергоносители» / М.В. Голицын, А.М. Голицын, Н.В. Пронина. «Альтернативные энергоносители» // Изд. Наука, Москва, 2004.

4. Gevorkian, P. «Альтернативные источники энергии в проектировании зданий» The McGraw-Hill Companies, 2009.

5. Международное энергетическое агентство (МЭА). «Показатели энергоэффективности: основы формирования политики» Изд. МЭА, 2014.

Научная статья
УДК 697.31

РАЗРАБОТКА ВОЗДУШНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА

Сергей Андреевич Батыров¹, Сергей Петрович Мерзлов²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. В статье рассматривается пример расчета системы теплоснабжения теплица в условиях Саратовской области.

Ключевые слова: система отопления, рациональное использование ресурсов, теплопередача, отопительное оборудование, отопительные системы, ГВС, микроклимат теплицы, комбинированное отопление, автоматизация, закрытый грунт.

Для цитирования: Батыров, С.А. Разработка воздушного теплоснабжения теплицы в условиях закрытого грунта / С.А. Батыров, С.П. Мерзлов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

DEVELOPMENT OF AN AIR HEAT SUPPLY SYSTEM FOR GREENHOUSES IN CLOSED GROUND CONDITIONS

Sergey Andreevich Batyrov¹, Sergey Petrovich Merzlov²

^{1,2}Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation. The article considers an example of calculating a greenhouse heat supply system in the Saratov region.

Keywords: heating system, rational use of resources, heat transfer, heating equipment, heating systems, hot water, greenhouse microclimate, combined heating, automation, indoor soil.

For citation: Batyrov, S.A. Development of air heat supply for greenhouses in closed ground conditions / S.A. Batyrov, S.P. Merzlov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Данное исследование направлено на разработку высокоэффективной системы отопления для теплиц, где выращиваются овощные культуры в условиях закрытого грунта. Основная цель данной

работы – создать микроклимат, наиболее способствующий росту и развитию растений. Для достижения поставленной задачи был проведен всесторонний анализ различных факторов, влияющих на функционирование отопительного оборудования и его способность обеспечивать энергоэффективную работу системы. В исследование вошел широкий набор переменных, определяющих потребление тепловой энергии в теплице. К ним, в первую очередь, относятся климатические условия, такие как температура воздуха, скорость ветра, уровень солнечной радиации и влажность.

Учитывая текущую ситуацию в международных отношениях, Россия в последние годы делает ставку на импортозамещение – внедрение собственных технологий вместо зарубежных. Сама по себе стратегия импортозамещения опирается на развитие всего производства, повышение качества производимого товара, внедрение передовых наукоёмких технологий. И это особенно актуально для страны, уровень производственных отраслей которой отстает от уровня государств, с которыми она экономически взаимодействует.

В суровой климатической зоне России тепличное производство сельскохозяйственной продукции играет стратегически важную роль. Рынок технологий для выращивания овощей в закрытом грунте стремительно быстро развивается.

Цель исследования – разработка и выбор оборудования для системы отопления теплицы при выращивании овощной продукции в закрытом грунте.

Материалы и методы. Качество продукции, производимой в России, достаточно высоко, при этом её стоимость значительно ниже зарубежной. Объём площадей закрытого грунта на сегодняшний день по федеральным округам (ФО) распределяется следующим образом:

- Приволжский ФО – 25,4%;
- Сибирский ФО – 24,8%;
- Центральный ФО – 17,5%;
- Уральский ФО – 8,6%;
- Северо-Кавказский и Южный ФО в сумме – 11,5%.

Государство выделяет выращивание овощей в закрытом грунте как стратегически важную задачу для развития экономики России. Так, согласно Государственной программе развития сельского хозяйства от 02 декабря 2023 г., предусмотрено возмещение до 20% затрат при строительстве и модернизации тепличных комплексов [1].

В то же время потребительский рынок тепличных овощей непрерывно растёт. Россия планирует увеличить производство овощей, выращенных в закрытом грунте, в 3,5 раза. Среди регионов Поволжья, которые благодаря своему мягкому климату идеально подходят для этого вида сельскохозяйственной деятельности, выделяют Саратовскую, Самарскую и Волгоградскую области.

Современные технологии выращивания овощей, рассады, цветов требуют постоянного поддержания определённого микроклимата в системах закрытого грунта – автоматизированных теплицах.

В основу работы современных систем управления микроклиматом положен принцип PI-контроля, при котором система управления стремится достичь стационарного состояния при помощи воздействия на управляющие элементы и измерения нестабильных величин (температура воздуха и почвы, относительная влажность, концентрация углекислого газа (CO₂), интенсивность освещения), но с учётом компенсации накопленных интегральных погрешностей.

При поддержании оптимального микроклимата в теплице для успешного развития овощных культур важным параметром является температура воздуха и почвы.

Расчёт потребления тепла для поддержания микроклимата.

Несмотря на огромное разнообразие тепличных конструкций и систем отопления, часто трудно найти идеальный вариант, который будет одновременно энергоэффективным и предоставит необходимые условия для выращивания овощей в защищённом грунте.

Поддержание требуемого температурного режима в теплице зависит как от особенностей её конструкции, способствующей естественному накоплению тепла, так и от мощности применяемого отопительного оборудования.

Расход тепла, необходимого для функционирования системы закрытого грунта, определяется по формуле:

$$Q = 1,1 \cdot L \cdot F \cdot K \cdot K_1 \cdot (t_1 - t_2) \text{ ккал/ч,} \quad (1)$$

где L – коэффициент ограждения, т.е. отношение поверхности ограждения сооружения к его площади, варьируется для разных видов конструкций от 1 до 2,5, по среднему значению 1,75; F – инвентарная мощность, м² – площадь, ограниченная проекцией бокового ограждения (полная площадь); K – коэффициент теплопередачи используемого покрытия; t_1 – температура внутри сооружения; t_2 – температура наружного воздуха; $K_1 = 1,25$ – коэффициент инфильтрации.

В настоящее время самыми популярными материалами для покрытия теплиц являются полиэтиленовая пленка, акрил, белый поликарбонат, агротекстиль и оргстекло.

Соответственно, при расчётах необходимо учитывать все варианты покрытия теплицы. Для удобства расчёта нужно взять среднюю величину коэффициента теплопередачи как 5,02 (теплопередача полиэтиленовой плёнки $K_{\min} = 4,1$, оргстекла $K_{\max} = 5,5$). Температура, поддерживаемая внутри теплицы, зависит от вида выращиваемых овощных культур. Для усреднения данных для вычислений была выбрана средняя температура $t_1 = 24^\circ\text{C}$ от рекомендуемой (18-30°C).

Результаты исследования. Для расчёта отопления системы закрытого грунта необходимо проследить изменение внешней температуры воздуха в течение года. На основании данных сайта «Погода и Климат» [2] были отобраны средние значения температуры воздуха в Саратовской области в каждом квартале за последние пять лет. Данные представлены в табл.

Таблица – Средняя температура в Саратовской области

Год	1 квартал, Q_1	2 квартал, Q_2	3 квартал, Q_3	4 квартал, Q_4
2019	– 2,8°C	+ 20,1°C	+ 24,9°C	+ 6,9°C
2020	– 3,1°C	+ 16,4°C	+ 24,2°C	+ 3°C
2021	– 5,6°C	+ 21,3°C	+ 23,8°C	+ 13,7°C
2022	+ 0,6°C	+ 19,6°C	+ 22°C	+ 4,7°C
2023	– 1,2°C	+ 19,6°C	+ 23,5°C	+ 2,5°C
Среднее значение	– 2,7°C	+ 19,4°C	+ 23,7°C	+ 6,2°C

$$Q_1 = 1,1 \cdot L \cdot F \cdot K \cdot K_1 \cdot (t_1 - t_2) = 1,1 \cdot 1,75 \cdot 8620 \cdot 5,02 \cdot 1,25 \cdot (26,7) = 2780 \text{ ккал/ч,}$$

$$Q_2 = 1,1 \cdot L \cdot F \cdot K \cdot K_1 \cdot (t_1 - t_2) = 1,1 \cdot 1,75 \cdot 8620 \cdot 5,02 \cdot 1,25 \cdot (4,6) = 478 \text{ ккал/ч,}$$

$$Q_3 = 1,1 \cdot L \cdot F \cdot K \cdot K_1 \cdot (t_1 - t_2) = 1,1 \cdot 1,75 \cdot 8620 \cdot 5,02 \cdot 1,25 \cdot (0,3) = 31 \text{ ккал/ч,}$$

$$Q_4 = 1,1 \cdot L \cdot F \cdot K \cdot K_1 \cdot (t_1 - t_2) = 1,1 \cdot 1,75 \cdot 8620 \cdot 5,02 \cdot 1,25 \cdot (17,8) = 1853 \text{ ккал/ч,}$$

Исходя из приведённых данных, можно вычислить примерное потребление тепла системой в течение года в каждом квартале: $Q_1 = 2780$ ккал/ч; $Q_2 = 478$ ккал/ч; $Q_3 = 31$ ккал/ч; $Q_4 = 1853$ ккал/ч.

Произведем расчёт воздушного отопления для теплицы шириной 180 м, длиной 90 м и высотой по боковой стороне – 2,5 м. Приблизительный объём такой теплицы равен 40 500 м³, площадь остекления: 16 200 м². Материал покрытия: стекло одинарное 3 мм. Целевая температура внутри теплицы: 25°C. Температура на улице (минимальная): -30°C.

Мощность рассчитывается по известной формуле:

$$Q = S_w \cdot K_{inf} \cdot \Delta t \cdot T_w, \quad (2)$$

где Q – рассчитываемая мощность обогрева, S_w – площадь остекления теплицы, K_{inf} – коэффициент инфильтрации, Δt – разность температур между требуемой внутри и минимальной снаружи, T_w – показатель теплопроводности материала остекления теплицы.

Таким образом получаем:

$$Q = 16\,200 \cdot 1,27 \cdot 55 \cdot 3,9 = 4\,413\,123 \text{ Вт или } 4\,413 \text{ кВт.}$$

Заключение. В ходе исследования был рассчитан воздушный расчет теплоснабжения теплицы и расчет тепловых нагрузок. При расчетах был проведен анализ определения тепловой мощности, коэффициентов теплопроводности, температуры окружающей среды и источника теплоты.

Список источников

1. Постановление Правительства РФ от 02.12.2023 № 2065 «О внесении изменений в Государственную программу развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2023–2030 годы» // URL: file:///C:/Users/user/Downloads/Gosprogramma_PP1421.pdf.

2. Средняя годовая температура в Саратовской области в течение года. Погода и климат // URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate.php?id=34178>.

3. Ильин, Ф.В. Теплоснабжение: теоретические основы и практика. – М.: УрГАУ, 2022. – 300 с.

4. Барашкова, Н.И. Теплоснабжение теплиц: технологии и оборудование. – М.: Аграрное образование, 2020. – 220 с.

© Батыров С.А., Мерзлов С.П., 2025

Научная статья
УДК 621.314

СПОСОБ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ СИЛИКАГЕЛЯ СИЛОВЫХ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

**Сергей Владимирович Бахтеев¹, Сергей Александрович Свиридонов²,
Михаил Владимирович Попов³**

^{1,3}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

²ПАО «Россети Волга», г. Саратов, Россия

¹s.v.bakhteev@yandex.ru

²sa.sviridonov@rossetivolga.ru

³mikhail_popov_7@mail.ru

Аннотация. В статье дана типовая схема электроснабжения районных потребительских подстанций, а также представлены статистические данные о парке трансформаторных подстанций. Отмечено, что одной из основных причин выхода из строя трансформаторов, эксплуатируемых в районах электрических сетей, является влажность изоляции. Авторами предложено описание устройства, позволяющего контролировать степень увлажнения силикагеля воздушного фильтра.

Ключевые слова: силикагель, дистанционный контроль влажности, силовой маслonaполненный трансформатор, причины отказов, увлажнение изоляции.

Для цитирования: Бахтеев, С.В. Способ контроля влажности силикагеля силовых маслonaполненных трансформаторов / С.В. Бахтеев, С.А. Свиридонов, М.В. Попов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

METHOD FOR MONITORING THE HUMIDITY OF SILICA GEL IN OIL-FILLED POWER TRANSFORMERS

**Sergey Vladimirovich Bakhteev¹, Sergey Alexandrovich Sviridonov²,
Mikhail Vladimirovich Popov³**

^{1,3}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²PAO Rosseti Volga, Saratov, Russia

¹s.v.bakhteev@yandex.ru

²sa.sviridonov@rossetivolga.ru

³mikhail_popov_7@mail.ru

Abstract: The article provides a typical power supply scheme for district consumer substations, and also presents statistical data on the fleet of transformer substations. It is noted that one of the main reasons for the failure of transformers operated in districts of electric networks is the humidity of the insulation. The authors offer a description of a device that allows monitoring the degree of humidification of the silica gel of the air filter.

Keywords: silica gel, remote humidity control, oil-filled power transformer, failure causes, insulation wetting.

For citation: Bakhteev, S.V. Method for monitoring the humidity of silica gel in oil-filled power transformers / S.V. Bakhteev, S.A. Sviridonov, M.V. Popov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Обслуживание трансформаторных подстанций требует значительных трудозатрат. Помимо проведения ремонтных работ необходимо своевременно контролировать состояние трансформатора для предупреждения внезапного выхода его из строя, что может представлять значительную сложность в силу количества подстанций, имеющихся в ведении у распределительной организации. Так по данным на 3 марта 2023 года, в электросетевой компании ПАО «Россети Волга» имелось 50428 трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ. Из них 10028 подстанций были расположены в Саратовской области [4].

Доля подстанций 10/0,4 кВ достигает порядка 90% от количества распределительных устройств более высокого класса напряжения в той же сети. Схема электроснабжения в районных электрических сетях обычно строится следующим образом: районная подстанция, с номинальной мощностью 6300 кВ·А, осуществляет питание 4-5 воздушных ЛЭП 10 кВ (средней длиной 20 км). На каждую ЛЭП 10 кВ подключено 10-20 трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ (средней мощностью 160 кВ·А), от которых отходят 3-4 ЛЭП 0,38 кВ (средней длиной 0,6 км) [1].

В силу своей удалённости трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ требуют больших затрат на обслуживание в сравнении с городскими подстанциями того же класса напряжения и имеют значительное количество ежегодных отказов: в среднем 10% от общего числа установленных выйдут из строя [1]. Выявить неисправности, не приводящие к немедленному выходу из строя подстанции, нередко возможно только при непосредственном контроле.

Методы и материалы. Причины отказов можно условно разделить на независимые от состояния трансформаторной подстанции и зависимые от неё. К первым можно отнести отказы вследствие грозových перенапряжений, перегрузок, перенапряжений и коротких замыканий в сети. Их доля составляет

38,3% от общего количества отказов. Вторые представляют собой неисправности, накопленные длительной эксплуатацией самим устройством. Это сниженное сопротивление изоляции, приводящее к 49,7% отказов и повышенная влажность трансформаторного масла, которая обнаруживается при проведении лабораторного анализа его проб и служит причиной отказа в 12,0% случаев [1].

Важно отметить, что увлажнение изоляции трансформатора является наиболее распространённой причиной понижения её сопротивления [2]. Вода образуется в бумажной изоляции в результате химического разложения целлюлозы при высокой температуре, но её содержание и влияние на сопротивление незначительно по сравнению с воздействием на масло влаги попадающей в трансформатор извне через нарушения в резиновых уплотнителях расширительного бака или поступающей сквозь неисправный силикагелевый воздухоосушитель. Наибольшую опасность представляют собой свободные капли воды, образующиеся в трансформаторном масле при его полном насыщении влагой. Они способны выстраиваться вдоль силовых линий электрического поля, что приводит к резкому падению сопротивления изоляции и её пробой [3].

Основным препятствием на пути проникновения влаги в трансформатор является силикагелевый фильтр воздуха. При охлаждении трансформатора уровень масла в его расширительном баке падает и давление воздуха внутри него снижается. Это приводит к дополнительному забору воздуха из атмосферы через масляный затвор фильтра, где происходит его предварительная очистка от пыли и мелких частиц. Далее он проходит через силикагелевый патрон и осушается. При повышении температуры воздух выталкивается из бака через фильтр тем же путём.

Степень увлажнения контролируют визуально по изменению цвета индикаторного силикагеля, расположенного в нижней части фильтра, с голубого (сухой) на розовый (увлажнённый). Срок службы силикагеля варьируется от 1 до 2 лет. Масло в затворе рекомендуют менять реже: через 2-3 года [1].

Своевременная замена силикагеля предотвращает пробой изоляции трансформатора. Но для сельских подстанций её выполнение затруднено: как было сказано ранее они расположены на значительном удалении, поэтому проверка подстанции выполняется с заранее выбранным временным интервалом. Так состояние фильтра и самого трансформатора остаётся неизвестным до следующего посещения трансформаторной подстанции.

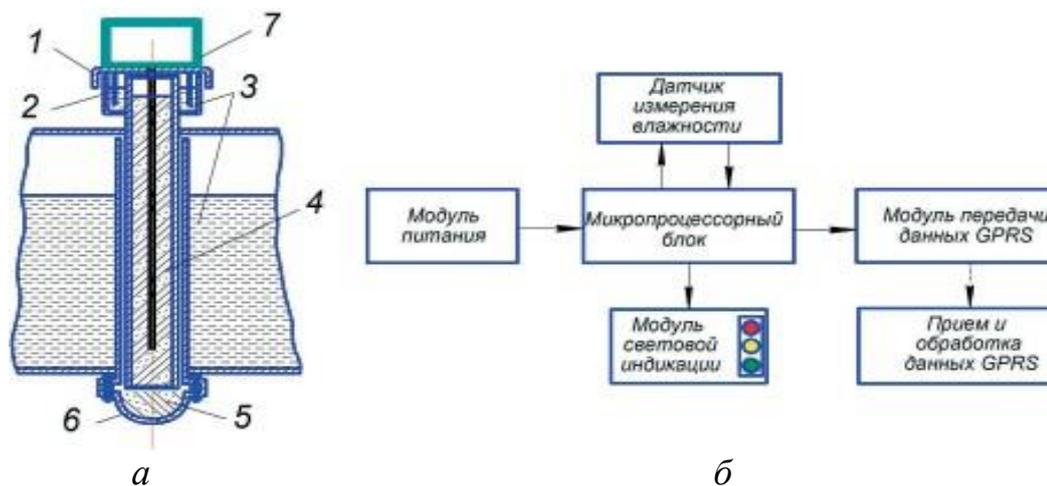


Рисунок – Устройство контроля влажности силикагеля силовых маслонаполненных трансформаторов: *а* – размещение датчика влажности на расширительном баке; *б* – блок-схема работы устройства; 1 – крышка; 2 – затвор; 3 – трансформаторное масло; 4 – гранулированный силикагель; 5 – индикаторный силикагель; 6 – прозрачный колпак; 7 – датчик влажности

Обсуждение. Для облегчения этой работы рекомендуется применить разработанное устройство контроля влажности силикагеля (рис.). Устройство может состоять из следующих компонентов: микропроцессорный блок (например: Arduino Nano), датчик влажности, модуль передачи данных GPRS (например: Neoway M660), модуль световой индикации (MT-16S2H) [3]. Датчик влажности (например: DHT 22), устанавливается в конце пути, проходимого воздухом, поступающим снаружи через силикагель. Данные об относительной влажности силикагеля позволяют судить о степени его насыщения влагой. Эти данные получает микропроцессор, согласно заложенной программе, анализирует и передаёт по мобильной сети GPRS диспетчеру. Помимо показаний влажности воздуха, датчик DHT 22 способен измерять его температуру, что позволяет косвенно судить о нагрузке трансформатора если предварительно известна температура окружающей среды. Световой индикатор по типу «светофор» отображает в каком интервале находится текущее значение влажности воздуха в баке (менее 40% – зелёный, от 40% до 80% – жёлтый, более 80% – красный) [3] и является необязательным, поскольку имеется индикаторный силикагель. Питание схемы возможно осуществить через аккумуляторную батарею с выходным напряжением 5 В, но для длительной автономной работы необходимо предусмотреть возможность её зарядки с помощью солнечных панелей или через преобразователь напряжения и выпрямитель со стороны выходов низкого напряжения трансформаторной подстанции.

Заключение. Предложенное решение позволит своевременно предупредить о повышении влажности силикагеля воздушного фильтра и даст возможность дистанционно принять решение о его замене, сокращая дальнейшее увлажнение изоляции трансформатора.

Список литературы

1. Трушкин, В.А. Дистанционный контроль влажности силикагеля маслонаполненных трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ, эксплуатируемых

в сельских электрических сетях / В.А. Трушкин, С.В. Шлюпиков, С.А. Кифарак, А.Р. Россошанский // Аграрный научный журнал. – Саратов, 2017. – №9, С. 65-67.

2. Трушкин, В.А. Необходимость повышения эксплуатационной надёжности трансформаторных подстанций / В.А. Трушкин, С.В. Шлюпиков, С.А. Кифарак // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. под ред. В.А. Трушкина. – Саратов, 2015. – С. 295-297.

3. Трушкин, В.А. Дистанционный контроль влажности силикагеля маслonaполненных трансформаторов / В.А. Трушкин, С.В. Шлюпиков, И.А. Кичатов, С.А. Стружко // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. под ред. В.А. Трушкина. – Саратов, 2018. – С. 214-217.

© Бахтеев С.В., Свиридонов С.А., Попов М.В., 2025

Научная статья
УДК 621.311

АВТОНОМНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬ ДЛЯ ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА

Светлана Николаевна Бутузова¹, Алина Максимовна Никитина²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. В статье рассматривается автономный солнечный водонагреватель с выработкой тепловой энергии для подогрева воды в теплице, с использованием энергии солнца.

Ключевые слова: солнечный водонагреватель, теплица, подогрев воды, тепловая энергия, энергия солнца.

Для цитирования: Бутузова, С.Н. Автономный солнечный водонагреватель для тепличного комплекса / С.Н. Бутузова, А.М. Никитина // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

AUTONOMOUS SOLAR WATER HEATER FOR A GREENHOUSE COMPLEX

Svetlana Nikolaevna Butuzova¹, Alina Maximovna Nikitina²

^{1,2}Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering named after

Annotation. The article discusses an autonomous solar water heater with thermal energy generation for heating water in a greenhouse using solar energy.

Keywords: solar water heater, greenhouse, water heating, thermal energy, solar energy.

For citation: Butuzova, S.N. Autonomous solar water heater for a greenhouse complex / S.N. Butuzova, A.M. Nikitina // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Одним из актуальных направлений совершенствования энергообеспечения в агропромышленном комплексе является применение альтернативной энергетики с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1].

Потребители альтернативной энергии в своем большинстве уникальны, в зависимости многообразия систем энергоснабжения, климатических условий и способа производства энергии. В настоящее время активно развиваются и находят широкое применение системы преобразования солнечной энергии как в электрическую, так и тепловую энергию, разработка таких систем является наиболее перспективным. Потенциал солнечной энергетики огромный, в России составляет свыше 2000 млрд тонн условного топлива в год. Основное применение системы по преобразованию солнечной энергии в тепло является горячее водоснабжение и отопление.

Солнечная энергия может использоваться в сочетании с традиционными системами отопления и горячего водоснабжения. При малом потоке солнечного света, например, в зимний период, комбинированная система отопления обеспечивает тепловой комфорт [2].

В сельскохозяйственной отрасли на сегодняшний день динамично развивается тепличное промышленное производство. Поэтому любые исследования и технологические проекты, направленные на повышение эффективности производства продукции в тепличных комплексах, снижение энергопотребления являются актуальными задачами, требующими разнообразных решений. Теплица – это объект, из светопропускающего материала для выращивания овощных культур и рассады и т.д. [4]

Цель исследования – провести анализ возможного применения системы горячего водоснабжения для сельскохозяйственной теплицы с использованием солнечных коллекторов.

Методика исследования. На основании анализа опубликованных материалов по теме использования солнечных коллекторов, предлагается для подогрева воды в теплице применить простую автономную систему ГВС с использованием солнечного коллектора, бака-аккумулятора и насоса (рис. 1).

Результаты исследования. Главным элементом водонагревательной установки является солнечный коллектор. Зачастую используются плоские

коллекторы, состоящие из пластины поглотителя, на котором солнечная радиация превращается в тепло и передается жидкости-теплоносителю [3]. Солнечные коллекторы, как правило, устанавливаются на крыше здания. Для тепличного комплекса предлагается установить солнечный коллектор непосредственно в теплице, так как теплица преобладает большой площадью светопрозрачных поверхностей, что позволит использовать солнечную энергию не только для процесса фотосинтеза. На рис. 2 представлен блок теплицы, остекление выполнено по периметру.

Оптимальный размер солнечных коллекторов зависит от потребности в горячей воде. Чем больше солнечная инсоляция, тем больше тепловой энергии выработает коллектор.

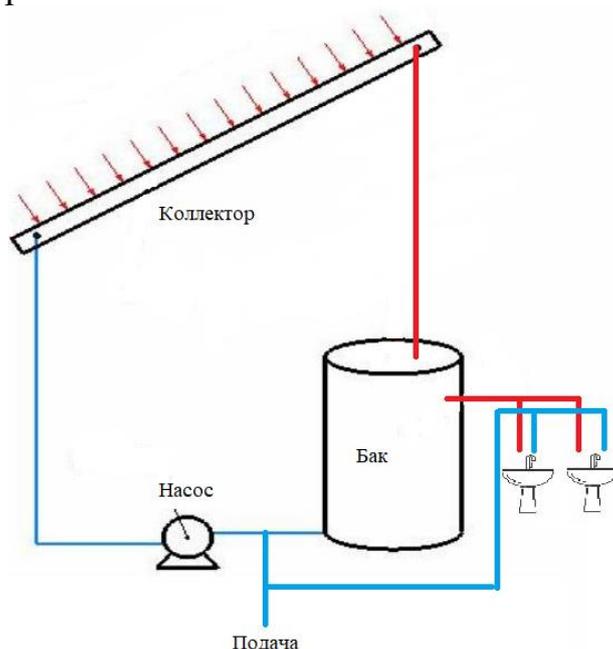


Рисунок 1 – Схема автономной системы ГВС от солнечного коллектора

К преимуществам применения гелиосистем можно отнести:

- снижение расхода потребления ГВС от тепловых сетей, а в дальнейшем и возможность отказа от применения, централизованного ГВС так как систему из солнечных коллекторов в любое время можно нарастить до нужного уровня мощности благодаря модульному типу соединения;
- отсутствие потерь теплоты при транспортировании тепловой энергии за счет непосредственного расположения системы на объекте.

При среднестатистическом КПД солнечных коллекторов, который можно принять за 70%, можно определить выработку тепла по формуле:

$$Q = \eta \cdot q_i$$

где η – КПД коллектора, %; q_i – солнечная радиация на горизонтальную поверхность, МДж/м².



Рисунок 2 – Блок теплицы

Заключение. На рынке производителей представлен широкий выбор солнечных водонагревателей с различными характеристиками и назначением.

Для оценки эффективности работы солнечного коллектора внутри тепличного блока в зимний период необходимо провести экспериментальные исследования солнечного коллектора.

Список источников

1. Верзилин, А.А. Автономное энергоснабжение / А.А. Верзилин, М.В. Зайцева // «Актуальные проблемы энергетики АПК» Материалы VII международной научно-практической конференции. Под ред. В.А. Трушкина. – Саратов:, 2016. С. 24-27.

2. Стрельников, В.А. Применение гелиосистем для обеспечения горячего водоснабжения жилых и сельскохозяйственных зданий / В.А. Стрельников, И.О. Швец // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 2. – С. 64-68.

3. Стрельников, В.А. Расчет солнечного коллектора для горячего водоснабжения частного дома / В.А. Стрельников, С.П. Костин // Актуальные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: материалы VII очной Международной научно-практической конференции, Саратов, 15-16 марта 2018 года / Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2018. – С. 276-279.

4. Юдаев, И.В. Автономная теплица, функционирующая на возобновляемых энергоресурсах / И.В. Юдаев, М.Ю. Попов, Р.В. Попова // Вестник аграрной науки Дона. 2020. №1 (49).

© Бутузова С.Н., Никитина А.М., 2025

РОБОТИЗИРОВАННАЯ ТЕПЛИЦА ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Владимир Викторович Васильев¹, Дмитрий Николаевич Афоничев²

^{1,2}Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

¹vasiliev.vladimir87@mail.ru

Аннотация. Предложена роботизированная теплица, предназначенная для выращивания овощей и фруктов по технологии вертикального земледелия. Теплица имеет многоэтажное исполнение. По углам теплицы со стороны продольных транспортеров в проемах перекрытий вертикально установлены закрытый подающий спиральный транспортер и закрытый принимающий спиральный транспортер, где по подающему спиральному транспортеру коробка из склада вспомогательных материалов подаются на заданный этаж, а по принимающему спиральному транспортеру коробка с продукцией подаются на склад.

Ключевые слова: вертикальное земледелие, роботизированная теплица, этаж, перекрытие, робот, транспортер, короб, сбор урожая.

Для цитирования: Васильев, В.В. Роботизированная теплица для вертикального земледелия / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ROBOTIC GREENHOUSE FOR VERTICAL FARMING

Vasiliev Vladimir Viktorovich¹, Afonichev Dmitry Nikolaevich²

^{1,2}Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

¹vasiliev.vladimir87@mail.ru

Annotation. A robotic greenhouse designed for growing vegetables and fruits using vertical farming technology has been proposed. The greenhouse has a multi-storey design. At the corners of the greenhouse, on the side of the longitudinal conveyors, a closed spiral conveyor and a closed spiral conveyor are vertically installed in the floor openings, where boxes from the auxiliary materials warehouse are fed to a given floor via a spiral conveyor, and boxes with products are fed to the warehouse via a receiving spiral conveyor.

Keywords: vertical farming, robotic greenhouse, floor, ceiling, robot, conveyor, box, harvesting.

For citation: Vasiliev, V.V. Robotic greenhouse for vertical agriculture / V.V. Vasiliev, D.N. Afonichev // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Выращивание овощей и фруктов в защищенном грунте является перспективным и высокотехнологичным направлением развития мирового сельского хозяйства. Выращивание овощей и фруктов в защищенном грунте по технологии вертикального земледелия в настоящее время набирает популярность в таких странах как Китай, Япония, Германия, США и т.д. [1, 2, 3, 4, 5].

Материалы и методы. Технология вертикального земледелия требует строительства многоэтажных теплиц с высоким уровнем автоматизации. Конструкции многоэтажных теплиц должны иметь высокую прочность при воздействии на них внешних и внутренних нагрузок, защищать произрастающие растения от воздействий внешней среды, максимально использовать полезную площадь и создавать условия для благоприятной вегетации выращиваемых растений.

Результаты исследования. Проведенный анализ известных конструкций тепличных комплексов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] показал, что конструктивные особенности теплиц в большей степени не предназначены для вертикального земледелия и не обеспечивают возможности использования роботов для выполнения трудоемких циклических работ. Таким образом, учитывая выявленные недостатки существующих конструкций теплиц, была разработана роботизированная теплица, предназначенная для вертикального земледелия, которая представлена на рис. 1-5.

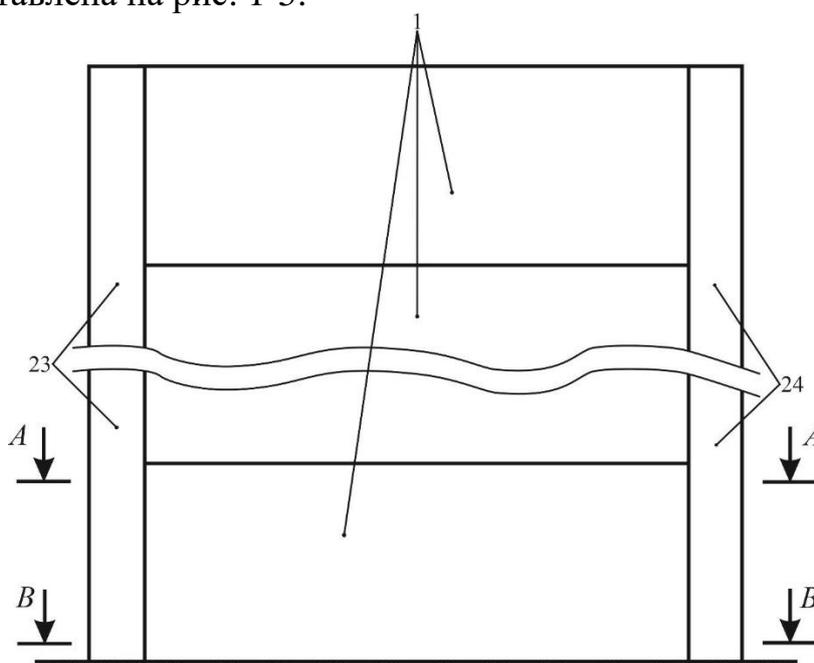


Рисунок 1 – Роботизированная теплица (вид сбоку)

Роботизированная теплица [9] включает несколько этажей 1. Каждый этаж 1 содержит основание 2, где вдоль длинных сторон размещены ряды вертикальных опор 3, которые параллельны друг другу. Перекрытие нижнего этажа 1 является основанием верхнего этажа 1. Сверху рядов вертикальных опор 3 уложены двутавровые продольные балки 4, таким образом, что нижние полки 5 двутавровых продольных балок 4 опираются на вертикальные опоры 3, а верхние полки 6 двутавровых продольных балок 4, дополнительно оснащенные с нижней стороны зубчатыми рейками 7, находятся на одном уровне. На верхние полки 6 двутавровых продольных балок 4 на роликах 8 установлены опорные тележки 9, которые оснащены кронштейнами 10. К кронштейнам 10 закреплены серводвигатели 11, оснащенные зубчатыми колесами 12, которые входят в зацепление с зубчатыми рейками 7. Опорные тележки 9 соединены между собой ограничителями 13 и ходовым винтом 14, который приводится в движение серводвигателем 15.

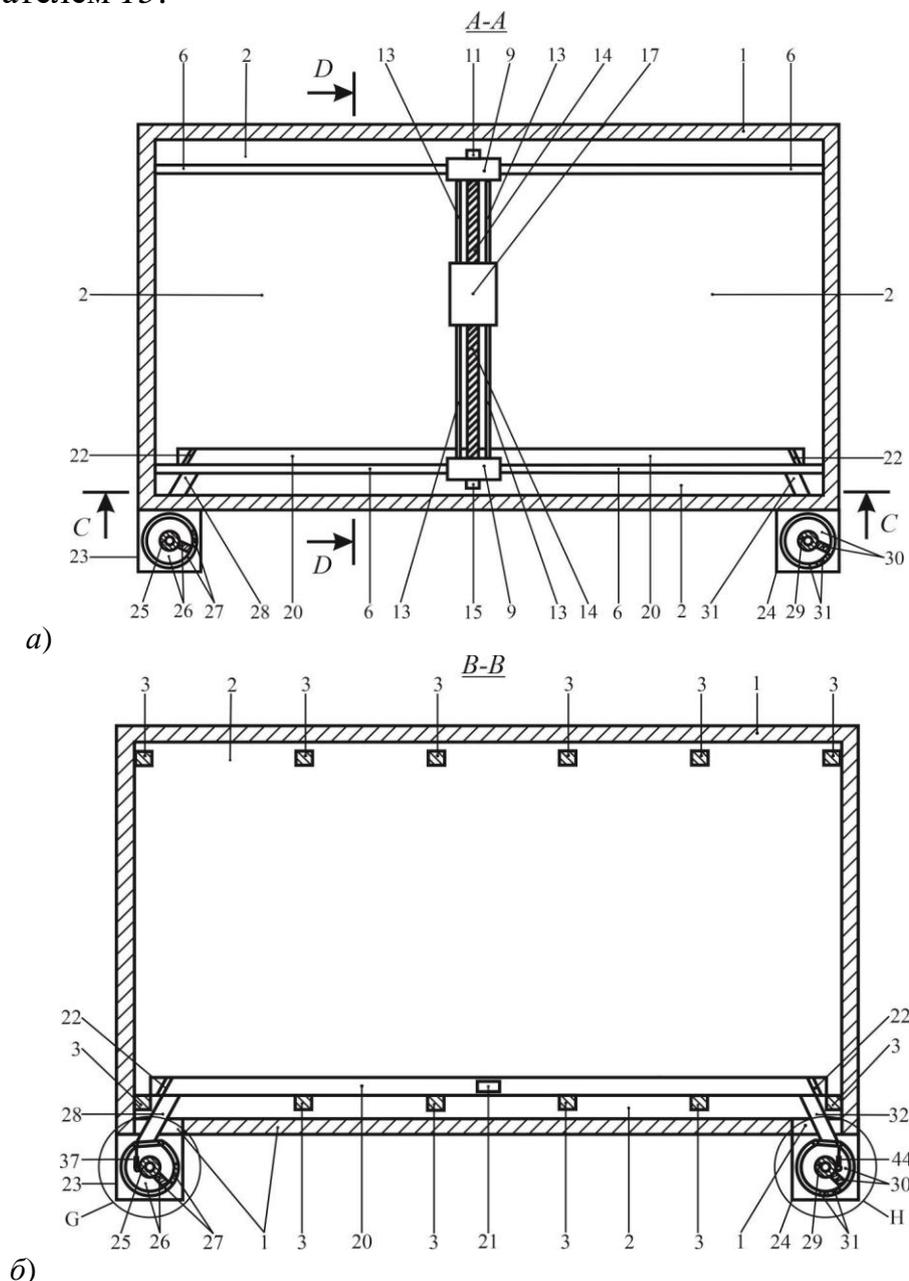
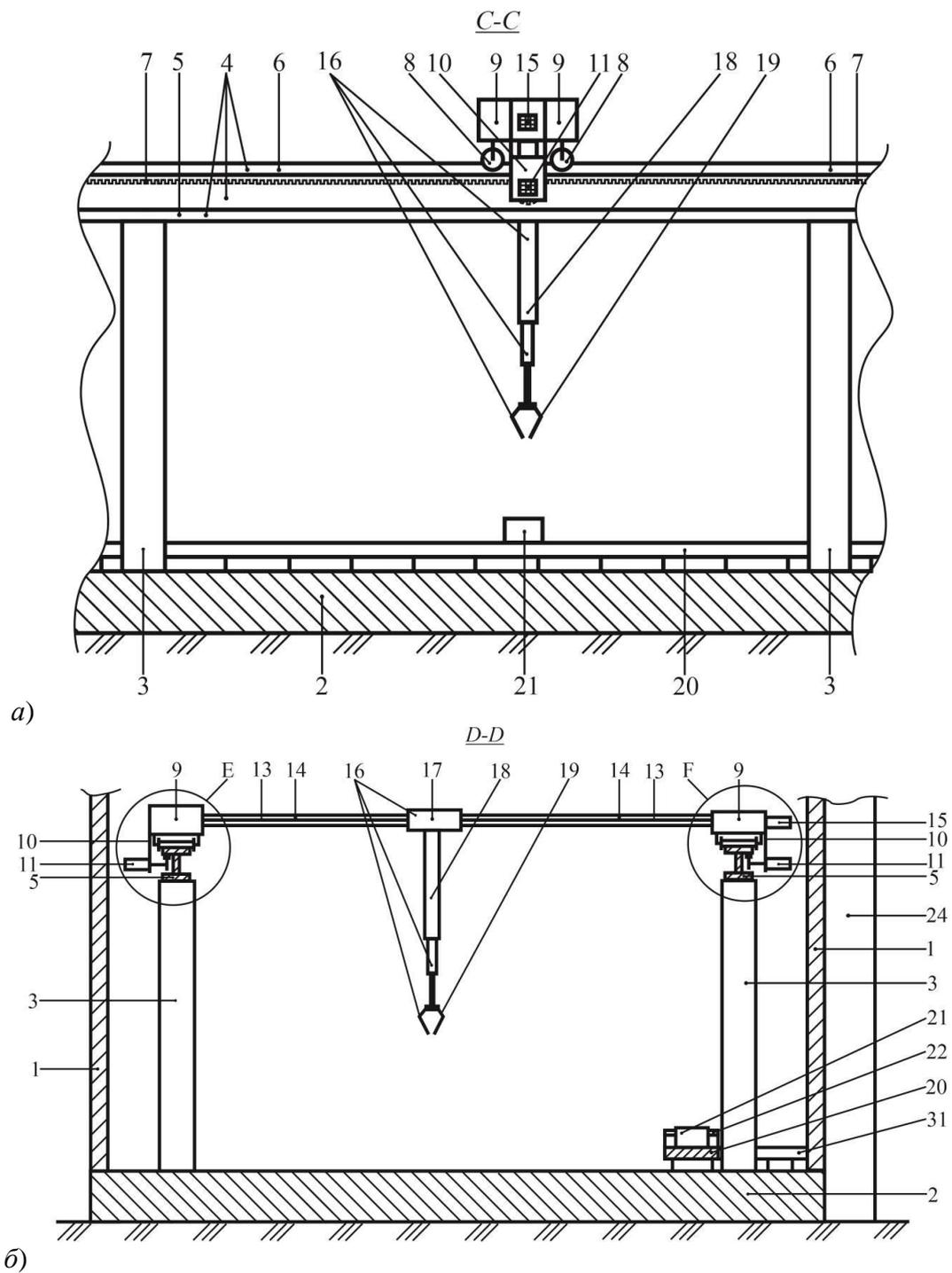


Рисунок 2 – Роботизированная теплица: а) – разрез А-А на рис. 1; б) – разрез В-В на рис. 1



a)

б)

Рисунок 3 – Роботизированная теплица: а) – разрез C–C на рис. 2а;
 б) – разрез D–D на рис. 2а

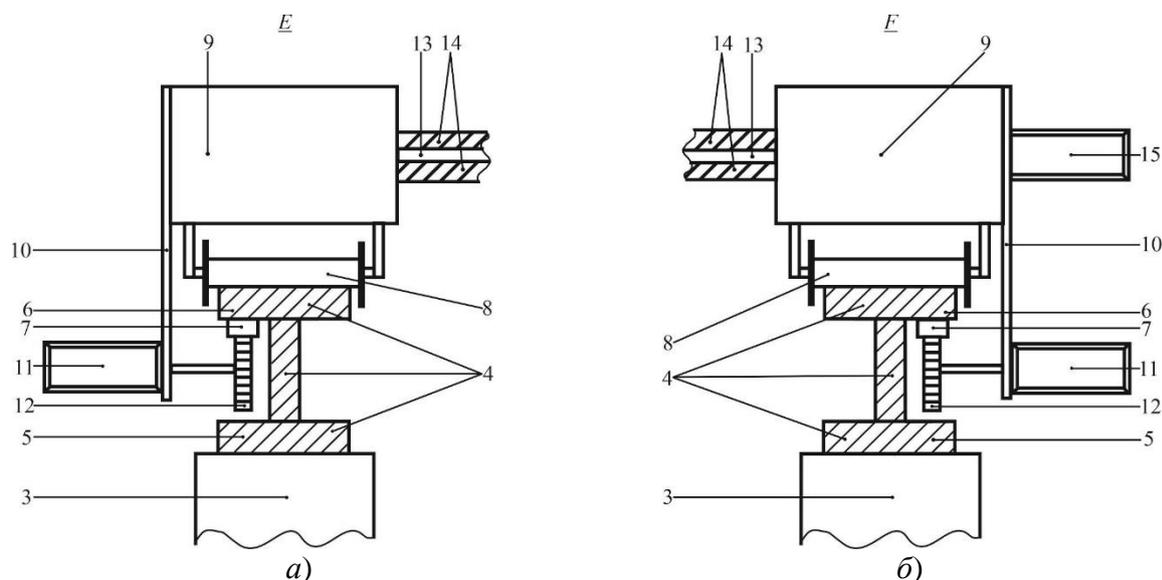


Рисунок 4 – Роботизированная теплица:
 а) – узел E на рис. 3б; б) – узел F на рис. 3б

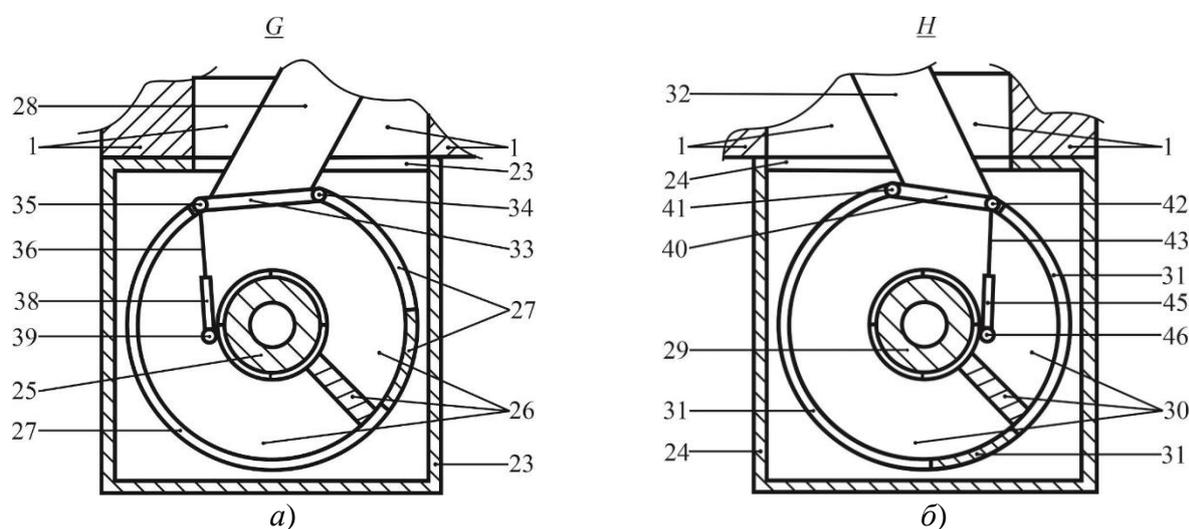


Рисунок 5 – Роботизированная теплица:
 а) – узел G на рис. 2б; б) – узел H на рис. 2б

Робот 16 включает в себя подвижную платформу 17, через которую проходят ограничители 13 и ходовой винт 14. К подвижной платформе 17 в вертикальном положении закреплена электрическая телескопическая штанга 18, направленная вниз и оснащенная на конце захватывающим устройством 19. На основании 2 теплицы со стороны одного ряда вертикальных опор 3 размещен продольный транспортер 20 для подачи короба 21 к роботу 16. Продольный транспортер 20 по краям дополнительно снабжен направляющими 22. По углам роботизированной теплицы со стороны продольных транспортеров 20 в проемах перекрытий вертикально установлены закрытый подающий спиральный транспортер 23 и закрытый принимающий спиральный транспортер 24. Закрытый подающий спиральный транспортер 23, включающий в себя вертикальную трубчатую опору 25, транспортерную спираль 26 и спиральную направляющую 27, соединен с продольными транспортерами 20 подающими

промежуточными транспортерами 28. Закрытый принимающий спиральный транспортер 24, состоящий из вертикальной трубчатой опоры 29, транспортерной спирали 30 и спиральной направляющей 31, соединен с продольными транспортерами 20 принимающими промежуточными транспортерами 32. Место соединения закрытого подающего спирального транспортера 23 с подающими промежуточными транспортерами 28, имеющее разрыв в спиральной направляющей 27 длиной равной ширине подающего промежуточного транспортера 28, оснащено направляющими рейками 33, каждая из которых одним концом через шарнир 34 закреплена за спиральную направляющую 27, а другим концом шарниром 35 соединена со штоком 36 пневмоцилиндра 37, гильза 38 которого шарниром 39 закреплена за вертикальную трубчатую опору 25. Место соединения закрытого принимающего спирального транспорта 24 с принимающими промежуточными транспортерами 32, имеющее разрыв в спиральной направляющей 31 длиной равной ширине принимающего промежуточного транспортера 32, оснащено направляющими рейками 40, каждая из которых одним концом через шарнир 41 закреплена за спиральную направляющую 31, а другим концом шарниром 42 соединена со штоком 43 пневмоцилиндра 44, гильза 45 которого шарниром 46 закреплена за вертикальную трубчатую опору 29.

Роботизированная теплица при сборе урожая работает следующим образом. Из склада вспомогательного материала (на рисунках не показан) короб 21 по закрытому подающему спиральному транспортеру 23 по транспортерной спирали 26 поднимается вверх до заданного этажа 1 [9]. При достижении коробом 21 заданного этажа 1 оператор подает сигнал устройству управления (на рисунках не показано) пневмоцилиндра 37. Шток 36 втягивается в гильзу 38, направляющая рейка 33 за счет шарниров 34, 35, 39 поворачивается в сторону вертикальной трубчатой опоры 25 и перекрывает транспортерную спираль 26. Короб 21 контактируя с направляющей рейкой 33 разворачивается по направлению подающего промежуточного транспортера 28. В результате этого короб 21 перемещается на подающий промежуточный транспортер 26, где по нему движется к продольному транспортеру 20. Затем направляющая рейка 33 путем выдвижения штока 36 из гильзы 38 пневмоцилиндра 37 устанавливается в исходное положение, а транспортерная спираль 26 становится свободной для движения по ней других коробов 21. При достижении коробом 21 продольного транспортера 20, короб 21 взаимодействует с направляющей 22. В результате этого короб 21 переходит на продольный транспортер 20 и подается к роботу 16 со стороны захватывающего устройства 19. Устройством распознавания изображения (на рисунках не показано) определяется конкретное место расположения объекта урожая. Затем серводвигателями 11 и серводвигателем 15 осуществляются соответственно продольное и поперечное перемещения робота 16 к месту расположения объекта урожая. Определенное место расположения объекта урожая с помощью устройства распознавания изображения (на рисунках не показано) передается блоку управления робота (на рисунках не показан) в виде координат. Блок управления роботом (на рисунках не показан) запускает в работу серводвигателя 11, в результате этого зубчатые колеса 12, которые входят

в зацепление с зубчатыми рейками 7, начинают вращаться, что приводит в движение опорные тележки 9. Опорные тележки 9 на роликах 8 начинают перемещаться по двутавровым продольным балкам 4, где вместе с ними вдоль основания 2 теплицы перемещаются ограничители 13 и ходовые винты 14, на которые подвешен робот 16, до момента установки робота 16 напротив места расположения объекта урожая. Одновременно с этим серводвигателем 15 ходовой винт 14 приводится во вращение, в результате этого при взаимодействии резьбовых отверстий ходового винта 14 и подвижной платформы 17 подвижная платформа 17 начинает перемещаться вдоль ограничителей 13 до момента установки робота 16 над объектом урожая. Таким образом, на основании переданных координат робот 16 перемещается к месту расположения объекта урожая и фиксируется в заданном положении над объектом урожая. После этого посредством электрической телескопической штанги 18 захватывающее устройство 19 с открытыми рычагами наводится на объект урожая, где четыре рычага складываются, и объект урожая захватывается с последующим его отделением от растения. Затем электрическая телескопическая штанга 18 складывается. В результате этого захватывающее устройство 19 с объектом урожая поднимаются на требуемую высоту. Одновременно с этим в работу включаются серводвигатели 11 и серводвигатель 15, которые на основании полученных данных от блока управления роботом (на рисунках не показан) о месте расположения короба 21, устанавливают робот 16 над коробом 21 аналогичным способом как устанавливался робот 16 над объектом урожая. Зафиксировав робота 16 над коробом 21 электрическая телескопическая штанга 18 опускает захватывающее устройство 19 до контакта объекта урожая с твердой поверхностью в коробе 21. В результате этого объект урожая укладывается в короб 21, а рычаги захватывающего устройства 19 открываются. Уложив объект урожая в короб 21 электрической телескопической штангой 18 захватывающее устройство 19 с открытыми рычагами поднимаются на требуемую высоту. В последующем роботу 16 от блока управления роботом (на рисунках не показан), который получил информацию от устройства распознавания изображения (на рисунках не показано), передаются данные о месте расположения следующих объектов урожая. На основании полученных координат установка робота 16 над местом расположения объекта урожая, сбор объекта урожая роботом 16, установка робота 16 над коробом 21 и укладка объекта урожая в короб 21 выполняются аналогично описанному выше.

После заполнения короба 21 объектами урожая (продукцией) продольный транспортер 20 перемещает короб 21 с продукцией до принимающего промежуточного транспортера 32. При взаимодействии короба 21 с направляющей 22, он перемещается на принимающий промежуточный транспортер 32, по которому поступает к закрытому принимающему спиральному транспортеру 24. Предварительно оператор подает сигнал устройству управления (на рисунках не показано) пневмоцилиндра 44. Происходит втягивание штока 43 в гильзу 45 пневмоцилиндра 44, направляющая рейка 40 за счет шарниров 41, 42, 46 поворачивается в сторону вертикальной трубчатой опоры 29 и перекрывает транспортерную спираль 30. При достижении

коробом 21 принимающего спирального транспортера 24, он взаимодействует с направляющей рейкой 40 и разворачиваются по направлению движения транспортерной спирали 30. После этого направляющая рейка 40 выдвиганием штока 43 из гильзы 45 пневмоцилиндра 44 устанавливается в исходное положение, а транспортерная спираль 30 становится свободной для движения по ней других коробов 21. Закрытый принимающий спиральный транспортер 24 отправляет короб 21 с продукцией на склад продукции (на рисунках не показан).

Заключение. Применение предложенной роботизированной теплицы даст возможность выращивать овощи и фрукты в защищенном грунте по технологии вертикального земледелия с высоким уровнем роботизации технологического процесса.

Список источников

1. Grant, J.C. Vertical farming: a practical guide to sustainable agriculture in the 21st century / J.C. Grant. 2022. – 155 p.
2. Kozai, T. Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production / T. Kozai, G. Niu, M. Takagaki. – Academic Pr, 2019. – 484 p.
3. Kozai, T. Smart plant factory: the next generation indoor vertical farms / T. Kozai. – Springer, 2018. – 222 p.
4. The vertical farm: scientific advances and technological developments / Al-Kodmany K. e [outros]. – New York: Picador, 2024. – 229 p.
5. Optimal control of greenhouse cultivation / Straten G.V. e [outros]. – CRC Press, 2010. – 318 p.
6. Васильев, В.В. Автоматизация процесса выращивания овощей и фруктов в защищенном грунте / В.В. Васильев, И.И. Аксенов // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов; г. Воронеж, 9-10 ноября 2023 года. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2023. – Ч. II. – С. 33-39.
7. Васильев, В.В. Усовершенствованная роботизированная теплица / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции; г. Воронеж, 6 июня 2024 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2024. – С. 82-87.
8. Васильев, В.В. Увеличение продольного хода робота в теплице / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев // Цифровизация агропромышленного комплекса: материалы IV международной научно-практической конференции в 3-х т. Т. II; г. Тамбов, 23–25 октября 2024. – Тамбов: ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2024. – С. 206-208.
9. Патент 2830888 РФ, МПК А 01 G 9/14. Роботизированная теплица / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2024124576; заявл. 23.08.2024; опубл. 26.11.2024, бюл. № 33. – 15 с.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЦЕЛЯХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Андрей Александрович Верзилин¹, Юлия Викторовна Иванкина²,
Иван Александрович Кузнецов³, Анастасия Александровна Богомолова⁴,
Семен Дмитриевич Россошанский⁵

^{1,2,3,4,5}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹verzilin-a@mail.ru

²lexsi2007@yandex.ru

Аннотация: В статье рассмотрены технологии применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для диагностики линий электропередач. Приведен анализ достоинств и недостатков этого метода, описаны применяемые технологии, показатели эффективности, а также примеры их продуктивного внедрения.

Ключевые слова: БПЛА, диагностика, линии электропередач, инфракрасная съёмка, обработка данных.

Для цитирования: Верзилин, А.А. Применение беспилотных летательных аппаратов в целях диагностирования линий электропередач / А.А. Верзилин, Ю.В. Иванкина, И.А. Кузнецов, А.А. Богомолова, С.Д. Россошанский // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR THE PURPOSE OF DIAGNOSING POWER TRANSMISSION LINES

Andrey Alexandrovich Verzilin¹, Yulia Viktorovna Ivankina²,
Ivan Alexandrovich Kuznetsov³, Anastasia Alexandrovna Bogomolova⁴,
Semyon Dmitrievich Rossoshansky⁵

^{1,2,3,4,5}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named
after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

¹verzilin-a@mail.ru

²lexsi2007@yandex.ru

Annotation. The article discusses technologies for the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for the diagnosis of power transmission lines. The advantages and disadvantages of this method are analyzed, the technologies used, performance indicators, and examples of their productive implementation are described.

Keywords: UAVs, diagnostics, power lines, infrared imaging, data processing.

For citation: Verzilin, A.A. The use of unmanned aerial vehicles for the diagnosis of power transmission lines / A.A. Verzilin, Yu.V. Ivankina, I.A. Kuznetsov, A.A. Bogomolova, S.D. Rossoshansky // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Современное развитие энергосистем неотъемлемо связано с инновациями, оптимизирующими диагностику и обслуживание ключевых объектов. БПЛА становятся незаменимым инструментом для диагностирования линий электропередач, снижая риски аварий и повышая эффективность проведения обслуживания.

Материалы и методы. БПЛА с набором датчиков и камер (визуального и инфракрасного диапазонов) используются для обнаружения следующих неисправностей:

- Повреждение проводов (разрывы, замки);
- Определение нагрева узлов (используя тепловизоры);
- Наличие опасных веток и других препятствий в зоне рабочих проводов.

Для достижения максимальной эффективности используются алгоритмы обработки данных на основе машинного обучения. Например, системы компьютерного зрения способны автоматически классифицировать выявленные дефекты и предлагать приоритетность их устранения. БПЛА также могут оснащаться лидарными системами для создания 3D-моделей объектов диагностики.

Технологии обработки данных. Обработка данных, полученных с БПЛА, включает следующие этапы:

1. **Сбор данных:** Использование высококачественных камер и сенсоров позволяет получать данные высокого разрешения.

2. **Анализ данных:** Системы машинного обучения обучаются на больших массивах данных для автоматического обнаружения дефектов.

3. **Отчётность:** Создание визуализаций и отчётов для быстрого принятия решений. Например, использование 3D-моделей позволяет оценивать состояние линий электропередач в труднодоступных местах.

При использовании 3D-моделей можно точно определить степень повреждения и составить карту ремонта с указанием приоритетов.

Примеры внедрения.

1. **Проект «Россети»:** Использование БПЛА для мониторинга высоковольтных линий позволило компании снизить количество аварийных отключений на 25% за первый год эксплуатации.

2. **Опыт Inter RAO:** Применение дронов на объектах генерации позволило оптимизировать затраты на техническое обслуживание турбин и линий электропередач.

3. **Кейс «Сименс»:** Сочетание БПЛА с IoT-датчиками обеспечило мониторинг в реальном времени, что сократило время реакции на инциденты на 50%.

4. **Международный опыт:** В Японии применение дронов для мониторинга сейсмоопасных зон позволило минимизировать потери при повреждении линий электропередач.

Результаты исследования. Анализ показал, что внедрение БПЛА приводит к следующим улучшениям:

1. **Уменьшение времени обслуживания** на 40% по сравнению с классическими методами.

2. **Снижение совокупных затрат** на обслуживание на 30% благодаря предотвращению крупных аварий.

3. **Улучшение точности определения неисправностей** благодаря использованию инфракрасных камер и тепловизоров.

Пример расчёта эффективности: Если ежегодные затраты на обслуживание ЛЭП составляют 10 млн рублей, а внедрение БПЛА снижает эти затраты на 30%, то ежегодная экономия составит 3 млн рублей.

Графический анализ. Графики показывают сравнительные данные:

1. Время обслуживания до и после внедрения БПЛА.

2. Снижение количества неисправностей на 100 км линии.

3. Экономия затрат в зависимости от длины ЛЭП.

Дополнительные расчёты и прогнозы. При использовании БПЛА на объектах длиной 1000 км, среднегодовая экономия составляет около 30 млн рублей. Прогноз на 5 лет:

1. Экономия затрат на техническое обслуживание – 150 млн рублей.

2. Уменьшение риска аварий на 50%.

3. Увеличение срока службы оборудования на 10 лет за счёт регулярной диагностики.

Заключение. Внедрение БПЛА в процессы диагностики линий электропередач позволяет значительно повысить их надёжность, сократить эксплуатационные расходы и минимизировать риски аварий. Использование современных технологий, таких как ИИ и IoT, усиливает преимущества данных систем и делает их неотъемлемой частью энергосистем будущего. Несмотря на первоначальные затраты, данные технологии быстро окупаются за счёт экономии и повышения эффективности.

Список источников

1. Иванов, И.И. Использование БПЛА в энергетике / И.И. Иванов, П.П. Петров // Журнал «Энергосети». – 2020. – №3. – С. 45-52.

2. Смирнов, С.С. Тепловизионный контроль: новые подходы / С.С. Смирнов // «Диагностика ЛЭП». – 2021. – №7. – С. 22-28.

3. Сидоров, В.В. Преимущества БПЛА при мониторинге инфраструктуры / В.В. Сидоров, Д.Д. Кузнецов // «Технический прогресс». – 2019. – №5. – С. 34-40.

4. Siemens AG. Digital Enterprise Services: Predictive Maintenance. // URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/services/digital-enterprise-services.html> (дата обращения: 10.01.2025).

5. IEEE Standards Association. Guide for Utilizing Drones in Power Line Inspections. // 2022. – С. 78-83.

6. Johnson, M. Drone Technology for Energy Infrastructure. // Drone Journal. – 2023. – №2. – С. 12-19.

7. Smith, T. Leveraging AI in UAV Applications. // International AI Review. – 2024. – №1. – С. 40-48.

© Верзилин А.А., Иванкина Ю.В., Кузнецов И.А., Богомолова А.А.,
Росошанский С.Д., 2025

Научная статья
УДК 637.023

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА ЭНЕРГИЕЙ СВЧ НАГРЕВА

Константин Федорович Вишнёв¹, Иршат Рашитович Кафиев²

^{1,2}Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия

¹Vishnevkostyan@gmail.com

²kafiev02@mail.ru

Аннотация. Разработка эффективных и надежных методов обработки молока занимает важное место в обеспечении безопасности и качества молочной продукции. Пастеризация молока представляет собой ключевой процесс в пищевой промышленности, необходимый для уничтожения бактерий и микроорганизмов, способных вызывать различные заболевания у человека. В этом контексте математическое моделирование процессов пастеризации молока различными методами является актуальной задачей.

Ключевые слова: математическая модель, пастеризация молока, энергия СВЧ нагрева, СВЧ установка, расчетная схема.

Для цитирования: Вишнёв, К.Ф. Математическая модель процесса пастеризации молока энергией СВЧ нагрева / К.Ф. Вишнёв, И.Р. Кафиев // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологии: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

MATHEMATICAL MODEL OF THE PASTEURIZATION PROCESS MILK WITH MICROWAVE HEATING ENERGY

Konstantin Fedorovich Vishnev¹, Irshat Rashitovich Kafiev²

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

¹Vishnevkostyan@gmail.com

²kafiev02@mail.ru

Annotation. The development of effective and reliable milk processing methods plays an important role in ensuring the safety and quality of dairy products. Milk pasteurization is a key process in the food industry, necessary for the destruction of

bacteria and microorganisms that can cause various diseases in humans. In this context, mathematical modeling of milk pasteurization processes using various methods is a pressing issue.

Keywords: mathematical model, milk pasteurization, microwave heating energy, microwave installation, calculation scheme.

For citation: Vishnev, K.F. Mathematical model of the process of pasteurization of milk by microwave heating energy / K.F. Vishnev, I.R. Kafiev // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Пастеризация молока занимает центральное место в пищевой промышленности, обеспечивая безопасность молочных продуктов и продлевая их срок годности. Эта процедура направлена на нейтрализацию болезнетворных бактерий, что играет ключевую роль в охране общественного здоровья и поддержании стабильности производства [1].

Материалы и методы. Современные технологии, такие, как пастеризация молока энергией СВЧ нагрева, открывают перед нами новые горизонты для совершенствования этого процесса. Благодаря математическому моделированию мы можем лучше понять физические и химические преобразования, происходящие в молоке, а также прогнозировать идеальные параметры обработки [2]. Эти достижения позволяют нам создавать более эффективные системы пастеризации, отвечающие требованиям сегодняшнего дня.

Целью данного исследования является разработка математической модели процесса пастеризации молока энергией СВЧ излучения.

Результаты исследования. Для разработки математической модели пастеризации молока энергией СВЧ излучения использована установка, представленная на рис. 1 [3].

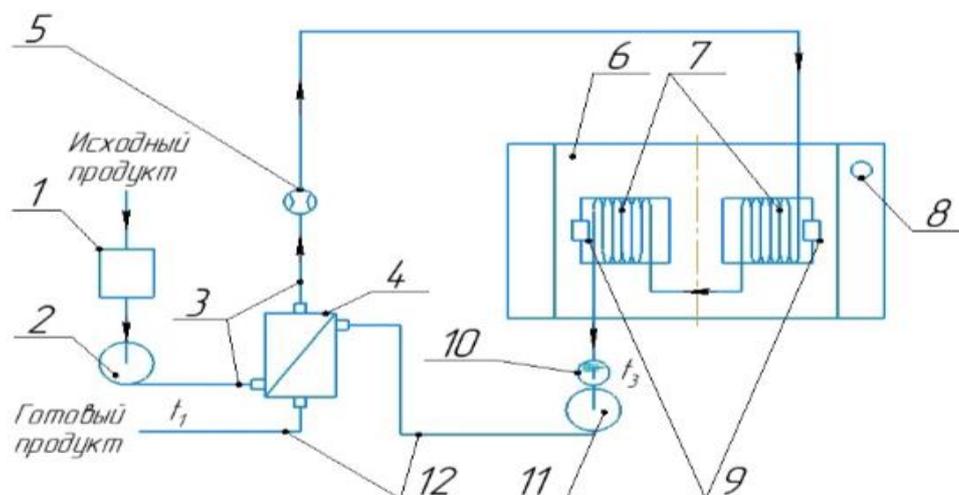


Рисунок 1 – Схема установки для пастеризации молока: 1 – резервуар для приема молока; 2 – насос для подачи молока; 3 – трубопровод для подачи молока; 4 – теплообменник; 5 – расходомер; 6 – резонаторная камера; 7 – радиопрозрачный молокопровод; 8 – регулятор мощности; 9 – СВЧ излучатели; 10 – термодатчик; 11 – насос выдачи молока; 12 – трубопровод выдачи молока

При разработке математической модели введем ряд упрощающих допущений:

- исключаем тепловые потери, происходящие через стенки трубопровода в окружающую среду;
 - предполагаем, что тепловые потери от теплообменника и СВЧ излучателей незначительные;
 - рассматриваем объект как имеющий сосредоточенные координаты, упрощая его модель;
 - пренебрегаем временными задержками в передаче управляющих воздействий;
 - принимаем температуру окружающей среды за постоянную величину.
- Расчетная схема СВЧ установки представлена на рис. 2.



Рисунок 2 – Расчетная схема объекта моделирования: $Q_M^{вх}$ – количество теплоты потока молока, входящего в СВЧ установку; $Q_M^{вых}$ – количество теплоты потока молока, выходящего из СВЧ установки; $T_M^{вх}$ – температура молока на входе в СВЧ установки; $T_M^{вых}$ – температура молока на выходе из СВЧ установки; $Q_{мп}$ – количество тепла, затрачиваемого на нагрев молокопровода

На основе принятых допущений динамические свойства температурного состояния молока, отражающие взаимосвязь управляемого параметра и факторов, влияющих на его изменения, применительно для рассматриваемого объекта моделирования можно выразить в виде уравнения теплового баланса [4]:

$$V \cdot C \cdot \rho \cdot \frac{dT_M}{dt} = P_{ист} - P_M - P_{мп}, \quad (1)$$

где V – объём молока в молокопроводе, m^3 ; C – теплоемкость молока, $Dж/кг \cdot ^\circ C$; ρ – плотность молока, $кг/м^3$; T_M – температура молока в молокопроводе, $^\circ C$; $P_{ист}$ – мощность источника теплового излучения, $Вт$; P_M – тепловая мощность, передаваемая от источника излучения к молоку, $Вт$; $P_{мп}$ – мощность тепловых потерь, затрачиваемая на нагрев молокопровода, $Вт$.

Тепловая мощность, передаваемая к молоку, определяется уравнением:

$$P_M = \vartheta \cdot C \cdot \rho \cdot (T_M^{вых} - T_M^{вх}), \quad (2)$$

где ϑ – объемная скорость в потоке молока, $м^3/с$.

Мощность тепловых потерь на нагрев молокопровода определяется выражением:

$$P_{мп} = K_{мп} \cdot F_{мп} \cdot (T_M - T_{ст}), \quad (3)$$

где $K_{мп}$ – коэффициент теплопередачи через стенку молокопровода, $Вт/м^2 \cdot ^\circ C$; $F_{мп}$ – площадь поверхности теплообмена молокопровода, $м^2$; $T_{ст}$ – температура стенки молокопровода, $^\circ C$.

С учетом выражений (2) и (3) уравнение (1) примет следующий вид:

$$V \cdot C \cdot \rho \cdot \frac{dT_3}{dt} = P_{\text{ист}} - \vartheta \cdot C \cdot \rho \cdot (T_3 - T_2) - K_{\text{мп}} \cdot F_{\text{мп}} \cdot (T_3 - T_{\text{ст}}). \quad (4)$$

При построении математической модели теплообменного аппарата выбираем расчетную схему типа «смешение – вытеснение» (рис. 3) [4].

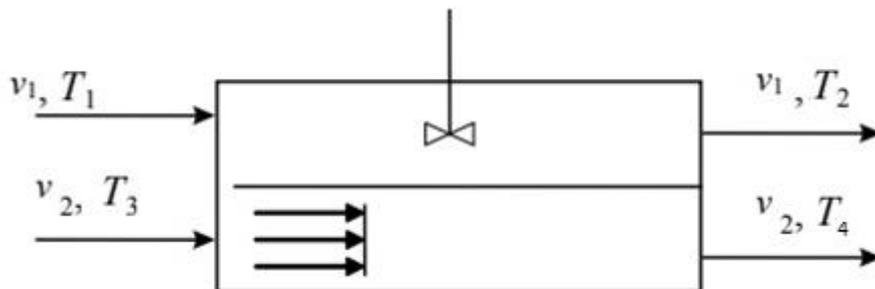


Рисунок 3 – Схематичное изображение теплообменника типа «смешение-вытеснение»: v_1, v_2 – объемная скорость потока; T_1, T_2 – температура греющего теплоносителя на входе и выходе из теплообменника; T_3, T_4 – температура нагреваемого продукта на входе и выходе из теплообменника

Если структура потока теплоносителя соответствует модели «смешение-вытеснение» и тепловой емкостью стенки, разделяющей потоки теплоносителей пренебречь, то математическое описание этого потока с учетом теплопередачи, будет иметь вид [4]:

$$V \cdot C \cdot \rho \cdot \frac{dT_2}{dt} = \vartheta \cdot C \cdot \rho \cdot (T_1 - T_2) - F_T \cdot K_T \cdot (T_2 - T_4); \quad (5)$$

$$S \cdot C \cdot \rho \cdot \frac{dT_4}{dt} = -\vartheta \cdot C \cdot \rho \cdot \frac{dT_4}{dl} - \frac{F_T}{L} \cdot K_T \cdot (T_4 - T_2), \quad (6)$$

где F_T – поверхность теплообмена теплообменника, м^2 ; K_T – коэффициент теплопередачи через стенку теплообменника, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$; S – площадь поперечного сечения потока, м^2 ; L – длина зоны идеального вытеснения, м .

В уравнениях (5) и (6) коэффициенты теплоотдачи, плотность и теплоемкость теплоносителя принимаем постоянными в исследуемом интервале изменения температуры. Предполагаем, что объемные скорости потоков также остаются постоянными.

С учетом (4) – (6) получим математическую модель для процесса СВЧ пастеризации молока:

$$\left\{ \begin{array}{l} V \cdot C \cdot \rho \cdot \frac{dT_3}{dt} = P_{\text{ист}} - \vartheta \cdot C \cdot \rho \cdot (T_3 - T_2) - K_{\text{мп}} \cdot F_{\text{мп}} \cdot (T_3 - T_{\text{мп}}); \\ V \cdot C \cdot \rho \cdot \frac{dT_2}{dt} = \vartheta \cdot C \cdot \rho \cdot (T_1 - T_2) - F_T \cdot K_T \cdot (T_2 - T_4); \\ S \cdot C \cdot \rho \cdot \frac{dT_4}{dt} = -\vartheta \cdot C \cdot \rho \cdot \frac{dT_4}{dl} - \frac{F_T}{L} \cdot K_T \cdot (T_4 - T_2). \end{array} \right. \quad (7)$$

Заключение. Разработанная математическая модель может быть использована для определения влияния мощности и производительности установки на температуру нагрева молока. Полученные данные в дальнейшем

могут найти применение для решения задачи синтеза СВЧ установки для фермерской молочной фермы.

Список источников

1. Канарейкина, С.Г. Роль пастеризации в формировании заданных свойств молочных продуктов / С.Г. Канарейкина, Е.С. Ганиева, В.И. Канарейкин // Технологии и продукты здорового питания: материалы XII Национальной научно-практической конференции с Международным участием. Под общей редакцией Н.В. Неповинных, О.М. Поповой, Е.В. Фатьянова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет, 2021. – С. 270-275.

2. Тухватуллин, М.И. СВЧ электротехнологические установки для обработки сельскохозяйственной продукции / М.И. Тухватуллин // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК: материалы Международной научно-практической конференции в рамках 32-й Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2022». – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2022. – С. 154-158.

3. Вишнёв, К.Ф. СВЧ установка для пастеризации молока / К.Ф. Вишнёв, И.Р. Кафиев // Наука молодых – инновационному развитию АПК: материалы XVII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции молодых ученых. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2024 (в печати).

4. Беккер, В.Ф. Моделирование химико-технологических объектов управления: Учебное пособие / В.Ф. Беккер. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: РИОР: ИНФРА-М, 2014. – 142 с.

© Вишнёв К.Ф., Кафиев И.Р., 2025

Научная статья
УДК 621.313

ИМПУЛЬСНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МАШИНЫ В ОПЕРАЦИЯХ И ТЕХНОЛОГИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Андрей Валерьевич Волгин¹, Алексей Петрович Моисеев²,
Александр Владимирович Колпаков³, Захар Павлович Колобанов⁴,
Кирилл Эдуардович Марьин⁵

^{1,2,3,4,5}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹saratov-79@list.ru

²moiseevap-distant20-21@mail.ru

Аннотация. В статье на основе сопоставительного анализа данных различных источников, сравнения характерных свойств множества

конструктивных схем пневматических, гидравлических и электрических импульсных машин представлена их классификация.

Ключевые слова: линейный электромагнитный двигатель, электрический преобразователь, ударная машина.

Для цитирования: Волгин, А.В. Импульсные электромагнитные машины в операциях и технологиях агропромышленного комплекса / А.В. Волгин, А.П. Моисеев, А.В. Колпаков, З.П. Колобанов, К.А. Марьин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

PULSED ELECTROMAGNETIC MACHINES IN THE OPERATIONS AND TECHNOLOGIES OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Andrey Valerievich Volgin¹, Aleksey Petrovich Moiseev², Aleksandr Vladimirovich Kolpakov³, Zahar Pavlovich Kolobanov⁴, Kirill Eduardovich Maryin⁵

^{1,2,3,4,5}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹saratov-79@list.ru

²moiseevap-distant20-21@mail.ru

Annotation. The article presents their classification based on a comparative analysis of data from various sources, comparing the characteristic properties of a variety of design schemes of pneumatic, hydraulic and electric pulse machines.

Keywords: linear electromagnetic motor, electric converter, impact machine.

For citation: Volgin, A.V. Pulsed electromagnetic machines in operations and technologies of the agro-industrial complex / A.V. Volgin, A.P. Moiseev, A.V. Kolpakov, Z.P. Kolobanov, K.A. Maryin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. В настоящее время импульсные и вибрационные методы интенсификации технологических процессов получили широкое распространение в технике и применяются, в том числе, на предприятиях и объектах АПК. Несмотря на то, что технологии сельскохозяйственной отрасли отличаются значительным разнообразием и во многих случаях сложнее промышленных, считается доказанным, что применение механических импульсов и колебаний снижает энергозатраты и повышает эффективность обработки почвы, внесения удобрений, уборочных и послеуборочных процессов, операций в животноводстве, проведения ремонта сельскохозяйственной техники. Результативность такого применения существенно зависит от

обоснованности и рациональности выбора и использования средств возбуждения колебаний и импульсов.

Оценить уровень и определить тенденции развития и применения силовых систем с импульсными машинами в технике, в технологиях и процессах АПК, в частности, позволяет их систематизация. В основу обобщенной классификации, предложенной, например, в [1, 2, 3], положено шесть основных признаков:

- принцип действия инструмента и технологическое назначение машины;
- способ применения, передвижения и масса машины;
- вид подводимой энергии и тип двигателя;
- взаимосвязь двигателя с импульсным механизмом;
- принцип действия импульсного механизма;
- способ передачи механической энергии двигателя инструменту.

Объект и методика исследований. Сопоставление данных различных источников [1-4], сравнение характерных свойств множества конструктивных схем пневматических, гидравлических и электрических импульсных машин позволяет представить классификацию в виде рис.1.

Результаты исследований. К особенностям, сдерживающим или ограничивающим использование гидро- и пневмоимпульсных машин следует отнести:

– громоздкую и дорогую систему приготовления рабочего тела (энергонапителя) с высокими показателями, содержащую маслостанцию, стационарное компрессорное оборудование (передвижной компрессор), пневмосеть и др.;

- низкий общий КПД системы (0,12...0,15);
- требования к качеству масел;
- высокий уровень шума при выхлопе сжатого воздуха;
- значительное усилие поджатия, необходимое для нормальной работы некоторых типов ручных машин.

Таким образом, проблему разработки, создания и использования компактных, в том числе, мобильных автономных силовых систем с относительно мощными (выходная энергия до 1 кДж) машинами импульсного действия, не требующих для транспортировки и применения крупногабаритных транспортных средств, а доставляемых на объект, в том числе, переноской вручную, к настоящему моменту нельзя признать решенной окончательно.

На небольших сельскохозяйственных или перерабатывающих предприятиях, использующих один вид энергонапителя, в мобильных применениях при незначительных объемах предполагаемых монтажных работ, например, при реконструкции заземляющих устройств сельских трансформаторных подстанций, когда транспортировать мощную технику нецелесообразно и следует обходиться легковым автотранспортом, устройстве водяных скважин в стесненных условиях обжитых садово-дачных участков и других схожих условиях системы с импульсными электромагнитными машинами представляются уместными и могут конкурировать с традиционными, поскольку способны обеспечить:

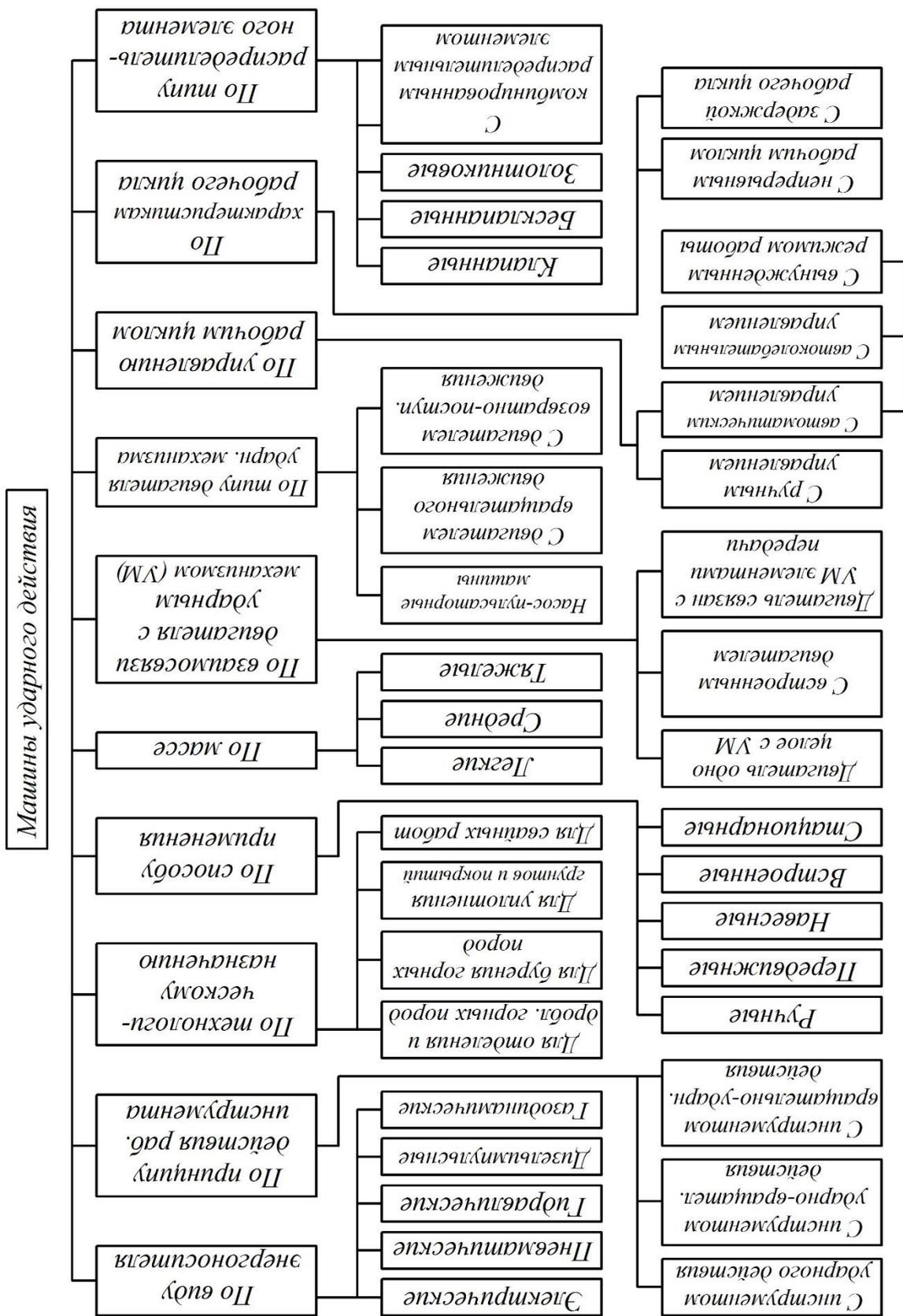


Рисунок 1 – Классификация машин ударного действия

- энергию импульсного воздействия $A_y = 100 \dots 1000$ Дж;
- оперативное регулирование выходных параметров в широких пределах;
- автономную работу от источника ограниченной мощности на необорудованных коммуникациями площадках и нормальную работоспособность;
- высокие удельные показатели, компактность, возможность ручной доставки всех элементов системы (самой машины, источника питания и т.д.) к месту работы;
- экологичность, простоту эксплуатации и надежность в работе, максимальную безопасность персонала;
- высокую работоспособность в различных природноклиматических условиях;
- минимальное время подготовки и запуска в работу.

Заключение. Поскольку перечень операций и процессов, в которых следует применять системы с импульсными электромагнитными машинами с целью упрощения, удешевления и совершенствования технологий значителен, а требования к функциональным схемам машин, компоновке систем, режимам их действия существенно разнятся, представляется необходимым сопоставить существующие способы технической реализации характерных процессов в стационарных и передвижных установках, оценить возможности известных и наметить пути исследования и разработки силовых импульсных электромагнитных систем (СЭМИС) с новыми свойствами.

Список источников

1. Усанов, К.М. Линейные электромагнитные двигатели и приводы в импульсных процессах и технологиях: монография [Текст] / К.М. Усанов, В.И. Мошкин, В.А. Каргин, А.В. Волгин. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2015. – 202 с.
2. Каргин, В.А. Совершенствование технологии погружения продольно-неустойчивых стержневых элементов на объектах АПК использованием переносного импульсного электромагнитного привода [Текст] / В.А. Каргин. – автореф. ... дис. к-та техн. наук. – Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2007. – 21 с.
3. Усанов, К.М. Силовая электромагнитная импульсная система для погружения стержневых элементов в грунт [Текст] // Усанов К.М., Каргин В.А. Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова, № 3, 2005. – С. 59-61.
4. Усанов, К.М. Импульсный электромагнитный привод машин с однонаправленным поступательным движением рабочего органа / К.М. Усанов, А.П. Моисеев, В.А. Каргин // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кобы В.Г. – Саратов, 2011. – С. 239-241.

© Волгин А.В., Моисеев А.П., Колпаков А.В., Колобанов З.П., Марьин К.А., 2025

Научная статья
УДК 620.19

СПОСОБЫ БОРЬБЫ С КОРРОЗИЕЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Светлана Александровна Гнилицкая¹, Андрей Александрович Верзилин²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹svetasar30@mail.ru

²verzilin-a@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются основные способы борьбы коррозии в системах теплоснабжения.

Ключевые слова: теплоэнергетическое оборудование, система теплоснабжения, коррозия, методы защиты от коррозии, реагенты, вода, декарбонизатор.

Для цитирования: Гнилицкая, С.А. Способы борьбы с коррозией в системах теплоснабжения / С.А. Гнилицкая, А.А. Верзилин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

WAYS TO COMBAT CORROSION IN HEAT SUPPLY SYSTEMS

Svetlana Alexandrovna Gnilitskaya¹, Andrey Aleksandrovich Verzilin²

^{1,2}Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹svetasar30@mail.ru

²verzilin-a@mail.ru

Annotation. The article discusses the main ways to combat corrosion in heat supply systems.

Keywords: thermal power equipment, heat supply system, corrosion, corrosion protection methods, reagents, water, decarbonizer.

For citation: Gnilitskaya, S.A. Ways to combat corrosion in heat supply systems / S.A. Gnilitskaya, A.A. Verzilin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Коррозия в системах отопления – это достаточно часто встречающееся явление. В ходе такого процесса материал начинает постепенно окисляться и портиться. Могут появиться сильные истончения, прорывы под

действием сильного давления и разгерметизация. Защита оборудования и трубопроводов тепловых электростанций и систем теплоснабжения от коррозии является одной из актуальнейших проблем теплоэнергетики. Отрицательными последствиями внутренней коррозии являются сокращение времени эксплуатации оборудования и трубопроводов тепловых сетей, ТЭС и котельных, а также значительное снижение мощности источников тепловой и электрической энергии [1, 2].

Результаты исследования. Коррозия металла зачастую приводит к аварийным остановкам теплоэнергетических установок или снижению их мощности, нередко ограничивают выработку электроэнергии и отпуск теплоты потребителям пара с одновременным увеличением расхода топлива.

К методам борьбы с коррозией теплоэнергетического оборудования котельных и тепловых сетей в АПК относят:

Стабилизационная обработка воды. В зависимости от состава примесей и рН в воду вводят различные реагенты. Например, фосфаты, фосфонаты, комплексоны и другие.

Технология обработки воды для стабилизации заключается в пропорциональном дозировании реагентов в обрабатываемую воду. Этот процесс зависит от состава обрабатываемой воды, цели ее применения и типа систем. При отрицательном показателе стабильности воду подщелачивают дозированным введением каустической соды, кальцинированной соды [4], фильтруют, пропуская через мраморную крошку (магномассу), или удаляют углекислый газ путем аэрации. Установки фильтрации устанавливаются в тех случаях, когда вода, подаваемая в систему горячего водоснабжения, имеет отрицательный индекс насыщения более четырех месяцев в году и концентрация кислорода в воде составляет не менее 2 мг/л. При положительном показателе насыщения воду подкисляют путем добавления серной или соляной кислоты в стехиометрических количествах, а также обрабатывают фосфатами. Добавление кислоты приводит к переходу карбонатной жесткости в некарбонатную. Кислоту необходимо вводить в стехиометрических количествах. Дикция добавления серной или соляной кислоты в стехиометрических количествах, а также обрабатывают фосфатами. Добавление кислоты приводит к переходу карбонатной жесткости в некарбонатную.

Удаление агрессивных газов. Для этого применяют декарбонизаторы и термические деаэраторы.

При очистке воды широко используется метод аэрации – удаление свободного CO_2 из воды, осуществляемое в декарбонизаторах. Согласно закону Генри, снижение парциального давления данного газа над водой без снижения общего давления и нагрев воды снижает потери энергии [5].

На практике воду очищают с помощью газа (или смеси газов), в котором концентрация CO_2 чрезвычайно мала. Декарбонизатор представляет собой колонну, в которую вода подается сверху. Вода поступает через сопло, которое сужает поток воды. Воздух нагнетается снизу вентилятором, который перемещается в сопле навстречу потоку воды и затем вместе с выделяющимся углекислым газом выходит через верхнее сопло. Существуют различные

насадки. Наиболее распространенная насадка состоит из керамических колец Рашига и деревянной насадки-хорды. Первый позволяет уменьшить площадь и высоту декарбонизатора, расход воздуха. Кроме того, кольца Рашига более долговечны.

Использование герметизирующей жидкости. Плавающая герметизирующая жидкость в аккумуляторных баках с горячей водой предохраняет воду от испарения и избыточной аэрации. Технология использования:

Перед загрузкой герметика внутренняя поверхность стенок, днища и крыши резервуара подготавливается. Толщина слоя герметика на стенках должна составлять до 150 микрон. Защитная пленка образуется в результате как минимум двух подъемов и спадов воды. В среднем на покрытие 1 м² внутренней поверхности резервуара расходуется 0,1-0,15 кг герметика.

Работы по защите ими баков проводят при температуре наружного воздуха выше +4°C.

Защита баков от коррозии. Для этого используют различные покрытия и катодную защиту металла.

Для накопления горячей воды на объектах теплоэнергетики используются перезаряжаемые металлические цилиндрические баки емкостью от 100 до 20 000 м³. В открытых системах теплоснабжения используются материалы, контактирующие с питьевой водой, включенные Государственным комитетом санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации в «Перечень материалов, реагентов и малогабаритных очистных устройств, разрешенных Государственным комитетом санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации для использования в системах водоснабжения». Практика хозяйственно-питьевого водоснабжения используются для защиты внутренней поверхности металлических оснований от коррозии [3].

Консервация оборудования. В период простоев в резерве или ремонте проводят консервацию с помощью ингибиторов.

Важно учитывать, что применение химических реагентов требует индивидуального выбора и концентрации, поэтому необходимо привлекать квалифицированных специалистов.

Необходимой мерой при эксплуатации теплоэнергетического оборудования является его консервация при остановках, так как при любых остановках с понижением давления до атмосферного, с вероятностью попадания в него кислорода воздуха и конденсации влаги, происходит коррозия стоянок. При последующих запусках водный режим оборудования не соответствует нормируемым показателям по содержанию оксидов железа и меди в питательной воде и паре, что вызывает снижение надежности работы оборудования, связанное с аварийными разрывами поверхностей нагрева. Консервация оборудования во время простоя в резерве или ремонта осуществляется с использованием азота, растворов гидразина и аммиака, трилона В и аммиачного спирта, силиката натрия, нитрита натрия и других ингибиторов.

Заключение. Комплексное применение различных методов борьбы с коррозией металлов в энергетическом секторе позволяет бесперебойно и

эффективно снабжать объекты и население электроэнергией, теплом и горячей водой. Актуальность проблемы коррозии трубопроводов обусловлена ее финансовыми и экологическими последствиями. Эффективная борьба с коррозией трубопроводов включает в себя правильный выбор материалов, использование современных технологий защиты от коррозии, регулярный мониторинг состояния трубопроводов и обучение персонала. Постоянные усилия в этой области необходимы для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации трубопроводной инфраструктуры в различных отраслях промышленности.

Список источников

1. Разоренов, Р.Н. Надежность систем теплоснабжения // Новости теплоснабжения. – 2003. – № 2. – С.15; ТТ-3.3
2. Гафаров, А.Х. Анализ эффективной и надежной работы систем теплоснабжения // Новости теплоснабжения. – 2003. – № 5. – С.13-17; ТТ-3.3.
3. Василевская, С. П. Коррозия трубопроводов после длительной эксплуатации / С.П. Василевская, К.М. Каширин. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2023. – № 16 (463). – С. 19-21. – URL: <https://moluch.ru/archive/463/101737/> (дата обращения: 16.09.2024)
4. Татаринцев, В.А. Влияние физико-химических свойств накипи на эффективность работы теплообменников / В.А. Татаринцев // Промышленная энергетика. – 2024. – № 4. – С. 28-34.
5. Лаптев, А.Г. Методы интенсификации и моделирования тепломассообменных процессов / А.Г. Лаптев, Н.А. Николаев, М.М. Башаров. – М.: Теплотехник. – 2011. – 335 с.

© Гнилицкая С.А., Верзилин А.А., 2025

Научная статья
УДК 621.314.5

АНАЛИЗ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

**Антон Сергеевич Горбунов¹, Руслан Динарович Каримов²,
Антон Юрьевич Клименко³, Артур Талгатович Ахметшин⁴**

^{1,4}Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия

^{2,3}Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

¹freizer-anton@yandex.ru ORCID: 0000-0002-5047-666X

²ruslan-k88@yandex.ru ORCID: 0000-0002-7379-7909

³carlos9631432348@gmail.com ORCID: 0009-0002-7380-8089

⁴artur-2506@mail.ru ORCID: 0000-0003-1610-3349

Аннотация. В настоящей работе рассматриваются конструкции авиационных трансформаторов и автотрансформаторов, в том числе

высокочастотные трансформаторы, среди которых высокочастотный вращающийся трансформатор, высокочастотный планарный трансформатор и высокочастотный кабельный трансформатор. Отмечены их основные преимущества и недостатки, особенности работы в составе авиационных DC/DC и DC/AC преобразователей.

Ключевые слова: авиационные трансформаторы, высокочастотные трансформаторы, авиационные автотрансформаторы.

Для цитирования: Горбунов, А.С. Анализ высокочастотных авиационных трансформаторов / А.С. Горбунов, Р.Д. Каримов, А.Ю. Клименко, А.Т. Ахметшин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF HIGH-FREQUENCY AIRCRAFT TRANSFORMERS

**Anton Sergeevich Gorbunov¹, Ruslan Dinarovich Karimov²,
Anton Yurievich Klimenko³, Artur Talgatovich Akhmetshin⁴**

^{1,4}Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

^{2,3}Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

¹freizer-anton@yandex.ru ORCID: 0000-0002-5047-666X

²ruslan-k88@yandex.ru ORCID: 0000-0002-7379-7909

³carlos9631432348@gmail.com ORCID: 0009-0002-7380-8089

⁴artur-2506@mail.ru ORCID: 0000-0003-1610-3349

Annotation. This paper examines the designs of aircraft transformers and autotransformers, including high-frequency transformers, including a high-frequency rotary transformer, a high-frequency planar transformer, and a high-frequency cable transformer. Their main advantages and disadvantages, and the features of operation as part of aircraft DC/DC and DC/AC converters are noted.

Keywords: aviation transformers, high-frequency transformers, aviation autotransformers.

For citation: Gorbunov, A.S. Analysis of high-frequency aviation transformers / A.S. Gorbunov, R.D. Karimov, A.Y. Klimenko, A.T. Akhmetshin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. В авиации высокочастотные трансформаторы играют заметную роль в обеспечении стабильности и надежности работы бортовых систем питания, управления и связи. Современные авиационные технологии предъявляют всё более строгие требования к весу, эффективности и компактности бортового оборудования. В этих условиях высокочастотные трансформаторы становятся незаменимыми компонентами, поскольку

позволяют решать задачи преобразования напряжений и гальванической изоляции цепей нагрузки и сети при допустимых физических размерах и массе.

Высокочастотные трансформаторы отличаются от традиционных, питающихся от сети 50/60 Гц, по нескольким параметрам, включая области рабочих частот, типы конструктивного исполнения и применяемые материалы. В авиационных системах электроснабжения трансформаторы могут работать при частотах, от сотен Гц до сотен кГц (в специальных трансформаторно-полупроводниковых преобразователях), что значительно уменьшает размеры и массу ферромагнитных компонентов. В отличие от низкочастотных трансформаторов, высокочастотные устройства требуют особого подхода к проектированию, включая соответствующий выбор магнитных материалов, конструкции и материалов обмоток, схемы экранирования, чтобы минимизировать потери и паразитные эффекты.

Материалы и методы. Магнитопроводы авиационных трансформаторов изготавливают аналогично классическим, на базе электротехнической стали (листовой или ленточной), ферритов, пермаллоев и т.д. При этом так как они работают на частотах, отличных от стандартной частоты 50/60 Гц, составляющих 360-800 Гц для бортовых сетей электроснабжения и до сотен кГц для специальных авиационных преобразователей, это делает необходимым использование более тонких листов стали для магнитопровода, например, $\leq 0,2$ мм, марок 3421, 3422, 3423, 3424, 3425 [1], в отличие от обычных силовых трансформаторов, где используются листы толщиной 0,23-0,35 мм.

Конструктивно большинство авиационных трансформаторов изготавливаются в виде быстроразъемных блоков с воздушным охлаждением (ВО) (рис. 1) или жидкостным охлаждением, однако жидкостное охлаждение сильно увеличивает массогабаритные характеристики системы «трансформатор-система охлаждения», однако если жидкостное охлаждение будет централизованным с охлаждением других авиационных компонентов, то такие трансформаторы могут быть использованы и с жидкостным вариантом охлаждения.



Рисунок 1 – Трехфазный трансформатор с ВО

Магнитопроводы рассматриваемых трансформаторов или автотрансформаторов малой и большой мощности выполняются шихтованными,

стержневой (большой мощности) или броневой (малой и средней мощности) конструкции (рис. 2).

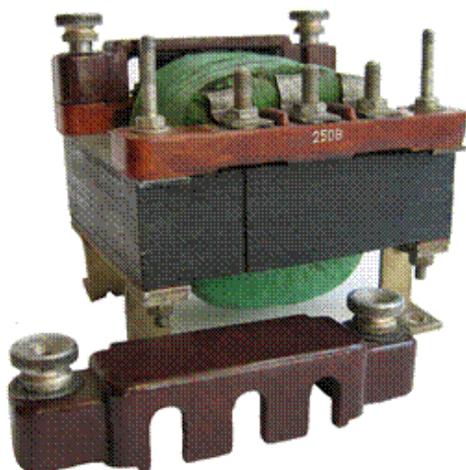


Рисунок 2 – Внешний вид автотрансформатора АТ-7-1,5 мощностью 7,5 кВт со снятой клеммной крышкой

Классическими областями применения подобных автотрансформаторов являются электропитание систем управления и регулирования, систем обогрева стекол кабины [1].

Помимо шихтованных магнитопроводов также применяются конструкции из ленточной анизотропной электротехнической стали (рис. 3).

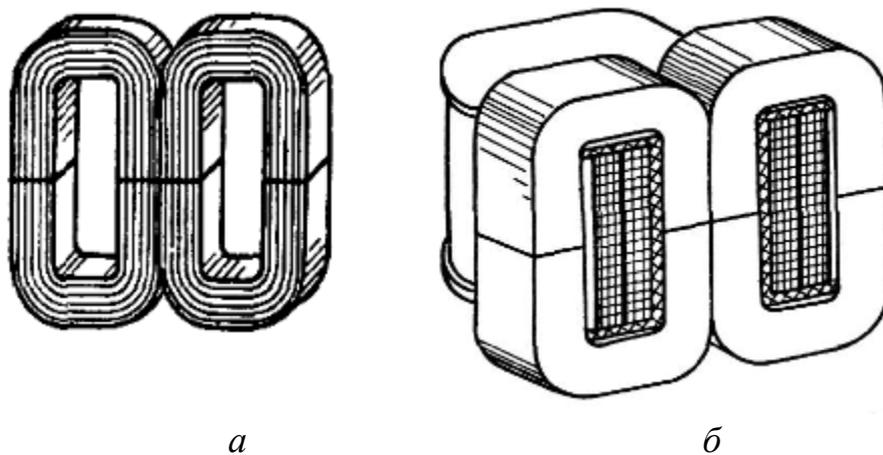


Рисунок 3 – Трансформатор с ленточным магнитопроводом: *а* – внешний вид магнитопровода; *б* – вид трансформатора броневой конструкции

Применение ленточных витых магнитопроводов позволяет уменьшить расход стали до 50% за счет уменьшения массы магнитопровода и отходов стали при штамповке, а также несколько сокращается расход меди обмоток [1].

Помимо трансформаторов стандартных конструкций также известны трансформаторы специальной конструкции, работающие в составе высокочастотных специальных трансформаторно-полупроводниковых преобразователей. Например, на рис. 4 показана конструкция высокочастотного вращающегося трансформатора, работающего на частоте 90 кГц [2].

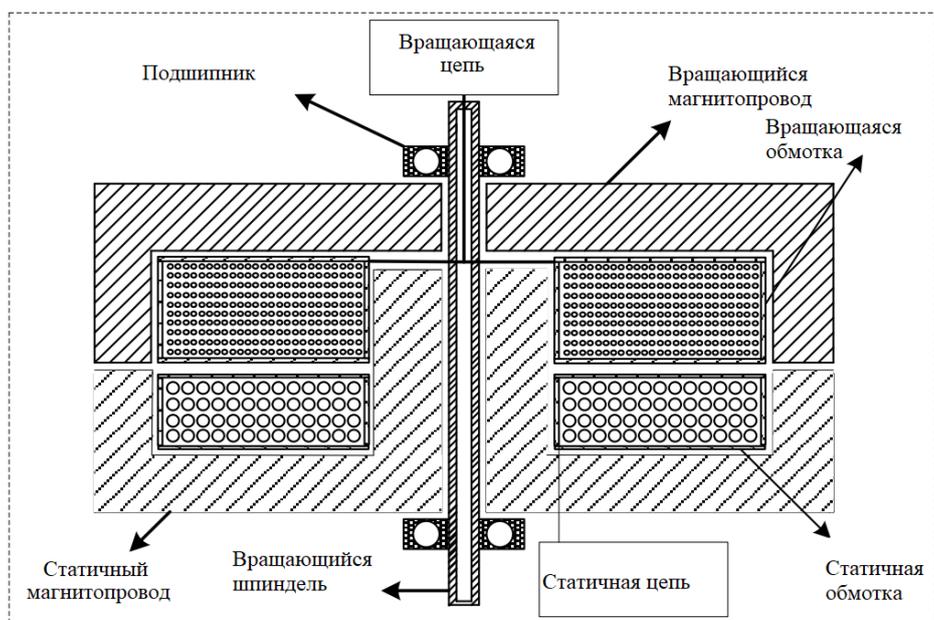


Рисунок 4 – Вид высокочастотного вращающегося трансформатора

Такая конструкция позволяет преобразовывать и передавать электрическую энергию с неподвижных систем на вращающиеся. Такой трансформатор можно также рассматривать как разновидность трансформатора с вращающимся магнитным полем. Трансформатор делится на статичную (не вращающуюся) и вращающуюся части. Цепь питания расположена рядом со статичной первичной обмоткой, выходная цепь соединена с вторичной обмоткой посредством шпинделя. Схема цепи данной установки представлена на рис. 5.

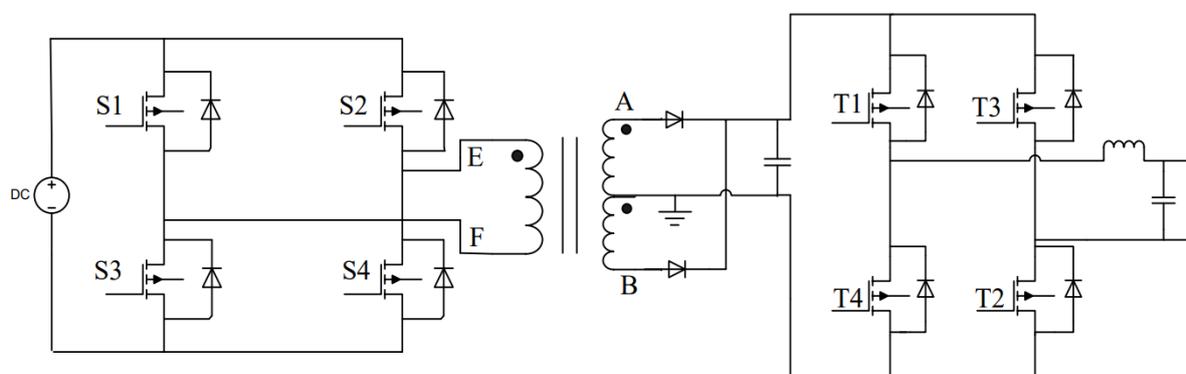


Рисунок 5 – Схема высокочастотного вращающегося трансформатора

Устройство позволяет преобразовывать постоянное напряжение 28,5 В в переменное ШИМ-модулируемое напряжение 115 В, 400 Гц. В исследовании отмечается, что данная конструкция преобразователя обладает подходящими для авиационного применения массогабаритными показателями и высокой энергоэффективностью [2].

Существует конструкция [3] применения преобразователя напряжения с тройным активным мостом на базе планарного трансформатора в системах «более электрических самолетов» (рис. 6). В таком трансформаторе обмотки выполняются в виде плоских проводников, эффективно работающих при высоких частотах, по сравнению с традиционными конструкциями обмоток.

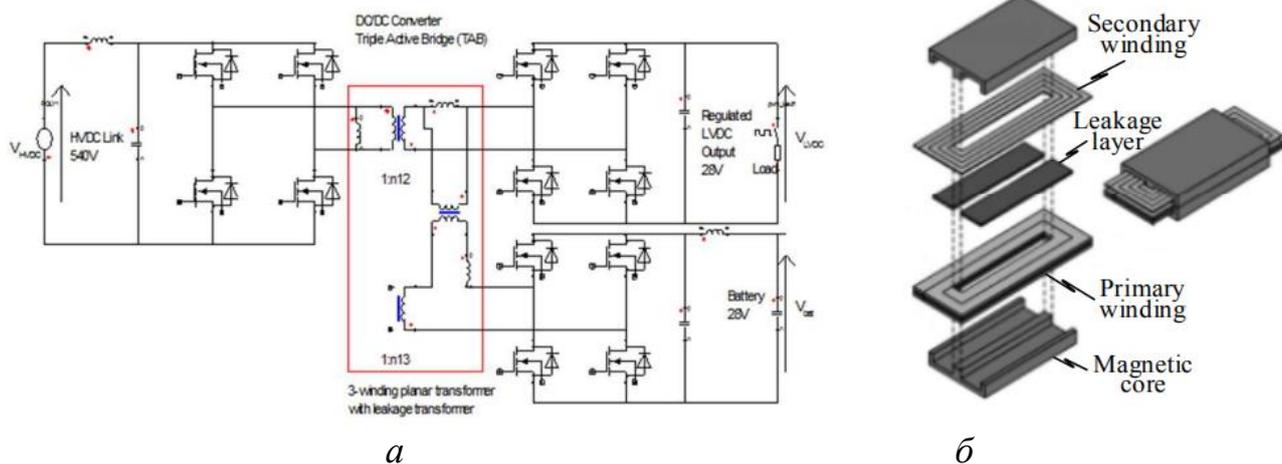


Рисунок 6 – Преобразователь с планарным трансформатором: *а* – принципиальная схема преобразователя; *б* – общий вид планарного трансформатора

Устройство позволяет преобразовывать 540 В постоянного тока в две линии 28 В и наоборот. В современных самолетах такие преобразователи применяются для питания систем бортового радиоэлектронного оборудования, освещения и для зарядки аккумуляторных батарей 28 В. В схеме применяются *MOFSET*-транзисторы для повышения энергоэффективности и высоких рабочих частот инверторов. Применение планарных трансформаторов имеет следующие преимущества: хорошие массогабаритные показатели, высокая удельная мощность, простота производства, хорошее охлаждение, низкая индуктивность рассеяния, низкие потери в обмотке при переменном токе. Недостатками же является ограничение по мощности, размерам и применяемым схемам, заметная паразитная емкость [3, 4].

Альтернативой плоскому трансформатору может быть трансформатор с коаксиальной обмоткой, являющийся разновидностью кабельного трансформатора (рис. 7) [5].

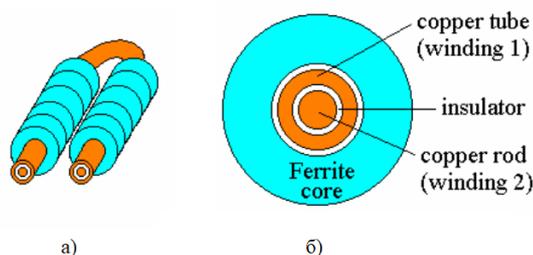


Рисунок 7 – Трансформатор с коаксиальной обмоткой

Трансформатор содержит кольцевой магнитопровод, внутри которого находится первичная трубчатая обмотка, внутрь которой вставляется вторичная обмотка. Между всеми элементами трансформатора находится изоляция. Данный тип трансформатора при работе на высоких частотах обеспечивает высокую удельную мощность, низкую индуктивность рассеяния и низкие потери на вихревые токи в обмотках.

Заключение. Таким образом, можно сказать, что высокочастотные авиационные трансформаторы широко используются в составе DC/DC и DC/AC

преобразователей для питания потребителей постоянного и переменного тока. При этом для сокращения массогабаритных показателей таких преобразователей рабочие частоты трансформаторов составляют десятки-сотни кГц. Рассмотренные трансформаторы изготавливаются с магнитопроводами из тонкой листовой или ленточной электротехнической стали, ферритов и других подобных материалов, с воздушным или жидкостным охлаждением. Такие трансформаторы характеризуются множеством используемых конструкций, каждая из которых обеспечивает повышение удельной мощности и уменьшение потерь, однако выбор конкретной схемы нужно выполнять исходя из имеющихся электромагнитных ограничений для систем электропитания.

Работа выполнена за счет средств гранта для государственной поддержки молодых ученых Республики Башкортостан (НОЦ-ГМУ-2023).

Список источников

1. Иркутский филиал МГТУ ГА. Курс лекций по дисциплине «Электрические машины» [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/1640464/> (дата обращения: 10.12.2024).

2. Wang X. [et al.] Application of high frequency chain transformer in aviation power supply // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1486.

3. Magambo J.S.N.T. [et al.] Planar Magnetic Components in More Electric Aircraft: Review of Technology and Key Parameters for DC-DC Power Electronic Converter // IEEE Transactions on Transportation Electrification. 2017. Vol. 3. Iss. 4. P. 831-842.

4. Zhang, J. Analysis and Design of High Frequency Gapped Transformers and Planar Transformers in LLC Resonant Converters. PhD Thesis. 2015. 187 p.

5. Wong, F.K. High Frequency Transformer for Switching Mode Power Supplies. PhD Thesis. 2004. 154 p.

© Горбунов А.С., Каримов Р.Д., Клименко А.Ю., Ахметшин А.Т., 2025

Научная статья

УДК 621.314.6

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МНОГОПУЛЬСНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Антон Сергеевич Горбунов¹, Руслан Динарович Каримов²,
Антон Юрьевич Клименко³, Артур Талгатович Ахметшин⁴

^{1,4}Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия

^{2,3}Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

¹freizer-anton@yandex.ru ORCID: 0000-0002-5047-666X

²ruslan-k88@yandex.ru ORCID: 0000-0002-7379-7909

³carlos9631432348@gmail.com ORCID: 0009-0002-7380-8089

⁴artur-2506@mail.ru ORCID: 0000-0003-1610-3349

Аннотация. В настоящей работе рассматриваются математические модели многопульсных выпрямителей, в том числе с возможностью их реализации в пакетах программ MatLab и MathCAD для моделирования работы выпрямителей при установившихся и переходных режимах, а также при нестабильных параметрах питания.

Ключевые слова: MathCAD, MatLab, математическая модель выпрямителя, многопульсный выпрямитель.

Для цитирования: Горбунов, А.С. Анализ математических моделей многопульсных выпрямителей / А.С. Горбунов, Р.Д. Каримов, А.Ю. Клименко, А.Т. Ахметшин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF MULTIPULSE RECTIFIERS

Anton Sergeevich Gorbunov¹, Ruslan Dinarovich Karimov², Anton Yurievich Klimenko³, Artur Talgatovich Akhmetshin⁴

^{1,4}Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

^{2,3}Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

¹freizer-anton@yandex.ru ORCID: 0000-0002-5047-666X

²ruslan-k88@yandex.ru ORCID: 0000-0002-7379-7909

³carlos9631432348@gmail.com ORCID: 0009-0002-7380-8089

⁴artur-2506@mail.ru ORCID: 0000-0003-1610-3349

Annotation. This paper examines mathematical models of multi-pulse rectifiers, including the possibility of their implementation in the MatLab and MathCAD software packages for modeling the operation of rectifiers under steady-state and transient conditions, as well as under unstable power supply parameters.

Keywords: MathCAD, MatLab, mathematical model of rectifier, multipulse rectifier.

For citation: Gorbunov, A.S. Analysis of mathematical models of multipulse rectifiers / A.S. Gorbunov, R.D. Karimov, A.Y. Klimenko, A.T. Akhmetshin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Многопульсные выпрямители, являясь важным элементом современных систем электроэнергетики, обеспечивают эффективное выпрямление тока с минимальными гармоническими искажениями. Их широкое применение в области источников питания промышленных установок, силовых систем и в других важных узлах обуславливает необходимость анализа их работы и способов их совершенствования. Одним из основных инструментов для

такого анализа является использование математических моделей, которые позволяют предсказывать поведение системы в различных режимах эксплуатации.

Математическое моделирование многопульсных выпрямителей необходимо для оптимизации их работы, оценки параметров устойчивости, анализа взаимодействия фаз и минимизации потерь энергии. Такие модели помогают определять характеристики, а также выявлять возможные источники искажения и ухудшения качества выходного тока.

Существуют различные подходы к построению математических моделей многопульсных выпрямителей, включая модели с линейными и нелинейными параметрами, модели с учетом магнитных и электрических связей, а также модели, учитывающие динамику работы систем в реальном времени. Каждая из этих моделей имеет свои особенности, преимущества и области применения в зависимости от цели исследования. Однако, несмотря на разнообразие подходов, все модели должны обеспечивать достаточную точность при минимальных вычислительных затратах, чтобы быть пригодными для практического использования.

Материалы и методы. В [1] представлена имитационная модель управляемого трехфазного мостового выпрямителя, реализованная в программном комплексе *MatLab* (рис. 1).

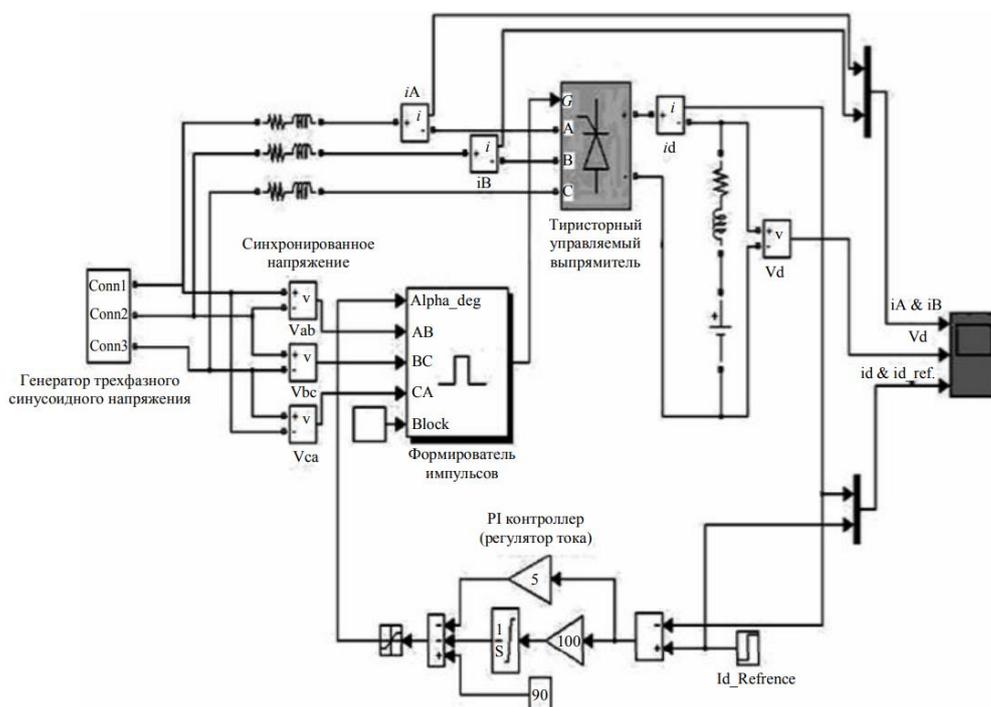


Рисунок 1 – Имитационная модель управляемого выпрямителя в пакете *MatLab*

Данная модель выполнялась для исследования работы и переходных процессов управляемого выпрямителя при разных типах и параметрах нагрузки, в том числе для исследования энергетических характеристики выпрямителя. В модели высчитывались среднее выпрямленное напряжение при разных углах регулирования, коммутации и различных параметрах нагрузки.

Среднее значение напряжения от величины угла регулирования [1]:

$$U_{cp} = \frac{3}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{3}+\alpha}^{+\frac{\pi}{3}+\alpha} E_{2m} \cos \vartheta d\vartheta = \frac{3E_{2m}}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} \cos \alpha = U_{cp.xx} \cos \alpha,$$

где U_{cp} – среднее значение напряжения на выходе выпрямителя; E_{2m} – амплитуда напряжения питания выпрямителя; α – угол регулирования, $U_{cp.xx}$ – среднее значение напряжения холостого хода на выходе выпрямителя.

Известна [2] математическая модель выпрямителя судовой энергетической системы (рис. 2), составленная для исследования электромагнитных процессов. Модель представляет собой комплекс различных расчетов, среди которых расчет параметров трансформатора по методике П.М. Тихомирова, матричный анализ индуктивностей, аппроксимирование кривых намагничивания стали, уравнение состояния выпрямителя. Все это позволяет моделировать работу устройства при различных отказах, таких как короткое замыкание, обрыв фаз и др.

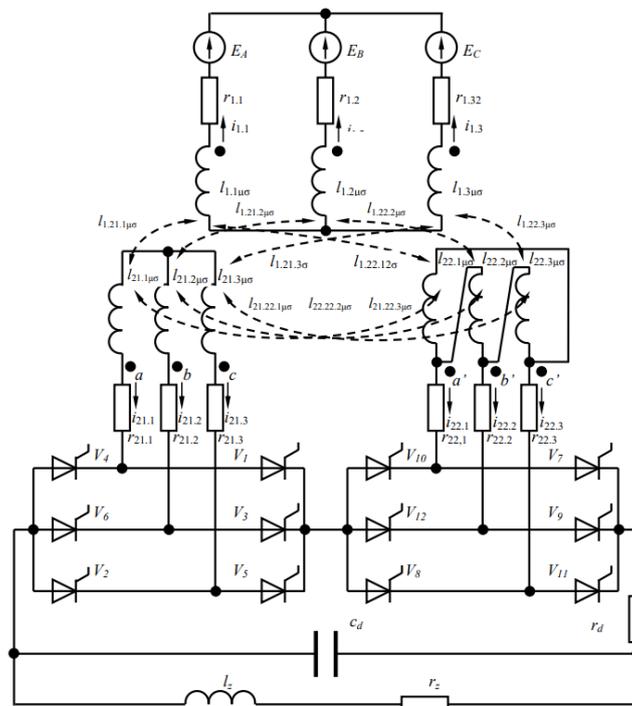


Рисунок 2 – Схема замещения трансформатора при учёте процессов намагничивания с цепями выпрямления, емкостного фильтра и эквивалентной нагрузки

Индуктивности и взаимные индуктивности рассеяния:

$$L_{1\sigma} = \mu_0 W_1^2 \text{diag} \left[\frac{S_{\sigma 1}}{l_{S\sigma 1}}, \frac{S_{\sigma 1}}{l_{S\sigma 1}}, \frac{S_{\sigma 1}}{l_{S\sigma 1}} \right], L_{1.21\sigma} = \mu_0 W_1 W_{21} \text{diag} \left[\frac{S_{\sigma 1.21}}{l_{S\sigma 1.21}}, \frac{S_{\sigma 1.21}}{l_{S\sigma 1.21}}, \frac{S_{\sigma 1.21}}{l_{S\sigma 1.21}} \right];$$

$$L_{1.22\sigma} = \mu_0 W_1 W_{22} \text{diag} \left[\frac{S_{\sigma 1.22}}{l_{S\sigma 1.22}}, \frac{S_{\sigma 1.22}}{l_{S\sigma 1.22}}, \frac{S_{\sigma 1.22}}{l_{S\sigma 1.22}} \right], L_{21\sigma} = \mu_0 W_{21}^2 \text{diag} \left[\frac{S_{\sigma 21}}{l_{S\sigma 21}}, \frac{S_{\sigma 21}}{l_{S\sigma 21}}, \frac{S_{\sigma 21}}{l_{S\sigma 21}} \right];$$

$$L_{22\sigma} = \mu_0 W_{22}^2 \text{diag} \left[\frac{S_{\sigma 22}}{l_{S\sigma 22}}, \frac{S_{\sigma 22}}{l_{S\sigma 22}}, \frac{S_{\sigma 22}}{l_{S\sigma 22}} \right]; L_{21.22\sigma} = \mu_0 W_{21} W_{22} \text{diag} \left[\frac{S_{\sigma 21.22}}{l_{S\sigma 21.22}}, \frac{S_{\sigma 21.22}}{l_{S\sigma 21.22}}, \frac{S_{\sigma 21.22}}{l_{S\sigma 21.22}} \right],$$

где $S_{\sigma XX}$ – площади сечений для потоков рассеяния обмоток; $l_{S\sigma XX}$ – длины силовых линий потоков рассеяния обмоток; W_1 – число витков обмотки ВН;

W_{21} – число витков первой секции вторичной обмотки; W_{22} – число витков второй секции вторичной обмотки; diag – оператор преобразования матрицы в вектор.

Матрица индуктивностей и взаимных индуктивностей рассеяния [2]:

$$L_{\sigma} = \begin{bmatrix} L_{1\sigma} & L_{1.21\sigma} & L_{1.22\sigma} \\ L_{1.21\sigma} & L_{21\sigma} & L_{21.22\sigma} \\ L_{1.22\sigma} & L_{21.22\sigma} & L_{22\sigma} \end{bmatrix}$$

Уравнение состояния выпрямителя с учётом процессов перемагничивания трансформатора с возможным насыщением:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} I_{hl} = L_{hl}^{-1} (E_{hl} - I_{hl} R_{hl}), \\ \frac{d}{dt} U_C = C^{-1} I_C, \\ \frac{d}{dt} B_{\mu} = R_{h\mu\delta}^{-1} S_{\mu}^{-1} [W_1 W_{21} W_{22}] \frac{d}{dt} I_T, \end{cases}$$

где I_{hl} и B_{μ} – вектора токов независимых контуров с индуктивностями схемы замещения и индукций ферромагнитных стержней; U_C и I_C – напряжения и токи емкостей схемы замещения; E_{hl} – вектор контурных ЭДС; L_{hl} и R_{hl} – матрицы контурных индуктивностей и активных сопротивлений; C – диагональная матрица емкостей ветвей; $R_{h\mu\delta}$ – матрица контурных магнитных сопротивлений схемы замещения магнитной цепи, зависящая от значений индукций ферромагнитных стержней, имеющих площади поперечных сечений S_{μ} ; I – токи ветвей электрической схемы замещения, в число которых входят ток ёмкости I_C и токи трансформатора I_T .

В работе [3] предложена математическая модель (рис. 3) работы управляемых выпрямителей (УВ на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем (ТВМП)).

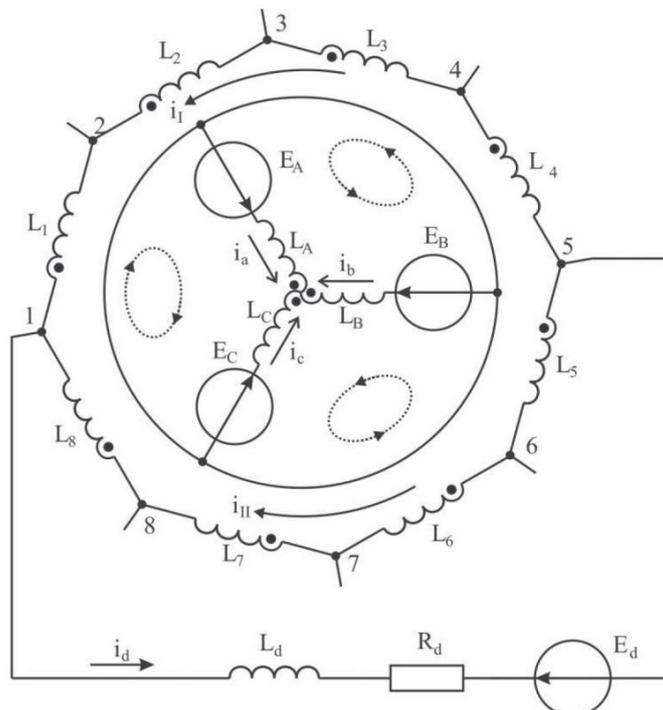


Рисунок 3 – Расчетная схема замещения УВ с ТВМП на первом этапе коммутации

Данная модель использует матричный анализ индуктивностей и взаимоиндуктивностей и систему дифференциальных уравнений для описания электромагнитных процессов в установившихся режимах. Это позволяет с помощью данной модели разрабатывать различные выпрямители на кольцевых схемах с вентилями различных способов управления.

Также известна [4] математическая модель в среде *MathCad* для расчета параметров многопульсных выпрямителей (рис. 4).

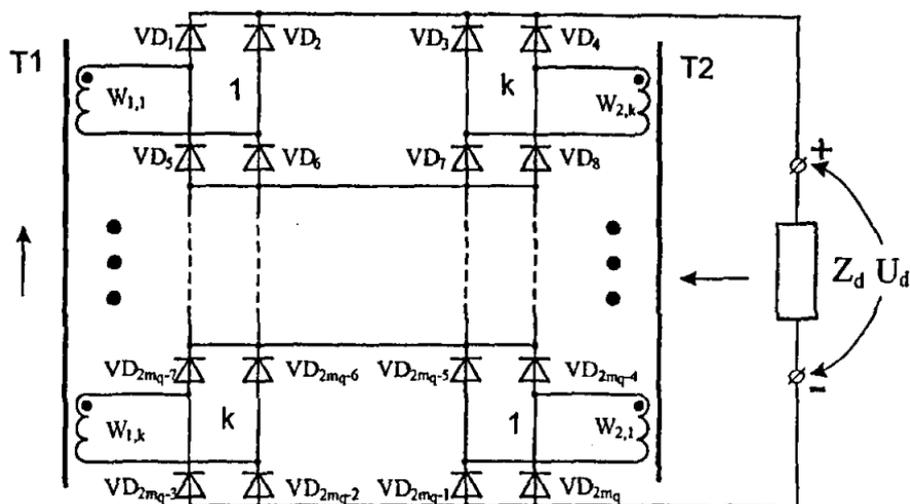


Рисунок 4 – Обобщенная принципиальная схема многопульсного выпрямителя напряжений ортогональных систем

Математическая модель включает в себя определение длительности работы каждой обмотки, интегральный расчет действующих значений токов, максимального значения обратного напряжения на диодах, среднего значения напряжения и размаха пульсаций выпрямленного напряжения, установленной мощности вторичных обмоток.

Действующие значения токов, протекающих через вторичные обмотки трансформаторов:

$$I_{1,k} = I_{2,k} = \sqrt{\frac{\beta(2k-1)}{\pi}} I_d.$$

где I_d – среднее значение выпрямленного тока.

Обобщенные соотношения для определения среднего значения напряжения и размаха пульсаций выпрямленного напряжения [4]:

$$U_{d \max} = U_{1,1} \sum_{k=1}^{mq/4} W_k;$$

$$U_{d \min} = U_{d \max} \cos\left(\frac{\pi}{mq}\right) = U_{1,1} \cos\left(\frac{\pi}{mq}\right) * \sum_{k=1}^{mq/4} W_k;$$

$$\Delta = U_{d \max} - U_{d \min} = U_{d \max} \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{mq}\right)\right);$$

$$U_{d0} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{mq}{\pi} U_{dmax} \sin\left(\frac{\pi}{mq}\right);$$

$$\Delta\% = \frac{\Delta}{U_{d0}} 100\% = \frac{\pi \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{mq}\right)\right)}{mq \sin\left(\frac{\pi}{mq}\right)} 100\%,$$

где $k = 1, 2 \dots \frac{mq}{4}$, причем для трансформатора Т1 индекс k увеличивается при нумерации от верхней вторичной обмотки к нижней, а для Т2 – от нижней обмотки к верхней; β – длительность пульсации; m – число фаз; q – число используемых полупериодов напряжения питания, W_k – число витков вторичных обмоток; U_{dmax}, U_{dmin} – максимальное и минимальное мгновенные значения выпрямленного напряжения, Δ – размах пульсаций.

В [5] предложена математическая модель выпрямителя, обеспечивающего снижение искажения качества потребляемого из сети тока, которое достигается без увеличения пульсности преобразования (рис. 5).

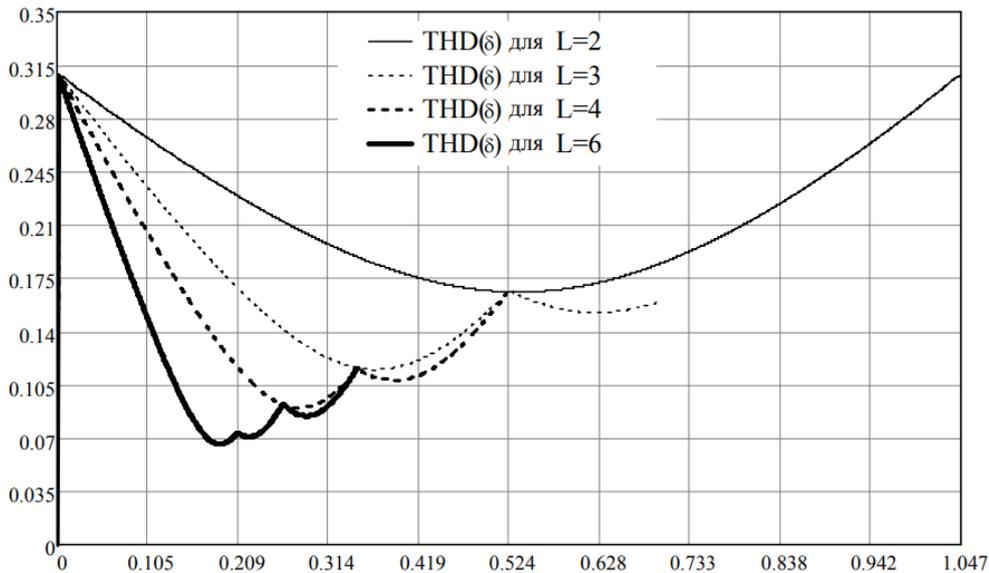


Рисунок 5 – Графики функций изменения коэффициента несинусоидальности по току в зависимости от угла сдвига фаз пульсаций отдельных мостов δ для сети с нейтральным проводом для 6-, 12-, 18-, 24- и 36-пульсных выпрямителей

В математической модели рассчитывается коэффициент геометрического суммирования и коммутационных функций фазы питающей сети и коэффициенты несинусоидальности и нелинейных искажений тока в зависимости от δ и числа мостов, для нахождения наилучшего значения фазосдвигающего угла.

Коэффициент геометрического суммирования векторов $L(2k + 1)$ гармоник:

$$K_{SL(2k+1)} = \frac{\sin\left[(2k + 1)\frac{L\delta}{2}\right]}{L \sin\left[(2k + 1)\frac{L\delta}{2}\right]}$$

где L – число каналов преобразования (мостов).

Формула является расчетной для любого кол-ва каналов L и для любого угла δ . В случае, если m -пульсная система симметрична, то [5]:

$$m = 2 * 3 * L; L = \frac{m}{6}; \delta = \frac{2\pi}{m} = \frac{\pi}{3L}$$

Коэффициенты несинусоидальности и нелинейных искажений тока соответственно можно рассчитать по следующим формулам:

– для электрической сети с нейтралью:

$$K_{Ij(v)} = \frac{2 \sin \left[(2k + 1) \frac{\pi}{3} \right] \sin \frac{\pi}{m}}{\sqrt{3}(2k + 1) \sin \left[(2k + 1) \frac{\pi}{m} \right]};$$

$$THD_{Ij} = K_{Ij} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \frac{\pi}{m} \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \left[(2k + 1) \frac{\pi}{3} \right]}{(2k + 1) \sin \left[(2k + 1) \frac{\pi}{m} \right]}}$$

где v – номер гармоники.

– для сети без нейтрального провода:

$$K_{Ij(v)} = \frac{2 \sin \left[(mk \mp 1) \frac{\pi}{3} \right] \sin \frac{\pi}{m}}{\sqrt{3}(mk \mp 1) \sin \left[(mk \mp 1) \frac{\pi}{m} \right]};$$

$$THD_{Ij} = K_{Ij} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sin \frac{\pi}{m} \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin \left[(mk \mp 1) \frac{\pi}{3} \right]}{(mk \mp 1) \sin \left[(mk \mp 1) \frac{\pi}{m} \right]}}$$

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод о том, что представленные математические модели позволяют проводить расчеты многих параметров, таких как входные и выходные напряжения и ток, индуктивности и взаимоиндуктивности систем, размах и величину пульсаций, коэффициенты несинусоидальности и нелинейных искажений потребляемых токов преобразователей. Другими словами, с помощью представленных математических моделей можно рассчитывать параметры выпрямителей с различными схемами, моделировать работу выпрямителей при переходных, устоявшихся и аварийных режимах работы.

Работа выполнена за счет средств гранта для государственной поддержки молодых ученых Республики Башкортостан (НОЦ-ГМУ-2023).

Список источников

1. Тве, М.З. Математическое моделирование системы управления активным трехфазным мостовым выпрямителем / М.З. Тве, А.В. Щагин // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2011. – № 2. – С. 37-43.

2. Титов, В.Г. [и др.] Анализ электромагнитных процессов в выпрямителе для судовой энергетической системы // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2016. – № 3(114). – С. 95-104.

3. Сакович, И.А. Математическое моделирование управляемых выпрямителей, построенных на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем / И.А. Сакович, А.И. Черевко, Е.В. Лимонникова // Вестник

государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 3(37). – С. 192-200.

4. Вильбергер, М.Е. Режимы работы схем многопульсных выпрямителей при несимметрии и несинусоидальности напряжений питающей сети для тяговых подстанций: дис. канд. техн. наук. Новосибирск, 2009. – 212 с.

5. Каршенов, Д.П. Малоискажающие многопульсные несимметричные трехфазные выпрямительные системы / Д.П. Каршенов // Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2013. – № 34. – С. 76-81.

© Горбунов А.С., Каримов Р.Д., Клименко А.Ю., Ахметшин А.Т., 2025

Научная статья

УДК 621.314.6

АНАЛИЗ СХЕМ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

**Антон Сергеевич Горбунов¹, Руслан Динарович Каримов²,
Антон Юрьевич Клименко³, Артур Талгатович Ахметшин⁴**

^{1,4}Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия

^{2,3}Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

¹freizer-anton@yandex.ru ORCID: 0000-0002-5047-666X

²ruslan-k88@yandex.ru ORCID: 0000-0002-7379-7909

³carlos9631432348@gmail.com ORCID: 0009-0002-7380-8089

⁴artur-2506@mail.ru ORCID: 0000-0003-1610-3349

Аннотация. В настоящей работе рассматриваются различные схемы управляемых выпрямителей и компенсирующие устройства, необходимые для их эффективной работы. Среди схем описываются нулевая и мостовая схемы, кольцевая схема на базе трансформатора с вращающимся магнитным полем, выпрямители со ступенчатым регулированием.

Ключевые слова: управляемые выпрямители, тиристорные выпрямители, кольцевая схема выпрямителя, трансформаторно-тиристорное комплексное устройство.

Для цитирования: Горбунов, А.С. Анализ схем управляемых выпрямителей / А.С. Горбунов, Р.Д. Каримов, А.Ю. Клименко, А.Т. Ахметшин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF CONTROLLED RECTIFIER SCHEMES

**Anton Sergeevich Gorbunov¹, Ruslan Dinarovich Karimov²,
Anton Yurievich Klimenko³, Artur Talgatovich Akhmetshin⁴**

^{1,4}Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

^{2,3}Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

¹freizer-anton@yandex.ru ORCID: 0000-0002-5047-666X

²ruslan-k88@yandex.ru ORCID: 0000-0002-7379-7909

³carlos9631432348@gmail.com ORCID: 0009-0002-7380-8089

⁴artur-2506@mail.ru ORCID: 0000-0003-1610-3349

Annotation. In this paper, various circuits of controlled rectifiers and compensating devices necessary for their efficient operation are considered. The circuits include zero and bridge circuits, a ring circuit based on a transformer with a rotating magnetic field, and step-controlled rectifiers.

Keywords: controlled rectifiers, thyristor rectifiers, ring rectifier circuit, transformer-thyristor complex device.

For citation: Gorbunov, A.S. Analysis of controlled rectifier circuits / A.S. Gorbunov, R.D. Karimov, A.Y. Klimenko, A.T. Akhmetshin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Управляемые выпрямители занимают важное место в современной электроэнергетике и электронике, обеспечивая преобразование переменного тока в постоянный с возможностью регулировки выходных параметров. Эти устройства находят применение в различных областях, включая системы электроприводов, источники питания, регуляторы напряжения и др.

Основным отличием управляемых выпрямителей от неуправляемых является способность изменять параметры выпрямленного напряжения с помощью внешнего управляющего сигнала. Это достигается благодаря использованию полупроводниковых приборов, таких как тиристоры или IGBT-транзисторы, которые обеспечивают гибкость и точность управления процессом преобразования энергии.

Развитие технологий силовой электроники позволило повысить эффективность и надежность управляемых выпрямителей, что особенно важно в условиях возрастающих требований к энергосбережению и устойчивости систем электроснабжения.

Материалы и методы. Самой простой разновидностью управляемых трехфазных мостовых выпрямителей является схема тиристорного управляемого выпрямителя (рис. 1), выполняемая аналогично неуправляемой, в котором вместо диодов применены тиристоры, а также добавлена система управления тиристорами [1].

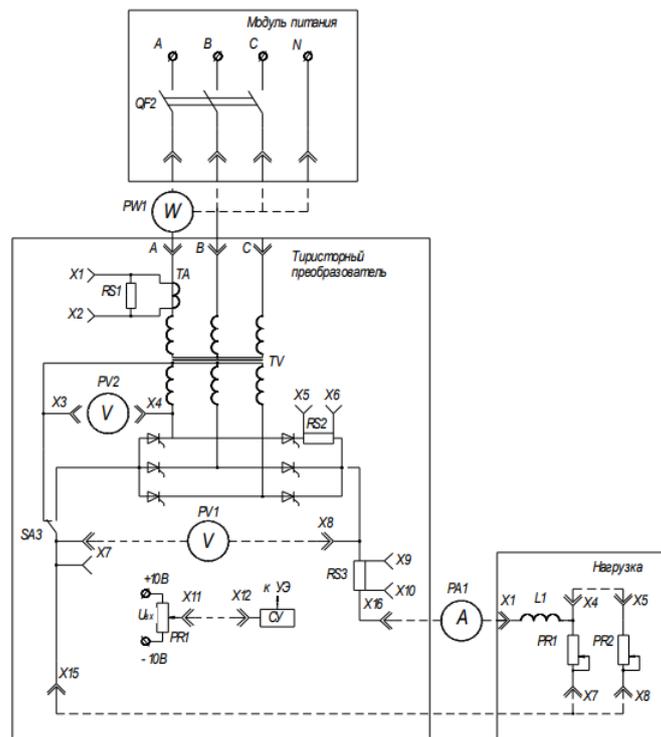


Рисунок 1 – Управляемый мостовой выпрямитель в составе стенда по исследованию работы выпрямителей на нагрузку

В [1] проводилось сравнение характеристик мостовой схемы выпрямителя со схемой с нулевой точкой, в ходе которого выяснилось, что мостовая схема имеет напряжение при минимальном угле управления почти в 2 раза выше, чем нулевая, что значит, что диапазон регулирования у мостовых схем гораздо больше, чем у нулевых.

Помимо отмеченных стандартных схем регулирования, существуют и альтернативные [2], к примеру выпрямители на базе трансформатора с вращающимся магнитным полем и кольцевой обмоткой (рис. 2).

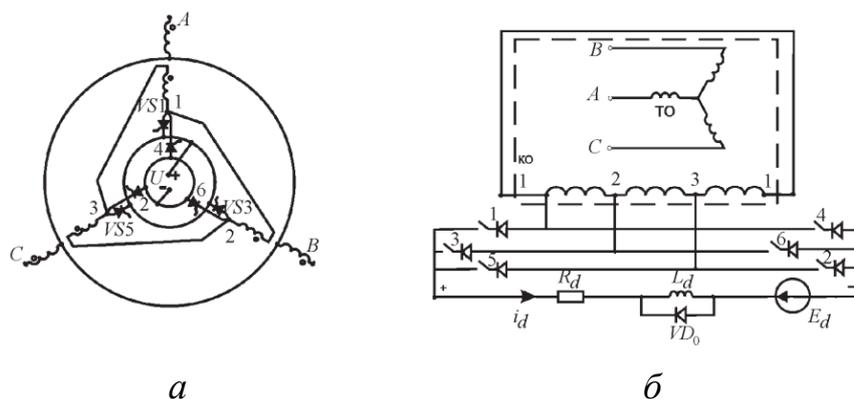


Рисунок 2 – Управляемый выпрямитель на базе трансформатора с вращающимся магнитным полем на 3 пары силовых ключей: а – схема; б – мостовые схемы замещения с 3 секциями в составе кольцевой обмотки

Главным отличием данной схемы от стандартных выпрямителей, питаемых от трехстержневого трансформатора с плоской магнитной системой, являются симметричность магнитопровода, имеющего одинаковые значения магнитного сопротивления пути каждой фазы и применение кольцевой обмотки

(КО). В [2] проводились сравнения уровня влияния высших гармоник в различных схемах выпрямителей с различным числом силовых вентилей, результаты которого представлены в табл.

Таблица – Коэффициент гармонических искажений напряжения k_{rU} и тока k_{rI} для разных схем

Параметр	Y/Y	Y/ Δ	Y/КО					
			3	4	5	6	7	8
k_{rU}	0.311	0.310	0.276	0.407	0.162	0.283	0.129	0.211
k_{rI}	0.025	0.026	0.033	0.084	0.010	0.032	0.006	0.016

Из результатов исследования можно отметить, что при работе кольцевой схемы с 7 парами силовых ключей без дополнительных устройств по подавлению высших гармоник, коэффициент искажения по напряжению составил 12,9%, что почти в 2,5 раза меньше, чем у мостового выпрямителя с трансформатором по схеме звезда-звезда. С применением мероприятий по подавлению гармоник этот коэффициент становится равным 2,3% [2].

В случаях, когда отсутствует необходимость в обеспечении большого диапазона регулирования и/или требуется стабилизация выходного напряжения, находят применение выпрямители со ступенчатым регулированием (рис. 3).

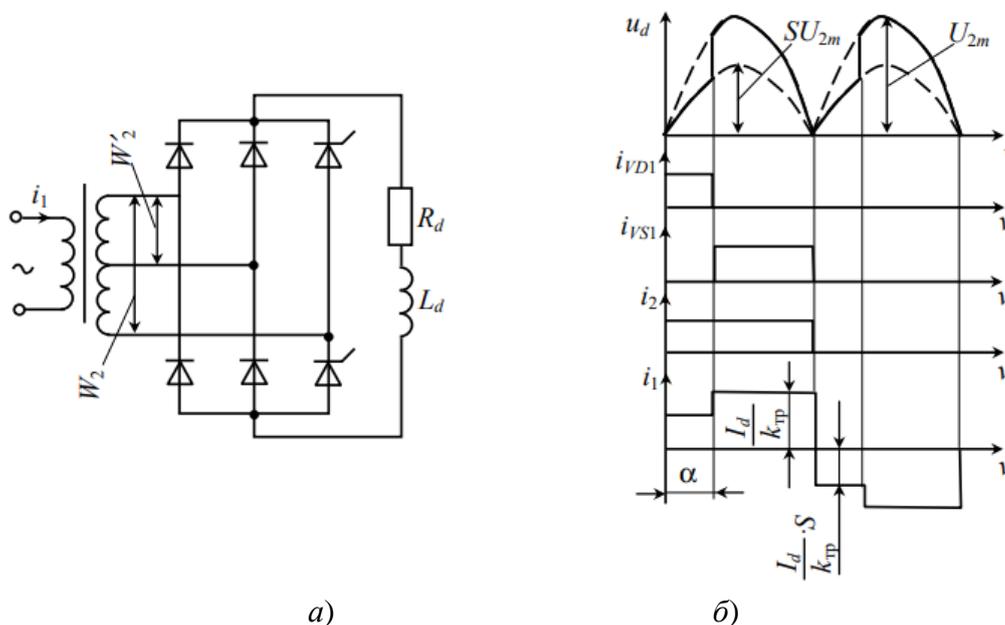


Рисунок 3 – Трехфазный выпрямитель со ступенчатым регулированием:
а – схема; б – диаграммы работы

Достоинствами данной схемы являются более низкий коэффициент искажений и более высокий коэффициент мощности, по сравнению с обычными мостовыми управляемыми выпрямителями, однако недостатками являются ограниченный диапазон регулирования напряжения и завышенная габаритная мощность трансформатора [3].

Использование тиристоров и транзисторов в управляемых выпрямителях при реализации фазового управления всегда сопровождается увеличенным

потреблением реактивной мощности и усилением влияния высших гармоник тока, что вместе оказывает сильное негативное влияние на работающее электрооборудование и питающую сеть. Поэтому управляемые выпрямители требуют применения компенсаторных устройств, простейшими из которых являются конденсаторные батареи и тиристорные компенсаторы. Однако конденсаторные батареи недостаточно эффективны в случае переменной реактивной мощности, а тиристорные компенсаторы имеют относительно низкий КПД, высокие потери и ограниченный диапазон регулирования.

В работе [4] предлагается альтернатива рассмотренным способам управления, с помощью применения трансформаторно-тиристорного компенсатора реактивной мощности (ТТКРМ) с силовым параллельным активным фильтром (СПАФ) (рис. 4).

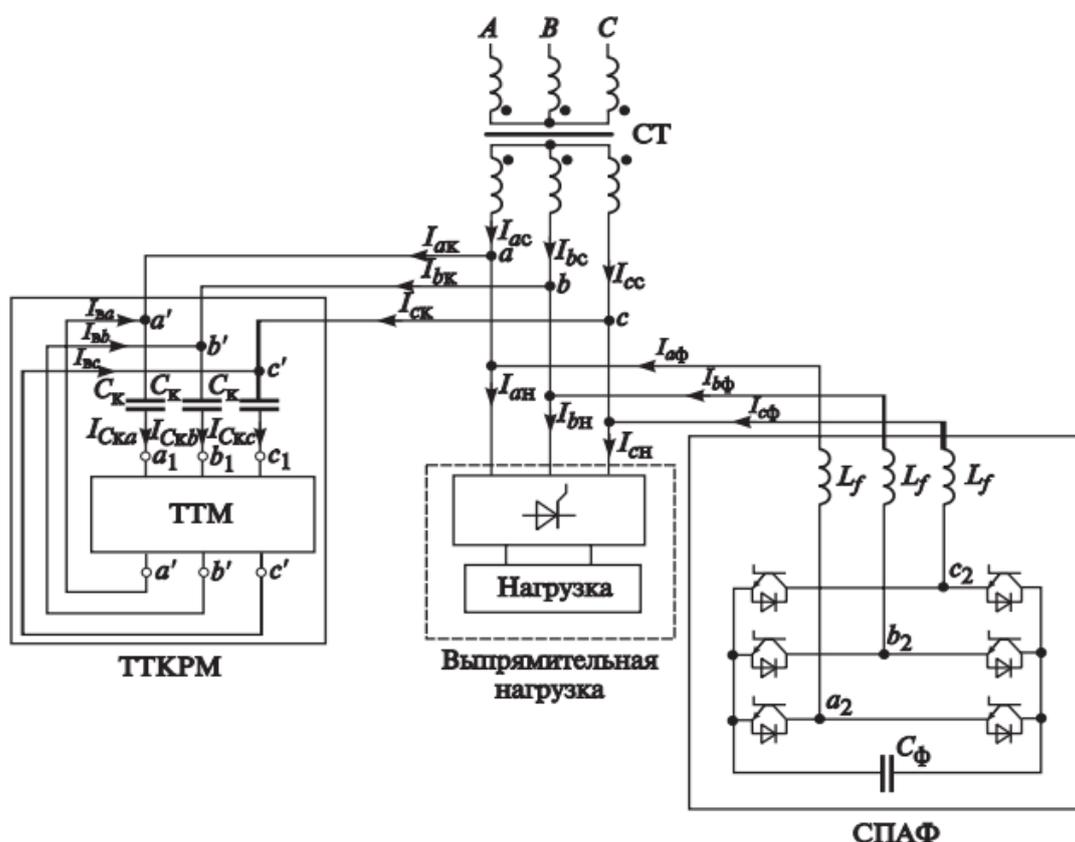


Рисунок 4 – Функциональная схема комплексного компенсирующего устройства

Принцип работы ТТКРМ заключается в изменении амплитуды и фазы напряжения на конденсаторных батареях при вариациях напряжения на вспомогательном трансформаторе, которое определяется тиристорными ключами, прикладываящими напряжение к его первичной обмотке. Основная функция СПАФ – генерирование в питающую сеть токов, находящихся с токами высших гармоник в противофазе. В результате применения данного устройства, достигнутый коэффициент мощности составил не менее 0,95, коэффициент сдвига тока от напряжения 0,97-0,98, а коэффициент гармоник был равен 3% [4].

Также существует [5] схема понижающего полномостового выпрямителя с активной коррекцией коэффициента мощности (АККМ) (рис. 5).

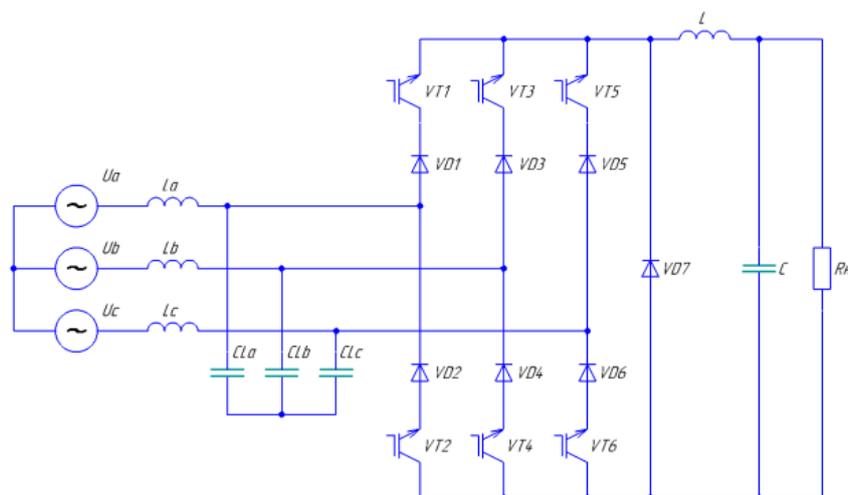


Рисунок 5 – Принципиальная схема полномостового выпрямителя с АККМ

Данная схема состоит из двух преобразователей, трехфазного LC -фильтра на входе в выпрямитель и однофазного LC -фильтра на выходе понижающего импульсного преобразователя. Выпрямитель представляет собой шесть последовательно соединенных пар транзисторов и диодов, соединенных по схеме Ларионова. Транзисторы управляются с помощью широтно-импульсной модуляции. Данная схема позволяет регулировать напряжение, ограничиваясь верхним пределом линейного напряжения сети, при этом сохраняя форму тока синусоидальной и синфазной по отношению к входному напряжению и обеспечивая коэффициент мощности, близкий к единице. Также к преимуществам данной схемы можно отнести простую схему управления и необходимость только в вольтметре на выходе для обеспечения работоспособности. К недостаткам можно отнести повышенную стоимость оборудования ввиду необходимости большого числа LC -фильтров, полупроводниковых приборов, необходимости усиленной системы охлаждения, сложность синхронизации коммутации [5].

Заключение. Таким образом, можно сказать, что выбор управляемых выпрямителей зависит от заданных условий, области применения (действующих стандартов на качество потребляемого тока преобразовательными устройствами) и требований нагрузки к качеству выходной электрической энергии источника питания, однако можно отметить, что для неглубокой регулировки подходят выпрямители со ступенчатым регулированием, а для глубокого регулирования рационально использовать кольцевые 7-парные схемы выпрямителей. Также стоит отметить, что для использования управляемых выпрямителей требуются дополнительные устройства для компенсации реактивной мощности и высших гармоник тока.

Работа выполнена за счет средств гранта для государственной поддержки молодых ученых Республики Башкортостан (НОЦ-ГМУ-2023).

Список источников

1. Скалаух, А.В. Исследование схем трехфазных управляемых выпрямителей // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 2, № 71. С. 39–40.

2. Черевко, А.И. Исследование влияния управляемых выпрямителей с трансформаторами вращающегося магнитного поля на питающую сеть / А.И. Черевко, М.М. Музыка // Электротехника. – 2008. – № 12. – С. 13-19.

3. Коновалов, Б.И. Основы преобразовательной техники: учебное пособие. / Б.И. Коновалов, В.С. Мишуков // Томск: Факультет дистанционного обучения, ТУСУР. – 2015. – 197 с.

4. Кириенко, В.П. Комплексное устройство компенсации реактивной мощности и мощности искажения в системах питания с управляемыми выпрямителями / В.П. Кириенко, М.Н. Слепченков // Электричество. – 2006. – №11. – С. 33-40.

5. Милослов, А.В. Моделирование и сравнительный анализ трехфазных корректоров коэффициента мощности: магистерская диссертация / А.В. Милослов // Тольятти. – 2019. – 88 с.

© Горбунов А.С., Каримов Р.Д., Клименко А.Ю., Ахметшин А.Т., 2025

Научная статья
УДК 621.314.6

АНАЛИЗ СХЕМ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С СИНУСОИДАЛЬНЫМ ПОТРЕБЛЯЕМЫМ ТОКОМ

Антон Сергеевич Горбунов¹, Руслан Динарович Каримов²,
Антон Юрьевич Клименко³, Артур Талгатovich Ахметшин⁴

^{1,4}Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия

^{2,3}Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, Россия

¹freizer-anton@yandex.ru ORCID: 0000-0002-5047-666X

²ruslan-k88@yandex.ru ORCID: 0000-0002-7379-7909

³carlos9631432348@gmail.com ORCID: 0009-0002-7380-8089

⁴artur-2506@mail.ru ORCID: 0000-0003-1610-3349

Аннотация. В настоящей работе рассматриваются выпрямители с синусоидальным потребляемым током: однофазная схема с двойным преобразованием, классический трехфазный выпрямитель с ШИМ, трехуровневый выпрямитель Vienna, схема Swiss-выпрямителя и схема активного выпрямителя для питания частотного преобразователя. Показаны особенности и преимущества и недостатки данных схем выпрямления.

Ключевые слова: выпрямитель с ШИМ, ШИМ, выпрямитель на транзисторах, выпрямитель с синусоидальным потребляемым током.

Для цитирования: Горбунов, А.С. Анализ схем выпрямителей с синусоидальным потребляемым током / А.С. Горбунов, Р.Д. Каримов, А.Ю. Клименко, А.Т. Ахметшин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

ANALYSIS OF RECTIFIER CIRCUIT SINUSOIDAL CURRENT CONSUMPTION

**Anton Sergeevich Gorbunov¹, Ruslan Dinarovich Karimov²,
Anton Yurievich Klimenko³, Artur Talgatovich Akhmetshin⁴**

^{1,4}Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

^{2,3}Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

¹freizer-anton@yandex.ru ORCID: 0000-0002-5047-666X

²ruslan-k88@yandex.ru ORCID: 0000-0002-7379-7909

³carlos9631432348@gmail.com ORCID: 0009-0002-7380-8089

⁴artur-2506@mail.ru ORCID: 0000-0003-1610-3349

Annotation. This paper examines rectifiers with sinusoidal current consumption: a single-phase circuit with double conversion, a classic three-phase rectifier with PWM, a three-level Vienna rectifier, a Swiss rectifier circuit, and an active rectifier circuit for powering a frequency converter. The features and advantages and disadvantages of these rectification circuits are shown.

Keywords: PWM rectifier, PWM rectifier on transistors, rectifier with sinusoidal current consumption.

For citation: Gorbunov, A.S. Analysis of rectifier circuits with sinusoidal current consumption / A.S. Gorbunov, R.D. Karimov, A.Y. Klimenko, A.T. Akhmetshin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. С развитием технологий в области электроники и энергоснабжения, требования к качеству электропитания становятся всё более строгими. Одним из вариантов обеспечения стабильного и эффективного питания является использование выпрямителей с синусоидальным потребляемым током. Эти устройства играют важную роль в системах, где необходимо преобразовывать переменный ток в постоянный с минимальными потерями энергии и искажениями.

Выпрямители на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и транзисторных схем сегодня занимают высокие позиции в высокотехнологичных и энергоэффективных приложениях. ШИМ-выпрямители, благодаря своей способности изменять ширину импульсов для управления мощностью, обеспечивают точную регулировку выходного напряжения и минимизируют гармоничные искажения, которые могут отрицательно сказаться на работе чувствительного оборудования. В свою очередь, транзисторные выпрямители, использующие современные полупроводниковые компоненты, обладают высокой эффективностью, надежностью и долговечностью.

Материалы и методы. В [1] представлена схема однофазного выпрямителя с ШИМ (рис. 1), с использованием IGBT-транзисторов, диодов и LC-фильтров.

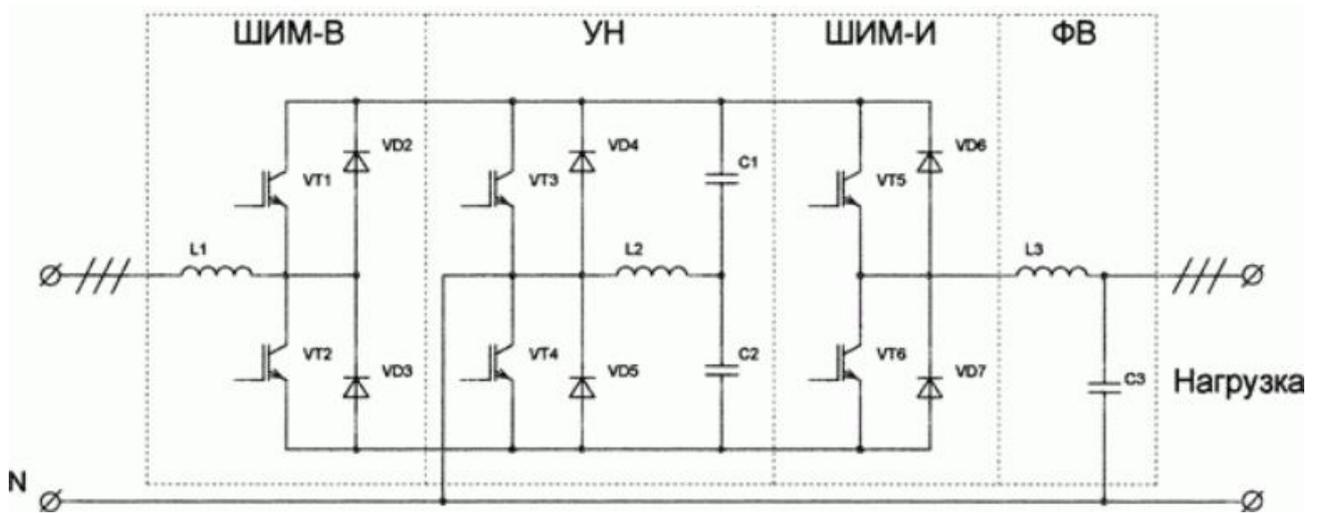


Рисунок 1 – Схема с двойным преобразованием энергии с ШИМ-выпрямителем

Схема условно разделяется на блоки, среди которых ШИМ-В – широтно-импульсный выпрямитель и ШИМ-И – широтно-импульсный инвертор, УН – уравниватель напряжений. Преимуществами данной схемы являются высокий входной коэффициент мощности, близкий к 0,99, регулирование напряжения на шинах питания инвертора, возможность обеспечения рекуперации энергии.

В [2] представлена схема трехфазного мостового ШИМ-выпрямителя (рис. 2).

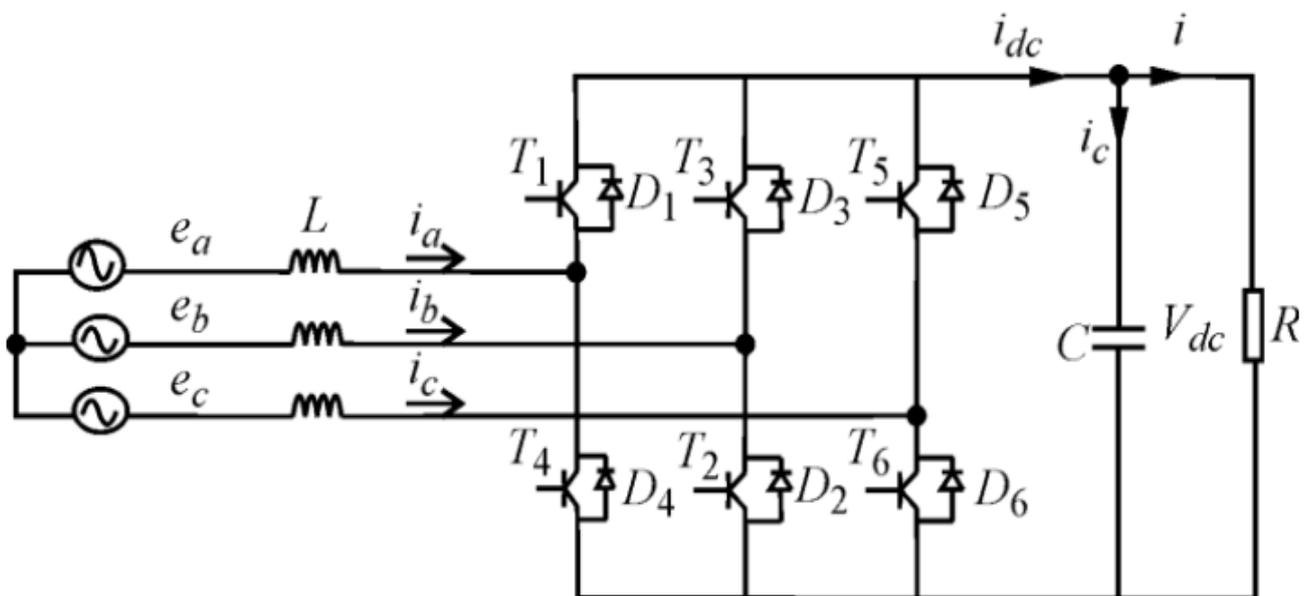


Рисунок 2 – Схема трехфазного ШИМ-выпрямителя

Преобразователь представляет собой мостовую трехфазную схему выпрямителя с использованием *IGBT*-транзисторов с обратными диодами и фильтрами на стороне постоянного и переменного тока. Схема позволяет управлять и поддерживать коэффициент мощности на необходимом уровне и модулировать выпрямляемое напряжение и ток.

Также известна схема [3], использующая векторную ШИМ (рис. 3).

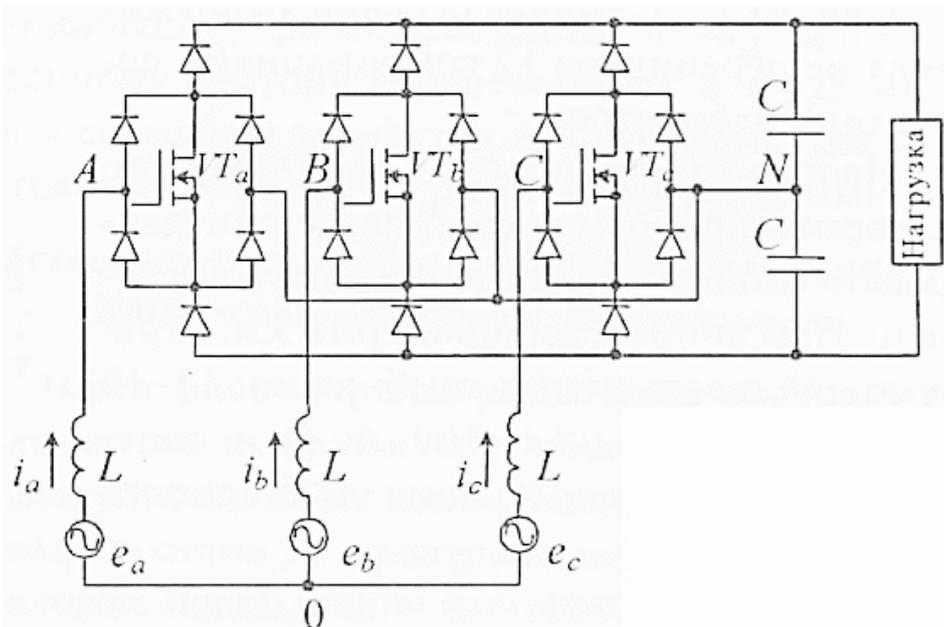


Рисунок 3 – Трехуровневый Vienna-выпрямитель

Данная схема реализуется с помощью трех двунаправленных ключей, с помощью которых можно реализовать 27 комбинаций состояния элементов векторного управления в отличие от 12 комбинаций стандартной схемы трехуровневого выпрямителя. Это позволяет добиваться наиболее оптимальной энергоэффективной работы выпрямителя.

В работе [4] предлагается трехфазный управляемый выпрямитель понижающего типа (SWISS-выпрямитель) (рис. 4).

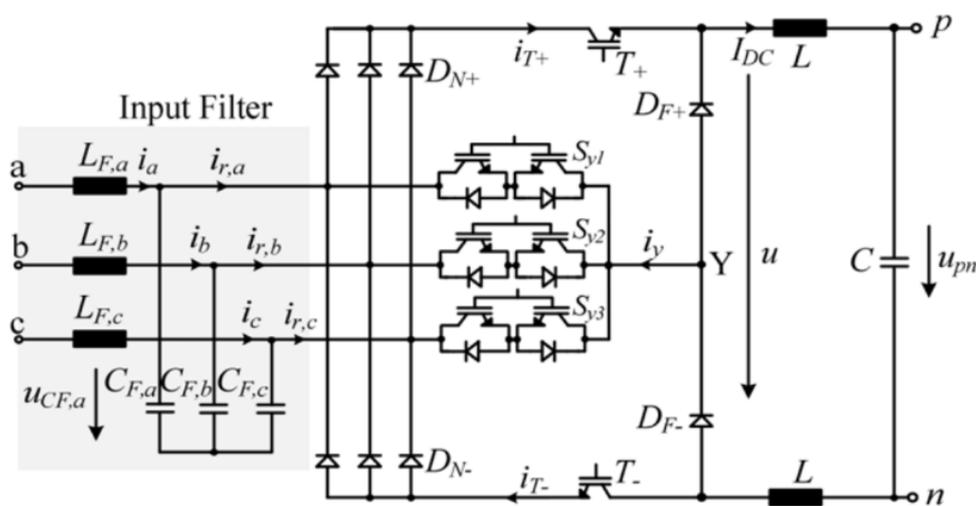


Рисунок 4 – Схема SWISS-выпрямителя

Схема состоит из пяти основных блоков: входной и выходной LC-фильтр, диодный мостовой выпрямитель, высокочастотные транзисторы, низкочастотные ключи. Достоинствами данной схемы являются сниженное число высокочастотных полупроводников, низкие коммутационные потери, более простая система управления, меньшие требования ко входному фильтру. Недостатками же являются невозможность регулирования коэффициента мощности, большое общее число полупроводников.

Также существует схема [5] активного выпрямителя для питания приводов с частотным преобразователем (рис. 5).

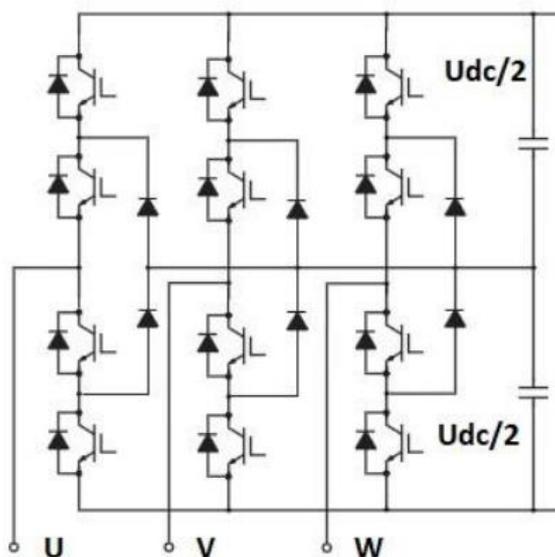


Рисунок 5 – Электрическая схема универсального силового модуля для питания приводов

В данной схеме используются блоки по 4 последовательных транзистора, средние точки которых через диоды подключены к конденсаторам. В таких схемах применяются ШИМ по алгоритмам, обеспечивающим постоянные углы переключения вентилях или устранение заданных гармоник в кривой напряжения сети.

Заключение. Таким образом, можно сказать, что применение различных схем выпрямителей с синусоидальным потреблением тока, позволяет добиваться очень высоких значений коэффициента мощности, минимизировать влияние высших гармоник на напряжение сети путем более качественного подавления гармоник, повышать энергоэффективность работы выпрямителей и точно регулировать выходные параметры выпрямителей.

Работа выполнена за счет средств гранта для государственной поддержки молодых ученых Республики Башкортостан (НОЦ-ГМУ-2023).

Список источников

1. Современные направления развития силовых преобразователей переменного тока [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tensy.ru/stati/sovremennye-napravleniya-razvitiya-silovykh-preobrazovatelei/> (дата обращения: 10.12.2024).
2. Щагин, А.В. Коррекция коэффициента мощности на IGBT-транзисторах в системе управления трехфазным выпрямителем / А.В. Щагин, Т. Чжо, Т.Т. Йе // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2013. – № 3(101). – С. 82-87.
3. Брованов, С.В. Реализация векторной ШИМ в трехфазном трехуровневом выпрямителе / С.В. Брованов, С.А. Харитонов // Электротехника. – 2008. – № 6. – С. 33-38.
5. Зиновьев, Г.С. [и др.] Электромагнитная совместимость устройств силовой электроники. Трехфазные выпрямители с улучшенной ЭМС: учебно-методическое пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 70 с.

б. Николаев, А.А. Разработка адаптивного алгоритма ШИМ активного выпрямителя и способа диагностики резонансных явлений во внутривзаводских сетях / А.А. Николаев, М.В. Буланов, К.А. Шахбиева // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2020. – № 4. – С. 44-54.

© Горбунов А.С., Каримов Р.Д., Клименко А.Ю., Ахметшин А.Т., 2025

Научная статья
УДК 631.6

ВЫБОР ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИСХОДЯ ИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Егор Павлович Гуськов¹

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹egorguskov7997@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0933-1303>

Аннотация. В статье рассматриваются основные виды теплоизоляционных материалов; приводятся их характеристики, а также прилагается сравнительная таблица материалов для теплоизоляции.

Ключевые слова: теплоизоляция, материал, утеплитель, строительный материал, теплоизоляционный материал.

Для цитирования: Гуськов, Е.П. Выбор теплоизоляционных материалов исходя из показателей / Е.П. Гуськов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

THE CHOICE OF THERMAL INSULATION MATERIALS BASED ON THE INDICATORS

Egor Pavlovich Guskov¹

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹egorguskov7997@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0933-1303>

Annotation. The article discusses the main types of thermal insulation materials; their characteristics are given, and a comparative table of materials for thermal insulation is attached.

Keywords: thermal insulation, material, insulation, building material, thermal insulation material.

For citation: Guskov, E.P. The choice of thermal insulation materials based on the indicators / E.P. Guskov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. При строительстве каких-либо зданий или сооружений строители издревле применяют различные виды отделочных материалов. Это помогает строениям повышать свою прочность, надежность и выдерживать большой стаж эксплуатации. Для повышения теплофизических свойств здания применяются теплоизоляционные материалы, которые защищают его от ветров, атмосферных осадков, ультрафиолетового излучения и т.п., что позволяет поддерживать комфортную для нахождения человека среду. Так же теплоизоляционные материалы используются для теплоизоляции технологического оборудования, трубопроводах тепловых и холодильных промышленных установках.

Материалы и методы. Материалы, предназначенные для тепловой изоляции при выполнении различного рода строительных работ, на сегодняшний день получили широкое распространение и имеют сравнительно низкую стоимость на рынке строительных материалов. Основными данными теплоизоляционного материала является его теплопроводность, прочность, водопоглощение, паропроницаемость, долговечность изделия, вес, плотность, толщина материала, горючесть, экологичность, возможность отделки, ценность самого материала, а также трудоемкость и стоимость его установки [1].

Результаты исследования. Теплоизоляционные материалы, делят на три типа: органические, неорганические и смешанные [2]. *Органические* материалы различаются исходным сырьем, которое может быть естественного происхождения (древесина, отходы деревообработки, торф, однолетние растения, густая шерсть животных и т.д.) и на основе синтетических смол (теплоизоляционные пластмассы). Органические теплоизоляционные материалы из сырья естественного происхождения можно отнести к экоматериалам, использование которых делается с каждым годом все более актуальным. Повышение уровня экологичности и энергоэффективности всякого производства, достигается в результате использования ресурсосберегающих технологий, а также за счет использования возобновляемых ресурсов, отходов производств, и строительных материалов на их основе [3, 4, 5, 6, 7].

Неорганические утеплители делаются из материалов, которые имеют в своем составе только неорганические компоненты. К ним относятся такие материалы как минеральная вата, базальтовое волокно, каменная вата, стекловата, пеностекло, керамическая медицинская вата. Перечисленные материалы обладают хорошей огнестойкостью и паропроницаемостью, что позволяет задерживать поток воздуха между волокнами утеплителя и тем наиболее обеспечить хорошую изоляцию помещения. К недостаткам такого вида теплоизоляции необходимо причислить влагопроницаемость, недостаточную

прочность, в структуре волокна допустимо развитие каких-либо живых объектов (грызунов, насекомых, микробов) [8].

В состав *смешанного* типа теплоизоляционных материалов в основном входят асбестовые смеси, минералы, горные породы, в которые добавляются слюда, доломит, вулканический перлит или диатомит. В такой материал вводятся минеральные компоненты, которые создают связующую основу. Они обладают высокой термостойкостью, настоятельно просят предельно осторожного обращения при использовании, так как наличие химических примесей в составе материалов пагубен для здоровья людей, поэтому нужно рассматривать все нюансы касательно смешанного типа утепления [9]. Характеристики некоторых видов теплоизоляционных материалов приведены в табл. [1, 10].

Таблица – Характеристики некоторых видов теплоизоляционных материалов

Материал	Теплопроводность Вт/м ⁰ С	Размеры, мм	Плотность, кг/м ³	Диапазон рабочих температур, °С	Водопоглощение за 24 часа	Стоимость, руб. (1шт.)
1	2	3	4	5	6	7
Пенопласт 	Более 0.039	2000x1000x50	10 - 50	-60 ... +80	Более 2 %	270
Торфяная плита 	0,052—0,075	12000x500x30	170 – 300	-60 ... +100	170... 190 %	170
Каменная вата 	0,035- 0,044	1000x600x50	115	-180...+600	0,095 %	850
Стекловата 	0,039– 0,047	150x600x1200	15-65	-60...+450	1,7 %	3000
Базальтовая вата 	0,032- 0,048	1000x500x50 (20— 50)	30-100	-270 ...+900	1 %	550
Совелитовая плита 	0,078- 0,087	510x175x50 (от 30 до 60)	450	-60...+600	30%	30000

Заключение. Приведенная в табл. сравнительная колляция некоторых материалов для теплоизоляции показывает, что рыночная стоимость органических теплоизоляционных материалов на нынешний день значительно ниже стоимости материалов, произведенных неорганическим и перемешанным способами, а учитывая тот факт, что материалы из сырья природного возникновения можно отнести к экоматериалам, их использование становится с каждым годом все больше актуальным.

Список источников

1. Бурлаков, Д. Анализ теплоизоляционных материалов / Д. Бурлаков, Н.Л. Медведева, Н.В. Ищук // Материалы интернационально-практической конференции «Исследования в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении» / Саратов, 2016. – С.43-46

2. Интернет - путевой журнал «Строй дом». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.stroy-dom.net/?p=4039>

3. Ялакова, Е.В. Инновационное жилищное строительство - использование экоматериалов в России / Е.В. Ялакова, Н.Л. Медведева // В сб.: Инновационное развитие современной науки Сб. ст., Междунар. науч.-пр. конф.: В 9-ти частях. Отв. ред. А.А. Сукиасян. – 2014. – С. 289-292.

4. Гнетова, В.С. Строительство и вопрос о повышении его экологичности / В.С. Гнетова, Н.Л. Медведева // В сб.: Тенденции образования науки нового времени Сб. ст. Междунар. науч.-пр. конф.: в 4 частях. Отв. ред. А.А. Сукиасян. – 2014. – С. 295-298.

5. Ялакова, Е.В. Использование инноваций в строительстве / Е.В. Ялакова, Н.Л. Медведева // В сб.: Тенденции образования науки нового времени. Сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф.: в 4 частях. Отв. ред. А.А. Сукиасян. – 2014. – С. 298-301.

6. Медведева, Н.Л. Экологически чистые строительные материалы и их анализ / Н.Л. Медведева, Е.В. Ялакова // В сб.: Культурно-историческое наследие строительства: вчера, сегодня, завтра. Мат-лы междунар. науч.-практ. конф., г. Саратов. – 2014. – С. 78-80.

7. Гончаров, Р.Д. Материалы для строительства зданий и сооружений / Р.Д. Гончаров, Н.Л. Медведева // В сб.: Культурно-историческое наследие строительства: вчера, сегодня, завтра. Мат-лы междунар. науч.-практ. конф., г. Саратов. – 2014. – С. 22-25.

8. Портал о строительстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ostroymaterialah.ru/utepliteli/vidy-uteplitelya-dlya-sten.html#oglavlenie2>

9. Проект SRBU.RU [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://srbu.ru/stroitelnye-materialy/76-vidy-uteplitelej.html>

10. Журнал «АВОК». [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6164

© Гуськов Е.П., 2025

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СУШКИ ПШЕНИЦЫ В СУШИЛКЕ КИПЯЩЕГО СЛОЯ С ЗАКРУЧЕННЫМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА

Анатолий Петрович Дарманян¹, Максим Андреевич Филонов²,
Сергей Андреевич Чомов³

^{1,2,3}Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Россия

¹a.darmanyan@volgau.com, <https://orcid.org/0000-0002-1956-9892>

²filmax01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4196-2034>

³sergey.chomov7@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0447-4469>

Аннотация. В статье приводятся результаты математического моделирования процесса сушки зерна в сушилке кипящего слоя с закрученным потоком воздуха. По экспериментальным кривым сушки найдены математические модели для описания кинетики сушки от начальной влажности до влажности 14% при различных технологических параметрах (начальная влажность зерна 21,2-32,1%, температура сушки 36-50°C, скорость воздуха 4,5-6,8 м/с, угол наклона сопел для подачи воздуха 25-65 градусов. Показано, что только такие два параметра как начальная влажность зерна W_0 (%) и температура воздуха T (°C) определяют основной технологический параметр – время сушки τ (мин), для определения которого найдена линейная регрессионная модель в виде $\tau = - 2,859 + 3,563 \cdot W_0 - 1,328 \cdot T + \epsilon$.

Ключевые слова: сушка зерна, влажность, корреляционный анализ, регрессионный анализ, сушилка кипящего слоя, закрученный поток.

Для цитирования: Дарманян, А.П. Математическая модель сушки пшеницы в сушилке кипящего слоя с закрученным потоком воздуха / А.П. Дарманян, М.А. Филонов, С.А. Чомов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

MATHEMATICAL MODEL OF WHEAT DRYING IN A FLUIDIZED BED DRYER WITH A SWIRLING AIR FLOW

Anatoly Petrovich Darmanyan¹, Maxim Andreevich Filonov²,
Sergey Andreevich Chomov³

^{1,2,3}Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

¹adarma@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1956-9892>

²filmax01@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-4196-2034>

³sergey.chomov7@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0009-0447-4469>

Annotation. The article presents the results of mathematical modeling of the grain drying process in a fluidized bed dryer with a swirling airflow. Based on the

experimental drying curves, mathematical models were found to describe the drying kinetics from the initial moisture content to 14% moisture content at various process parameters (initial grain moisture content of 21.2-32.1%, drying temperature of 36-50 °C, air velocity of 4.5-6.8 m/s, air nozzle angle of 25-65 degrees). It is shown that only two parameters such as initial grain moisture content W_0 (%) and air temperature T (°C) determine the main process parameter – drying time τ (min), for which a linear regression model was found in the form $\tau = - 2,859 + 3,563 \cdot W_0 - 1,328 \cdot T + \epsilon$.

Keywords: grain drying, moisture, correlation analysis, regression analysis, fluidized bed dryer, swirling flow.

For citation: Darmanyany, A.P. Mathematical model of wheat drying in a fluidized bed dryer with a swirling air flow/ A.P. Darmanyany, M.A. Filonov, S.A. Chomov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Одним из важных этапов послеуборочной обработки зерновых культур является процесс сушки зерна, в котором зерно высушивают от начальной влажности W_0 до конечной влажности $W_K = 14\%$, которое регламентировано ГОСТом. Известны экспериментальные исследования процесса сушки, проведенные на различных конструкциях сушилок, с различными зерновыми культурами и при различных технологических условиях [1-5]. В результате проведенных экспериментов найдены математические модели процесса сушки [1-3], сформулированы оптимальные технологические условия, предложены новые конструкции сушилок [6].

Среди различных конструкций сушилок сушилки с кипящим («псевдооживленным») слоем (КС) в настоящее время являются одним из самых прогрессивных типов аппаратов для сушки сыпучих материалов [7, 8]. Это объясняется тем, что кипящий слой позволяет значительно увеличить поверхность контакта между частицами влажного материала и сушильным агентом, что интенсифицирует процесс испарения влаги из материала и тем самым приводит к снижению продолжительности сушки вплоть до нескольких минут [8].

Надо отметить, что работ по исследованию и математическому моделированию режимов сушки зерна пшеницы в сушилке КС опубликовано много, которые обобщены, например, в обзоре [4]. Так в работе [8] выполнено экспериментальное исследование процесса сушки зерна пшеницы в сушилке КС с закрученным потоком, когда перед подачей в сушилку поток воздуха закручивается, проходя через специальное устройство с расположенными на нем под углом соплами. Однако математическая модель для процесса сушки в зависимости от технологических параметров сушки (влажность зерна, температура сушки, скорость воздуха) и конструктивных параметров сушилки в настоящее время так и не получена. Это объясняется тем, что при обработке

экспериментальных данных зачастую не используются эффективные прикладные статистические методы [9].

Целью настоящего исследования являлось математическое моделирование сушки зерна пшеницы в сушилке КС с закрученным потоком воздуха.

Материалы и методы. Для математического моделирования были использованы экспериментальные кривые сушки, полученные в сушилке КС с закрученным потоком воздуха, который обеспечивался расположенными в специальном устройстве соплами под углом νA (градусы) [8]. В табл. 1 приведены значения технологических параметров проведенных экспериментов для температуры воздуха $36\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на рис. 1 показаны кривые сушки.

Таблица 1 – Технологические параметры и математические модели процесса сушки зерна пшеницы для температуры воздуха $36\text{ }^{\circ}\text{C}$

Влажность зерна, W_0 (%)	Скорость воздуха, v (м/с)	Угол наклона сопел, νA (градусы)	Математическая модель
21,2	6,2	45	$W = 30,82 \cdot \exp(-0,012 \cdot t)$
27,6	4,5	25	$W = 27,71 \cdot \exp(-0,015 \cdot t)$
32,2	6,8	65	$W = -0,2421 + 21,021 \cdot t$

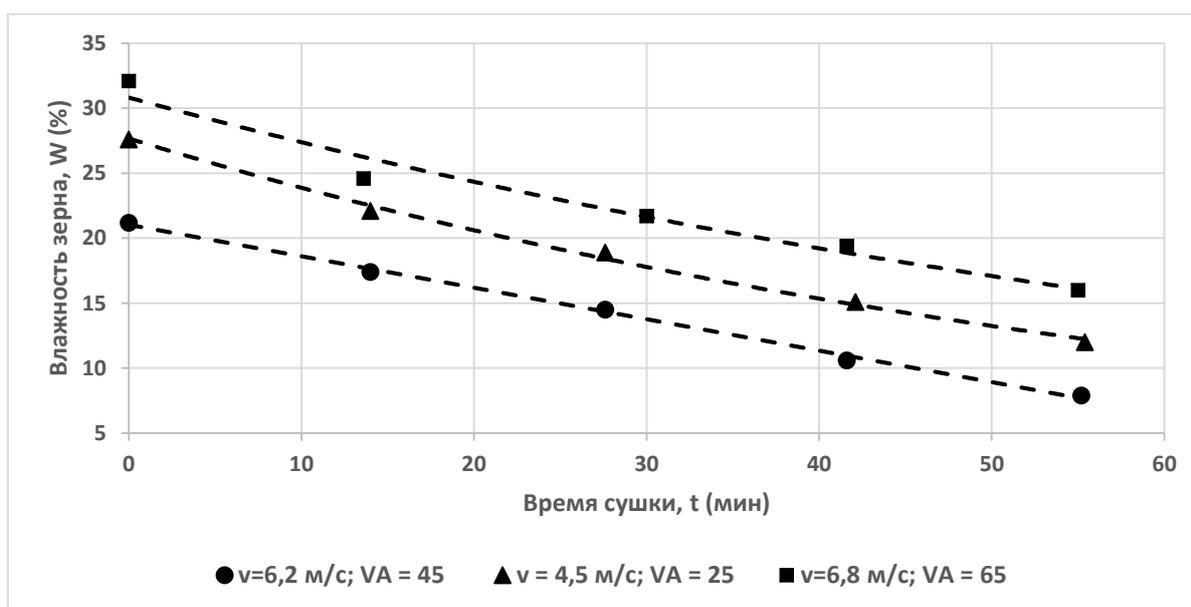


Рисунок 1 – Кривые сушки зерна пшеницы при различных параметрах и температуре воздуха $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ [8]: пунктирные линии – математические модели (см табл. 1)

В качестве математической модели для процесса сушки зерна пшеницы была выбрана линейная 4-х факторная регрессионная модель, в которой результирующей величиной является время сушки τ (мин), а факторами модели – технологические параметры сушки. В общем виде данная модель имеет следующий вид:

$$\tau = a_0 + a_1 \cdot W_0 + a_2 \cdot T + a_3 \cdot \nu A + a_4 \cdot v + \varepsilon, \quad (1)$$

где τ – время сушки (мин); W_0 – начальная влажность, (%); T – температура сушки, ($^{\circ}\text{C}$); VA – угол наклона сопел (градусы); v – скорость воздуха, (м/с); a_0, a_1, a_2, a_3 и a_4 – параметры модели; ε – случайная величина.

Для математического моделирования кривых сушки и определения параметров модели (1) были использованы методы множественного корреляционно-регрессионного анализа в среде MS Excel [10]. При этом сначала были вычислены частные коэффициенты корреляции, которые количественно характеризуют тесноту связи результирующей величины время сушки τ (мин) с технологическими параметрами сушки: r_{τ, W_0} , $r_{\tau, T}$, $r_{\tau, VA}$ и $r_{\tau, v}$. При значении частного коэффициента корреляции $r > 0,700$ принимали наличие корреляции, а при $r < 0,600$ – отсутствие корреляции и такие параметры исключали из модели (1) и дальнейшего анализа. После упрощения математической модели путем сокращения числа параметров модели методами регрессионного анализа в среде MS Excel находили параметры a_i модели (1), статистическая значимость которых оценивали по уровню значимости $\alpha \leq 0,05$ («Р-значение» в MS Excel) [10].

Результаты исследования. Прежде всего, для кривых сушки при всех технологических параметрах были найдены математические модели, которые имели экспоненциальный или линейный вид. Следует заметить, что экспоненциальные зависимости хорошо согласуются с экспериментальными данными по кинетике сушки пшеницы [1, 2] и с теорией сушки [7]. В табл. 1 и на рис. 1 (см. пунктирную линию) приведены эти математические модели для температуры сушки 36°C .

С помощью найденных математических моделей были вычислены времена сушки пшеницы τ (мин) до достижения конечной влажности $W = 14\%$, ниже которой сушить не рекомендуется. Для всех экспериментов полученные значения времени сушки вместе со значениями технологических параметров сушки приведены в табл. 2.

С использованием значений из табл. 2 методами множественного корреляционного анализа в среде MS Excel были вычислены частные коэффициенты корреляции и оказалось, что такие параметры как угол наклона сопел VA и скорость воздуха v не оказывают существенного влияния на время сушки τ , так как значения их частных коэффициентов корреляции равны $r_{\tau, VA} = 0,356$ и $r_{\tau, v} = 0,203$ соответственно. Поэтому эти параметры (угол наклона сопел VA и скорость воздуха v) были исключены из дальнейшего анализа. Методами регрессионного анализа в среде MS Excel было установлено, что значение нормированного R -квадрата составило $0,912$, что свидетельствует о сильном влиянии таких двух параметров как начальная влажность W_0 и температура воздуха T на время сушки τ .

Математическая модель (1) в таком случае упростилась и стала двухпараметрической регрессионной моделью следующего вида:

$$\tau = a_0 + a_1 \cdot W_0 + a_2 \cdot T + \varepsilon \quad (2)$$

Далее методами множественного регрессионного анализа были найдены значения параметров модели (2), которые приведены в табл. 3.

Таблица 2 – Время сушки для различных технологических параметров сушки

Время сушки, τ (мин)	Влажность зерна, W_0 (%)	Скорость воздуха, v (м/с)	Угол наклона сопел, α (градусы)	Температура воздуха T ($^{\circ}\text{C}$)
29	21,2	6,2	45	36
45	27,6	4,5	25	36
66	32,1	6,8	65	36
20	21,3	6,2	45	40
41	27,8	4,5	25	40
55	32,1	6,8	65	40
8	21,2	6,2	45	50
54	32,1	4,5	65	50

Таблица 3 – Результаты множественного регрессионного анализа

Параметр	Значение	t-статистика	P-значение
a_0	-2,859	-0,16	0,881
a_1	3,563	8,23	0,001
a_2	-1,328	-4,05	0,007

Как видно из значений в табл. 3 величина «P-значение» больше 0,05 только для параметра a_0 , который статистически не значим, в то время как для параметров a_1 и a_2 «P-значения» меньше 0,05 (см. табл. 3). Несмотря на высокое значение величины «P-значение» делать выводы об отсутствии статистической значимости для параметра a_0 , на наш взгляд, не целесообразно, так как это может быть следствием малого числа экспериментов. Окончательно математическую модель (2) для сушки пшеницы в сушилке КС с закрученным потоком воздуха можно записать в следующем виде:

$$\tau = -2,859 + 3,563 \cdot W_0 - 1,328 \cdot T + \varepsilon \quad (3)$$

Расчеты времени сушки по модели (3) и сравнение полученных значений с реальными значениями показало, что ошибка аппроксимации (средняя относительная ошибка) составляет не более 8%, что свидетельствует об удовлетворительном качестве двухпараметрической модели (3).

Теперь с помощью модели (3) уже можно оценивать самый главный технологический параметр сушки – это время сушки, если известна начальная влажность зерна W_0 и выбрана температура сушильного агента (воздуха) T .

Заключение. С помощью прикладных информационных технологий в среде MS Excel найдены математические модели, описывающие процесс сушки зерна пшеницы в сушилке кипящего слоя с закрученным потоком воздуха в зависимости от конструктивных характеристик сушилки и технологических параметров сушки. С помощью найденных математических моделей определен основной технологический параметр сушки зерна – время сушки, необходимое для достижения конечной влажности зерна 14% в зависимости от различных технологических параметров сушки. Методами корреляционно-регрессионного анализа найдены параметры линейной двухфакторной регрессионной модели, с помощью которой можно оценивать время сушки в сушилке кипящего слоя с закрученным потоком воздуха в зависимости от начальной влажности зерна и температуры сушки.

Список источников

1. Богданов, С.И. Математическое моделирование кинетики влажности зерна озимой пшеницы в процессе сушки / С.И. Богданов, А.П. Дарманян, М.А. Маркин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – №4 (118). – Ч.1, Апрель. – С.44-49. ISSN: 2071-9485.
2. Богданов, С.И. Исследование и математическое моделирование кинетики сушки зерна озимой пшеницы / С.И. Богданов, А.П. Дарманян, М.А. Маркин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – №2(66). – С. 439-448. ISSN: 2071-9485.
3. Рогачев, А.Ф. Математическое моделирование процесса послеуборочной сушки зерна / А.Ф. Рогачев, Д.В. Шатырко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – №4(40). – С. 168-174. ISSN: 2071-9485.
4. Mechram, A.S. Fluidized Bed Drying of Food Materials – A Review / A.S. Mechram, U.S. Wankhede // International Journal of Mechanical Engineering Research. 2017. – Vol.7, N1. – P. 35-44. ISSN 2249-0019.
5. Mufeed, V.E, Goutham R. Fluidisation Enhancement of Swirling Fluidised Bed Dryer with Distributor and Plenumchamber Modification // International Journal of scientific research and management (IJSRM). – 2016. – Vol.4, Iss. 06. – P. 4333-4337. ISSN 2321-3418.
6. Шурак, А.А. Исследование влияния геометрических характеристик аппаратов с псевдооживленным слоем на технологические параметры процесса сушки / А.А. Шурак, А.А. Шагарова, Л.М. Мансур // Технологии нефти и газа. – 2020. – № 6 (131). – С. 50-53. EDN: MEEIOT.
7. Гельперин, Н.И. Основы техники псевдооживления / Н.И. Гельперин, В.Г. Айнштейн, В.Б. Кваша. – Москва: Химия, 1967. – 664 с.
8. Sundaram, P. Experimental Performance Investigation of Swirling Flow Enhancement on Fluidized Bed Dryer // P. Sundaram, P. Sudhakar // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11, N 21, November. – P.12529-12533. ISSN 1819-6608.
9. Дарманян, А.П. Научная значимость статистических методов анализа экспериментальных данных в системе послевузовского аграрного образования // А.П. Дарманян, Н.М. Веселова. Актуальные вопросы профессионального образования. – 2018. – № 3(12). – С.33-37. EDN: SNSODL.
10. Куприенко, Н.В. Статистические методы изучения связей. Корреляционно-регрессионный анализ / Н.В. Куприенко, О.А. Пономарева, Д.В. Тихонов. СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2008. – 118 с. EDN: QOOTFL.

© Дарманян А.П., Филонов М.А., Чомов С.А., 2025

АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

Михаил Иванович Дергунов¹, Александр Александрович Кузьяев²,
Владимир Иванович Рыцарев³

^{1,2,3}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. В статье рассматривается выбор системы управления мобильными роботами, которая разрабатывается индивидуально для каждой модели. Однако разработка универсальной системы управления роботом может стать удобным и выгодным решением.

Ключевые слова: микроконтроллер, операционные системы, робототехника, роботы, условия работы, мобильный робот, система управления.

Для цитирования: Дергунов, М.И. Анализ систем управления мобильным роботом / М.И. Дергунов, А.А. Кузьяев, В.И. Рыцарев // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF MOBILE ROBOT CONTROL SYSTEMS

Dergunov Mikhail Ivanovich¹, Kuzyaev Alexander Alexandrovich²,
Richarev Vladimir Ivanovich³

^{1,2,3}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation. The article discusses the choice of a mobile robot control system, which is developed individually for each model. However, the development of a universal robot control system can be a convenient and profitable solution.

Keywords: microcontroller, operating systems, robotics, robots, working conditions, mobile robot, control system.

For citation: Dergunov, M.I. Analysis of mobile robot control systems / M.I. Dergunov, A.A. Kuzyaev, V.I. Richarev // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Система управления мобильным роботом (МР) обеспечивает управление его движением, работой технологического оборудования, адаптивное управление ходовой частью и энергетической установкой с учетом

взаимодействия робота с окружающей средой. Сложность системы управления зависит от сложности выполняемой задачи, степени неопределенности внешней среды и требуемого уровня автономности робота. Развитие систем управления является движущей силой развития робототехнических комплексов в целом и лежит в основе классификации МР по поколениям [1, 2].

Объект и методика исследований. Зачастую система управления МР разрабатывается индивидуально для каждой модели, что требует дополнительных временных и финансовых затрат на разработку, наладку и ввод в эксплуатацию. Разработка универсальной системы управления МР может стать удобным и выгодным решением, но она также требует значительных работ по универсализации физической и программной частей робота [1, 2].

Результаты. В общем случае система управления содержит три уровня управления: верхний (стратегический): отвечает за долгосрочное планирование и принятие решений высокого уровня; средний (тактический): отвечает за краткосрочное планирование и управление действиями робота в реальном времени; нижний (исполнительный): контролирует исполнительные механизмы робота и обеспечивает их взаимодействие с окружающей средой.

Уровни управления имеют встроенные механизмы адаптации, которые оценивают качество выполнения планов и корректируют действия робота в соответствии с изменениями в окружающей среде. Взаимодействие между уровнями управления организовано таким образом, чтобы решения принимались на том уровне, который обладает наиболее достоверной информацией в данный момент.

В качестве основных требований к системе управления МР можно выделить следующие: способность управлять большим количеством различных исполнительных устройств (приводы манипуляторов, тяговые приводы, приводы специальных систем); способность получать данные с широкого спектра датчиков, как цифровых, так и аналоговых; способность выполнять функции нижнего уровня управления (избежание падений, столкновений, отработка аварийных ситуаций и т.д.); возможность работы в широком диапазоне температур и сред; расширяемость, как в сторону увеличения количества подключаемого оборудования, так и в сторону повышения уровня управления.

На данный момент в свободном доступе существует несколько вариантов систем управления (или шлюз-контроллеров в терминологии производителей): на базе ПЛК, на базе ПК таких как Intel® NUC, Raspberry Pi (рис. 1), при этом обязательна обвязка микроконтроллеров типа OR-AVR-M128 и вариант без использования мощных вычислителей в виде наборов специализированных устройств на базе микроконтроллеров.



Рисунок 1 – Одноплатный ПК Raspberry Pi 2 Model B

Официально поддерживаемые операционные системы: Raspbian рекомендуется для всех тех, кто только начинает знакомиться с Raspberry Pi; OpenELEC медиапроигрыватель Kodi с открытым исходным кодом на базе Linux; Raspberry Pi Fedora Remix; RISC OS – «родная» ОС для RISC-процессоров (к которым относятся процессоры ARM); OSMC (проект Open Source Media Center – ранее известен как Raspbmc) медиапроигрыватель с открытым исходным кодом на базе Kodi Media Center и Debian GNU/Linux; поддержка Windows 10 для Raspberry Pi 2B.

Одноплатная платформа Single-Board RIO компании National Instruments (NI) предназначена для создания крупносерийных интеллектуальных встраиваемых систем сбора данных и управления сложными машинами и механизмами (рис. 2).



Рисунок 2 – Система управления на базе контроллера Single-board RIO

Встраиваемые платформы Single-Board RIO соответствуют высоким промышленным стандартам надежности и производительности. Одноплатные компьютерные системы Single-Board RIO позволяют оперативно создавать конкурентоспособное оборудование за счет интеллектуального аппаратного обеспечения на базе ПЛИС, контроллера реального времени, а также специализированных и простых в изучении средств графического программирования LabVIEW: LabVIEW Real-Time и LabVIEW FPGA, предназначенных для программирования платформы. Каждая платформа NI Single-Board RIO имеет встроенный процессор реального времени и высокопроизводительную ПЛИС, а также линии аналогового и цифрового ввода/вывода на одной плате.

Все линии ввода/вывода напрямую соединены с микросхемой ПЛИС. Это позволяет внедрять алгоритмы формирования и обработки сигналов на уровне цифровых логических схем, реализуемых внутри ПЛИС. Микросхема ПЛИС соединена с процессором реального времени при помощи высокоскоростной шины PCI.

Данный вариант имеет достаточную производительность, но абсолютно не приспособлена для работы в реальной среде, и представляет собой практический оценочную плату производителя микроэлектроники, кроме того имеет крайне высокую стоимость.

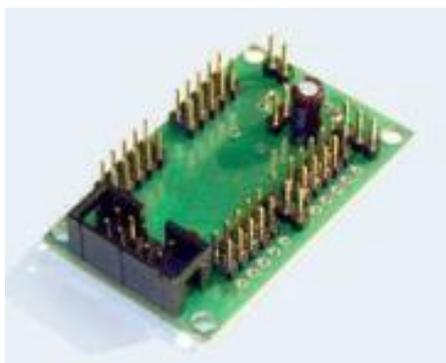


Рисунок 3 – Контроллер GRC-PL-26-V01

Применяемый контроллерный модуль GRC-PL-26-V01 достаточно универсален (рис. 3): он может быть использован для управления небольшими роботами, а также для обработки сигналов от датчиков, либо в качестве контроллера управления серво-машинками в сложных системах.



Рисунок 4 – Модуль OR-AVR-M128-S

Вариант модуля OR-AVR-M128-S хотя и любительский (рис. 4), но достаточно серьезная разработка, также не подходит для универсального МР. Она ориентирована на любительские конструкции и соответствующую аппаратуру, и интерфейсы. Данную плату можно использовать для управления датчиками [1, 2].

Заключение. Именно выбор системы управления мобильным роботом обеспечивает оптимальное управление его движением, работу технологического оборудования, оперативное решение вопросов.

Список источников

1. Настройка операционной системы для работы с Raspberry [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://microkontroller.ru/raspberry-pi-projects/kak-nachat-rabotu-s-raspberry-pi-rukovodstvo-dlya-nachinayushhih/>
2. Форум разработчиков электроники [Электронный ресурс]: раздел «Электрические машины, Электропривод и Управление». – Режим доступа: <http://electronix.ru/forum/index.php?showforum=179>

Научная статья
УДК 681.5.043

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Дмитрий Николаевич Ефимов¹

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹efimow.dima@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время использование автоматизированных систем управления в теплоэнергетике приобретает все большую значимость. Это обусловлено современными требованиями к энергоэффективности, экономичности и модернизации средств защиты технологического оборудования. Автоматизированные системы управления (АСУ) представляют собой комплекс аппаратных и программных средств, которые предназначены для эффективного управления процессами в рамках технологического цикла. Анализ применения АСУ в различных отраслях промышленности позволяет выявить как их преимущества, так и недостатки. В данной статье предлагается рассмотреть, как внедрение автоматизированных систем управления на примере котельной может способствовать повышению эффективности, экономичности и безопасности предприятия.

Ключевые слова: электроэнергетика, котлоагрегаты, автоматизация, снижение энергопотребления, АСУ ТП.

Для цитирования: Ефимов, Д.Н. Анализ применения автоматизированных систем управления в котельных установках. / Д.Н. Ефимов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS IN BOILER INSTALLATIONS

Dmitriy Nikolaevich Efimov¹

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹efimow.dima@yandex.ru

Annotation. Currently, the use of automated control systems in the thermal power industry is becoming increasingly important. This is due to modern requirements for energy efficiency, cost-effectiveness and modernization of protective equipment

for technological equipment. Automated control systems (ACS) are a set of hardware and software tools that are designed to effectively manage processes within the technological cycle. An analysis of the application of automated control systems in various industries allows us to identify both their advantages and disadvantages. In this article, it is proposed to consider how the introduction of automated control systems using the example of a boiler house can help improve the efficiency, efficiency and safety of an enterprise.

Key words: electric power industry, boilers, automation, reduction of energy consumption, automated control system.

For citation: Efimov, D.N. Analysis of the application of automated control systems in boiler plants. / D.N. Efimov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Автоматизированные системы управления представляет собой самостоятельный комплекс, предназначенный для управления, обеспечения бесперебойной работы оборудования и обеспечения безопасности технологического процесса. Основой АСУ в котельной установке служит программируемый логический контроллер в паре с модулями ввода-вывода данных, собирающие информацию по состоянию котельного оборудования и передающий информацию о событиях и авариях в системе на пульт диспетчера.

Основная часть. Решения по автоматизации приняты в соответствии с требованиями нормативных документов, соблюдение которых должно обеспечить:

- надёжную и бесперебойную работу технологического оборудования;
- улучшить и облегчить условия работы обслуживающего персонала, сократить количество физического труда, изменить характер труда и квалификацию обслуживающего персонала, а также снизить влияния субъективного фактора на формирование технических, технологических и административных решений в процессы управления;
- снизить эксплуатационные расходы путем сокращения времени на обслуживание средств автоматизации и обработку информации;
- обеспечить своевременное обнаружение отказов технологического оборудования;
- повысить безопасность эксплуатации за счёт централизации и оперативности управления и контроля, обеспечения своевременной диагностики состояния технологического оборудования;
- своевременно предоставлять информацию оперативному и диспетчерскому персоналу о состоянии оборудования в удобном для анализа виде при использовании разнообразных форм (мнемосхем, графиков, таблиц и других данных).

Система автоматизации состоит из трех уровней:

- нижний (полевой) уровень, в состав которого входят средства измерения технологических параметров, устанавливаемые на технологическом

оборудовании и в щитах управления, устройства местной сигнализации, исполнительные устройства;

- средний уровень, построенный на базе промышленных контроллеров;
- верхний уровень, построенный на базе SCADA установленной на автоматизированном рабочем месте (АРМ) диспетчера в центральном диспетчерском пункте (ЦДП).

Предусмотрены два режима управления:

- режим автоматического управления, когда программное оснащение системы автоматического управления будет обрабатывать все подсоединенные входные и выходные сигналы с целью обеспечения всей необходимой информацией о состоянии технологического процесса и возможности управления и регулирования процесса на основе заданных алгоритмов;
- режим местного управления («местный») – в этом режиме производится ручное управление.

Система автоматизации котельной включает в себя первичные и вторичные преобразователи. Средства контроля с местным отсчетом параметров и первичные преобразователи параметров с дистанционной передачей информации устанавливаются по месту на проектируемом технологическом оборудовании котельной в соответствии с требованиями соответствующих нормативных документов. Вторичные преобразователи, аппараты управления исполнительными механизмами помещаются в пультах и шкафах.

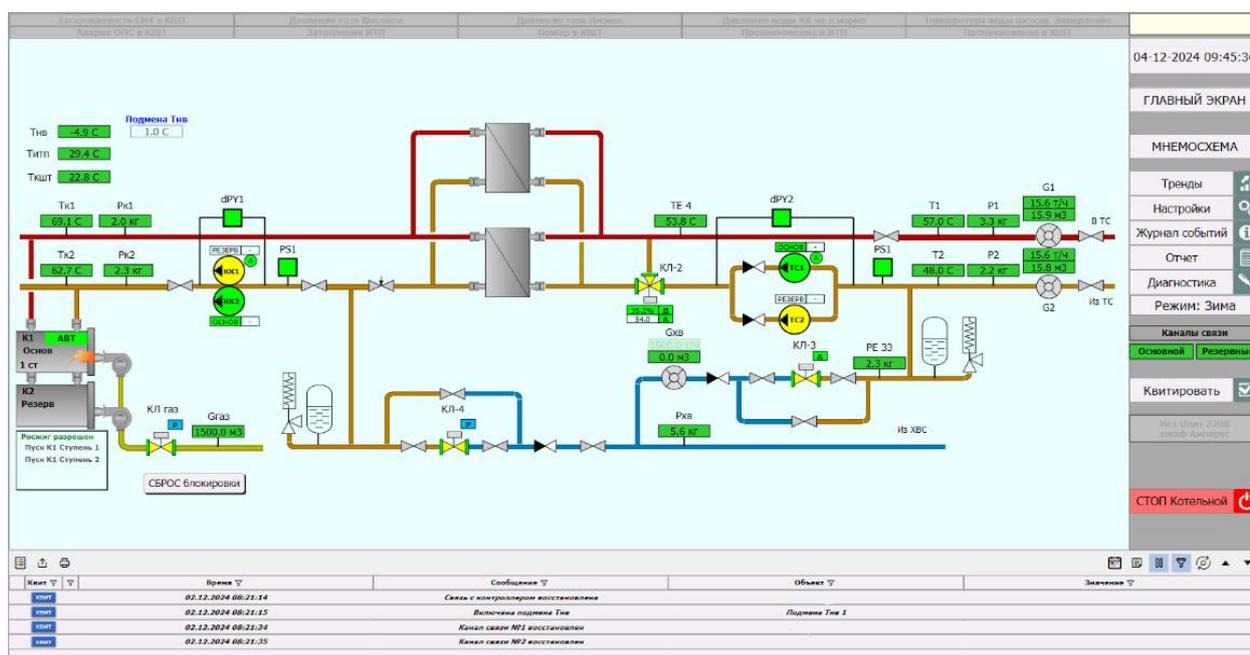


Рисунок – Принципиальная схема автоматизации котельной

Нижний уровень. В котельной организован в шкафу управления котельной. На модуль FMR-1020-10-0 посредством кабельной линии подключаются датчики температуры и давления, которые установлены на трубопроводах внутри котельной. Измерение температуры и давления происходит в прямом и обратном трубопроводах. Значения температуры регулируются в соответствии с отопительным графиком и даже в самом крайнем случае не превышают +120°C.

Для таких задач оптимальным вариантом будет применение термосопротивления с подвижным штуцером ОВЕН ДТС035 либо с неподвижным ОВЕН ДТС065. Такие датчики можно напрямую подключить к программируемому логическому контроллеру или модулю расширения, который имеет аналоговые универсальные измерительные входы для сигналов ТС и ТП.

Средний уровень. В котельной устанавливается система автоматического погодозависимого управления температурой отопления, собранная на базе свободно программируемого контроллера SMH4-0011-00-0 Segnetics Контроллер + НМІ 4,3 дюйма 5DI 2DO.

Контроллер поддерживает температуру теплоносителя, поступающего в систему отопления, в зависимости от температуры наружного воздуха ДТС125М фирмы ОВЕН в соответствии с установленным температурным графиком посредством трехходового клапана с электроприводом фирмы Regada ST0,1.

Трехходовой клапан с электроприводом служит для автоматического регулирования и управления прямоходные ST(R) 0,1 предназначены для автоматической позиционной регуляции арматур с прямолинейным движением с ходом от 10 мм до 50 мм, методом двухпозиционного и трехпозиционного регулирования.

Принцип действия, на контроллере SMH4-0011-00-0 Segnetics выставлен график зависимости наружной температуры воздуха и температуры воды в подающем и обратном трубопроводах. Регулирующим органом является трехходовый электромагнитный клапан, который открывается/закрывается по алгоритму и от контроллера.

В соответствии с температурой на улице и с температурой на прямой у нас осуществляется подмес воды из обратной в прямую. Если клапана открыт, то подмес охлаждает прямую до задания. Если клапан закрыт, то наоборот подогревает ее до задания.

Датчик температуры наружного воздуха установлен с северной стороны котельной, вдали от источников тепла под козырьком.

Пуск/Стоп насосов осуществляется по сигналу от датчика-реле давления, установленного на обратном трубопроводе сетевого контура котельной. Защита от «сухого хода» насосов реализована при помощи датчиков давления.

На контроллер и модули расширения FMR-3022-10-0 с дискретных выходов DO идет сигнал на реле путем сухого контакта о включении технологического оборудования (включения насосов, открытия/закрытия клапанов) и так же с логического контроллера идет сигнал на пульта управления котлов RS-A о включении котлов 1 или 2 (каскадный режим).

На дискретный вход DI поступает сигнал о состоянии оборудования в каком режиме находится котел, насос или клапана (руч./автомат.)

Верхний уровень. В котельной устанавливается 2-х пороговая цифровая система автоматического контроля загазованности.

Данная система предназначена для контроля:

- состояний датчиков аварийных параметров котельной;
- состояний датчиков аварий технологического оборудования;
- содержания природного газа и оксида углерода;

– пожарной и охранной сигнализации.

Система обеспечивает:

– перекрытие трубопровода подачи газа в аварийной ситуации;

– выдачу звуковой и световой сигнализации с запоминанием причины аварии и отображением этой информации на рабочей панели оператора;

Газовый клапан закрывается в случае достижения загазованности помещения CH_4 – 20% от НКПР или при CO – 100 мг/м³, при падении давления газа на входе в котельную – авария 1 и авария 2 и при срабатывании пожарной сигнализации.

Режим работы котельной предусматривается без постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Исходя из целей обеспечения высокого качества воспроизводимого теплоносителя, надежного функционирования технологического оборудования и повышения экономических показателей, разработана система централизованного контроля котельной. Для этого была разработана SCADA-система.

Заключение. На основе проведенного исследования можно заключить, что автоматизированные системы управления являются надежным и стабильным методом управления технологическими процессами в котельной, позволяющим производить мониторинг параметров котельной в режиме реального времени и оперативно устранять аварийные ситуации квалифицированным персоналом.

Использование АСУ может увеличить эффективность работы предприятия и снизить затраты на производство продукции, и позволяют снизить человеческий фактор практически к нулю, путем минимизации ошибок, связанных с человеческой невнимательностью, повышая точность и надежность управления.

Список литературы

1. Ахметова, И.Г. Новые подходы к оценке потенциала энергосбережения теплоснабжающей организации / И.Г. Ахметова, Н.Д. Чичирова // Надежность и безопасность энергетики. – 2016. – № 3. – С. 16-29.

2. Палей, Е.Л. Проектирование котельных в секторе ЖКХ. Справочное практическое пособие. – Санкт-Петербург: изд. «Газовый клуб», 2006.

3. СП 41-104-2000 Проектирование автономных источников теплоснабжения.

4. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебник для проф. учеб. заведений. / Ю.Д. Сибикин // М.: Директ-Медиа, 2023.

© Ефимов Д.Н., 2025

ЗАВИСИМОСТЬ ЕМКОСТИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ ОТ СОСТОЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Екатерина Сергеевна Ищенко¹, Антон Павлович Ищенко²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

²familienam@yandex.ru

Аннотация. Из-за высокой изменчивости солнечная энергия в изолированных сетях сталкивается с проблемой надежности сети. Системы хранения могут обеспечить поддержку сети, но обходятся дорого, что требует тщательной оценки потребностей в мощности. Методологии определения размеров батарей в настоящее время находятся в центре внимания многих исследований, с глобальной тенденцией к росту добычи электрической энергии от солнца. Однако, хотя солнечная изменчивость может быть источником неопределенностей и завышения размеров батарей, она редко используется в качестве входных данных при разработке СЭС. В данной статье рассматриваются несколько возможных случаев изменения солнечной активности. Это будем применять в качестве входных данных в двух методологиях определения размеров для сравнения полученной емкости батарей для СЭС.

Ключевые слова: солнечные панели, альтернативная энергетика, солнечная электростанция, СЭС, емкость аккумуляторных батарей, солнечная инсоляция.

Для цитирования: Ищенко, Е.С. Зависимость емкости аккумуляторной батареи от состояния солнечной энергии для автономных электростанций / Е.С. Ищенко, А.П. Ищенко // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

DEPENDENCE OF BATTERY CAPACITY ON SOLAR ENERGY STATE FOR AUTONOMOUS POWER PLANTS

Ekaterina Sergeevna Ishchenko¹, Anton Pavlovich Ishchenko²

^{1,2}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²familienam@yandex.ru

Annotation. Due to high short-term variability, solar PV in isolated grids faces the challenge of grid reliability. Storage systems can provide grid support but are

expensive, requiring careful estimation of power requirements. Battery sizing methodologies are currently the focus of many studies, with the global trend towards increasing solar power generation. However, although solar variability can be a source of uncertainty and oversizing of batteries, it is rarely used as an input in PV system design. In this paper, several possible cases of solar activity variation are considered. These will be used as inputs in two sizing methodologies to compare the resulting battery capacities for PV systems.

Keywords: solar panels, alternative energy, solar power plant, solar power station, battery capacity, solar insolation.

For citation: Ishchenko, E.S. Dependence of battery capacity on solar energy state for autonomous power plants / E.S. Ishchenko, A.P. Ishchenko // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Недавние тенденции изменения климата сделали создание эффективной выработки электроэнергии от альтернативных источников приоритетным. В своем прогнозе международное энергетическое агентство (МЭА) подчеркнуло, что обеспечение предприятий такой электроэнергией является одним из основных рычагов для достижения устойчивого перехода отрасли на возобновляемые источники [1].

В развивающихся странах с ненадежными сетями или большими автономными территориями промышленные предприятия должны полагаться на местную генерацию и, таким образом, должны устанавливать собственные возобновляемые электростанции для перекрытия пиковых значений потребления и снижения стоимости кВт [2, 3]. Поэтому в рамках крупномасштабных промышленных предприятий, микросети будут играть ключевую роль.

До сих пор потребность в доступной, надежной автономной электроэнергии способствовало использованию традиционной ископаемой генерации (газотурбинные или двигатели внутреннего сгорания) для производства электроэнергии.

Однако после резкого снижения затрат на производство возобновляемой электроэнергии гибридные электростанции, с использованием ископаемой генерации и возобновляемых ресурсов, теперь занимают главную позицию. Среди большого разнообразия возобновляемых источников, солнечные электростанции (СЭС) являются одними из самых многообещающих из-за их быстрого развития промышленности по производству солнечных батарей и другого оборудования.

Материалы и методы. Концепция промышленных микросетей до сих пор не была подробно освещена в литературе. Основными секторами, требующими таких систем, являются горнодобывающая промышленность [7], обрабатывающая промышленность [8, 9], очистные сооружения [5] и добыча нефти и газа [6]. Основные характеристики таких систем:

- высокая мощность по сравнению с обычными микросетевыми системами (от сотен кВт до нескольких сотен МВт);
- строгие требования к надежности электроснабжения по экономическим и техническим причинам;

– детерминированные профили нагрузки в зависимости от производственного графика завода с, как правило, низким уровнем изменчивости;

– централизованное владение и эксплуатация для всех производственных единиц.

Поэтому системы хранения энергии являются эффективным способом компенсации отсутствия гибкости генерации на ископаемом топливе. Технологии быстрого реагирования наиболее подходят для обеспечения поддержки сети, с преимуществом литий-ионных технологий, учитывая недавние проекты и снижение стоимости.

Однако системы хранения существенно влияют на экономические показатели производства, поэтому изучение изменения солнечной активности имеет первостепенное значение для толчка в развитии промышленных электростанций.

Точная оценка солнечных ресурсов становится темой, приобретающей все большую значимость для разработчиков автономных энергетических систем. Многие программные системы теперь используют профили солнечной выработки для определения оптимальных инвестиций в компоненты [10]. В некоторых программах мощность аккумуляторной батареи рассчитывается с использованием почасовых временных промежутков, чтобы компенсировать отсутствие генерации.

Поскольку колебания частоты происходят в короткие временные масштабы из-за мгновенных дисбалансов мощности, краткосрочные солнечные скачки оказывают сильное влияние на систему. Следовательно, определение как будет изменяться солнечная активность имеет критическое значение для определения емкости системы аккумуляторных батарей.

Производительность солнечных батарей (СБ) является сложным процессом, который все еще изучается отечественными и зарубежными учеными для предоставления надежных данных и прогнозов.

Между тем, значительные исследования работают над оптимальной методикой определения размеров и моделирование сетки с целью улучшения и оптимизации размеров компонентов СЭС.

Методы определения размеров аккумуляторов варьируются от чистой компенсации энергии для поддержания баланса мощности до сложного представления динамики сети и колебаний частоты. С другой стороны, актуальность выполнения точного моделирования сети может быть сложной, когда поведение солнечного света имеют такие высокие неопределенности.

Результаты исследования. Как указано во введении, всегда предпочтительнее и точнее проводить измерения непосредственно на месте будущей СЭС. Тем не менее, на ранних стадиях проекта высокие затраты и проблемы осуществимости, связанные с установкой и эксплуатацией сети датчиков, не позволяют нам получить надежные данные. Менее затратный подход заключается в использовании набора данных, ссылочных на худший случай.

Исследование по применению предлагаемого метода возьмем с наихудшего случая. Мы будем использовать данные, собранные различными онлайн сервисами, для анализа изменения инсоляции и определения размера батареи.

Определение емкости аккумулятора.

В предыдущем разделе было показано, что выработка электроэнергии может быть подобрана более точным моделированием фотоэлектрической установки.

Точно так же ожидается, что более детальное моделирование электростанции снизит требования к аккумуляторным батареям для автономных систем. Оценим потребности в емкости аккумуляторных батарей для двух случаев изменения инсоляции и сравним наилучший, связанный с увеличением точности модели для фотоэлектрической установки и энергосистемы.

Комплексная, эффективная методология определения емкости батареи заключается в определении максимального разрыва мощности между нагрузкой и генераторами.

Размер батареи достаточности мощности используется для компенсации солнечных панелей, когда генераторы имеют недостаточную мощность выработки. Уравнения (2) и (1) показывают, как рассчитывается емкость с учетом ограничения генерации, выраженного в уравнении (3).

$$P_{unmetload}(t) = P_L - P_{fossil}(t) - P_{PV}(t) \quad (1)$$

$$C_{bat} = \max \cdot t \cdot (P_{unmetload} \cdot (t)) \quad (2)$$

$$P_{fossil}(t + 1) - P_{fossil}(t) < rr_{fossil} \quad (3)$$

где P_{PV} – мощность солнечной электростанции, кВт; P_{fossil} – мощность, вырабатываемая дизельном или газовым генератором, кВт; P_L – спрос на нагрузку, кВт; а $P_{unmetload}$ – количество мощности, не хватает для покрытия потребности предприятия, кВт; C_{bat} – емкость аккумуляторной батареи, полученная путем заполнения разрыва мощности $P_{unmetload}$ во время потери мощности P_V .

Мощность P_V , P_{PV} рассчитывается на основе номинальной мощности P_V – установки и значения общей горизонтальной освещенности (GHI). В контексте анализа изменчивости точная оценка абсолютного значения мощности менее важна, чем динамика мощности.

$$P_{pv}(t) = \frac{GHI}{1000} \cdot P_{ratedPv} \cdot \eta_{PVinv} \quad (4)$$

Основным недостатком этой методологии является риск переоценки мощности, как указано в [9, 10].

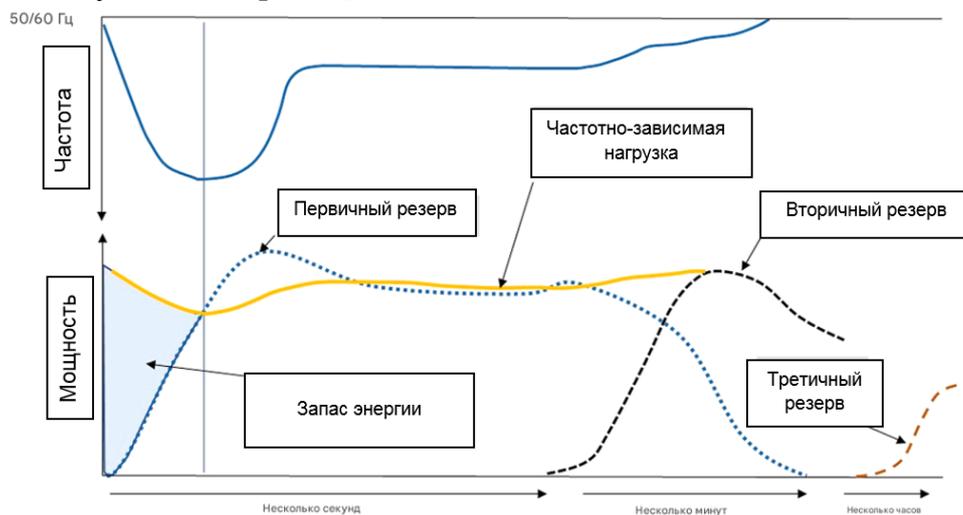


Рисунок – Изменение частоты после резкого скачка нагрузки

Тогда емкость (запас) аккумуляторных батарей можно будет найти по формуле (5).

$$P_{bat} = \frac{\Delta E_{bat}}{\delta t} \quad (5)$$

Благодаря моделированию механической инерции и накопления, а также допуска изменения частоты, ожидается, что требования к емкости батареи будут ниже для динамического определения, чем для оптимальной мощности.

Заключение. В этой статье рассматривается проблема выбора размера батареи для автономных гибридных систем. В статье раскрыли, что расчет батарей зависит от солнечной инсоляции и различной сложности методов определения емкости аккумуляторов.

Для применения изменения инсоляции задались определенными постоянными солнечной активности для конкретного географического места (GHI). При рассмотрении суточной солнечной активности задались двумя параметрами: максимальное количество скачков энергии и индекс изменения инсоляции.

Применили упрощенный метод (по мощности), который заключается в обеспечении равновесия мощности между источниками питания и нагрузками с использованием аккумуляторной системы в качестве переменной регулировки.

И сложный метод учитывающий динамику энергосистемы и состоящий в определении минимальной емкости АКБ, которая удовлетворяет ограничениям по качеству электроэнергии.

В результате получили, что применение географической особенности изменения солнечной активности имеет больший потенциал для снижения завышенной емкости аккумуляторов, чем усложнять метод определения емкости АКБ.

Одно из перспектив продолжения работы над этой темой – улучшить генерацию автономных солнечных электростанций, чтобы получить лучшее показание коэффициента полезного действия солнечной панели и возможность упрощения определения требуемой мощности аккумуляторной батареи.

Список источников

1. IEA. Tracking Industry [Internet]. Paris: IEA; 2019 May [cited 2019 Apr 23]. (Tracking report). Available from: <https://www.iea.org/reports/tracking-industry>.
2. Alby P, Dethier J-J, Straub S. Firms operating under electricity constraints in developing countries. World Bank Econ Rev 2013;27(1):109-32.
3. Rissman J, Bataille C, Masanet E, Aden N, Morrow WR, Zhou N, et al. Technologies and policies to decarbonize global industry: review and assessment of mitigation drivers through 2070. Appl Energy 2020 May;15(266):114848.
4. Hamedani Golshan ME, Masoum MAS, Derakhshandeh SY. Profit-based unit commitment with security constraints and fair allocation of cost saving in industrial microgrids. IET Sci Meas Technol 2013;7(6):315-25.
5. Soshinskaya M, Crijns-Graus WHJ, van der Meer J, Guerrero JM. Application of a microgrid with renewables for a water treatment plant. Appl Energy 2014;1(134): 20-34.

6. Riboldi L, Nord L. Offshore power plants integrating a wind farm: design optimisation and techno-economic assessment based on surrogate modelling. Processes 2018;6(12):249.

7. ARENA. Weipa solar farm – Australian Renewable Energy Agency (ARENA) [Internet]. Australian Renewable Energy Agency [cited 2019 Apr 23]. Available from: <https://arena.gov.au/projects/weipa-solar-farm/>.

8. Nosratabadi SM, Hooshmand R-A, Gholipour E, Rahimi S. Modeling and simulation of long term stochastic assessment in industrial microgrids proficiency considering renewable resources and load growth. Simul Model Pract Theory 2017;75(Jun): 77-95.

9. Subramanyam V, Jin T, Novoa C. Sizing a renewable microgrid for flow shop manufacturing using climate analytics. J Cleaner Prod 2020;252(Apr):119829.

10. Kubik ML, Coker PJ, Barlow JF. Increasing thermal plant flexibility in a high renewables power system. Appl Energy 2015;154(Sep):102-11.

© Ищенко Е.С., Ищенко А.П., 2025

Научная статья
УДК 621.311.25

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ЗА СЧЕТ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

Екатерина Сергеевна Ищенко¹, Антон Павлович Ищенко²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

²familienam@yandex.ru

Аннотация. В данной работе представлен анализ применения устройств для слежения за положением солнца на солнечных электростанциях (СЭС). Представлен анализ солнечной изоляции для Саратовской области. Также представлена конструкция экспериментального солнечного трекера на микроконтроллере Arduino и возможность масштабирования трекера для использования на промышленных СЭС.

Ключевые слова: солнечная электростанция, СЭС, позиционирование за солнцем, системы ориентации по солнцу, солнечный трекер, Arduino, ESP32, Рерка Pi.

Для цитирования: Ищенко, Е.С. Повышение эффективности работы солнечной электростанции за счет разработки устройства для слежения за солнцем / Е.С. Ищенко, А.П. Ищенко // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

INCREASING THE EFFICIENCY OF A SOLAR POWER PLANT BY DEVELOPING A SUN TRACKING DEVICE

Ekaterina Sergeevna Ishchenko¹, Anton Pavlovich Ishchenko²

^{1,2}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²familienname@yandex.ru

Annotation. This paper presents an analysis of the use of devices for tracking the position of the sun at solar power plants. An analysis of solar insolation for the Saratov region is presented. The design of an experimental solar tracker on an Arduino microcontroller and the possibility of scaling the tracker for use at industrial solar power plants are also presented.

Keywords: solar power plant, SPP, positioning behind the sun, orientation systems by the sun, solar tracker, Arduino, ESP32, Repka Pi.

For citation: Ishchenko, E.S. Increasing the efficiency of a solar power plant by developing a sun tracking device / E.S. Ishchenko, A.P. Ishchenko // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Солнечная энергия в значительной степени является одним из основных возобновляемых источников энергии при достаточном количестве солнечного света по всей территории России, чтобы вывести солнечную энергию на первые позиции среди альтернативных источников энергии. Варианты выработки электроэнергии из солнечной энергии включают ряд технологий с различными свойствами и различными преимуществами для частных домов, производственных предприятий, коммунальных служб и т.д. [2].

Материалы и методы. Одним из главных параметров при выборе конструкции солнечной электростанции является солнечная активность в месте будущего расположения СЭС. На рис. 1 показано распределение солнечной энергии на территории России.



Рисунок 1 – продолжительность солнечных дней в России

Анализ солнечной активности также может помочь определить оптимальные параметры солнечной электростанции, такие как мощность солнечных батарей и ёмкость аккумуляторных батарей. Чем выше солнечная активность, тем больше солнечной энергии доступно для использования [1, 3].

Саратовская область расположена в средней полосе России и имеет умеренный климат. Это означает, что в течение года здесь наблюдаются значительные колебания солнечной активности.

Для анализа солнечной активности в Саратовской области можно использовать данные метеорологических служб или онлайн-инструментов. Эти данные включают в себя информацию о количестве солнечной радиации, получаемой в данной местности.

В среднем, в Саратовской области солнечная инсоляция составляет около 4,12 кВт·ч/м² в год. Это означает, что в среднем за год на каждый квадратный метр поверхности земли поступает 4 киловатт-часа солнечной энергии.

Однако солнечная инсоляция в Саратовской области может значительно варьироваться в зависимости от времени года и погодных условий. В летние месяцы может достигать 5-6,5 кВт·ч/м², а в зимние месяцы может снижаться до 1-2 кВт·ч/м².

Солнечная инсоляция также может зависеть от облачности и других погодных условий. Например, в пасмурную погоду может быть значительно ниже, чем в ясный день.

Таблица – Данные о солнечной активности в Саратовской области

	Солнечная инсоляция, кВт·ч/м ₂	Оптимальный угол наклона, °
Январь	1,93	67
Февраль	3,01	59
Март	4,16	47
Апрель	4,99	32
Май	6,17	18
Июнь	6,45	12
Июль	6,34	14
Август	5,57	27
Сентябрь	4,27	42
Октябрь	2,98	55
Ноябрь	1,94	64
Декабрь	1,57	69
Среднее за год	4,12	42

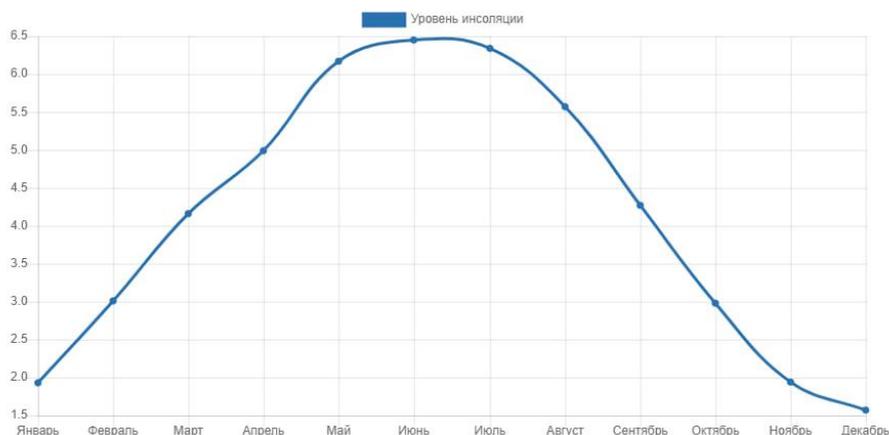


Рисунок 2 – График солнечной инсоляции в Саратовской области

Солнечная активность в Саратовской области является умеренной. Это означает, что солнечная энергия может быть использована для различных целей, таких как отопление, горячее водоснабжение, освещение и производство электроэнергии. Однако солнечная активность может значительно варьироваться в зависимости от времени года и погодных условий, поэтому её необходимо учитывать при проектировании и использовании солнечных электростанций.

Из табл. видно, что в зависимости от месяца меняется оптимальный угол наклона солнечной панели относительно к солнцу. Поэтому применение устройств для коррекции угла наклона является актуальной.

Результаты исследования. При проектировании солнечной электростанции рассмотрим возможность увеличения коэффициента полезного действия солнечной батареи за счет внедрения системы слежения за солнцем (солнечного трекера). В большинстве случаев каждая панель на СЭС находится в фиксированном положении, скорее всего, обращена на юг под углом 45° градусов. Несмотря на то, что этот подход чрезвычайно прост и удовлетворяет потребности большинства электростанций с малым количеством солнечных панелей, он не производит столько энергии, сколько мог бы быть [4, 5, 6]. Положения солнечной панели относительно солнца показаны на рис. 3.

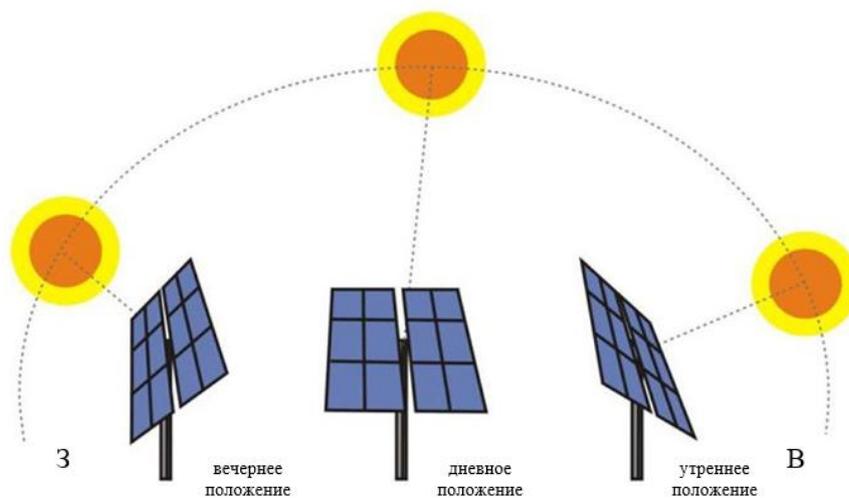


Рисунок 3 – Принцип слежения солнечной панели за солнцем

На данный момент трекеры можно разделить по различным параметрам:

- количество степеней свободы (одноосевые, двухосевые);
- ось вращения (горизонтальная, вертикальная, наклонная);
- тип привода (гидравлический и электрический);
- по роду тока в системе управления приводом (постоянный, переменный).

Для нашей СЭС наиболее подходящим вариантом является активный солнечный трекер, который движется как по оси X, так и по оси Y. Этот вид системы использует микроконтроллер или хорошо спроектированную аналоговую схему, а также датчики для удержания солнечной панели в правильном положении [4, 5, 6].

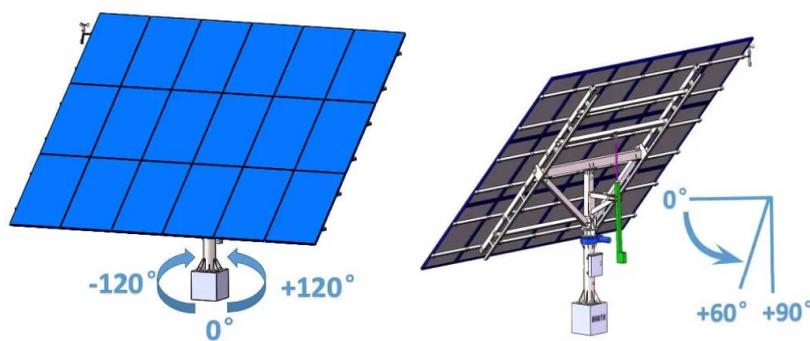


Рисунок 4 – Работа активного солнечного трекера с движением по оси x и y

Основываясь на принципе работы таких устройств выполнили разработку макета солнечного трекера с микроконтроллером Arduino (рис. 5). Который включает в себя следующие электронные компоненты: сервоприводы, резисторы 10 кОм, фоторезисторы, провода и макетная плата.

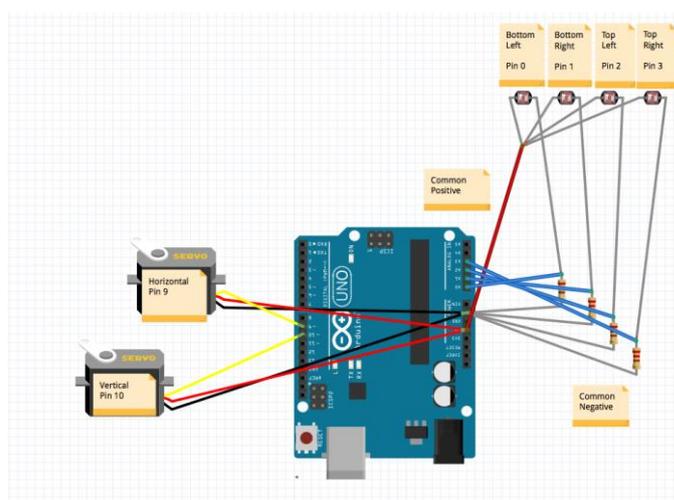
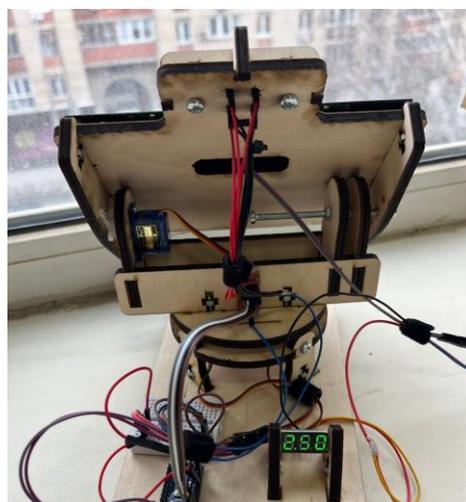


Рисунок 5 – Электрическая схема активного солнечного трекера

После всех доработок и изучения существующих трекеров, нами была выбрана следующая конструкция солнечного трекера представленного на рис. 6.



а)



б)

Рисунок 6 – Разработанная конструкция солнечного трекера: а) вид спереди, б) вид сзади

Заключение. Наиболее эффективным способом сбора энергии с одной панели является использование солнечного трекера. Это позволяет солнечной панели находиться в оптимальном положении в течение всего дня, что увеличивает выработку энергии на 20%, а в некоторых случаях и до 40% [4]. Такая система идеально подходит для зданий или сооружений, в которых не так много плоской крыши, или в ситуациях, когда преобладают пасмурные дни.

Однако у применения трекеров есть несколько веских причин, почему это не слишком распространено.

Во-первых, первоначальная стоимость установки конструкции выше чем у стационарных, так как для этого требуются движущиеся части.

Во-вторых, требуют более частого обслуживания и ухода, поскольку они будут подвергаться воздействию условий окружающей среды круглый год.

В-третьих, необходимо будет подавать напряжение на это оборудование, что в свою очередь снижает производительность

Поэтому внедрение в солнечные электростанции активных трекеров нужно подробно обосновывать и искать пути снижения энергозатрат на собственное оборудование.

Список источников

1. Трофимова, В.С. Эксплуатация солнечных трекеров в условиях республики Саха (Якутия) / В.С. Трофимова, А.Д. Осорова, Ш.Н. Ходоев // Столыпинский вестник. – 2024. – №8.

2. Линник, Ю.Н. Состояние и перспективы развития солнечной энергетики / Ю.Н. Линник, А.Б. Жабин, В.Ю. Линник // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2023. – №2.

3. Григораш, О.В. Мобильные ветро-солнечные электростанции: состояние, перспективы и особенности проектирования / О.В. Григораш, Е.А. Денисенко, Д.Н. Грищенко, П.М. Барышев // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2023. – №1.

4. Немальцев, А.Ю. Зарубежный опыт применения фотоэлектрических установок с солнечными трекерами / А.Ю. Немальцев, Д.К. Байкасенов // Шаг в науку. – 2018. – №2.

5. Залесский, В.С. Разработка трекера для позиционирования солнечных панелей / В.С. Залесский, А.С. Кузнецов, К.В. Матяш // Научный журнал молодых ученых. – 2017. – №1 (8).

6. Кабиров, А.А. Анализ систем слежения за солнцем на солнечных электрических станциях // Научный журнал. – 2024. – №2 (69).

© Ищенко Е.С., Ищенко А.П., 2025

АЛГОРИТМ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПОМЕЩЕНИИ

Надежда Петровна Кондратьева¹, Роман Геннадьевич Большин²,
Мария Геннадьевна Краснолуцкая³, Мансур Наильевич Уразбахтин⁴

^{1,3,4}Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

²Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

Аннотация. Важными параметрами микроклимата животноводческих помещений является температура, содержание углекислого газа в воздухе. Они оказывают большое влияние на продуктивность животных. Информация об этих параметрах в режиме реального времени позволит автоматизированной системе управления оперативно принимать управленческое решение для включения или отключения электропривода вентиляционной установки по разработанному алгоритму управления.

Ключевые слова: алгоритм управления, автоматизированная система, параметры микроклимата, ферма крупного рогатого скота, микроконтроллер

Для цитирования: Кондратьева, Н.П. Алгоритм работы автоматизированной системы управления микроклиматом в животноводческом помещении / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая, М.Н. Уразбахтин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

OPERATING ALGORITHM OF AN AUTOMATED MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM IN AN ANIMAL HOUSING

Nadezhda Petrovna Kondrateva¹, Roman Gennadievich Bolshin²

Maria Gennadievna Krasnolutskaia¹, Mansur Nailievich Urazbakhtin¹

^{1,3,4}Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia, Moscow. Russia

Annotation. Important parameters of the microclimate of livestock buildings are temperature and carbon dioxide content in the air. They have a great influence on animal productivity. Information about these parameters in real time will allow the automated control system to quickly make a management decision to turn on or turn off the electric drive of the ventilation unit according to the developed control algorithm.

Keywords: control algorithm, automated system, microclimate parameters, cattle farm, microcontroller.

For citation: Kondrateva, N.P. Operating Algorithm of an automated microclimate control system in an animal housing / N.P. Kondrateva, R.G. Bolshin, M.G. Krasnolutsкая, M.N. Urazbakhtin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Содержание скота в холодных, плохо вентилируемых помещениях снижает продуктивность от 10 до 40%. При этом возрастает расход кормов на единицу продукции соответственно от 15 до 30%. На физиологическое состояние животных влияет температура, влажность, газовый состав воздуха, освещённость, уровень звукового давления, скорость движения воздуха, пылевая и бактериальная загрязнённость воздуха внутри помещения.

Материалы и методы. В нашей работе мы контролируем температуру воздуха в диапазоне от 8 до 10°C и концентрацию углекислого газа (CO₂), которая должна быть не более 0,25% [1]. Для контроля и поддержания этих параметров в требуемом диапазоне мы предлагаем использовать алгоритм управления системой микроклимата в животноводческом помещении, включающий в себя следующие функционально взаимосвязанные алгоритмы [2, 3, 4]:

1. алгоритм мониторинга технологических процессов с формированием массива данных,
2. алгоритм анализа поступающих данных и оптимизации параметров технологических процессов,
3. алгоритм принятия управленческих решений (рис. 1).

Результаты исследования. Алгоритм мониторинга технологических процессов с формированием массива данных проводит опрос датчиков, снимает значения измеряемых параметров внутри животноводческого помещения: температуру воздуха в помещении и уровень концентрации углекислого газа CO₂. Анализ литературы показал, что температура воздуха должна быть в диапазоне 8...12°C, концентрация углекислого газа CO₂ не более 2500 ppm или 0,25% [1, 5, 6]. Для средней фермы крупного рогатого скота (КРС) на 200 голов с длиной 72 м, шириной 21 м предложено было контролировать эти параметры в 9 точках (рис. 2).

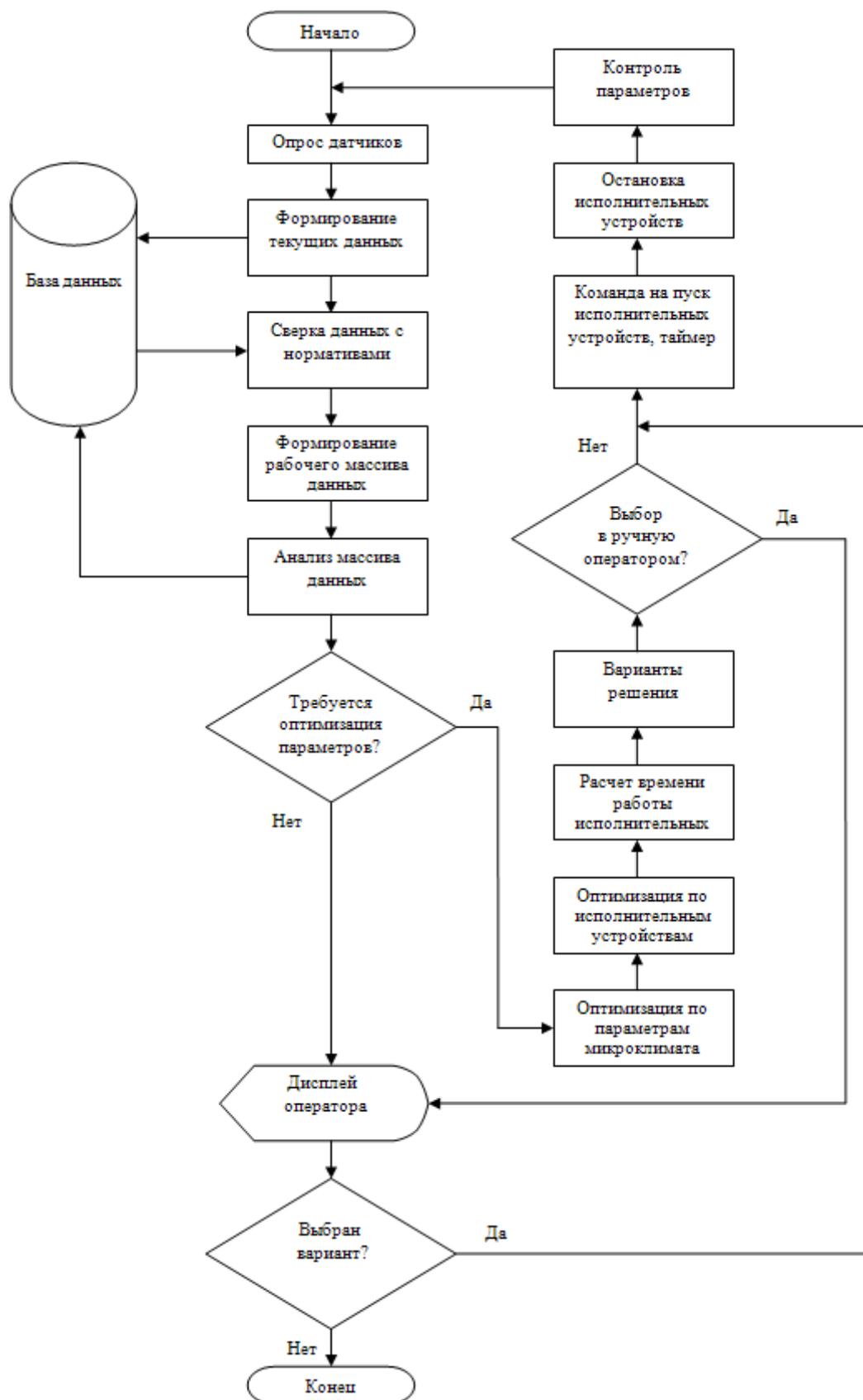


Рисунок 1 – Алгоритм управления системой микроклимата на ферме

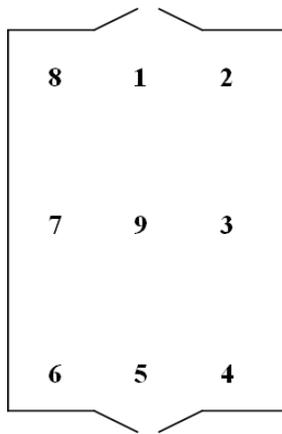


Рисунок 2 – Схема расположения датчиков в коровнике

Данные с датчиков в режиме реального времени вводятся в блок анализа данных (это *алгоритм анализа поступающих данных*). В зависимости от результата сравнения фактического и нормативного значений данные выводятся на дисплей оператора (табл.).

Таблица – Алгоритм принятия управленческих решений

Фактическое значение параметра	Нормативное значение параметра	Режим сравнения	Режим контроля	Варианты процессов управления
Температура, Т, °С	$T_{\text{НОРМ}} = 3+10^{\circ}\text{C}$	да	На дисплей оператора	
		нет	Оптимизация параметра	Вентилирование, нагрев, охлаждение
Углекислый газ, CO_2 , ppm	$\text{CO}_{2\text{НОРМ}} = 0+2500$ ppm	да	На дисплей оператора	
		нет	Оптимизация параметра	Включение вентиляции, открытие ворот, окон, штор

В случае отклонения фактических данных от нормативные информация поступает в блок оптимизации для выработки вариантов решения для обеспечения требуемых параметров в конкретных точках (*алгоритм принятия управленческих решений*).

Алгоритм для локального управления температурой и концентрацией CO_2 в коровнике опрашивает датчики температуры и концентрации углекислого газа. Эти сигналы с помощью аналого-цифрового преобразователя приворываются в цифровые и поступают в микроконтроллер, в котором записаны задающие значения этих параметров. Происходит сравнение текущих значений параметров микроклимата с фактическими. Если текущее показание, например, температуры отличается от заданного, то микропроцессор подает сигнал управления на

включение электропривода вентиляционной установки [7, 8, 9]. Если фактическая температура выше/ниже заданной, то включается/выключается приточно-вытяжная система вентиляции. Аналогично происходит управление вытяжной системой вентиляции при превышении или понижении порогового значения концентрации CO₂.

Если условия равенства фактических и заданных показаний выполняется, то вентиляционная установка отключается. В условии равенства учитывается зона нечувствительности регулируемых показателей системы САР, которые составляют 5% от заданных значений.

По нормативам сечение приточных и вытяжных каналов должно составлять не менее 250 см² на корову живой массой около 500 кг. На 200 коров общее сечение каналов, работающих на вытяжку, составляет 200×250=50 000 см²

Такая система микроклимата окупается за 6 мес. только за счет дополнительной продукции, полученной от животных. Если учесть уменьшение расхода корма на единицу продукции, снижение заболеваемости, увеличение срока хозяйственного использования животных и т.д., то экономический эффект окажется более значительным.

Заключение. Анализируя информацию из специальной литературы, были получены требования к параметрам микроклимата в животноводческих помещениях. Для КРС температура может варьировать от 8°С до 12°С, а концентрация углекислого газа CO₂ должна быть не более 2500 ppm или 0,25%. Для коровника на 200 голов с площадью 72 м на 21 м были использованы по 9 датчиков температуры и концентрации CO₂. Для этого коровника предложен алгоритм работы локальной автоматизированной системы управления приточной и вытяжной вентиляции. Система устойчива и работает надёжно.

Список источников

1. Иванова, О.В Пути повышения молочной продуктивности коров в Красноярском крае / О.В. Иванова, С.А. Донков, В.Т. Димов и др. // Методическое пособие / Красноярск. – 2014. – 158 с.

2. Кондратьева, Н.П, Управление УФ обработкой семян цифровой автоматизированной системой / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин // Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко. Саратов. 2024. – С. 155-163.

3. Кондратьева, Н.П, Использование сквозных цифровых технологий с элементами нейросети / искусственного интеллекта в современном производстве / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая и др. // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 112-6. – С. 91-94.

4. Kondrateva, N. Digital automation of energy-efficient in vitro irradiation of orchard plum micro cuttings / N.P. Kondrateva, R.G. Bolshin, M.G. Krasnolutskaaya // Light & Engineering. – 2023. – Т. 31. – № 6. – С. 57-64.

5. Ovchukova, S. Digital technologies for the implementation of intelligent diagnostics of the insulation of power supply systems with insulated neutral in operating mode / S.Ovchukova, N.Kondratieva, A.Shishov // Advances of Machine

Learning in Clean Energy and the Transportation Industry. Сер. "Computer Science, Technology and Applications" New York. – 2021. – С. 49-56.

6. Kondrateva, N. Determination of the effective operating hours of the intermittent lighting system for growing vegetables / N. Kondrateva, R. Bolshin, M. Krasnolutskaya, et. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International AgroScience Conference, AgroScience 2021". – 2021. – С. 012004.

7. Кондратьева, Н.П. Повышение эффективности радиально-сверлильного станка 2А55Р за счет работки цифровой системы автоматического управления электроприводом / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, И.А. Князев // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения. Материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции. Казань. – 2024. – С. 260-264.

8. Кондратьева, Н.П. Применение частотного регулирования скорости вращения электродвигателя дымососа / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая и др. // Актуальные проблемы энергетики АПК в современной реальности. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной основателю факультета энергетики и электрификации Валентину Васильевичу Фокину. Ижевск. – 2024. – С. 56-62.

9. Кондратьева, Н.П., Разработка цифровой системы автоматического управления электроприводом токарно-винторезного станка / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая, И.П. Князев, И.А. Зворыгин // Актуальные проблемы энергетики АПК в современной реальности. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной основателю факультета энергетики и электрификации Валентину Васильевичу Фокину. Ижевск. – 2024. – С. 62-68.

© Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Уразбахтин М.Н., 2025

Научная статья

УДК 621.314

УПРАВЛЕНИЕ РЕВЕРСИВНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРОГРАММИРУЕМЫМ ЛОГИЧЕСКИМ КОНТРОЛЛЕРОМ

Надежда Петровна Кондратьева¹, Роман Геннадьевич Большин², Мария Геннадьевна Краснолуцкая³, Илья Николаевич Щеткин⁴

^{1,3,4}Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

²Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, г. Москва. Россия

Аннотация. В сельском хозяйстве широко используется реверсивный электропривод, главным элементом которого является электродвигатель. Для реверсивного электропривода используются логические релейно-контактные схемы управления. В статье разработана бесконтактная схема управления

реверсивным электроприводом с использованием среды разработки приложений для программируемых контроллеров CoDeSys. Сделана визуализация. Создана программа на языке LD-Ladder Diagram.

Ключевые слова: программа на языке LD-Ladder Diagram, управление реверсивным электроприводом, среда разработки приложений для программируемых контроллеров CoDeSys.

Для цитирования: Кондратьева, Н.П. Управление реверсивным электроприводом программируемым логическим контроллером / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая, И.Н. Щеткин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

CONTROL OF A REVERSING ELECTRIC DRIVE BY A PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

**Nadezhda Petrovna Kondrateva¹, Roman Gennadievich Bolshin²,
Maria Gennadievna Krasnolutsckaya³, Ilya Nikolaevich Shchetkin⁴**

^{1,3,4}Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia, Moscow. Russia

Annotation. In agriculture, a reversible electric drive is widely used, the main element of which is an electric motor. For a reversible electric drive, logical relay contact control circuits are used. The article develops a non-contact control circuit for a reversible electric drive using the application development environment for programmable controllers CoDeSys. Visualization done. A program was created in the LD language - Ladder Diagram.

Keywords: program in LD language - Ladder Diagram, control of a reversible electric drive, application development environment for programmable controllers CoDeSys.

For citation: Kondrateva, N.P. Control of a reversing electric drive by a programmable logic controller / N.P. Kondrateva, R.G. Bolshin, M.G. Krasnolutsckaya, I.N. Shchetkin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. В сельском хозяйстве широко используется реверсивный электропривод (РЭП), главным элементом которого является электродвигатель, который преобразовывает электрическую энергию во вращение в двух противоположных направлениях. РЭП широко применяется в грузоподъемных механизмах, в строительстве и т.д.

Материалы и методы. Для РЭП используются логические релейно-контактные схемы управления (рис. 1).

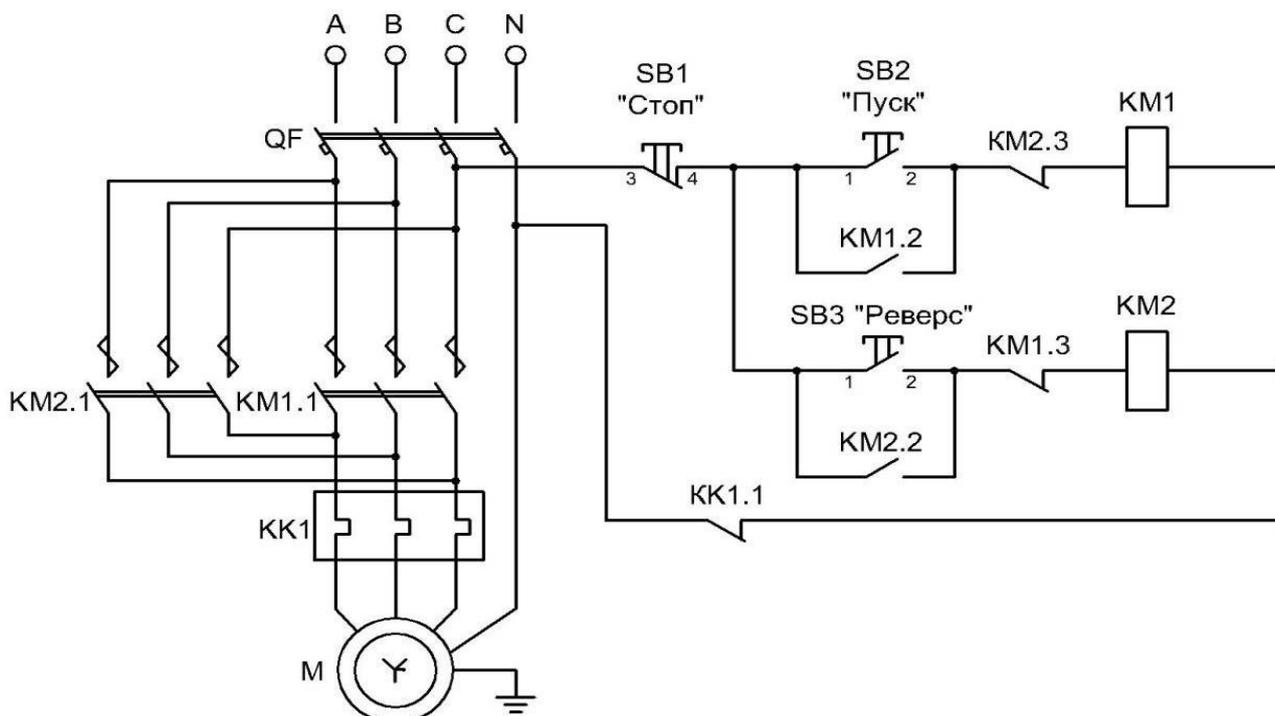


Рисунок 3 – Логическая релейно-контактная схема управления реверсивным электроприводом

Рассмотрим работу реверсивного электропривода на примере ленточного транспортера для перемещения картофеля. Этот вид транспортера имеет простую конструкцию, высокий КПД и предназначен для перемещения сыпучих и упакованные в тару грузов и широко применяется в промышленности и в сельском хозяйстве.

Результаты исследования. Управление программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) мы построили в среде разработки приложений для программируемых контроллеров CoDeSys, которая распространяется бесплатно и без ограничений устанавливается на нескольких рабочих местах.

В CODESYS для программирования доступны все пять определяемых стандартом IEC 61131-3 (МЭК 61131-3) языков:

- IL (Instruction List) – ассемблер-подобный язык,
- ST (Structured Text) – Pascal-подобный язык,
- LD (Ladder Diagram) – язык релейных схем,
- FBD (Function Block Diagram) – язык функциональных блоков,
- SFC (Sequential Function Chart) – язык диаграмм состояний.

В дополнение к FBD поддержан язык программирования CFC (Continuous Function Chart) с произвольным размещением блоков и расстановкой порядка их выполнения.

Алгоритм работы управления реверсивным электроприводом ленточного транспортера программируемыми логическими контроллерами следующий:

1. Делаем визуализацию программы и видим общий вид (рис. 2).



Рисунок 4 – Этапы управления реверсивным электроприводом с использованием среды разработки приложений для программируемых контроллеров CoDeSys

2. Нажимаем кнопку «AB» и она становится белой (рис. 2, а),
3. Нажимаем кнопку «Пуск» SB2 и она становится желтой (рис. 2, б).
4. Срабатывает реле времени и после 5 с заработает ЭД (рис. 2, в): он становится красным цветом.
5. Нажимаем кнопку стоп (она загорается желтым цветом) и в течении 10 с, (какая уставка стоит на реле времени) электродвигатель останавливается (рис. 2, г).
6. Нажмем кнопку SB3 реверс (она загорается желтым цветом) и по истечению 5 с электродвигатель начитает вращаться в другую сторону и становится красным (рис. 2, д).

Создана программа на языке LD-линейных диаграмм (рис. 3).

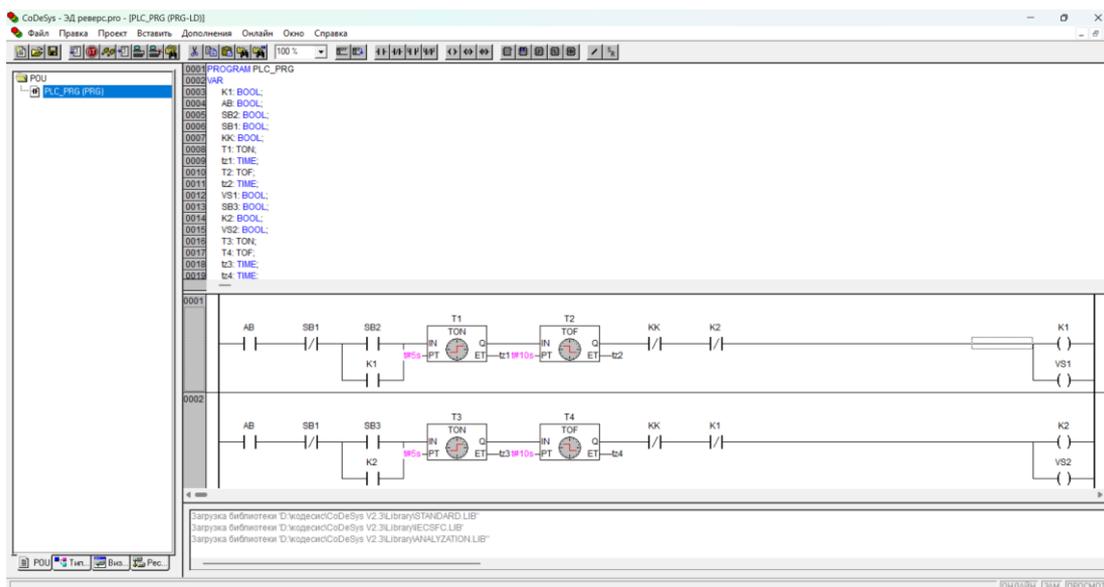


Рисунок 5 – Фрагмент программы на языке LD

Ориентировочная стоимость оборудования:

- микроконтроллер ПР100 – 7800 руб.
- электродвигатель марки АИР 56 – 2500 руб.,
- автоматической выключатель – 600 руб.,
- соединительные провода – 1000 руб.
- ПЛК – 15 000 руб.

Всего около 27 тыс. руб.

Заключение. Разработана бесконтактная схема управления реверсивным электроприводом с использованием среды разработки приложений для программируемых контроллеров CoDeSys. Сделана визуализация. Создана программа на языке LD - Ladder Diagram.

Список источников

1. Иванова, О.В Пути повышения молочной продуктивности коров в Красноярском крае / О.В. Иванова, С.А. Донков, В.Т. Димов и др. // Методическое пособие / Красноярск. – 2014. – 158 с.

2. Кондратьева, Н.П. Управление УФ обработкой семян цифровой автоматизированной системой / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин // Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко. Саратов. – 2024. – С. 155-163.

3. Кондратьева, Н.П. Использование сквозных цифровых технологий с элементами нейросети искусственного интеллекта в современном производстве / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая и др. // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 112-6. – С. 91-94.

4. Kondrateva, N. Digital automation of energy-efficient in vitro irradiation of orchard plum micro cuttings / N.P. Kondrateva, R.G. Bolshin, M.G. Krasnolutskaia // Light & Engineering. – 2023. – Т. 31. – № 6. – С. 57-64.

5. Ovchukova, S. Digital technologies for the implementation of intelligent diagnostics of the insulation of power supply systems with insulated neutral in

operating mode / S.Ovchukova, N.Kondratieva, A.Shishov// Advances of Machine Learning in Clean Energy and the Transportation Industry. Сер. "Computer Science, Technology and Applications" New York. – 2021. – С. 49-56.

6. Kondrateva, N. Determination of the effective operating hours of the intermittent lighting system for growing vegetables / N. Kondrateva, R. Bolshin, M. Krasnolutskaaya, e.t. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International AgroScience Conference, AgroScience 2021". – 2021. – С. 012004.

7. Кондратьева, Н.П. Повышение эффективности радиально-сверлильного станка 2А55Р за счет работы цифровой системы автоматического управления электроприводом / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, И.А. Князев // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и применения. Материалы национальной (с международным участием) научно-практической конференции. Казань. – 2024. – С. 260-264.

8. Кондратьева, Н.П. Применение частотного регулирования скорости вращения электродвигателя дымососа / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая и др. // Актуальные проблемы энергетики АПК в современной реальности. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной основателю факультета энергетики и электрификации Валентину Васильевичу Фокину. Ижевск. – 2024. – С. 56-62.

9. Кондратьева, Н.П. Разработка цифровой системы автоматического управления электроприводом токарно-винторезного станка / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая, И.П. Князев, И.А. Зворыгин // Актуальные проблемы энергетики АПК в современной реальности. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной основателю факультета энергетики и электрификации Валентину Васильевичу Фокину. Ижевск. – 2024. – С. 62-68.

© Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Щеткин И.Н., 2025

Научная статья

УДК 621.311

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ

**Екатерина Алексеевна Косолапова¹, Сергей Владимирович Бахтеев²,
Виктория Сергеевна Абрамова³**

^{1,2,3}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹kcvyan.katya@gmail.com

²s.v.bakhteev@yandex.ru

³vikaabramova16@mail.ru

Аннотация. Применения газопоршневой установки (ГПУ) становится всё более актуальным в свете современных требований к энергоэффективности и экологической безопасности. ГПУ представляют собой надёжный источник электрической и тепловой энергии, который может работать на различных видах газа, включая природный и биогаз. Анализ применения ГПУ позволяет выявить преимущества и недостатки этой технологии в различных отраслях. В статье предлагается рассмотреть, как применение газопоршневой установки может сделать предприятия более энергоэффективными и экономичными.

Ключевые слова: электроэнергетика, генераторные установки, газопоршневые установки, снижение энергопотребления, ГПУ, когенерационные электростанции.

Для цитирования: Косолапова, Е.А. Анализ применения газопоршневой установки / Е.А. Косолапова, С.В. Бахтеев, В.С. Абрамова // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF THE GAS PISTON INSTALLATION APPLICATION

Ekaterina Alekseevna Kosolapova¹, Sergey Vladimirovich Bakhteev², Victoria Sergeevna Abramova³

^{1,2,3} Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹kcvyan.katya@gmail.com

²s.v.bakhteev@yandex.ru

³vikaabramova16@mail.ru

Annotation. The use of gas piston units (GPU) is becoming increasingly relevant in light of modern requirements for energy efficiency and environmental safety. GPUs are a reliable source of electrical and thermal energy that can operate on various types of gas, including natural and biogas. Analysis of the use of GPUs allows us to identify the advantages and disadvantages of this technology in various industries. The article proposes to consider how the use of a gas piston unit can make enterprises more energy efficient and economical.

Key words: electric power industry, generator sets, gas piston units, reduction of energy consumption, gas piston units, cogeneration power plants.

For citation: Kosolapova, E.A. Analysis of the application of a gas piston unit / E.A. Kosolapova, S.V. Bakhteev, V.S. Abramova // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Газопоршневая электростанция представляет собой самостоятельный комплекс, предназначенный для генерации электрической и

тепловой энергии. Основой этих установок служит двигатель внутреннего сгорания, работающий на природном или альтернативном газе.

На сегодняшний день газопоршневые установки находят широкое применение в различных промышленных сферах, а также в жилищно-коммунальном хозяйстве и в отраслях, связанных с добычей сырья и угля. Такой интерес к электростанциям с газопоршневыми двигателями объясняется множеством факторов, среди которых высокая эффективность, минимальные потери энергии, а также способность оборудования противостоять температурным колебаниям и неблагоприятным условиям окружающей среды. Кроме того, эти установки могут использовать разные виды топлива и отличаются экологической безопасностью благодаря сокращенным выбросам вредных веществ.

Также стоит отметить наличие автоматизированной системы защиты от перегрева, что добавляет дополнительные преимущества их эксплуатации.

Принцип работы такой установки заключается в следующем:

- 1) Двигатель, который является частью АГПУ, трансформирует топливную энергию в механическую и тепловую энергию;
- 2) Механическая энергия от основного двигателя через электрический генератор преобразуется в электрическую энергию;
- 3) Система утилизации тепла с помощью нескольких теплообменников позволяет извлекать тепло из первичного двигателя и передавать его потребителю в форме пара или горячей воды (см. рис. 1).

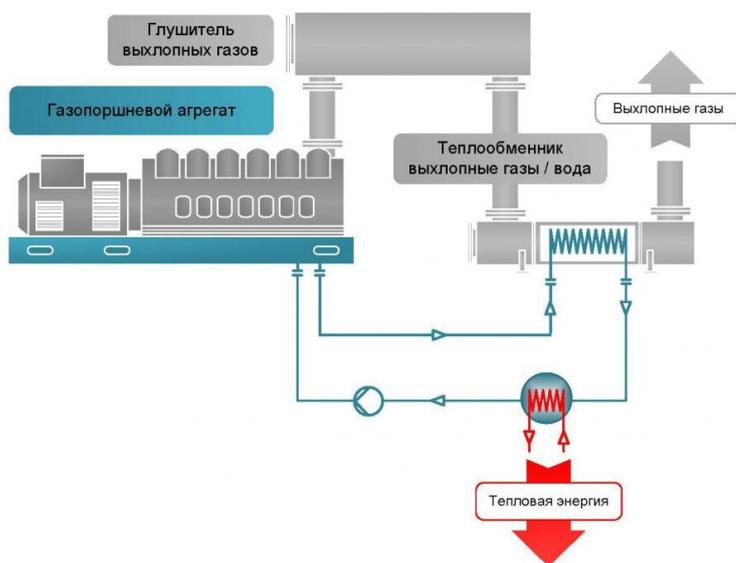


Рисунок 1 – Принцип работы газопоршневой электростанции

Методы и материалы. В зависимости от режима работы и типов производимой энергии, установки классифицируются на когенерационные и тригенерационные [2].

Когенерационные электростанции являются наиболее распространенными в данной категории. Они способны не только генерировать электричество, но также производить тепло, которое может быть использовано для нагрева воды и создания пара.

Когенерация для газопоршневых электростанций подразумевает использование тепла, выделяющегося при сгорании газообразного топлива в поршневом двигателе внутреннего сгорания (ДВС), для производства электроэнергии с использованием подключенного к ДВС генератора, а также для получения тепловой энергии (в виде горячей воды или пара) за счет утилизации тепловых потерь от ДВС.

Тригенерационные установки, помимо тепла и электричества, способны также вырабатывать холод. Они включают газопоршневую установку, соединенную с абсорбционной холодильной машиной. Часть тепла от газопоршневой установки используется для холодильного оборудования с целью производства холода. В зависимости от требований, холод может применяться для охлаждения воды, кондиционирования воздуха или других технологических процессов.

Природный газ является наиболее распространенным и эффективным топливом для ГПУ, а в нашей стране он наиболее доступен [1].

Также можно использовать другие виды газообразного топлива, такие как биогаз, свалочный газ, попутный нефтяной газ, коксовый газ и сжиженный газ.

В зависимости от требований заказчика, а также условий размещения электростанции на предприятии выделяют два основных типа газопоршневых установок:

– контейнерный вариант, при котором газопоршневая установка с сопутствующим оборудованием и системами размещается внутри специального контейнера (один двигатель). В этом случае может быть использовано различное количество контейнеров с газопоршневыми установками, которые объединяются в единый энергетический комплекс;

– стационарная установка, где газопоршневая установка с необходимыми системами и вспомогательным оборудованием монтируется внутри капитального сооружения.

Стационарные установки, как правило, легче обслуживать и выполнять плановые технические работы. При этом здания подобного типа часто оснащаются кран-балками для упрощения обслуживания.

Обсуждение. Чтобы правильно выбрать газопоршневую установку, нужно учесть множество факторов, включая технические характеристики, экономические показатели и условия эксплуатации.

1. *Определение потребности в электроэнергии*

Первый этап – понять, сколько электроэнергии потребуется. Для этого нужно оценить общую электрическую нагрузку объекта.

Формула для расчета общей нагрузки (электрической) определяется по формуле

$$P_{\text{общ}}^э = \sum P_i^э \quad (1)$$

где $P_{\text{общ}}^э$ – общая электрическая нагрузка; $P_i^э$ – мощность каждого потребителя.

Формула для расчета общей нагрузки (тепловой) определяется по формуле

$$P_{\text{общ}}^т = \sum P_i^т \quad (2)$$

где $P_{\text{общ}}^т$ – общая тепловая нагрузка; $P_i^т$ – мощность каждого потребителя;

2. Расчет мощности установки

Необходимую мощность (электрическую) ГПУ можно определить с помощью формулы

$$P_{\text{уст.}} = \frac{P_{\text{общ}}^{\text{э}}}{\eta} \quad (3)$$

где $P_{\text{уст.}}$ – мощность установки; $P_{\text{общ}}^{\text{э}}$ – общая электрическая нагрузка; η – коэффициент полезного действия установки.

Необходимую мощность (тепловую) ГПУ определяют с помощью формулы

$$P_{\text{уст.}} = \frac{P_{\text{общ}}^{\text{т}}}{\eta} \quad (4)$$

где $P_{\text{уст.}}$ – мощность установки; $P_{\text{общ}}^{\text{т}}$ – общая электрическая нагрузка; η – коэффициент полезного действия установки [3].

3. Расчет расхода топлива

Необходимый объем топлива для работы ГПУ можно определить по формуле

$$V_{\text{газ}} = \frac{P_{\text{уст.}}}{q \cdot \eta} \quad (5)$$

где $V_{\text{газ}}$ – объем газа; $P_{\text{уст.}}$ – мощность установки; q – удельная теплота сгорания газа (для природного газа ~ 36 МДж/м³); η – коэффициент полезного действия установки [4].

При выборе газопоршневой установки необходимо учитывать множество факторов, начиная от мощности и типа топлива до экологических и экономических аспектов. Это позволяет обеспечить оптимальные условия для эксплуатации установки и достижения максимальной эффективности.

Заключение. На основе проведенного анализа научно-технической литературы можно заключить, что газопоршневая установка является стабильным источником как электрической, так и тепловой энергии, способной функционировать на различных типах газа, включая природный газ и биогаз.

Применений ГПУ представляются перспективным направлением для развития децентрализованной энергетики и повышения энергетической устойчивости. Они позволяют увеличить эффективность и снизить затраты предприятий.

Список литературы

1. Буянов, А.Б. Перспективы применения когенерационных газопоршневых электростанций / А.Б. Буянов, Д.Ю. Комаров // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2007. – № 1(10). – С. 116-135.

2. Мухарямов, М.А. Автономное энергообеспечение с помощью газопоршневых установок / М.А. Мухарямов, Е.В. Хаустова // Наука, образование, общество: тенденции перспективы: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., 2021. – 320 с.

3. Теплоэнергетика и теплотехника: учебник для вузов / Под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М.: Изд-во МЭИ, 2006 – 257 с.

4. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебник для проф. учеб. заведений / Ю.Д. Сибикин // М.: Директ-Медиа, 2023 – 367 с.

© Косолапова Е.А., Бахтеев С.В., Абрамова В.С., 2025

Научная статья
УДК 004.5

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В БУТЫЛКЕ

Ростислав Александрович Кравченко¹, Анна Анатольевна Тарола²,
Татьяна Викторовна Зудина³, Екатерина Владиславовна Пестова⁴

^{1,2,3,4} Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия

¹kravchenkora@mgupp.ru, <https://orcid.org/0009-0000-3058-2118>

²tarolaaa@mgupp.ru

³zudinatv@mgupp.ru

⁴pestovaev@mgupp.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке автоматизированной системы контроля уровня ликера в стеклянной таре с использованием алгоритмов машинного обучения. Проведён анализ влияния количества эпох на производительность модели. Разработанная архитектура продемонстрировала высокую точность классификации и может быть использована для контроля жидкостей с аналогичными свойствами.

Ключевые слова: автоматизированные системы, системы компьютерного зрения, уровень жидкости, нейронные сети.

Для цитирования: Кравченко, Р.А. Перспективы использования алгоритмов машинного обучения для автоматизированного контроля уровня жидкости в бутылке / Р.А. Кравченко, А.А. Тарола, Т.В. Зудина, Е.В. Пестова // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

PROSPECTS OF USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR AUTOMATED MONITORING OF THE LIQUID LEVEL IN A BOTTLE

Rostislav Aleksandrovich Kravchenko¹, Anna Anatolyevna Tarola²,
Tatiana Viktorovna Zudina³, Ekaterina Vladislavovna Pestova⁴

^{1,2,3,4}Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

¹kravchenkora@mgupp.ru, <https://orcid.org/0009-0000-3058-2118>

²tarolaaa@mgupp.ru

³zudinatv@mgupp.ru

⁴pestovaev@mgupp.ru

Annotation. The article is devoted to the development of an automated liquor level control system in glass containers using machine learning algorithms. The analysis of the influence of the number of epochs on the productivity of the model is carried out. The developed architecture has demonstrated high classification accuracy and can be used to control liquids with similar properties.

Keywords: automated systems, computer vision systems, fluid level, neural networks.

For citation: Kravchenko, R.A. Prospects of using machine learning algorithms for automated control of the liquid level in a bottle / R.A. Kravchenko, A.A. Tarola, T.V. Zudina, E.V. Pestova // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Современные технологии искусственного интеллекта и машинного обучения находят широкое применение в самых разнообразных отраслях, включая производство и контроль качества продукции [1]. В пищевой и алкогольной промышленности, где важны точность измерений и стандартизация процессов, автоматизированные системы контроля играют ключевую роль. Одной из актуальных задач является мониторинг уровня жидкости в бутылках, который позволяет обеспечить соблюдение стандартов наполнения, минимизировать потери изделия и повысить общую эффективность предприятия.

В условиях растущих требований к качеству и эффективности производства внедрение систем компьютерного зрения становится неотъемлемой частью современных решений для контроля и управления на предприятиях алкогольной промышленности, в том числе на этапе розлива ликера в стеклянную тару [2].

Материалы и методы. Для реализации автоматизированного контроля уровня ликера в бутылке использованием СКЗ был собран первичный датасет, включающий 670 изображений. Данные были разделены на три категории: 1 – оптимально наполненные, 2 – с уровнем жидкости ниже необходимого, 3 – переполненные бутылки. Сбор изображений проводился в различных условиях освещения и с разными фонами, чтобы создать разнообразие, обеспечивающее устойчивость модели [3, 4].

Исходный датасет оказался недостаточно объемным для эффективного обучения нейронной сети. С целью увеличения количества и разнообразия выборки, была выполнена аугментация данных [5, 6]. Часть изображений была повернута на 7 градусов, оставшаяся на 10 градусов (рис. 1). В некоторых фотографиях яркость была усилена или ослаблена, чтобы учесть влияние условий освещения.

```

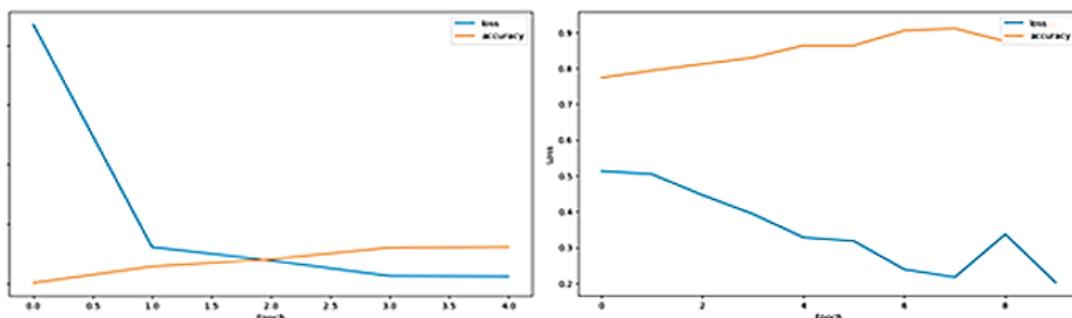
from PIL import Image
import os
def rotate_images(folder_path):
    # Get a list of all files in the folder
    file_list = os.listdir(folder_path)
    # Iterate over each file
    for file_name in file_list:
        # Check if the file is an image
        if file_name.endswith(('.png', '.jpg', 'jpeg')):
            # Open the image file
            image_path = os.path.join(folder_path, file_name)
            image = Image.open(image_path)
            # Rotate the image clockwise by 7 degrees
            rotated_image = image.rotate(10, expand=True)
            # Generate the new file name with rotation prefix
            new_file_name = f"unrotated_{file_name}"
            # Save the rotated image in PNG format
            new_file_path = os.path.join(folder_path, new_file_name)
            rotated_image.save(new_file_path, "PNG")
            # Close the images
            image.close()
            rotated_image.close()
            print(f"Rotated image: {file_name} -> {new_file_name}")
    print("Image rotation complete!")
# Provide the path to the folder containing the images
folder_path = "D:\ima\Новая папка\Overflowing"
rotate_images(folder_path)

```

Рисунок 1 – Фрагмент кода для аугментации данных

Результаты исследования. Для классификации уровня жидкости разработана модель на основе сверточной нейронной сети (CNN). CNN созданы для обработки двумерных данных, таких как изображения [7-9]. Сеть состоит из нескольких сверточных слоев с функцией активации ReLU, слоев подвыборки (pooling) и полносвязного слоя для классификации. Использование перечисленных элементов архитектуры позволяют сократить размер входных данных без потери важной информации, что снижает вычислительную нагрузку и ускоряет обучение модели. Это особенно важно при решении задач в реальном времени, где требуется быстрая обработка изображений на производственной линии.

Обучение модели проводилось на размеченных данных с различным количеством эпох. Выбор количества эпох в обучении модели является важным шагом и зависит от нескольких факторов, таких как размер тренировочного набора данных, сложность модели, доступные ресурсы и желаемая производительность [2, 3].



a)

б)

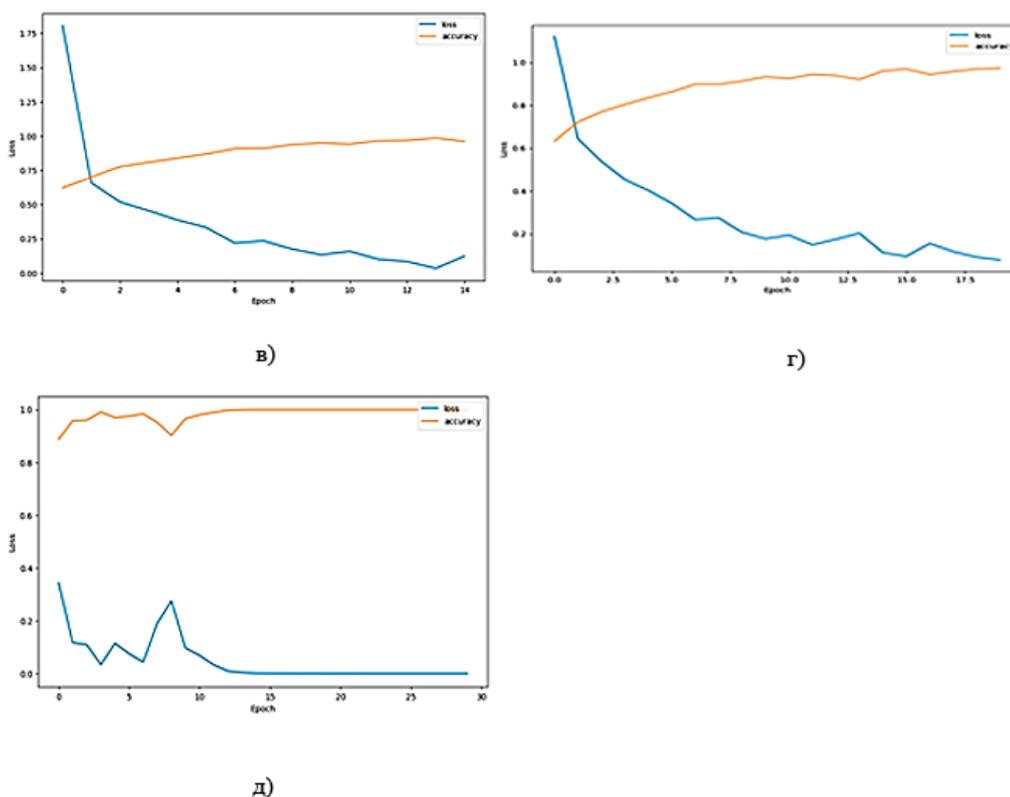


Рисунок 2 – Сравнение точности и потерь при обучении с разным количеством эпох: а) – 5 эпох, б) – 10 эпох, в) – 15 эпох, г) – 20 эпох, д) – 30 эпох

Количество эпох указывает, сколько раз модель будет просматривать весь тренировочный набор данных. Слишком малое количество эпох может привести к недостаточному обучению модели. В таком случае она не сможет эффективно извлекать закономерности из данных. С другой стороны, слишком большое количество эпох может вызвать переобучение. Это означает, что модель будет хорошо адаптирована к тренировочному датасету, но её способность обобщения для новых данных окажется низкой.

Выбор оптимального количества эпох требует экспериментов и оценки производительности модели на валидационных данных (рис. 2). При количестве эпох 5–15 модель демонстрировала недостаточную точность, что указывало на недообучение, т.е. CNN не успевала выучить ключевые особенности изображений. С увеличением количества эпох точность продолжала расти, на валидационных данных она достигала максимума примерно к 30 эпохе, при этом потери, как видно из графика д) на рис. 2, минимальны. Увеличение числа эпох сверх 30, вероятно, не принесёт существенных улучшений и может привести к переобучению.

Заключение. Разработанная модель продемонстрировала высокую точность в классификации прозрачных бутылок с различными цветами жидкостей. Предложенный подход может быть применим не только для контроля уровня ликера, но и для других жидкостей в бутылках с аналогичными свойствами. Это открывает перспективы для внедрения алгоритмов машинного обучения в широкий спектр задач автоматизации производственных процессов.

Список источников

1. Каргин, В.А. Результаты создания интеллектуальной системы с использованием нейросетевых технологий для оценки качества яблок при сортировке / В.А. Каргин, В.В. Кишко, К.М. Усанов, Д.Ю. Сохинов // Вавиловские чтения – 2022: Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 135-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова, Саратов, 22-25 ноября 2022 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2022. – С. 710-715.

2. Каргин, В.А. Перспективы использования алгоритмов искусственного интеллекта для раннего обнаружения заболеваний сырья растительного происхождения / В.А. Каргин, В.В. Кишко, А.М. Борисевский // В сборнике: Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности. Сборник научных докладов III Международной специализированной конференции – выставки. Курск, 2022. – С. 142-148.

3. Сохинов, Д.Ю. Рекомендации по подготовке dataset для машинного обучения / Д.Ю. Сохинов, Р.А. Кравченко, О.В. Логачёва // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2023. – С. 368-373.

4. Кравченко, Р.А. Перспективы использования алгоритмов искусственного интеллекта для автоматизированной оценки зрелости томатов / Р.А. Кравченко, В.А. Сумерин, В.В. Бёю // Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности: сборник научных докладов V Международной конференции, Москва, 30 апреля 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 238-243. – EDN NWPBWU.

5. Каргин, В.А. Рекомендации по реализации интеллектуальной системы определения качества колбасных изделий / В.А. Каргин, Р.А. Кравченко, И.В. Кротов, Е.Р. Резенов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы XIV Национальной конференции с международным участием / Под ред. С.М. Бакирова – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2023.

6. Алферьев, Д.А. Практика реализации сверточных нейронных сетей в сельском хозяйстве и агропромышленном комплексе // АгроЗооТехника. 2020. – Т. 3. N 2. С. 4. DOI 10.15838/alt.2020.3.2.4.

7. Клехо, Д.Ю. Использование технологии сверточных нейронных сетей в сегментации объектов изображения / Д.Ю. Клехо, Е.Б. Карелина, Ю.П. Батырев // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. №1. С. 140-145. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-140-145.

8. Practical Deep Learning for Cloud, Mobile, and Edge. Real-World AI and Computer-Vision Projects Using Python, Keras, and TensorFlow / Anirudh Koul, Siddha Ganju, and Meher Kasam. – Beijing, 2020. – 16+. – ISBN 978-5-4461-1840-3.

9. Сохинов, Д.Ю. Интеллектуальная система сортировки фруктов на базе технического зрения / Д.Ю. Сохинов // Фабрика будущего: переход к передовым

цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности: сборник научных докладов V Международной конференции, Москва, 30 апреля 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 313-318. – EDN SYHZQD.

© Кравченко Р.А., Тарола А.А., Зудина Т.В., Пестова Е.В., 2025

Научная статья
УДК 314.629.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИКИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ЛЭП

Вячеслав Михайлович Кривенко¹, Елена Николаевна Чернова²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. Наиболее перспективным способом для проведения технического обслуживания ЛЭП является использование роботов с дистанционным управлением. Основными операциями для поддержания ЛЭП является осмотр, диагностика, очистка, и передача данных для принятия решений. Информация о диагностике ЛЭП позволит отслеживать состояние опор, возможных электрических потерь и следить за состоянием линий электропередач.

Ключевые слова: энергетика, роботизация, опора, диагностика, осмотр контроль, ЛЭП.

Для цитирования: Кривенко, В.М. Использование робототехники при техническом обслуживании ЛЭП / В.М. Кривенко, Е.Н. Чернова // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

THE USE OF ROBOTICS IN THE MAINTENANCE OF POWER LINES

Vyacheslav Mikhailovich Krivenko¹, Elena Nikolaevna Chernova²

^{1,2}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation. The most promising method for carrying out maintenance of power lines is the use of remote-controlled robots. The main operations for maintaining power lines are inspection, diagnostics, cleaning, and transfer of data for decision making.

Information on power line diagnostics will allow you to monitor the condition of supports, possible electrical losses and monitor the condition of power lines.

Keywords: energy, robotization, support, diagnostics, inspection control, power lines.

For citation: Krivenko, V.M. The use of robotics in the maintenance of power lines / V.M. Krivenko, E.N. Chernova // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Для поддержания линий электропередач в работоспособном состоянии необходимо периодически проводить следующие мероприятия: очистка линий от загрязнений, проверка натяжения линий, осмотр и диагностика опоры. Наиболее трудоемкими видами работ является очистка линий от влаги, пыли и т.д., а также определение технического состояния опор.

Материалы и методы. Один из видов сервисных роботов, используемых в электроэнергетике является робот для контроля (и очистки) высоковольтных линий электропередачи.

Результаты исследования. В настоящее время в энергетике используют и БПЛА, в том числе, для инспекции и очистки высоковольтных линий электропередачи. Преимущество такого подхода в том, что осмотровый робот совмещен с беспилотной летающей платформой, поэтому на провода он добирается своим ходом, не требуя использования людей с лицензией и навыками высотных работ. Выполнив работу, робот также самостоятельно спускается вниз.

Например, роботу LineRanger присущ существенный недостаток, для его запуска в работу необходимы люди с навыками работы на опорах ЛЭП. Устройство не назовешь легким, для его переноски и подъема к месту проведения работ требуется два человека, используется автомобильный фургон для перевозки. Для его работы требуются два близко висящих провода, а не один, как во многих конкурентных конструкциях.

Робот оборудован цифровой камерой на электромеханической телеуправляемой опоре с возможностью изменять угол наклона камеры, как это необходимо. Среди плюсов конструкции следует отметить высокую скорость движения робота, который может пройти за день несколько километров по проводам ЛЭП. Другой плюс – способность робота преодолевать точки крепления проводов к натяжным зажимам (рис.).

Благодаря этому робот позволяет быстро обследовать большие фрагменты ЛЭП, включая участки, к которым сложно подобраться людям. Управление движением робота и поворотами камеры осуществляется с пульта дистанционного управления, на экран которого выводится изображение с камеры робота. Робот может оснащаться дополнительной полезной нагрузкой, в частности, LineCore для мониторинга степени коррозии проводов или устройством LineOhm для оценки состояния соединения проводов.



Рисунок – Способность робота преодолевать точки крепления проводов к натяжным зажимам

Помимо осмотра ЛЭП данный робот также способен обеспечивать затяжку болтовых соединений, очищать провода от инородных предметов, снега и льда. Тепловизор позволяет выявлять точки и определить причину аномального нагрева провода. Роботом управляет оператор с наземного пульта ДУ.

Заключение. Использование таких систем позволит сократить время проведения технических работ повысить их безопасность и сократить эксплуатационные затраты.

Список источников

1. Шнейберг, Я.А. История выдающихся открытий и изобретений (электротехника, электроэнергетика, радиоэлектроника) / Я.А. Шнейберг. – М.: МЭИ, 2009. – 118 с.
2. Новожилов, О.П. Электротехника и электроника 2-е изд., испр. и доп. Учебник для бакалавров / О.П. Новожилов. – Люберцы: Юрайт, 2016. – 653 с.
3. Иванов, И.И. Электротехника. 4-е изд. / И.И. Иванов, Г.И. Соловьев. – СПб.: Лань, 2006. – 496 с.
4. skillbox.ru: сайт. – Москва 2024 – URL: <https://skillbox.ru/> – Текст: электронный.
5. master-class.spb.ru: сайт. – Санкт-Петербург 2024 – URL: <https://master-class.spb.ru/> – Текст: электронный.
6. insales.ru: сайт. – Москва 2023 – URL: <https://www.insales.ru/> – Текст, изображения: электронные.
7. urait.ru: сайт. – Москва 2020 – URL: <https://urait.ru/> - Текст, изображения: электронные.
8. robotrends.ru: сайт. – Москва 2024 – URL: <https://robotrends.ru/> – Текст, изображения: электронные.

© Кривенко В.М, Чернова Е.Н., 2025

АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЕЛЬНЫХ

Алеся Николаевна Кузнецова¹

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. Важным критерием работы котельной является оптимизация работы, снижение энергопотребления и повышение КПД. При автоматизации котельной улучшаются условия труда, повышается эффективность работы котельной в целом.

Ключевые слова: увеличение эффективности котельных, способы регулирования, автоматизация котельных.

Для цитирования: Кузнецова, А.Н. Анализ способов регулирования и автоматизации для повышения эффективности котельных / А.Н. Кузнецова // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF CONTROL AND AUTOMATION METHODS TO IMPROVE BOILER EFFICIENCY

Alesya Nikolaevna Kuznecova¹

¹Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation. An important criterion for boiler house operation is optimization of operation, reduction of energy consumption and increase in efficiency. Automation of the boiler room improves working conditions and increases the efficiency of the boiler room as a whole.

Keywords: increasing the efficiency of boiler houses, methods of regulation, automation of boiler houses.

For citation: Kuznetsova, A.N. Analysis of control and automation methods to improve boiler efficiency / A.N. Kuznetsova // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Котельные представляют собой важное звено в сфере промышленного производства и играют ключевую роль в обеспечении

энергетических нужд предприятий. Они являются неотъемлемым элементом системы теплоснабжения, необходимым для обогрева и горячего водоснабжения в промышленности.

В современном мире проблема увеличения эффективности котельных является актуальной и важной. В условиях растущих цен на энергоносители и стремительного развития технологий, автоматизация котельных становится необходимой задачей. В данной статье мы рассмотрим различные способы повышения эффективности работы котельной и их практическое применение.

Материалы и методы. Первым шагом к повышению эффективности котельной является регулярное техническое обслуживание оборудования. Профессиональная экспертиза и техническое обслуживание помогут выявить возможные неисправности и улучшить работу котельной. Также важно правильно настраивать оборудование и следить за его работой.

Один из способов увеличения эффективности котельной – установка современных систем автоматизации управления. Автоматизация позволяет оптимизировать работу котельной и снизить энергопотребление. Системы автоматизации позволяют автоматически регулировать температуру, давление и другие параметры, что позволяет значительно улучшить эффективность работы котельной.

Система автоматики котельного оборудования должна выполнять следующие функции:

- запускать и останавливать водогрейные котлы как автоматически, так и в ручном режиме;
- регулировать производительность (теплоносителя) в котлах с учетом нагрузки;
- проводить гибкие настройки всех котловых параметров;
- управлять насосами теплосети и котлов;
- управлять насосами подпитки теплосети;
- управлять уровнем воды в баке запаса воды;
- регулировать температуру воды в сети отопления в зависимости от температуры наружного воздуха;
- регулировать температуру в сети ГВС;
- осуществлять каскадное управление котлами в случае совместного использования нескольких котлов [3];
- регулировать температуру в помещении котельной;
- управлять клапаном подачи газа (жидкого топлива) в котельную;
- осуществлять ночной режим работы котельного оборудования;
- сигнализировать о загазованности по СО и СН₄;
- осуществлять мониторинг охранной и пожарной сигнализации;
- отображать необходимую информацию на панели оператора;
- передавать данные о работе котлоустановки в диспетчерский пункт [4].

Отказы в системах управления и переход к случайным неоптимальным алгоритмам могут быть вызваны и неправильными, ошибочными действиями персонала, эксплуатирующего или обслуживающего технические средства автоматизации. Техническое исполнение средств может либо содействовать

возникновению таких ошибок, либо как-то блокировать их возможность, и это предполагает целесообразность постановки соответствующих требований к средствам автоматизации.

Результаты исследования. Автоматическое регулирование процессов котлоагрегата должно обеспечить нормальную работу как в постоянном, так и в переходном режиме в регулируемом диапазоне нагрузок (от 20-30 до 100% номинальной нагрузки).

Котельные установки оборудованы различными приборами учета (манометрами, термометрами и т.д.) и системами управления. Степень автоматизации связана с внедрением ИТ в управление агрегатами котельной установки. Компьютерные программы, подключенные к различным датчикам, позволяют с минимальным участием оператора и даже без него регулировать:

- запуск и остановку котлов;
- режим подачи и сжигания топлива;
- работу сигнализации в случае внештатных ситуаций;
- работу вспомогательных узлов;
- блокировку отдельных агрегатов для ремонта, техобслуживания или дефектовки.

Управление горелкой осуществляется через встроенный менеджер горения. Контроллер управляет модулируемыми, одноступенчатыми, двухступенчатыми и трехступенчатыми горелками. По типу топлива поддерживаются газовые, жидкотопливные, комбинированные и электрические горелки. Алгоритмы контроллера разделены по задачам автоматизации котельной: автоматика котла, автоматика котельной, автоматика отопления и ГВС.

Комбинации алгоритмов позволяют подобрать оптимальный набор автоматики для котельной, пример показан на рис. 1.

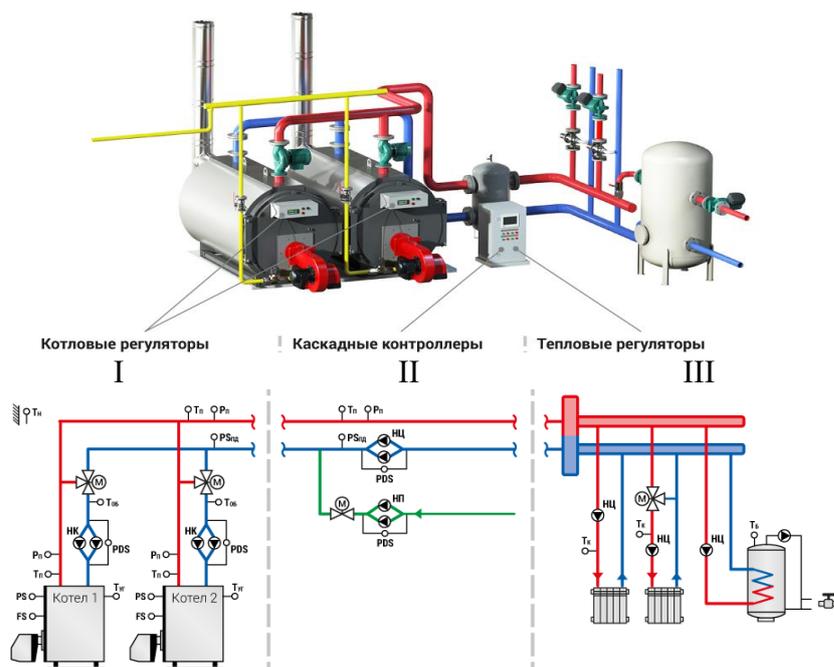


Рисунок 1 – Схема комбинации алгоритмов контроллера: I – автоматика котла; II – автоматика котельной; III – автоматика отопления и ГВС

Объединяя различные алгоритмы в единую систему, можно получить решение для сложных схем котельных.

Диспетчеризация дает возможность отслеживать основные параметры работы котельных с компьютера, установленного в офисе, или с любого компьютера в любой точке мира с доступом к сети Internet. Объем автоматизации включает в себя сбор и передачу основных параметров работы котельной, а также аварийных параметров в соответствии со СП 89.13330.2016 на диспетчерский пульт.

Кроме того, установка современных экономайзеров и теплообменников также способствует повышению эффективности котельной. Эти устройства помогают использовать тепло, выделяемое при сгорании топлива, для нагрева воды или воздуха, что позволяет существенно сэкономить энергию.

Еще одним важным способом увеличения эффективности котельной является установка современных тепловых насосов и систем кондиционирования воздуха. Такие системы позволяют значительно снизить затраты на энергоносители и обеспечить комфортные условия в помещениях.

Заключение. Таким образом, увеличение эффективности котельной представляет собой важную задачу, которая помогает сэкономить энергию, улучшить условия труда и защитить окружающую среду. Регулярное техническое обслуживание, установка современных систем автоматизации управления, экономайзеров и тепловых насосов позволяют значительно повысить эффективность работы котельной.

Список источников

1. Чупин, А.В. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / А.В. Чупин – Кемерово: КемГУ, 2013. – 151 с.
2. Молдабаева, М.Н. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / М.Н. Молдабаева. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 225 с.
3. Хаванов, П.А. Развитие, перспективы и состояние децентрализованных систем теплоснабжения в РФ / П.А. Хаванов // Вестник МГСУ. – 2012. – № 11. – С. 219-226.
4. Назаров, В.И. Децентрализованное теплоснабжение – альтернатива централизованному / В.И. Назаров., Л.А. Тарасевич., А.Л. Буров // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ – Энергетика: международный научно-технический журнал. – 2012. – №3. – С. 81-90.

Кузнецова А.Н., 2025

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Антон Станиславович Лазаренко¹

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹andreirukavishn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8294-881X>

Аннотация. В статье представлена методика и результаты оптимизационных расчетов систем газораспределения. Описаны условия выбора регуляторов давления газа оценки эффективности режимов работы системы газоснабжения с учетом основных требований по обеспечению эффективного, надежного и безопасного функционирования.

Ключевые слова: газораспределение, дисконтированные затраты, регулятор давления, гидратообразование.

Для цитирования: Лазаренко, А.С. Рациональные варианты газораспределительных систем / А.С. Лазаренко // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

RATIONAL OPTIONS FOR GAS DISTRIBUTION SYSTEMS

Anton Stanislavovich Lazarenko

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹andreirukavishn@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8294-881X>

Annotation. The article presents the methodology and results of optimization calculations of gas distribution systems. The conditions for selecting gas pressure regulators for evaluating the effectiveness of the operating modes of the gas supply system, taking into account the basic requirements for ensuring efficient, reliable and safe operation, are described.

Keywords: gas distribution, discounted costs, pressure regulator, hydrate formation.

For citation: Lazarenko, A.S. Rational options for gas distribution systems / A.S. Lazarenko // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. В существующей практике газификации городских и сельских населенных пунктов сетевым природным газом широкое распространение получили двухступенчатые системы газоснабжения. Указанные системы включают в себя следующую цепочку взаимосвязанных технологических элементов: газовые сети высокого (среднего) давления – газорегуляторные пункты (ГРП) – газовые сети низкого давления.

Материалы и методы. Наиболее распространенной схемой газоснабжения в России является двухступенчатая система газоснабжения с установкой пунктов редуцирования на группу потребителей. Использование распределительных газовых сетей с повышенным давлением газа является приоритетными, так как данный фактор позволяет уменьшить диаметр распределительной сети и, как следствие, снизить материало- и капиталовложения. Для обоснования выбора рационального варианта газораспределительных систем были проведены соответствующие технико-экономические исследования. В качестве целевой функции использовались удельные (на одно здание) годовые дисконтированные затраты в систему газоснабжения по комплексу: газовые сети – потребитель.

В общем случае, исходные функционалы исследуемой задачи имеют следующий вид:

– вариант а) двухступенчатая схема с линейными пунктами редуцирования:

$$\Delta Z_a = Z_{2c}^{ед} q, s, n + Z_{пргш} V; n + Z_{2c}^{нд} q, s, V, \Delta P + \Delta T \Pi_z [P_z \Delta P, V_{год}]; \quad (1)$$

– вариант б) одноступенчатая система с индивидуальными пунктами редуцирования:

$$\Delta Z_b = Z_{2c}^{ед} q, s, n + Z_{пргш} V, n + Z_{2c}^{нд} q, s, V, \Delta P; \quad (2)$$

– вариант в) двухступенчатая схема с линейными пунктами редуцирования и регуляторы давления газа:

$$\Delta Z_v = Z_{2c}^{ед} q, s, n + Z_{пргш} V, n + Z_{2c}^{нд} q, s, V, \Delta P + Z_{ед}, \quad (3)$$

где $Z_{2c}^{ед}$, $Z_{2c}^{нд}$ – затраты в сети среднего и низкого давления, включая внутриворонные и домовые газопроводы, руб/(год·кв); $Z_{пргш}$ – затраты в газорегуляторные установки, руб/(год·кв); $Z_{ед}$ – затраты в регуляторы давления газа, руб/(год·кв); ΔT – годовая стоимость дополнительно расходуемого газа, руб/(год·кв); q – плотность населения, чел/м²; s – средняя заселенность квартир, чел/кв; n – оптимальное количество квартир (домов), подключаемых к одному пункту редуцирования, кв; V – расчетное часовое газопотребление квартирой, м³/(ч·кв), принимается в зависимости от характера газоиспользующего оборудования и режимов его эксплуатации; $V_{год}$ – расчетное годовое газопотребление квартирой, м³/(год·кв); ΔP – оптимальный расчетный перепад давления в газопроводах, Па; Π_z – КПД газоиспользующих установок, %, принимается в зависимости от давления используемого газа.

Результаты исследования. Соответствующие расчеты проводились для населенных пунктов с застройкой усадебного (коттеджного) типа, находящихся в различных климатических зонах. Газоиспользующее оборудование представлено газовыми плитами, газовыми отопительными котлами и газовыми отопительными печами, используемыми в режимах периодического натопа.

Полученные результаты сравнительной эффективности систем газораспределения позволяют сделать вывод об экономичности двухступенчатых систем газоснабжения с регуляторами давления газа. Данный вариант системы газоснабжения позволяет снизить годовые дисконтированные затраты на сооружение и эксплуатацию систем газораспределения до 33% в сравнении с вариантом б) и до 24% в сравнении с вариантом а). К тому же, варианты б) и в) обеспечивают работу газопотребляющих устройств на номинальном давлении газа, в то время как вариант а) обуславливает работу газопотребляющих устройств за счет потерь давления в распределительных газопроводах при пониженном давлении газа. Что, в свою очередь, приводит к снижению КПД установок на 2÷3% и увеличивает потребление газа.

Газовый регулятор давления является ключевым элементом в системе газоснабжения жилых зданий, подключённых к сетям среднего давления. Его основная задача заключается в преобразовании давления уличной газораспределительной системы в низкое давление, которое используется в внутридомовых газопроводах.

При определении необходимой мощности регулятора для вашего дома следует учесть следующие аспекты:

- объём газа, потребляемого жильцом (например, в жилом доме);
- уровень входного давления.

Требования к функционированию газового регулятора давления

Для обеспечения нормальной работы регулятора его максимальная нагрузка не должна превышать 80% от его максимальной пропускной способности, в то время как минимальная нагрузка должна составлять не менее 10% от этой же величины.

Объём обслуживания газового регулятора давления – один регулятор способен обслуживать как индивидуальный дом (включая коттеджи и многоэтажные здания), так и группу зданий (чаще всего, одно- и трёхэтажные дома).

Согласно п. 21 «Технического регламента о безопасности сетей газораспределения газопотребления» и п. 4.2 СП 62.133300.2011*, газораспределительная система должна обеспечивать потребителям подачу газа заданных параметров и в необходимом объеме. Применение такой системы газоснабжения подразумевает использование регуляторов давления газа непосредственно перед газоиспользующими приборами, что позволяет эксплуатировать их на номинальном давлении газа, позволяя повысить безопасность и увеличить срок эксплуатации газоиспользующих приборов.

Выбор регулятора давления определяется типом применяемого закона регулирования. На российском рынке доступны различные виды регуляторов давления, среди которых релейные, пропорциональные, пропорционально-дифференциальные, интегральные, пропорционально-интегральные и пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы.

Релейные регуляторы давления наиболее распространены при автоматике котлоагрегатов. Пропорциональные регуляторы давления основаны на изменении проходного сечения дроссельного отверстия пропорционально

разности давлений, в отличие от интегральных регуляторов давления, где изменение проходного сечения дроссельного отверстия пропорционально разности выходным фактическим и расчетным давлением. Интегральные регуляторы давления также известны как астатические. Данный вид регуляторов приводит давление к необходимому значению независимо от расположения регулирующего органа и величины нагрузки и их рекомендуется использовать в газораспределительных сетях, требующих большого самовыравнивания, к примеру, в газовых сетях низкого давления большой ёмкости.

Однако, следует помнить, что дроссель-эффект Джоуля-Томсона приводит к понижению температуры, создавая, тем самым, благоприятные условия для возникновения кристаллогидратов углеводородных газов (рис. 1, 2).

Содержание влаги в природном газе объясняется эксплуатационными факторами. Несмотря на предварительное осушение газа, проведение монтажных и ремонтных работ и последующее их испытание на герметичность приводит к тому, что вода не удаляется полностью из-за наличия карманов и тупиковых полостей трубопроводов. Результатом сезонного увеличения газопотребления может стать захват газовым потоком остаточной влаги, унос её к потребителю, создание благоприятных условий для образования кристаллогидратов и нестабильной работы газогорелочных устройств.

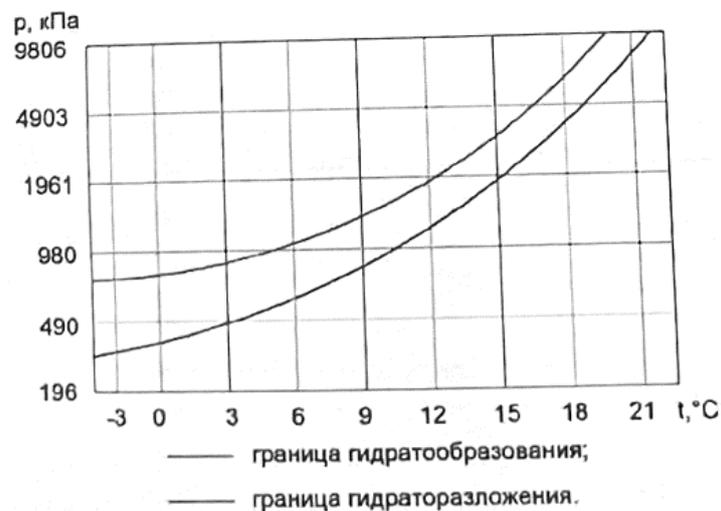


Рисунок 1 – Граница гидратообразования и гидраторазложения природных газов

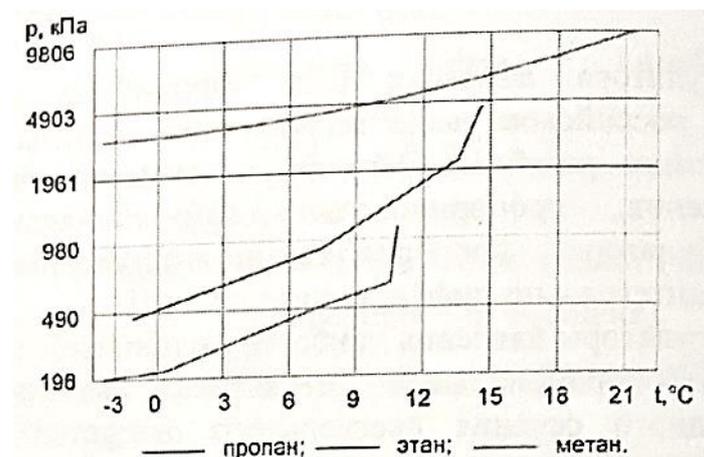


Рисунок 2 – Гидратообразование отдельных составляющих природного газа

Таким образом, для оптимальной работы газогорелочных устройств, предпочтительно их размещение непосредственно перед газоиспользующими приборами. Основным минусом размещения регуляторов давления непосредственно у потребителя, согласно статистическим данным, является повышенный низкочастотный шум и вибрация корпуса. Исключая конструктивные деформации и заводской брак, основная причина в соблюдении условий эксплуатации, при которых расход газа потребителем находится в диапазоне 10-80% от общей пропускной способности регулятора давления газа. Большое влияние на пропускную способность регулятора давления газа оказывает плотность газа:

$$Q_2 = Q_1 \frac{P'_1 \cdot \varphi'_1}{P_1 \cdot \varphi_1 \sqrt{\frac{\rho'_0}{\rho_0}}}, \quad (4)$$

где Q_1 – расход газа при P_1 , м³/ч; P_1 – входное абсолютное давление, МПа, φ'_1 – коэффициент по отношению P_2/P_1 ; Q_2 – расход газа при $P_{бар} = 0,1033$ Мпа, м³/ч; $P'_1, \varphi'_1, \rho'_0$ – экспериментальные данные при использовании других параметров газа.

Для рассмотрения влияния плотности газа на пропускную способность регулятора давления был использован регулятор РДНК-400М (ООО ЭПО «Сигнал»), получивший широкое распространение и на территории России, и в Саратовской области. Данные регулятор имеет следующие технические характеристики:

- температура окружающей среды: -40 ... +60 °С;
- входное давление: 0,05÷0,6 МПа;
- диапазон выходного давления: 2÷5 кПа.

Таблица 1 – Изменение плотности газа ρ_0 , кг/м³ при стандартных условиях по месяцам за 2022 год

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
0,715	0,708	0,721	0,723	0,718	0,730

На основании данных табл. 1 можно сделать вывод, что плотность газа на протяжении полугодового периода изменялась достаточно хаотично. Изменение плотности газа возникает из-за того, что при транспортировке в трубопровод поставляется газ из различных месторождений, периодически проводятся ремонтные работы магистральных газопроводов и т.д. Согласно (4) и данным табл. 2 можно определить, как меняется пропускная способность регулятора давления РДНК-400М на протяжении полугода.

Таблица 2 – Изменение пропускной способности РДНК- 400М (м³/ч)

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
612,4	608,6	621,8	623,0	615,3	633,4

Заключение. Таким образом, снижение плотности смещает границы оптимальной работы регулятора давления газа в меньшую сторону, увеличивая при этом интервал устойчивой работы. Исходя из этого, при подборе регулятора

следует особое внимание обращать на его пропускную способность, а также учитывать условия, при которых он будет эксплуатироваться.

Список источников

1. Медведева, О.Н. Сравнительная оценка энергоэкономической эффективности поселковых систем газоснабжения / О.Н. Медведева, Н.С. Бессонова // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – №3 (47). – С. 21-30.

2. СП 42-101-2003. Свод правил по проектированию. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. М.: Полимергаз, 2003. – 163 с.

3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления». – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 60 с.

4. Промышленное газовое оборудование: справочник. – 6-е изд., перераб. и доп. – Саратов: Газовик, 2013. – 1280 с.

5. Мясников, А.С. Факторы неустойчивой работы системы «Регулятор – объект регулирования» / А.С. Мясников, Т.В. Ефремова // Вестник науки: сб. статей по мат. междунар. науч. прак. конф. – Уфа, 2017. – С. 125-130.

6. Ляуконис, А.Ю. Оптимизация городского газоснабжения / А.Ю. Ляуконис // Л.: Недра, 1989. – 302 с.

7. Рекомендации по проектированию и строительству систем газоснабжения малых и средних городов и населенных пунктов в сельской местности. Саратов: Гипрониигаз, 1985. – 144 с.

© Лазаренко А.С., 2025

Научная статья
УДК 621

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

**Василий Николаевич Левинский¹, Руслан Тофикович Гусейнов²,
Валентина Александровна Афонькина³, Игорь Борисович Царёв⁴**

^{1,2,3,4}Южно – Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия

Аннотация. В работе представлена методика выбора частотного преобразователя для электродвигателя на примере крана-балки. Представленную методику так же можно рекомендовать и для электродвигателей поверхностных насосов. Представлены номинальные характеристики частотного преобразователя.

Ключевые слова: частотный преобразователь, ток, электродвигатель, номинальные характеристики.

Для цитирования: Левинский, В.Н. К вопросу выбора частотного преобразователя / В.Н. Левинский, Р.Т. Гусейнов, В.А. Афонькина, И.Б. Царёв // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ON THE ISSUE OF CHOOSING A FREQUENCY CONVERTER

Vasily Nikolaevich Levinsky¹, Ruslan Tofikovich Huseynov²,
Valentina Alexandrovna Afonkin³, Igor Borisovich Tsarev⁴

^{1,2,3,4}South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

Annotation. The paper presents a method for selecting a frequency converter for an electric motor using the example of a crane beam. The presented method can also be recommended for electric motors of surface pumps. The nominal characteristics of the frequency converter are presented.

Keywords: frequency converter, current, electric motor, rated characteristics.

For citation: Levinsky, V.N. On the issue of choosing a frequency converter / V.N. Levinsky, R.T. Huseynov, V.A. Afonkina, I.B. Tsarev // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Материалы и методы. Произведем расчет для выбора частотного преобразователя согласно методике, рекомендуемой самим производителем [1-3]:

Требуемый ток частотного преобразователя:

$$I_{ПЧ} = I_{ндв} \cdot K_{повыш}, \quad (1)$$

где $I_{ндв}$ – номинальный ток двигателя; $K_{повыш}$ – повышающий коэффициент.

Повышающий коэффициент для расчета привода подъема определяется следующим образом:

$$K_{повыш} = K_{зап} \cdot K_{нагр} \cdot K_{окр}, \quad (2)$$

где $K_{зап}$ – коэффициент запаса для систем с энкодером, принято $K_{зап} = 1,2$ [1, 4, 5]; $K_{нагр}$ – коэффициент высокой нагрузки (для класса использования М1-М5 – 1,0) [1, 6, 7]; $K_{окр}$ – коэффициент при работе в неблагоприятных условиях окружающей среды $K_{окр} = 1$ [1, 8, 9].

$$K_{повыш} = 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 1,2.$$

$$I_{ПЧ} = 13,6 \cdot 1,2 = 16,3 \text{ А.}$$

Результаты исследования. На основании расчета принимаем частотный преобразователь VEDA VFD типа VF-101 (рис.). Его основные параметрические характеристики приведены в табл. 1 [10].



Рисунок – Внешний вид частотного преобразователя VEDA VFD типа VF-101

Таблица 1 – Номинальные характеристики частотного преобразователя [10]

Диапазон напряжения питания	3×380-480 В -15% / +10%
Частота сети	50/60Гц ±5%
Выходное напряжение	0-100% входного напряжения ±2,5%
Выходная частота	0-299Гц ±0,5%
Выходная мощность частотного преобразователя	7,5 кВт
Номинальный выходной ток преобразователя	17 А
Перегрузочная способность	120% в течении 1 минуты, 140% в течении 7 секунд
Ток перегрузки (60 сек), А	20,4
Наличие дросселя	Есть
Тип двигателя	Асинхронный, синхронный и реактивный электродвигатель

Произведем уточняющий расчет на правильность выбора и обеспечение заданной области работы [11, 12].

Для привода подъема кран-балки применяется двигатель 4A132S6, ниже представлены его характеристики в табл. 2 и табл. 3. А для поверхностных водонасосных установок применяется электродвигатель марки АИР100L2.

Таблица 2 – Энергетические показатели электродвигателя 4A132S6

Типоразмер двигателя	P_n , кВт	Энергетические показатели		Параметры схемы замещения				
		Кпд, %	$\cos\varphi$, %	x_k	В номинальном режиме			
4A132S6	5,5	83,5	81	2,87	R_1	x_1	R_2^l	x_2^l
					0,84	1,49	0,56	2,02

Таблица 3 – Пусковые свойства электродвигателя 4A132S6

Типоразмер двигателя	M_n	M_k	$I_{п}$	$I_{ст}$	I_0	$ПВ$	J_d	$n_{ном}$	m
	Н·м	Н·м	А	А	А	%	кг·м ²	об/мин	кг
Синхронная частота вращения $n_0 = 900$ об/мин									
4A132S6	145	155	57	13,6	8,96	40	0,09	960	104

Определим номинальный ток:

$$I_H = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,835 \cdot 0,81} = 12,35 \text{ А.}$$

Синхронная угловая частота вращения ротора:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}, \quad (3)$$

где n_0 – частота вращения ротора, об/мин.

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,66 \text{ (рад/с).}$$

Номинальное скольжение двигателя:

$$S_H = \frac{n_0 - n_{\text{НОМ}}}{n_0}, \quad (4)$$

где $n_{\text{НОМ}}$ – номинальная частота вращения ротора, об/мин.

$$S_H = \frac{1000 - 960}{1000} = 0,04.$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{n_{\text{НОМ}}}{9,55}, \quad (5)$$

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{960}{9,55} = 100,53.$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_H = \frac{P_{\text{ДВ}}}{\omega_{\text{НОМ}}}, \quad (6)$$

$$M_H = \frac{5500}{100,53} = 54,71 \text{ Н·м.}$$

Кратность пускового тока и критического, пусковых моментов:

$$k_{\text{П}} = \frac{I_{\text{ПУСК}}}{I_{\text{НОМ}}} \quad (7)$$

$$k_{\text{П}} = \frac{57}{12,35} = 4,62.$$

$$m_{\text{П}} = \frac{M_{\text{П}}}{M_H} \quad (8)$$

$$m_{\text{П}} = \frac{145}{54,71} = 2,65.$$

$$m_{\text{К}} = \frac{M_{\text{К}}}{M_H} \quad (9)$$

$$m_{\text{К}} = \frac{155}{54,71} = 2,83.$$

Определим критическое скольжение по выражению:

$$S_{\text{К}} = S_H \cdot \frac{m_{\text{К}} + \sqrt{m_{\text{К}}^2 - (1 - 2 \cdot S_H \cdot (m_{\text{К}} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot (m_{\text{К}} - 1)} \quad (10)$$

$$S_{\text{К}} = 0,04 \cdot \frac{2,83 + \sqrt{2,83^2 - (1 - 2 \cdot 0,04 \cdot (2,83 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,04 \cdot (2,83 - 1)} = 0,257.$$

Рассчитаем ток статора при критическом скольжении:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2} \quad (11)$$

где

$$\sin \varphi_2 = \frac{x_{\text{К}}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{К}}})^2 + x_{\text{К}}^2}} \quad (12)$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{2,87}{\sqrt{(0,57 + \frac{0,56}{0,257})^2 + 2,87^2}} = 0,722;$$

I_0 – ток холостого хода двигателя, А; I_2' – приведенный ток роторной цепи, А.

Приведенный ток роторной цепи рассчитывается по формуле:

$$I_2' = \frac{U_{1\text{фн}}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{кр}}})^2 + x_{\text{к}}^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{кр}} \cdot x_{\mu}})^2}}, \quad (13)$$

где $U_{1\text{фн}}$ – фазное напряжение двигателя, В; x_{μ} – сопротивление ветви намагничивания, Ом.

Сопротивление ветви намагничивания:

$$x_{\mu} = \frac{E_m}{I_0}, \quad (14)$$

где E_m – ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, В.

ЭДС ветви намагничивания:

$$E_m = \sqrt{(U_{1\text{фн}} \cdot \cos\varphi_{\text{н}} - I_{\text{н}} \cdot R_1)^2 + (U_{1\text{фн}} \cdot \sqrt{1 - \cos\varphi_{\text{н}}} - I_{\text{н}} \cdot X_1)^2} \quad (15)$$

$$E_m = \sqrt{(220 \cdot 0,81 - 12,35 \cdot 0,57)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,81} - 12,35 \cdot 0,57)^2} = 192,9 \text{ В.}$$

$$x_{\mu} = \frac{192,9}{8,96} = 23,1 \text{ Ом.}$$

$$I_2'(s_{\text{кр}}) = \frac{220}{\sqrt{(0,57 + \frac{0,56}{0,257})^2 + 2,87^2 + (\frac{0,84 \cdot 0,56}{0,257 \cdot 23,1})^2}} = 28,35 \text{ А.}$$

Тогда:

$$I_1(s_{\text{кр}}) = \sqrt{8,96^2 + 28,35^2 + 2 \cdot 8,96 \cdot 28,35 \cdot 0,722} = 29,95 \text{ А.}$$

Максимальный ток в цепи преобразователя может быть учтен с учетом максимального вращающего момента двигателя:

$$I_1(s_{\text{кр}}) \leq I_{\text{итmax}} \cdot 29,95 \text{ А} \leq 34 \text{ А.}$$

Заключение. Из приведенного выше расчета можно сделать вывод о запасе по току перегрузки, что говорит о правильности выбора частотного преобразователя и о применимости данной методики при выборе данных устройств для электродвигателей систем кран-балки, поверхностных насосов, сушильных установок, отопления, вентиляции и кондиционирования и др. [13, 14].

Список источников

1. Руководство по проектированию для кранового применения [Электронный ресурс] // . – <https://drives.ru/produkcija/veda-vfd/veda-vf-302c/> (дата обращения 25.12.2024).
2. Логинов, А.Ю. Описание процесса изменения частоты вращения ротора асинхронного двигателя с помощью динамического звена второго порядка / А.Ю. Логинов, А.Ю. Прудников // Вестник ИрГСХА. – 2017. – № 81-2. – С. 111-116. – EDN ZFOTVF.
3. Боннет, В.В. Определение оптимального уровня технического состояния асинхронного двигателя / В.В. Боннет, А.Ю. Логинов, В.В. Потапов // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 8(71). – С. 163-166. – EDN PИHRGB.

4. Герасимова, М.Н. Оценка технического состояния центробежного насоса по комплексному показателю / М.Н. Герасимова, А.Ю. Логинов // Вестник ИрГСХА. – 2017. – № 81-1. – С. 96-102. – EDN ZFLVEX.

5. Герасимова, М.Н. Анализ неисправностей центробежных насосов теплоисточников ЗАО "БайкалЭнерго" / М.Н. Герасимова, А.Ю. Логинов, В.В. Потапов // Вестник ИрГСХА. – 2017. – № 80. – С. 78-82. – EDN ZFHRNH.

6. Логинов, А.Ю. Влияние эксцентриситета ротора асинхронного двигателя на его динамические показатели / А.Ю. Логинов, В.В. Боннет // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2012. – № 2. – С. 52-56. – EDN WZZWZZ.

7. Гусейнов, Р.Т. Зависимость скорости изнашивания элементов подшипниковых узлов от действующих факторов / Р.Т. Гусейнов, Е.В. Бабыкин // Достижения науки – агропромышленному производству: Материалы ЛП международной научно-технической конференции, Челябинск, 24-26 января 2013 года. Том Часть V. – Челябинск: Челябинская государственная агроинженерная академия, 2013. – С. 155-158. – EDN UJOJOX.

8. Туктаров, М.Ф. Система мониторинга и управления погружным насосом с электромагнитной муфтой / М.Ф. Туктаров, Б.Р. Дихин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4(102). – С. 170-175. – EDN MTCZYN.

9. Разработка системы управления погружного насоса с электромагнитной муфтой / М.Ф. Туктаров, В.Г. Байназаров, С.В. Фефелова, Г.Т. Ханнанова // Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере энергетики агропромышленного комплекса: теория и практика: Материалы национальной научной конференции Института агроинженерии, Челябинск, 10-13 марта 2020 года / Под редакцией С.А. Гриценко. – Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2020. – С. 178-183. – EDN VDFTRK.

10. Руководство по эксплуатации VEDA VFD VF-101 [Электронный ресурс] // https://static.insales-cdn.com/files/1/1005/21292013/original/rukovodstvo_po_ekspluatatsii_VEDA_VFD-VF-101.pdf

11. Туктаров, М. Ф. Повышение эффективности работы поверхностного насоса сельскохозяйственного назначения / М.Ф. Туктаров, Т.А. Каримов // Наука молодых – инновационному развитию АПК: материалы XI Национальной научно-практической конференции молодых ученых, Уфа, 04 декабря 2018 года / Башкирский государственный аграрный университет. Том Часть II. – Уфа: Башкирский государственный аграрный университет, 2018. – С. 53-57. – EDN ASTFIT.

12. Гусейнов, Р.Т. Нормативно-техническая документация по надежности и метод получения информации об отказах погружных электродвигателей / Р.Т. Гусейнов, П.К. Мошанов // Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Воронеж, 26-27 ноября 2015 года / Под общей редакцией Н. И. Бухтоярова, Н. М. Дерканосовой, А. В. Дедова и др. Том Часть III. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2015. – С. 213-217. – EDN UXDKIF.

13. Возможность применения инфракрасной сушки деталей погружных насосов / В.М. Попов, В.А. Буторин, Р.Т. Гусейнов [и др.] // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. – 2024. – № 1(20). – С. 4-13. – EDN ЕТКВРК.

14. Афонькина, В.А. Пропитка и сушка электрооборудования / В.А. Афонькина, Р.Т. Гусейнов, В.Н. Левинский // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко, Саратов, 25 апреля 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2024. – С. 34-40. – EDN BRQHIU.

© Левинский В.Н., Гусейнов Р.Т., Афонькина В.А., Царёв И.Б., 2025

Научная статья

УДК 681.536:631.234

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОГОДОЗАВИСИМЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**Алексей Александрович Летучий¹, Сергей Мударисович Бакиров²,
Виталий Сергеевич Ильин³**

^{1,2,3}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹lletuchiy2000@gmail.com

²s.m.bakirov@mail.ru

³asvi-agro@bk.ru

Аннотация. В статье представлен анализ показателей погодозависимых автоматических систем управления на примере теплоснабжения теплицы. Рассматривается проблема поддержания оптимального микроклимата в теплицах для обеспечения здорового роста и развития растений. Особое внимание уделяется точному регулированию температуры, что является ключевым фактором в сельском хозяйстве. Описаны основные параметры ПИД-регуляторов и их влияние на поддержание температуры. Представлена схема расположения устройств для ПИД-регулирования в теплице. Обосновано использование кусочно-линейной функции для адаптации температуры внутри теплицы в зависимости от внешних климатических условий. Результаты исследования подчеркивают важность точного регулирования температуры для повышения эффективности использования тепловой энергии и улучшения микроклимата в теплицах. Это позволяет не только поддерживать оптимальные условия для роста растений, но и снижать затраты на теплоснабжение, что особенно актуально в условиях переменчивого климата.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, кусочно-линейная функция, погодозависимая автоматическая система управления, баланс энергопотребления.

Для цитирования: Летучий, А.А. Анализ показателей погодозависимых автоматических систем управления / А.А. Летучий, С.М. Бакиров, В.С. Ильин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF WEATHER-DEPENDENT AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS PERFORMANCE

Alexey Aleksandrovich Letuchiy¹, Sergey Mudarisovich Bakirov², Vitaly Sergeevich Ilyin³

^{1,2,3}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

¹iletuchiy2000@gmail.com

²s.m.bakirov@mail.ru

³asvi-agro@bk.ru

Annotation. The article presents an analysis of weather-dependent automatic control systems performance using the example of greenhouse heat supply. The problem of maintaining an optimal microclimate in greenhouses to ensure healthy growth and development of plants is considered. Particular attention is paid to precise temperature control, which is a key factor in agriculture. The main parameters of PID controllers and their influence on temperature maintenance are described. A diagram of the arrangement of devices for PID control in a greenhouse is presented. The use of a piecewise linear function for adapting the temperature inside the greenhouse depending on external climatic conditions is substantiated. The results of the study emphasize the importance of precise temperature control for increasing the efficiency of thermal energy use and improving the microclimate in greenhouses. This allows not only to maintain optimal conditions for plant growth, but also to reduce heat supply costs, which is especially important in a variable climate.

Keywords: PID controller, piecewise linear function, weather-dependent automatic control system, energy balance.

For citation: Letuchy, A.A. Analysis of weather-dependent automatic control system indicators / A.A. Letuchy, S.M. Bakirov, V.S. Ilyin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Погодозависимые системы, как правило, являются сложными инерциальными объектами систем автоматического управления, которые имеют множество входных, задающих параметров. При решении задач управления каким-либо процессом в автоматическом режиме необходимо оценить влияние основных физических величин, а также продолжительность их действия на

систему. Причем оценка качественного и количественного влияния дает лишь необходимую информацию для построения алгоритмов управления. Все-таки последовательность конкретных действий, расчетов, операций определяет уровень автоматизации управления. Поэтому для комплексного анализа показателей погодозависимых систем необходимо принимать конкретный процесс, например, процесс автоматического управления теплоснабжением теплицы.

Теплицы играют ключевую роль в сельском хозяйстве, обеспечивая оптимальные условия для роста и развития растений независимо от внешних климатических условий. Одним из важнейших аспектов поддержания этих условий является точное регулирование температуры. Устройство теплицы и расположение основных коммуникаций инженерных систем представлено на рис. 1.



Рисунок 1 – Устройство теплицы и необходимое оборудование для подогрева почвы

Для эффективного управления отоплением в теплице можно использовать ПИД-регулятор и линейно-кусочную функцию.

ПИД (пропорционально-интегрально-дифференцирующий) регулятор - это алгоритм, который используется для контроля и стабилизации системы на заданном значении. Он состоит из трех компонентов:

- пропорциональная составляющая (P) – реагирует на текущую ошибку между желаемым и текущим значением;
- интегральная составляющая (I) – учитывает накопленную ошибку и помогает устранить статическую ошибку;
- дифференцирующая составляющая (D) – реагирует на скорость изменения ошибки, предотвращая быстрые изменения и колебания.

ПИД-регулятор используется для поддержания постоянной температуры, необходимой для роста растений. Например, если температура опускается ниже заданного значения, регулятор подает сигнал на исполнительный механизм для

увеличения мощности отопления. Если температура превышает заданное значение, мощность уменьшается.

Линейно-кусочная функция представляет собой кусочно-линейный подход к регулированию, где система управления разбивается на несколько сегментов с разными параметрами ПИД-регулятора. Это особенно полезно в условиях, когда требования к температуре могут изменяться в зависимости от температуры на улице или стадии роста растений.

Целью работы является выделение системы регулирования на программном уровне управления и анализ параметров, на которых основана погодозависимая система управления.

Методы и материалы. Для расчета теплотерь теплицы можно использовать различные методики и выражения, которые применяются в теплотехнике и строительстве [1]. Рассмотрим традиционные выражения для определения мощности системы теплоснабжения теплицы ($Q_{от}$):

$$Q_{от} = k_{инф} * S_{орг} * dt * k_T$$

где $Q_{от}$ – мощность системы теплоснабжения, Вт; $k_{инф}$ – коэффициент инфильтрации (в среднем принимается 1.25, но может варьироваться в зависимости от условий); $S_{орг}$ – площадь ограждения теплицы, м²; dt – максимальная амплитуда температур, °С; k_T – коэффициент теплопередачи материала покрытия теплицы.

Обсуждение. Для работы ПИД-регулятора необходимо знать его основные параметры, на которые он опирается при работе. Формула ПИД-регулирования выглядит следующим образом:

$$T_{расчетная} = T_{целевая} + P \times (T_{текущая} - T_{целевая}) + I \times \int (T_{текущая} - T_{целевая}) dt + D \times \frac{d(T_{текущая})}{dt}$$

где $T_{расчетная}$ – расчетная температура теплоносителя, °С; $T_{целевая}$ – целевая температура воздуха, °С; $T_{текущая}$ – текущая температура воздуха, °С; P, I, D – пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющие регулятора.

Для правильной работы ПИД – регулирования необходимо учитывать следующие условия:

1. Текущая температура воздуха – измеряется датчиком температуры воздуха.
2. Целевая температура воздуха – устанавливается на контроллере.
3. Фактическая температура теплоносителя – измеряется датчиком температуры теплоносителя, который рекомендуется устанавливать за узлом смещения контура (рис. 2).

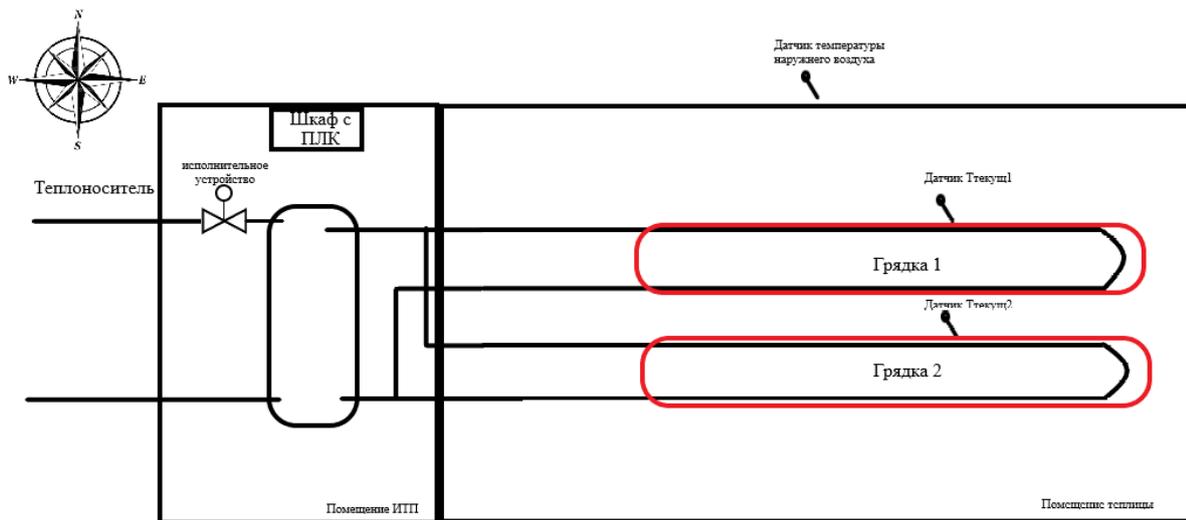


Рисунок 2 – Схема расположения датчиков для ПИД – регулирования в теплицы

ПИД-регулирование позволяет плавно корректировать температуру теплоносителя, учитывая разницу между текущей и целевой температурой воздуха, а также скорость изменения этой разницы. Это обеспечивает точное поддержание комфортной температуры в помещении и эффективное использование тепловой энергии. Так как температуры в теплице зависит от тепловых потерь теплицы, требуется выполнить погодозависимое управление отоплением теплицы. Для этого воспользуемся кусочно – линейной функцией для линейных зависимостей.

Примем измеряемую температуру улицы за X . Нужно определить в каком отрезке графика погодной зависимости он находится. Распишем булеву выборку (рис. 3).

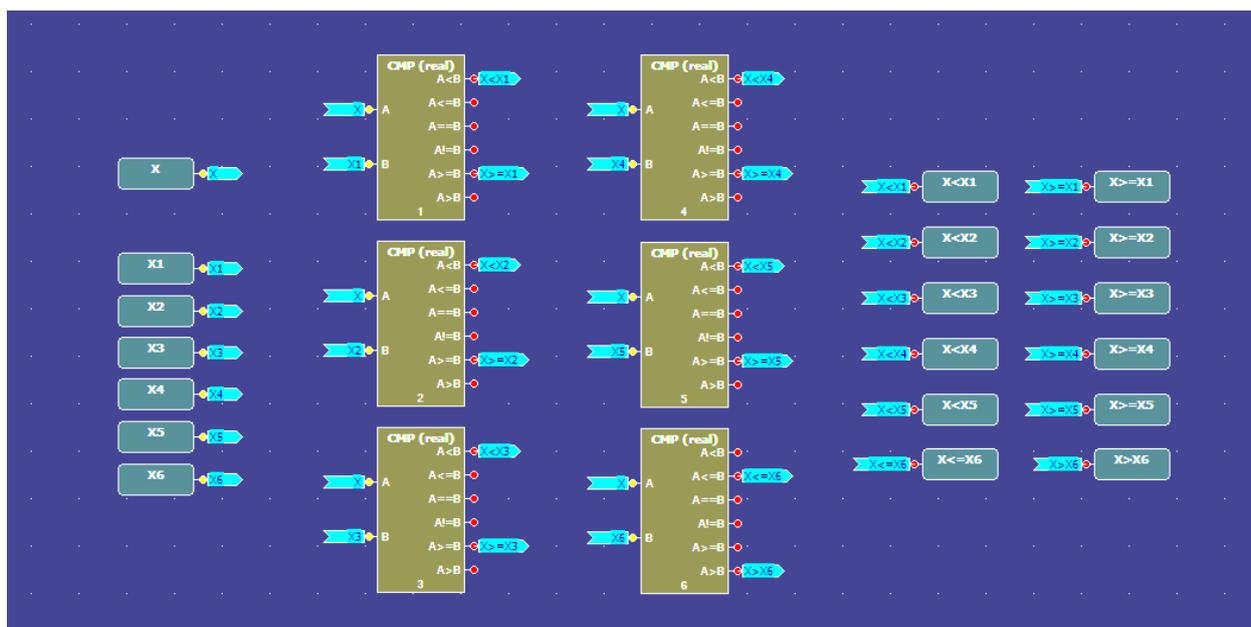


Рисунок 3 – Выбор отрезка где находится измеряемая температура X

X – входное пересчитываемое значение;

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$ – абсциссы начала и конца отрезков графика погодной зависимости ($X_1Y_1; X_2Y_2$), ($X_2Y_2; X_3Y_3$), ..., ($X_{(i-1)}Y_{(i-1)}; X_iY_i$);

Необходимо соблюдать условие $X_1 \leq X_2 \leq X_3 \leq \dots \leq X_i$;

При $X < X_1$ или $X > X_i$ выходное результирующее Y принимает значения Y_1 или Y_i соответственно.

1й отрезок: $X_1 \leq X < X_2$;

2й отрезок: $X_2 \leq X < X_3$;

3й отрезок: $X_3 \leq X < X_4$;

(i-1) й отрезок: $X_{(i-1)} \leq X \leq X_i$.

Определим номер отрезка, в который попала наша переменная X (рис. 4).

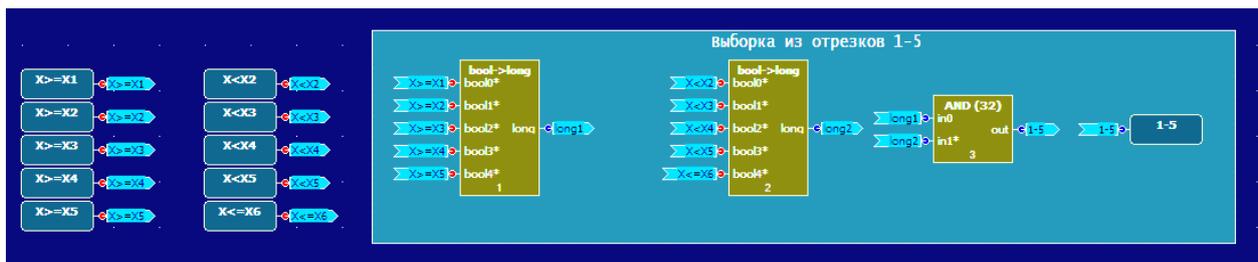


Рисунок 4 – Выборка из отрезков

На выходе получим цифру номера отрезка.

Чтобы сопоставить шкалы температуры воздуха снаружи и температуры внутри помещения создаем блок пересчета шкалы X в шкалу Y (рис. 5).

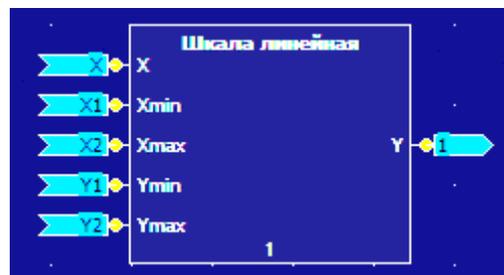


Рисунок 5 - Блок пересчета шкалы X в шкалу Y

X – входное пересчитываемое значение;

X_{min}, X_{max} – абсцисса начала и конца отрезка ($X_{min}, Y_{min}; X_{max}, Y_{max}$);

Y_{min}, Y_{max} – ордината начала и конца отрезка ($X_{min}, Y_{min}; X_{max}, Y_{max}$).

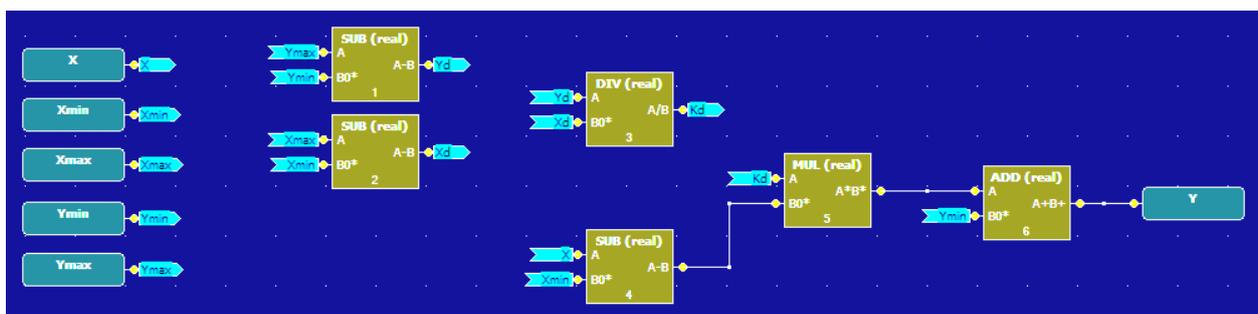


Рисунок 6 – Расчет шкалы Y от шкалы X

Математически формула результирующего выходного значения Y выглядит так:

$$Y = Kd \cdot (x - x_{min}) + Y_{min}$$

Kd – коэффициент пересчета шкалы X в шкалу Y ;

$$Kd = \frac{(Y_{max} - Y_{min})}{(X_{max} - X_{min})}$$

В итоге, мы знаем в каком отрезке находится пересчитываемое значение X и знаем пересчитанное Y для каждого отрезка. Воспользуемся блоком мультиплексора для выбора Y для конкретного отрезка (рис. 7).

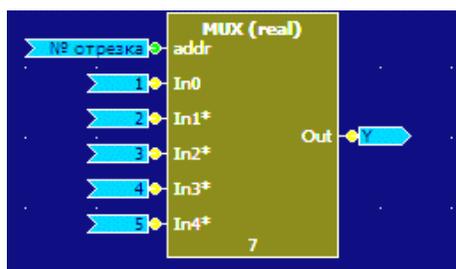


Рисунок 7 – Блок мультиплексора для выбора Y

Получена «плавающая» уставка для ПИД – регулирования. Теперь программа отслеживает температуру на улице и подбирает к ней температуру внутри помещения и поддерживает ее, выдавая сигнал на исполнительное устройство, которое механически регулирует подачу тепла.

Заключение. Проведя анализ факторов, от которых зависит микроклимат в теплице можно сказать, что основным является температура внутри помещения. Поддерживаемая температура теплоносителя, обогревающего помещение теплицы пересчитывается в зависимости от температуры на улице. Задавая концы и начала отрезков графика погодной зависимости, определены границы температурных интервалов. Ключевым параметром выступает коэффициент пересчета шкалы, который позволяет сопоставить шкалы температуры снаружи и внутри теплицы, обеспечивая точное поддержание температуры.

Процесс разделяется на несколько этапов: 1) определение отрезка графика погодной зависимости, в который попадает значение температуры улицы; 2) пересчет значения наружной температуры в значение внутренней температуры с использованием коэффициента пересчета; 3) использование блока мультиплексора для выбора соответствующего значения Y для поддержания нужной температуры внутри теплицы.

Оптимальное регулирование температуры поможет снизить затраты на прогрев помещения, отслеживая климат вокруг теплицы и в зависимости от него регулировать микроклимат внутри теплицы.

Список источников

1. Nise, Norman S. Control Systems Engineering. California State Polytechnic University, Pomona 2017.

2. Денисенко, В.В. ПИД-регуляторы принципы построения и модификации. Таганрог 2006 – С.66 – 74.
3. Бондарева, О.Б. Устройство теплиц и парников: Конструкции устройств обогрева, вентиляции и полива в индивидуальных теплицах. – Москва, 2006.
4. Расчет температурного графика тепловой сети [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://tk-flex.ru/articles/raschet-temperaturnogo-grafika-teplovoy-seti>.
5. ЗАО «Волмаг». Библиотека алгоритмов. Часть 2. [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://www.volmag.ru/index.php?do=download&id=327>.
6. Segnetics LTD. SMLogix 3.34: Программный продукт для логического управления. Санкт-Петербург. 2021.

© Летучий А.А., Бакиров С.М., Ильин В.С., 2025

Научная статья

УДК 004.421.2, УДК 004.896, УДК 62-529.4

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ПРИ СОЗДАНИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПАРОЛЕЙ

Игорь Юрьевич Лошкарев¹, Семен Олегович Ильин²

^{1,2}Московский университет МВД России имени В.Я. Кикотя, г. Москва

¹igyulo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6404-6188>

²semeniljn200405@mail.ru

Аннотация. В статье мы составили классификацию алгоритмов по генерации пароля, рассмотрели собственный способ по генерации ключа и сделали выводы по данной тематике. Пароли, ключевой инструмент открытия дверей к мировым цифровым ресурсам и системам, все чаще оказываются слабым звеном из-за растущей гидрой сетевых угроз. Современные подходы к созданию паролей уже не соответствуют вызовам времени – усиление кибератак диктует необходимость пересмотра стратегий. В этом контексте, роль играют математические алгоритмы, способные генерировать сложнейшие кодовые последовательности и обеспечивать многоуровневую защиту от взломов. Поставленная задача формирования надежного пароля стоит перед каждым пользователем как непреложный вызов. С одной стороны – тревожная статистика утечек данных, вызванных хрупкостью традиционных парольных систем и недостаточной осведомленности пользователей о криптографических стандартах. С другой – необходимость поддержания множества различных кодов для разных онлайн-сервисов, что оборачивается в настоящую когнитивную нагрузку. Физическое хранение паролей не гарантирует абсолютной безопасности: риски потери или кражи остаются актуальными. В свете этих реалий ясно одно – необходимость радикального пересмотра подходов в области создания и защиты парольных систем. Развитие передовых алгоритмов генерации сложных, уникальных кодов и внедрение инновационных методов

криптозащиты становятся неотложной задачей для обеспечения адекватного уровня безопасности личных данных в мире, где угрозы постоянно эволюционируют.

Ключевые слова: кибератаки, киберугрозы, пароли, онлайн-сервисы.

Для цитирования: Лошкарев, И.Ю. Математические алгоритмы при создании пользовательских паролей / И.Ю. Лошкарев, С.О. Ильин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

MATHEMATICAL ALGORITHMS IN CREATING USER PASSWORDS

Igor Yuryevich Loshkarev¹, Semyon Olegovich Ilyin²

^{1,2}Moscow V.Y. Kikoty University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia.

¹igyulo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6404-6188>

²semeniljn200405@mail.ru

Annotation. In this article, we have categorized algorithms for password generation, considered our own method for key generation, and made conclusions on this topic. Passwords, a key tool for opening doors to the world's digital resources and systems, are increasingly becoming a weak link due to the growing hydra of network threats. Current approaches to password creation are no longer up to the challenge of the times - the intensification of cyberattacks necessitates a rethinking of strategies. In this context, mathematical algorithms capable of generating complex code sequences and providing multi-level protection against hacking play a role. The task of generating a strong password is an unavoidable challenge for every user. On the one hand, there are alarming statistics of data leaks caused by the fragility of traditional password systems and insufficient user awareness of cryptographic standards. On the other is the need to maintain many different codes for different online services, which turns into a real cognitive burden. Physical storage of passwords does not guarantee absolute security: the risks of loss or theft are still relevant. In the light of these realities, one thing is clear - the need for a radical revision of approaches to the creation and protection of password systems.

Keywords: cyberattacks, cyberthreats, passwords, online services.

For citation: Loshkarev, I.Y. Mathematical algorithms for creating user passwords / I.Y. Loshkarev, S.O. Ilyin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Персональные данные – «золото» для мошенников в век информатизации. Защита персональных данных неотъемлемая задача

информационной безопасности. Существует множество различных методов защиты информации, однако основополагающим является пароль, ключ доступа к различным информационным системам, сервисам и ресурсам. Традиционные методы создания паролей становятся менее эффективными в связи с ростом киберугроз и совершенствованием алгоритмов взлома пользователей. Для решения данной задачи используются различные математические алгоритмы, которые предотвращают несанкционированный доступ правонарушителей, или, по крайней мере, делают взлом пользователя крайне трудной задачей [1-7].

Материалы и методы. Анализ существующих методов создания пароля и их классификация. Разработка математической модели создания пароля и проверка криптостойкости создаваемых паролей. Для достижения этой цели необходимо рассмотреть методы генерации паролей, алгоритмы хэширования и их роль в повышении безопасности.

Результаты исследования. Создание пароля – дилемма каждого человека в современном мире. Взглянув на проблему глубже, можно заметить некоторые пробелы. С одной стороны - тенденция к увеличению краж ключей безопасности злоумышленниками, в следствие плохой криптостойкости и подготовленности рядового пользователя. С другой, человеку, в целях безопасности, необходимо иметь и помнить около 20-ти паролей под различные нужды. Такое количество информации трудно носить у себя в голове, когда вокруг огромный поток информации. Хранение на материальных носителях не обеспечивает полной безопасности, в любой момент можно его выкрасть и извлечь всю необходимую информацию.

Криптография – наука о шифровании данных, обеспечении их целостности, конфиденциальности и аутентификации. взяв за основу исходный текст, она преобразует их в шифр, используя различные методы и алгоритмы. В ситуации, когда злоумышленник завладел базой данных или списком паролей, он не должен их расшифровать и использовать для дальнейшей выгоды. В данном случае, гарантом защиты будет выступать данная наука, играющая ключевую роль в безопасности данных и предотвращении несанкционированного доступа. Рассмотрим ее ключевые методы.

Симметричное шифрование – один из базовых методов криптографии, использовавшийся еще во времена древней Греции. Его основа – открытый криптографический ключ, использующийся как для шифрования, так и для дешифрования сообщения. Он обговаривается и выбирается заранее всеми сторонами, участвующими в обмене информацией. Использование данного метода, предполагало, что его носители будут хранить ключ под строгим запретом и обеспечивать охрану канала связи от «третьих лиц».

Ярким пример послужит «криптосистема Цезаря», где ключ – смещение алфавита на определенное количество символов. В настоящее время используются два современных алгоритма шифрования: отечественный стандарт ГОСТ 28147-89 и новый криптостандарт США – AES.

Асимметричное шифрование – метод, в котором используются открытый и закрытый ключ шифрования. Ключи представляют собой большие математические числа, связанные некоторой функцией. Открытый ключ –

шифрует сообщение и передается по незащищенным каналам связи, а закрытый ключ необходим для расшифровки данных.

Алгоритм работы данного метода выглядит следующим образом:

1) Пользователь 1 формирует пару ключей: открытый и закрытый, а затем передает его Пользователю 2.

2) Пользователь, получивший открытый ключ, шифрует с его помощью сообщение и отправляет его получателю.

3) С помощью закрытого ключа Пользователь 1 дешифрует сообщение.

4) Данный алгоритм схож с симплексной связью, когда поток информации поступает в одном направлении.

Примерами данного метода служат алгоритмы: RSA, DSA, ECDSA, схема Эль-Гамала.

Стоит отметить, что длина ключа в данном методе увеличивается пропорционально росту технологий, ведь в 2000-х годах хватило бы и ключа длиной в 400 бит для невыполнимости взлома этого алгоритма, а на сегодняшний день используют более 1024 бита на ключ.

Гибридная криптосистема – объединение симметричного и асимметричного способа шифрования. Алгоритм данного шифра выглядит следующим образом:

1) Генерируется случайный ключ, называемый сеансовым;

2) Полученный ключ шифруется публичным ключом получателя;

3) Следующий этап – шифрование сообщения симметричным методом;

4) Объединения сеансового ключа и сообщения;

5) Отправка сообщения и его принятие;

6) Получатель, используя свой секретный ключ, дешифрует сеансовый ключ, а затем и все сообщение;

Следует отметить, что для каждого получателя используется индивидуальный открытый ключ каждого пользователя в системе обмена сообщений. Один и тот же ключ не может использоваться дважды, для каждого сообщения генерируется новый сеансовый ключ.

Хеш-функция – математический алгоритм, преобразующий набор символов из заданного алфавита в строку фиксированного размера. особенностью этой функции – необратимость и фиксированность длины. Алгоритм может быть устойчив при выполнении следующих условий:

– стойкость к коллизиям, а именно невозможность формирования двух одинаковых строк из различных сообщений;

– стойкость к восстановлению хешируемых данных;

Устойчивость данной системы – вопрос лишь времени и вычислительных мощностей. Хеш не имеет скрытых алгоритмов и любой из пользователей может попробовать восстановить исходное сообщение.

Основной областью применения хеш-функции является хранение паролей, которые хранятся в базах данных в виде зашифрованных строк. Такая система защищает крупные системы от взлома злоумышленников, которые могут получить информацию из баз данных, но не пароль в изначальном виде.

Электронная цифровая подпись (ЭЦП) используется для аутентификации текстов, передаваемых по телекоммуникационным каналам. При таком обмене электронными документами существенно снижаются затраты на обработку и хранение документов, ускоряется их поиск. Но возникает проблема аутентификации автора электронного документа и самого документа, то есть установления подлинности автора и отсутствия изменений в полученном электронном документе.

Целью аутентификации электронных документов является их защита от возможных видов злоумышленных действий, к которым относятся:

- активный перехват – нарушитель, подключившийся к сети, перехватывает документы (файлы) и изменяет их;
- маскарад – абонент С посылает документ абоненту В от имени абонента А;
- ренегатство – абонент А заявляет, что не посылал сообщения абоненту В, хотя на самом деле послал;
- подмена – абонент В изменяет или формирует новый документ и заявляет, что получил его от абонента А;
- повтор – абонент С повторяет ранее переданный документ, который абонент А посылал абоненту В.

Эти виды злоумышленных действий могут нанести существенный ущерб банковским и коммерческим структурам, государственным предприятиям и организациям, частным лицам, применяющим в своей деятельности компьютерные информационные технологии.

Проблему проверки целостности сообщения и подлинности автора сообщения позволяет эффективно решить методология электронной цифровой подписи.

Основные процедуры цифровой подписи

Функционально цифровая подпись аналогична обычной рукописной подписи и обладает ее основными достоинствами:

- удостоверяет, что подписанный текст исходит от лица, поставившего подпись;
- не дает самому этому лицу возможности отказаться от обязательств, связанных с подписанным текстом;
- гарантирует целостность подписанного текста.

Электронная цифровая подпись представляет собой относительно небольшое количество дополнительной цифровой информации, передаваемой вместе с подписываемым текстом.

ЭЦП основана на обратимости асимметричных шифров, а также на взаимосвязанности содержимого сообщения, самой подписи и пары ключей. Изменение хотя бы одного из этих элементов делает невозможным подтверждение подлинности цифровой подписи. ЭЦП реализуется при помощи асимметричных алгоритмов шифрования и хэш-функций.

Технология применения системы ЭЦП предполагает наличие сети абонентов, посылающих друг другу подписанные электронные документы. Для каждого абонента генерируется пара ключей: секретный и открытый. Секретный

ключ хранится абонентом в тайне и используется им для формирования ЭЦП. Открытый ключ известен всем другим пользователям и предназначен для проверки ЭЦП получателем подписанного электронного документа.

Система ЭЦП включает две основные процедуры:

- процедуру формирования цифровой подписи;
- процедуру проверки цифровой подписи.

В процедуре формирования подписи используется секретный ключ отправителя сообщения, в процедуре проверки – открытый ключ отправителя.

В настоящее время не существует классификации алгоритмов генерации паролей, установленной нормативно-правовым актом. Это является одной из проблем в данной тематике. Однако, обратившись к различным источникам информации, опросив активных пользователей различных социальных сетей, мессенджеров, информационных систем, можно выделить следующую классификацию алгоритмов:

1) *Алгоритмы ручной генерации паролей* – в данном разделе пользователь сам придумывает пароль, основываясь на личных убеждениях. Следует отметить, что такая генерация не является криптоустойчивой из-за высокой тенденции использования личных данных и простых последовательностей символов.

В данном разделе можно выделить следующие направления алгоритмов:

– Шифровальный способ, который реализуется несколькими способами. Основной – создание кодовой фразы, легкозапоминающейся для пользователя, но не являющейся очевидной. Например, "GoodMorningMyteacher". Эта фраза знакома многим ученикам английского языка и не принадлежит конкретному пользователю, что является идеальным вариантом для генерации пароля. Далее пользователь разрабатывает собственную систему шифрования, основанную на замене символов, смещении алфавита или использовании обоих способов. Допустим, буква "О" будет представлена "2", а буква "М" специальным символом "!". Получим следующий пароль: "G22d!2rning!Myteacher". Для большей надежности добавим правило, в виде смещения алфавита на следующий символ на клавиатуре. Конечным результатом будет последовательность символов – "H33f@3tm2mh@<uYrsvrt". Локальный способ отличается немногим от основного, отличительная особенность заключается в генерации кодовой фразы на родном языке и переводе на международный язык, английский. Остальные шаги повторяются снова.

– Ассоциативный алгоритм генерации пароля: Данный способ генерации является очень простым и состоит всего из двух шагов:

- 1 – Создать "корневое" слово;
- 2 – Придумать ассоциацию для каждой буквы заданного слова.

Приведем пример для понимания этого способа:

Возьмем базовое слово – "Football" и образуем от него следующие ассоциации:

- "F" - "Face";
- "o" - "Oath";
- "o" - "Oasis";

- "t" - "Table";
- "b" - "Bubble";
- "a" - "Apricot";
- "l" - "light";
- "1" - "light".

Получим следующий пароль: "FaceOathOasisTableBubbleApricotlightlight". Такой пароль выигрывает за счет своей длины в рамках защиты от взлома, но, стоит отметить, вводить такую череду символов крайне неудобно. Пример был приведен с использованием английского алфавита, однако если система позволяет использовать национальный алфавит, то можно перевести часть слов.

– Генерация пароля на основе собственных убеждения – алгоритм, действующий в подсознании каждого человека. Наиболее частый способ задания пароля. Он основан на сложных нейронных связях человеческого мозга и не имеет четкого алгоритма, однако такой способ является самым слабозащищенным. Мошенникам не составляет труда подобрать его, так как он имеет следующий вид:

Допустим, пользователя зовут Иванов Роман Иванович, рожден 20.05.2004 года, тогда пароли, придуманные им, могут иметь следующий вид:

- "roma2004";
- "Ivanov2004";
- "Romanivanov2004";
- "roma20052004";
- "ivanovivanovich20";
- "ivanovich052004";

Продолжать данную цепочку можно бесконечно и даже регистр тут не сыграет какой-либо роли.

В настоящее время большинство людей используют именно такой способ генерации, вследствие чего часто оказываются взломанными. Это является проблемой, от которой необходимо уходить.

2) Программные, или технические, алгоритмы генерации паролей:

Данный раздел посвящен генерации паролей с помощью средств вычислительной техники, где пользователь не будет играть роли, а все будет зависеть только от технической реализации программного кода. Рассмотрим основные алгоритмы:

– Алгоритм случайной генерации:

Проанализировав всемирную паутину, можно сделать вывод о том, что данный алгоритм основан на случайных и псевдослучайных числах. Каждое число почти независимо друг от друга и подчиняются дискретному равномерному распределению или любому заданному. Каждое число из сгенерированного массива соответствует символу из заданного алфавита.

Данный метод является практически самым безопасным, поскольку не подвержен "силовым" атакам.

– Генерация пароля с использованием хеш-функции:

Хеш-функция была рассмотрена выше в данной работе. Примерами данного способа являются алгоритмы НОТР, ОТР, ТОТР, ОСРА. Рассмотрим более простой способ генерации пароля:

1 – Выберем исходный пароль в виде кодовой фразы, например, "Моего кота зовут Барсик";

2 – Применим один из алгоритмов хеширования для преобразования исходного сообщения в строку фиксированной длины;

3 – Теперь для удобства использования возьмем не всю строку, а лишь первые 20 символов;

Алгоритм простой и может совершенствоваться в любом направлении.

– Генерация пароля на основе программ компаний и сервисов:

Самый нелогичный пункт данной классификации, однако стоит отметить, что в современном мире информационные системы сами предоставляют пароль её пользователю. Они могут основываться как на сочетании нескольких алгоритмов известных всем, так и на разработке собственной системы генерации пароля. А может вести учет порядковых номеров и использовать их в качестве пароля.

Одна из основ политики безопасности информационной системы - проверка пароля. Она предотвращает использование слабых, предсказуемых или легких ко взлому паролей. С развитием технологий методов проверки паролей становится все больше. Они побуждают пользователя к созданию более надежных паролей, устойчивых ко взлому.

Рассмотрим базовые методы проверки, присущие любой системе:

1) Проверка минимальной длины пароля:

Большинство систем требует, чтобы пароль был не менее определённого количества символов, например, 8 или 10 символов. Такое требование снижает вероятность того, что пароль не будет скомпрометирован методом перебора возможных комбинаций.

2) Проверка на наличие различных типов символов:

Данный метод требует в создании пароля использование различных символов:

- строчных букв;
- заглавных букв;
- цифры;
- специальные символы.

Использование различных символов увеличивает сложность пароля, а также количество комбинаций, что делает более пароль более стойким к "силовому" взлому.

3) Проверка на использование личной информации:

Метод проверяет наличие личной информации пользователя в цепочке символов и не допускает к использованию, что защищает от злоумышленников, узнавших данные о конкретном пользователе из открытых источников или другим способом, пытающихся подобрать верную комбинацию.

4) Проверка на использование слабых паролей:

Проверка ключа безопасности на использование слишком простых или предсказуемых символов, например, "password", "qwerty", "1234567890" и другие последовательности. Данный метод увеличивает уникальность каждого пароля.

5) Проверка на уникальность каждого пароля:

Данный метод необходим для самой системы, в том случае, если пользователя взломали, то злоумышленник не сможет проникнуть в другие информационные среды в корыстных целях

6) Многофакторная аутентификация:

Многофакторная аутентификация предполагает подтверждения пользователя не только по паролю, но и по другим параметрам. Например, смс-код, биометрия или мобильное приложения, также может использоваться QR-код. Этот метод компенсирует проблемы с паролем и делает систему более устойчивой ко взлому.

Название данного алгоритма может выглядеть следующим образом: "Создание случайного пароля с хеш-функцией и применением ассоциативного способа генерации пароля".

Данный метод предполагает устойчивость к взлому технического оборудования и информационной системы и простоту использования для пользователя.

Биологические исследования показывают, что человек может запомнить около 9 случайных символов, что является проблемой при генерации пароля. Для решения данной проблемы будем использовать ассоциативный метод для уже сгенерированного пароля. Например, ключ доступа «Semen2004» будет представлен пользователю как предложение с набором слов: «Сломалась ель, маленькая ель нормальная. Десятки ног носились чертята».

Получилось:

- "Сломалась" - "S";
- "ель" - "e";
- "маленькая" - "m";
- "ель" - "e";
- "нормальная" - "n";
- "Десятки" - "2";
- "ног" - "0";
- "носились" - "0";
- "чертята" - "4".

Такие предложения будут храниться на материальном носителе, например, на бумаге рядом с рабочим местом. Даже догадываясь о таком методе шифрования пароля, третье лицо не может угадать символ, зашифрованный в этом слове. Например, слово: «закон» может подразумевать следующие символы: z, P, *, €. В данном примере большое разнообразие достигается за счет специальных символов, а именно знаков пунктуации.

Генерация будет производиться на языке носителя, однако сам пароль должен состоять из символов международного стандарта, латинских букв, арабских цифр и специальных символов. В реализации будут использоваться

несколько таблиц, например, ASCII. Такой способ дает преимущество в международных организациях и при попытках транснационального мошенничества, когда злоумышленник, украв материальный носитель должен изучать транскрипцию каждой буквы.

Остановимся на длине пароля в 14 символов, хотя длина может варьироваться, допустим от 8 до 14. Длина будет выбираться случайным образом. Для этого будет реализован отдельный алгоритм.

Генерация самого ключа будет производиться на основе случайной функции и псевдослучайных чисел. Полученный ряд символов будет преобразовываться в цепочку символов из таблиц кодировки, например, КОИ-8, ASCII и другие.

При вводе данного пароля, пользователь использует зрительную память, не задействуя остальные виды памяти. Решением этой проблемы, может служить небольшое дополнение в виде: попыток повтора пароля сразу после генерации, например: повторите 10 раз выданные символы, что подключает мышечную память или аудио-сопровождение для слуховой памяти.

Приведем пример одного из способов реализации данного алгоритма:

- 1) Пользователь запускает программу;
- 2) Выбирается язык работы программы;
- 3) Случайным образом выбирается длина пароля
- 4) Генерируется набор случайных символов, который выводится на экран или, например, отправляется в печать
- 5) Открывается поле ввода, где пользователь несколько раз прописывает выданный пароль.

Рассмотрев сторону пользователя в этом вопросе, затронем тему аппаратной защиты, где предполагается реализация простой ЭЦП, которая будет служить дополнительной проверкой при вводе ключа безопасности.

Алгоритм работы такой функции очень прост: сгенерированный пароль с помощью хеш-функции превращается в набор цифр. Данный набор цифр записывается на жестком диске компьютера, желательно в скрытой корневой папке и на флеш-носителе, или любом другом, пользователя. Введя пароль и сравнив его, система следующим шагом сверяет эти два числа и, в случае совпадения, допускает пользователя к системе.

Хоть данный алгоритм, лишь небольшая функция, он предотвращает большое количество проблем и кибератак. Злоумышленник как может не знать о существовании дополнительного ключа безопасности, в виде флеш-носителя, так и не знает число, хранящееся в специальном файле.

Рассматривая дальнейшие перспективы данного метода, можно заметить его модульность, что является несомненным плюсом в данном вопросе. Меняться может как часть, предназначенная для работы с пользователем, так и часть аппаратной защиты компьютера. Например, вместо ассоциативного метода использовать биологические идентификаторы человека, отпечаток пальца, сетчатка глаза, газоанализ тела.

Программная защита может совершенствоваться бесконечно, от улучшения ЭЦП до использования двухфакторной аутентификации.

Приведем пример реализации конкретных функций данного метода на языке программирования C++:

1) Код случайной функции выборки длины пароля:

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <ctime>
using namespace std;
int main() {
    srand(static_cast<unsigned int>(std::time(nullptr)));
    int passwordLength = 8 + rand() % 7; // 8 + [0, 6] = [8, 14]
    cout << "Случайная длина пароля: " << passwordLength << std::endl;
    return 0;
}
```

2) Код генерации случайных символов пароля в случае, если длина пароля равняется 12-ти символам:

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <ctime>
using namespace std;
int main() {
    const int SIZE = 12;
    int numbers[SIZE];
    char password[SIZE + 1];
    srand(static_cast<unsigned int>(time(0)));
    for (int i = 0; i < SIZE; ++i) {
        numbers[i] = rand() % 94 + 33;
        password[i] = static_cast<char>(numbers[i]);
    }
    password[SIZE] = '\0';
    cout << "Сгенерированный пароль: " << password << endl;
    return 0;
}
```

3) Код преобразования в ассоциативное предложение:

```
#include <iostream>
#include <string>
#include <vector>
#include <cstdlib>
#include <ctime>
using namespace std;
string generateWord(char startingChar) {
    string word(1, startingChar);
    for (int i = 0; i < 3; ++i) {
        char randomChar = 'a' + rand() % 26;
        word += randomChar;
    }
}
```

```

    return word;
}
int main() {
    const int SIZE = 12;
    char characters[SIZE] = { 'a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f', 'g', 'h', 'i', 'j', 'k', 'l' };
    vector<string> sentence;
    srand(static_cast<unsigned int>(time(0)));
    for (int i = 0; i < SIZE; ++i) {
        string word = generateWord(characters[i]);
        sentence.push_back(word);
    }
    string result;
    for (const auto& word : sentence) {
        result += word + " ";
    }
    if (!result.empty()) {
        result.pop_back();
    }
    cout << "Сгенерированное предложение: " << result << endl;
    return 0;
}

```

Заключение. По данной тематике существует множество различных проблем, которые необходимо решать с развитием информационных технологий. Начиная от создания полной и всеобъемлющей характеристики различных алгоритмов генерации пароля, до проблем кибербезопасности по данной тематике. Можно выделить следующие ключевые направления в данной тематике:

- 1) Улучшение алгоритмов генерации паролей;
- 2) Развитие менеджеров паролей и программ по созданию паролей;
- 3) Улучшение хранилищ ключей безопасности и их хеширование;
- 4) Переход к беспарольной аутентификации или многофакторной аутентификации;
- 5) Предотвращение новых угроз и их предупреждение.

В эпоху цифровых технологий личная информация превратилась для злоумышленников в эксклюзивный актив, что ставит вопрос о защите таких данных как центральную проблему кибербезопасности. Пароли, ключевой инструмент открытия дверей к мировым цифровым ресурсам и системам, все чаще оказываются слабым звеном из-за растущей гидрой сетевых угроз.

Современные подходы к созданию паролей уже не соответствуют вызовам времени – усиление кибератак диктует необходимость пересмотра стратегий. В этом контексте, роль играют математические алгоритмы, способные генерировать сложнейшие кодовые последовательности и обеспечивать многоуровневую защиту от взломов.

Задача формирования надежного пароля стоит перед каждым пользователем как непреложный вызов. С одной стороны – тревожная

статистика утечек данных, вызванных хрупкостью традиционных парольных систем и недостаточной осведомленности пользователей о криптографических стандартах. С другой – необходимость поддержания множества различных кодов для разных онлайн-сервисов, что оборачивается в настоящую когнитивную нагрузку.

Физическое хранение паролей не гарантирует абсолютной безопасности: риски потери или кражи остаются актуальными.

В свете этих реалий ясно одно – необходимость радикального пересмотра подходов в области создания и защиты парольных систем. Развитие передовых алгоритмов генерации сложных, уникальных кодов и внедрение инновационных методов криптозащиты становятся неотложной задачей для обеспечения адекватного уровня безопасности личных данных в мире, где угрозы постоянно эволюционируют.

Список источников

1. Уголовный кодекс РФ: Федеральный закон от 13.06.1996 № 63-ФЗ. // Доступ из справочной правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Об информации, информационных технологиях и о защите информации: федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ. // Доступ из справочной правовой системы «КонсультантПлюс».

3. О персональных данных: Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ. // Доступ из справочной правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Абрамов, Е.С. Применение комбинированного нейросетевого метода для обнаружения низкоинтенсивных DDoS-атак на web-сервисы / Е.С. Абрамов, Я.В. Тарасов // Инженерный вестник Дона: электронный журнал. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30753050>. – Дата публикации: 2017.

5. Эксперимент в Яндексе. Как идентифицировать взломщика с помощью машинного обучения // Хабр: сайт. – URL: <https://habr.com/ru/companies/yandex/articles/230583/>.

6. Что такое SIEM? // Microsoft: сайт. – URL: <https://www.microsoft.com/ru-ru/security/business/security-101/what-is-siem#SIEM-capabilities-and-use-cases>.

7. Что известно о «банде Лазаря»: взлом Sony Pictures, военный шпионаж, атаки на корейские банки и другие преступления // Kaspersky: сайт. – URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/operation-blockbuster/10995/?ysclid=lp36ahots719259998>.

8. Булгаков, В.Г. Информационная система реализации алгоритмов Шелла. / В.Г. Булгаков, И.Ю. Лошкарев, Э.Р. Зарипова, Д.А. Горелов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024663911, 13.06.2024. Заявка от 03.06.2024.

9. Лошкарев, И.Ю. Аспекты использования нейросетей для органов внутренних дел // И.Ю. Лошкарев, В.В. Лопухов. Охрана, безопасность, связь. 2024. № 9-2. С. 41-46.

© Лошкарев И.Ю., Ильин С.О., 2025

СОСТАВЛЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ НЕЙРОСЕТЕЙ

Игорь Юрьевич Лошкарев¹, Владимир Геннадьевич Булгаков²

^{1,2}Московский университет МВД России имени В.Я. Кикотя, г. Москва

¹igyulo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6404-6188>

²vg.bulgakov@mail.ru

Аннотация. В статье мы составили классификацию нейросетей по различным параметрам. Существуют разные алгоритмы обучения нейронных сетей. Однако все они подчиняются двум основным принципам: с учителем и без него. Если проводить аналогию с обучением человека, то он также способен приобретать опыт или с наставником, который будет направлять и указывать верный ответ, или без него, ориентируясь лишь на собственные наблюдения. Разница между этими двумя подходами заключается в том, что для одних «уроков» учитель необходим, а для других достаточно самостоятельного усвоения материала.

Ключевые слова: нейросети, искусственный интеллект, типы нейросетей.

Для цитирования: Лошкарев, И.Ю. Составление классификации нейросетей / И.Ю. Лошкарев, В.Г. Булгаков // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

CATEGORIZING NEURAL NETWORKS

Igor Yuryevich Loshkarev¹, Vladimir Gennadyevich Bulgakov²

^{1,2}Moscow V.Y. Kikoty University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia.

¹igyulo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6404-6188>

²vg.bulgakov@mail.ru

Annotation. In this paper, we have made a classification of neural networks on the basis of various parameters. There are different algorithms for training neural networks. However, all of them obey two basic principles: with and without a teacher. If we draw an analogy with human learning, a human is also capable of gaining experience either with a mentor who will guide and point out the right answer, or without one, guided only by his own observations. The difference between these two approaches is that for some “lessons” a teacher is necessary, while for others, self-learning is sufficient.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, types of neural networks.

For citation: Loshkarev, I.Y. Categorizing neural networks / I.Y. Loshkarev, V.G. Bulgakov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Один из главных признаков нейросетей – способность к обучению. Перед началом обучения все веса нейронной сети определяются случайными значениями. Обучающие данные передаются на входной слой, проходят через следующие слои и достигают выходного. В процессе обучения данные постоянно подвергаются корректировке, и циклы повторяются до тех пор, пока данные обучения не станут показывать одинаковые результаты [1-6].

Материалы и методы. По сути, любая модель машинного обучения использует метод градиентного спуска. Он применяется и для обучения нейросетей и называется методом обратного распространения ошибки.

Результаты исследования. Существуют следующие методы обучения:

- С учителем. Пользователь дает сигнал на вход, получает на выходе ответ нейросети, затем сравнивает его с уже известным правильным. После этого с помощью специальных алгоритмов меняются веса связей и снова задается входной сигнал. Процесс продолжается до тех пор, пока нейросеть не начнет отвечать точно. Такое обучение называют также контролируемым.

- Без учителя. Метод применяют, если нет правильных ответов на входные сигналы. Сеть в этом случае, используя собственную память, делит объекты на классы, то есть начинает кластеризацию. Эталонные ответы при этом не показаны. Данный тип обучения называют глубоким: система все время обучается сама.

- С подкреплением. Такие нейросети обучаются самостоятельно, но при этом взаимодействуют с окружающей средой, которая специально моделируется и становится обучающей. Чаще всего такой подход применяют в робототехнике и разработке игр.

В зависимости от типа входной информации выделяют аналоговые, двоичные и образные нейросети.

На рис. 1 представлена схема процесса обучения нейросети.



Рисунок 1 – Процесс обучения нейросети

Рассмотрим типы нейросетей. В зависимости от числа слоев, в которых расположены нейроны, нейросети могут быть:

- Перцептрон – самая старая форма. Один нейрон принимает информацию, применяет активацию, в результате становится доступным вывод в двоичной системе. Перцептрон можно использовать только для классификации данных на две группы. Из-за ограниченных возможностей такие нейронные сети в наше время практически не используются.

- Однослойные. Сигнал поступает во входной слой и сразу же отправляется к выходному, где происходят вычисления. Связь между нейронами входного и выходного слоев обеспечивают синапсы.

- Многослойные. Помимо входного и выходного слоев, в таких нейронных сетях есть еще несколько скрытых промежуточных. Обработка информации и вычисления производятся на нескольких этапах, поэтому решения, предлагаемые такими сетями, более точные.

- Сверточные. В структуру таких нейросетей входят два дополнительных слоя - сверточные и объединяющие. Сверточные нейронные сети используются для обработки изображений, картинок и фото.

- Генеративные. В эту группу входят нейросети, способные что-то создавать. Это, к примеру, генераторы картинок или текстов.

На рис. 2 представлена одна из классификаций нейросетей.

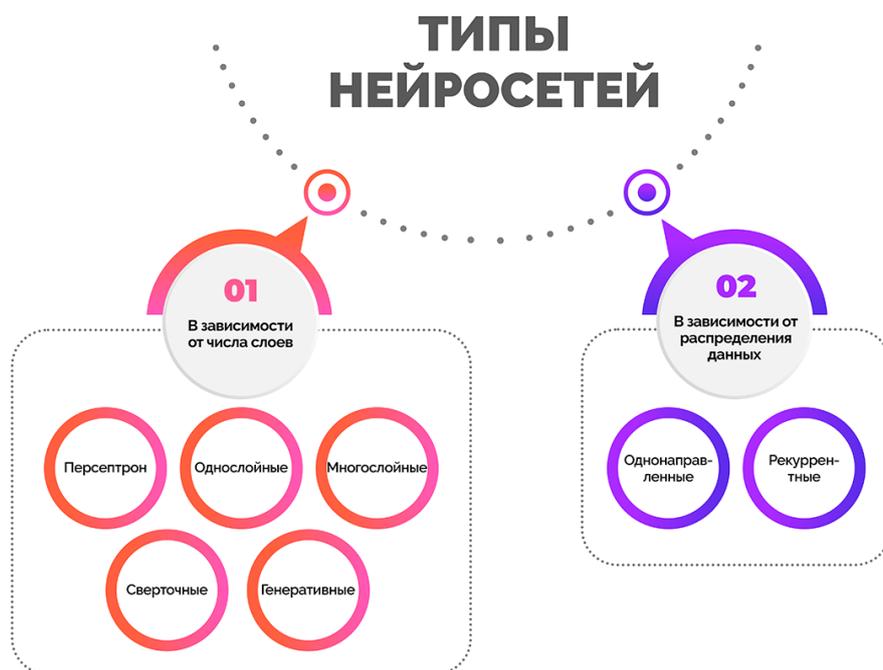


Рисунок 2 – Классификация нейросетей

Еще одна классификация делит нейросети на однонаправленные и рекуррентные в зависимости от распределения данных по синапсам:

- Однонаправленные (прямого распространения). Сигнал движется от входного слоя к выходному, обратного движения нет. Нейросети такого типа используют для распознавания речи, кластеризации, составления прогнозов.

- Рекуррентные (с обратными связями). Рекуррентные нейронные сети предполагают, что любое количество сигналов может перемещаться в разных направлениях, в том числе от выхода к входу.

По типам нейронов сети могут быть однородными или гибридными. Первые состоят из нейронов одного типа, вторые сочетают несколько классов нейронов. По характеру настройки синапсов нейронные сети бывают с фиксированными либо с динамическими связями.

Разные варианты нейросетей создаются для решения нескольких типов различных задач:

- Классификация – отнесение объектов к нужному классу.
- Регрессия – предсказывание результата в виде чисел (например, стоимости дома в зависимости от его площади и района, в котором он расположен).
- Распознавание – выделение объекта среди огромного множества других похожих (пример – сеть может выделить конкретное лицо в толпе).
- Кластеризация – разделение объектов на несколько групп по какому-либо признаку, неизвестному ранее. Это, например, разбивка документов на разные классы.
- Генерация – рождение чего-то нового в рамках заданной тематики.
- Прогнозирование – на основе полученных данных искусственный интеллект формулирует прогнозы по заданной теме на определенное время.

В зависимости от задачи, которую могут решать искусственные нейронные сети (она у каждого своя), они используются в разных областях. Перечислим сферы, где они наиболее востребованы:

1. Медицина. Искусственный интеллект помогает обрабатывать снимки и другие данные исследований и тем самым позволяет врачам устанавливать точный диагноз, при этом тратить меньше времени.

2. Образование. Преподаватели с помощью искусственных сетей имеют возможность быстрее проверять домашние задания, за короткое время составлять сложные презентации и планы уроков.

3. Искусство. Нейросети создают изображения, произведения литературы и музыку.

4. Строительство и архитектура. Искусственный интеллект полезен застройщикам, чтобы выбрать материалы, прогнозировать время выполнения работ.

5. Безопасность. Нейросети имеют возможность распознавать обычные лица и путем слежки в общественных местах вычислять преступников, которые находятся в розыске.

6. Банковская сфера. Нейронная сеть анализирует кредитную историю клиентов, создает прогнозы биржевых индексов.

7. Производство. Искусственный интеллект участвует в отслеживании производственных процессов, дают возможность контролировать продукции на предприятиях.

Применение. Генерация и обработка изображений. Нейронные сети из этой категории рисуют на основе текста и пользовательских изображений с

любом указанном стиле, в том числе используя вектор. Сервисы могут изменять фон картинки, дорисовывать изображения по описанию, генерировать картинку на основе фотографий, создавать визуальный контент для брендов и логотипы, а также реалистичные изображения в дополнение к текстовому описанию карточек товаров в интернет-магазинах и на маркетплейсов, фотографии для социальных сетей.

Генерация игровых миров и персонажей. Нейронные сети, создающие персонажей для игр, уровни, анимацию, видео, изображения для интерфейса. Упрощают разработку сюжетных линий и хода игры.

Работа с аудио. Нейронные сети могут просто преобразовать аудио в текст и обратно, расшифровывать в форме текста записи конференций, интервью и лекций. Используются для озвучивания роликов и прочего видеоконтента, для улучшения качества аудиозаписей и избавления их от шумов и посторонних звуков, для генерации музыки. Сервисы поддерживают несколько языков, включая русский. Многие подобные сети разработаны на основе языковой модели ChatGPT.

Музыка. Нейронные сети с ИИ могут создать музыку в разных стилях с нуля или обрабатывать и аранжировать мелодии.

Видео. Нейросети создают видео ролики с персонажами с возможностями настройки голоса и стиля речи. Источниками для видео роликов могут быть собственные сценарии или контент сайтов, соцсетей, приложений. Некоторые инструменты могут также создавать GIF-анимацию, озвучивать тексты, накладывать на видео фоновую музыку и даже делать фильмы.

Написание кода. Нейронные сети ускоряют разработку кода на разных языках программирования. Могут находить ошибки в уже написанных кодах, генерировать коды по текстовому запросу, создавать тесты.

Создание документов и презентаций. Умеют по запросу генерировать любой контент, структурировать информацию и разбивать ее по слайдам, добавлять диаграммы. Сеть генерирует изображения, обрабатывает фотографии и прочие визуальные элементы.

Заключение. В итоге мы предлагаем выделить преимущества и недостатки нейросетей:

– преимущества: незаменимы в сфере автоматизации процессов; спасают там, где может навредить человеческий фактор; экономят время на выполнении рутинных задач; постоянно обучаются.

– недостатки: напрямую зависят от вводимых данных, поэтому сильно подвержены влиянию; чтобы получить действительно хорошую рабочую сеть, нужно потратить много времени на её обучение; занимают много места на сервере и требуют больших вычислительных мощностей.

Учитывая то, с какой скоростью развивается искусственный интеллект сегодня, плюсы и минусы нейросетей достаточно относительны. Но их нельзя игнорировать.

Список источников

1. Жуков, Р.А. Язык программирования Python. Практикум: учебное пособие / Р.А. Жуков. – Москва: ИНФРА-М, 2023. – 216 с. + Доп. материалы

[Электронный ресурс]. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-16-015638-5. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1916202> (дата обращения: 09.10.2023). – Режим доступа: по подписке.

2. Иванов, А.А. Основы робототехники: учебное пособие / А.А. Иванов. – 2-е изд., испр. – Москва: ИНФРА-М, 2023. 223 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-16-014622-5. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1899018> (дата обращения: 12.09.2023). – Режим доступа: по подписке.

3. Иванов, А.А. Основы робототехники: учебное пособие / А.А. Иванов. – 2-е изд., испр. – Москва: ИНФРА-М, 2023. 223 с. – (Высшее образование). – DOI 10.12737/textbook_58e7460f93d2e6.7688379. - ISBN 978-5-16-018528-6. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1995374> (дата обращения: 12.09.2023). – Режим доступа: по подписке.

4. Рязанов, С.И. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. Робототехника, робототехнические комплексы. Практикум: учебное пособие / С.И. Рязанов Ю.В. Псигин. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 156 с. - ISBN 978-5-9729-1351-0. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/2092443> (дата обращения: 09.10.2023). - Режим доступа: по подписке.

5. Лошкарев, И.Ю. Аспекты использования нейросетей для органов внутренних дел // И.Ю. Лошкарев, В.В. Лопухов // Охрана, безопасность, связь. 2024. № 9-2. С. 41-46.

6. Булгаков, В.Г. Информационная система реализации алгоритмов Шелла. / В.Г. Булгаков, И.Ю. Лошкарев, Э.Р. Зарипова, Д.А. Горелов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024663911, 13.06.2024. Заявка от 03.06.2024.

© Лошкарев И.Ю., Булгаков В.Г., 2025

Научная статья

УДК 004.032.26: 004.896: 62-529.4

РАССМОТРЕНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ НЕЙРОСЕТИ

Игорь Юрьевич Лошкарев¹, Владимир Геннадьевич Булгаков²

^{1,2}Московский университет МВД России имени В.Я. Кикотя, г. Москва

¹igyulo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6404-6188>

²vg.bulgakov@mail.ru

Аннотация. В статье мы рассмотрели основные принципы работы нейросетей, научились различать ее функции. Нейросети способны заменить или дополнить работу человека в тех случаях, когда решение нужно принимать на основе предыдущего опыта. Чтобы запустить нейросеть, нужны исходные данные, но это не обязательно делать с нуля. Можно взять предобученную

нейросеть и подтянуть её знания по нужным параметрам. Нейросети можно использовать в любых сферах деятельности. Главное – давать им задачи, которые уже решал человек, и обучать с помощью качественных данных. Нейросети могут решать задачи вместо человека или вместе с ним. Использование нейросетей снижает вероятность ошибок, но не избавляет от них полностью.

Ключевые слова: нейросети, искусственный интеллект, типы нейросетей.

Для цитирования: Лошкарёв, И.Ю. Рассмотрение принципов работы нейросети / И.Ю. Лошкарёв, В.Г. Булгаков // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

CONSIDERATION OF THE PRINCIPLES OF NEURAL NETWORK OPERATION

Igor Yuryevich Loshkarev¹, Vladimir Gennadyevich Bulgakov²

^{1,2}Moscow V.Y. Kikoty University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia.

¹igyulo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6404-6188>

²vg.bulgakov@mail.ru

Annotation. In the article we have considered the basic principles of neural networks, learned to distinguish its functions. Neural networks are capable of replacing or supplementing the work of a human in cases where a decision needs to be made on the basis of previous experience. To run a neural network, you need initial data, but it does not have to be done from scratch. It is possible to take a pre-trained neural network and tighten its knowledge on the required parameters. Neural networks can be used in any sphere of activity. The main thing is to give them tasks that have already been solved by a human and to train them with the help of high-quality data. Neural networks can solve tasks instead of or together with humans. The use of neural networks reduces the probability of errors, but does not eliminate them completely.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, types of neural networks.

For citation: Loshkarev, I.Y. Consideration of the principles of neural network operation / I.Y. Loshkarev, V.G. Bulgakov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Нейросеть – это компьютерная система, которая имитирует работу нейронов в мозге человека. Она состоит из множества «нейронов», соединённых между собой и передающих информацию по цепочке. Нейросети используются во многих сферах для решения различных задач, в том числе для распознавания образов, обработки речи и прочего.

Искусственный интеллект – понятие более широкое. Оно включает в себя не только нейронные сети, но и другие методы обработки информации, в том числе экспертные и логические программы. Нейронные сети – один из видов искусственного интеллекта. Их отличительная особенность – обучение и адаптация в основе алгоритмов.

Материалы и методы. Искусственная нейронная сеть (ИНС) представляет собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Такие процессоры обычно довольно просты (особенно в сравнении с процессорами, используемыми в персональных компьютерах). Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. И, тем не менее, будучи соединёнными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, такие по отдельности простые процессоры вместе способны выполнять довольно сложные задачи.

- С точки зрения машинного обучения, нейронная сеть представляет собой частный случай методов распознавания образов, дискриминантного анализа;
- С точки зрения математики, обучение нейронных сетей – это многопараметрическая задача нелинейной оптимизации;
- С точки зрения кибернетики, нейронная сеть используется в задачах адаптивного управления и как алгоритмы для робототехники;
- С точки зрения развития вычислительной техники и программирования, нейронная сеть – способ решения проблемы эффективного параллелизма;
- С точки зрения искусственного интеллекта, ИНС является основой философского течения коннекционизма и основным направлением в структурном подходе по изучению возможности построения (моделирования) естественного интеллекта с помощью компьютерных алгоритмов [1-6].

Результаты исследования. Чем большее число слоев в нейронной сети, тем сложнее задачи, с которыми она может справляться.

- Входной слой нейронов воспринимает информацию. Это могут быть фото, видео, аудио, текстовые файлы – данные в любом формате и объёме.
- На скрытом слое происходит обработка и перевод данных в математические числовые коды. Количество скрытых слоёв не ограничено и зависит от объёма данных и поставленных задач, чаще всего их три.
- Ответ сети формируется в выходном слое. Формат ответа также может быть любым.

На входной слой поступает запрос и данные, которые необходимо обработать. На скрытом слое происходит непосредственно работа: сортировка, отбор по конкретному признаку и прочее. На выходном слое нейросеть выдаёт итог проделанной работы. На рис. 1 представлен принцип работы нейросети.

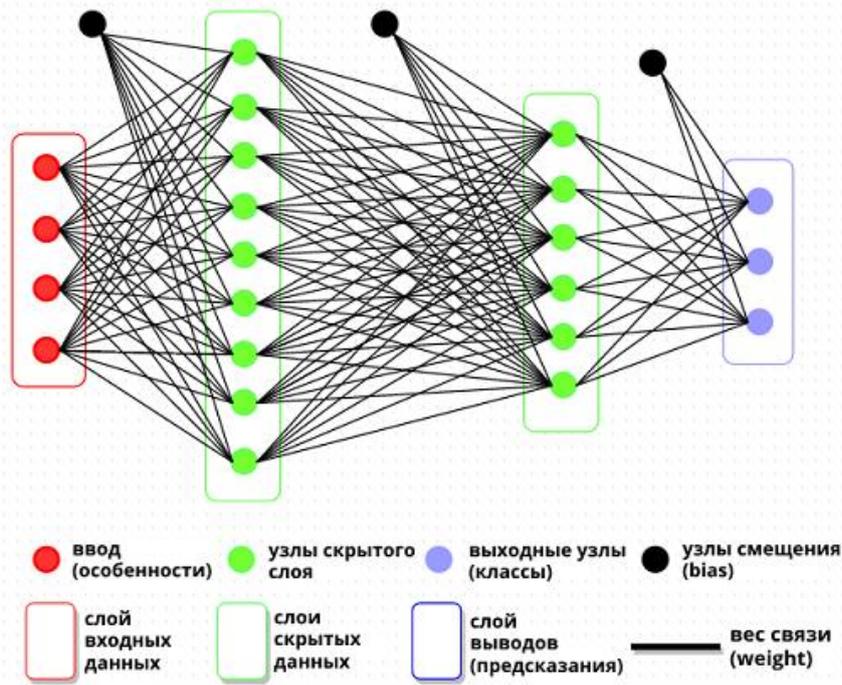


Рисунок 1 – Принцип работы нейросети

Например, для обучения и генерации конечного результата в виде изображения, сеть перерабатывает огромное количество текстовых данных и изображений. Это позволяет ей создавать красивые картинки на основе заданных параметров. Вот в чём состоит принцип действия:

1. Ввод запроса: пользователь вводит текст, который нейросети нужно преобразовать в изображение. Текст может быть любым: описание объекта, сцена, даже стихотворение.

2. Токенизация: нейросеть разбивает введённый текст на отдельные слова или фразы – токены. Каждый представляет собой часть информации, которую нейросеть может обрабатывать.

3. Представление токенов в числовом виде: сеть преобразует информацию в числовой формат. Этот процесс называется векторизацией. Она позволяет нейронной сети работать с токенами в скрытом слое.

4. Обработка токенов нейросетью: в зависимости от сложности задачи работа происходит на разных слоях. В результате многослойной обработки нейросеть формирует промежуточное представление токенов.

5. Генерация изображения: промежуточные токены преобразуются в изображение – подвергаются декодированию.

6. Вывод изображения: пользователь получает изображение, которое соответствует введённому тексту.

Чем точнее и подробнее запрос, тем быстрее и качественнее получится результат.

Функции нейросети. Функция активации – это способ нормализации входных данных. То есть, если на входе у вас будет большое число, пропустив его через функцию активации, вы получите выход в нужном вам диапазоне. Функций активации достаточно много поэтому мы рассмотрим самые основные:

Линейная, Сигмоида (Логистическая) и Гиперболический тангенс. Главные их отличия – это диапазон значений.

Линейная функция $f(x)=x$

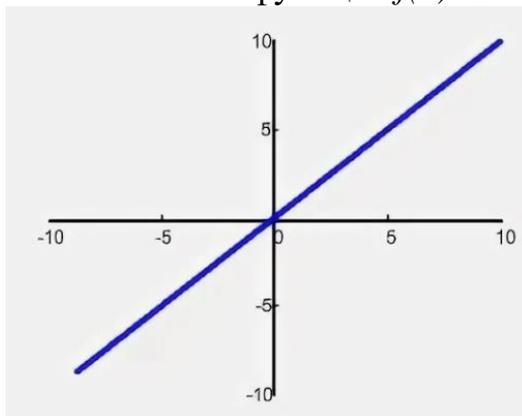


Рисунок 2 – Линейная функция

Эта функция почти никогда не используется, за исключением случаев, когда нужно протестировать нейронную сеть или передать значение без преобразований.

Сигмоида $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$.

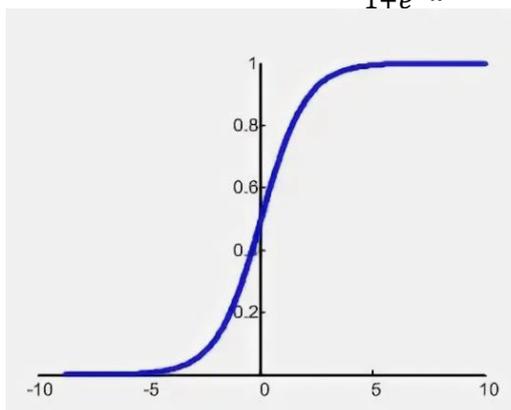


Рисунок 3 – Функция активации – сигмоида

Это самая распространенная функция активации, ее диапазон значений $[0,1]$. Именно на ней показано большинство примеров в сети, также ее иногда называют логистической функцией.

Гиперболический тангенс $f(x) = \frac{e^{2x}-1}{e^{2x}+1}$.

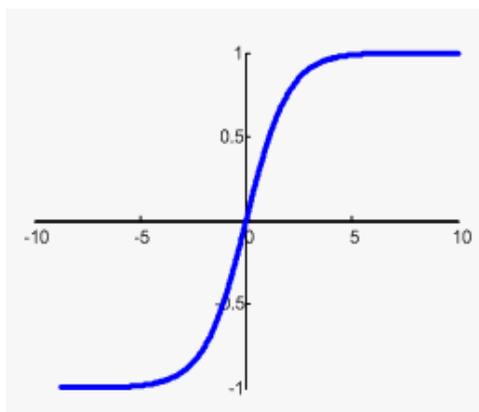


Рисунок 4 – Функция активации – гиперболический тангенс

Имеет смысл использовать гиперболический тангенс, только тогда, когда ваши значения могут быть и отрицательными, и положительными, так как диапазон функции $[-1,1]$. Использовать эту функцию только с положительными значениями нецелесообразно так как это значительно ухудшит результаты вашей нейросети.

Тренировочный сет – это последовательность данных, которыми оперирует нейронная сеть.

Итерация – это своеобразный счетчик, который увеличивается каждый раз, когда нейронная сеть проходит один тренировочный сет. Другими словами, это общее количество тренировочных сетов, пройденных нейронной сетью.

При инициализации нейронной сети эта величина устанавливается в 0 и имеет потолок, задаваемый вручную. Чем больше эпоха, тем лучше натренирована сеть и соответственно, ее результат. Эпоха увеличивается каждый раз, когда мы проходим весь набор тренировочных сетов.

Важно не путать итерацию с эпохой и понимать последовательность их инкремента. Сначала n раз увеличивается итерация, а потом уже эпоха и никак не наоборот. Другими словами, нельзя сначала тренировать нейросеть только на одном сете, потом на другом и т.д. Нужно тренировать каждый сет один раз за эпоху. Так, вы сможете избежать ошибок в вычислениях.

Ошибка – это процентная величина, отражающая расхождение между ожидаемым и полученным ответами. Ошибка формируется каждую эпоху и должна идти на спад. Если этого не происходит, значит, вы что-то делаете не так. Ошибку можно вычислить разными путями, но мы рассмотрим лишь три основных способа: Mean Squared Error (далее MSE), Root MSE и Arctan. Каждый метод считает ошибки по-разному. У Arctan, ошибка, почти всегда, будет больше, так как он работает по принципу: чем больше разница, тем больше ошибка. У Root MSE будет наименьшая ошибка, поэтому, чаще всего, используют MSE, которая сохраняет баланс в вычислении ошибки.

MSE:

$$\frac{(i_1 - a_1)^2 + (i_2 - a_2)^2 + \dots + (i_n - a_n)^2}{n}$$

Root MSE:

$$\sqrt{\frac{(i_1 - a_1)^2 + (i_2 - a_2)^2 + \dots + (i_n - a_n)^2}{n}}$$

Arctan:

$$\frac{\arctan^2(i_1 - a_1) + \dots + \arctan^2(i_n - a_n)}{n}$$

Принцип подсчета ошибки во всех случаях одинаков. За каждый сет, мы считаем ошибку, отняв от идеального ответа, полученный. Далее, либо возводим в квадрат, либо вычисляем квадратный тангенс из этой разности, после чего полученное число делим на количество сетов.

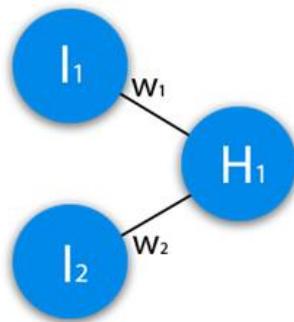


Рисунок 5 – Нейронная сеть

$$1) H_1 input = (I_1 \cdot W_1) + (I_2 \cdot W_2) ;$$

$$2) H_1 output = f_{activation}(H_1 input) .$$

В данном примере изображена часть нейронной сети, где буквами I обозначены входные нейроны, буквой H – скрытый нейрон, а буквой W – веса. Из формулы видно, что входная информация – это сумма всех входных данных, умноженных на соответствующие им веса.

Зададим на вход 1 и 0. Пусть $W_1=0,4$ и $W_2=0,7$.

Входные данные нейрона H_1 будут следующими: $1 \cdot 0,4 + 0 \cdot 0,7 = 0,4$.

Теперь, когда у нас есть входные данные, мы можем получить выходные данные, подставив входное значение в функцию активации.

Теперь, когда у нас есть выходные данные, мы передаем их дальше. И так, мы повторяем для всех слоев, пока не дойдем до выходного нейрона. Запустив такую сеть в первый раз, мы увидим, что ответ далек от правильного, потому что сеть не натренирована. Чтобы улучшить результаты мы будем ее тренировать.

Эпоха увеличивается каждый раз, когда мы проходим весь набор тренировочных сетов, в нашем случае, 4 сетов или 4 итераций.

Теперь, чтобы проверить себя, подсчитайте результат, данной нейронной сети, используя сигмоиду, и ее ошибку, используя MSE.

Данные: $I_1=1, I_2=0, W_1=0,45, W_2=0,78, W_3=-0,12, W_4=0,13, W_5=1,5, W_6=-2,3$.

Решение:

$$H_{1input} = 1 \cdot 0,45 + 0 \cdot (-0,12) = 0,45.$$

$$H_{1output} = sigmoid(0,45) = 0,61.$$

$$H_{2input} = 1 \cdot 0,78 + 0 \cdot 0,13 = 0,78.$$

$$H_{2output} = sigmoid(0,78) = 0,69.$$

$$O_{1input} = 0,61 \cdot 1,5 + 0,69 \cdot (-2,3) = -0,672.$$

$$O_{1output} = sigmoid(-0,672) = 0,33.$$

$$O_{ideal} = 1 \text{ (0 xor 1=1)}.$$

$$Error = \frac{(1-0,33)^2}{1} = 0,45 .$$

Результат – 0,33, ошибка – 45%.

Заключение. На одном из примеров нейросети мы разобрали задачу работы этой сети. Обучение нейросети – это сложный и трудоёмкий процесс, который требует глубоких знаний в области машинного обучения и обработки данных. Однако результаты обучения могут быть впечатляющими и принесут значительную пользу в различных областях, таких как медицина, финансы, транспорт и многие другие.

Список источников

1. Жуков, Р.А. Язык программирования Python. Практикум: учебное пособие / Р.А. Жуков. – Москва: ИНФРА-М, 2023. – 216 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-16-015638-5. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1916202>. – Режим доступа: по подписке.
2. Иванов, А.А. Основы робототехники: учебное пособие / А.А. Иванов. – 2-е изд., испр. – Москва: ИНФРА-М, 2023. 223 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-16-014622-5. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1899018>. – Режим доступа: по подписке.
3. Иванов, А.А. Основы робототехники: учебное пособие / А.А. Иванов. – 2-е изд., испр. – Москва: ИНФРА-М, 2023. 223 с. – (Высшее образование). – DOI 10.12737/textbook_58e7460f93d2e6.7688379. – ISBN 978-5-16-018528-6. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1995374>. – Режим доступа: по подписке.
4. Рязанов, С.И. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. Робототехника, робототехнические комплексы. Практикум: учебное пособие / С.И. Рязанов, Ю.В. Псигин. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 156 с. – ISBN 978-5-9729-1351-0. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/2092443>. – Режим доступа: по подписке.
5. Лошкарев, И.Ю. Аспекты использования нейросетей для органов внутренних дел // И.Ю. Лошкарев, В.В. Лопухов // Охрана, безопасность, связь. 2024. № 9-2. С. 41-46.
6. Булгаков, В.Г. Информационная система реализации алгоритмов Шелла / В.Г. Булгаков, И.Ю. Лошкарев, Э.Р. Зарипова, Д.А. Горелов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024663911, 13.06.2024. Заявка от 03.06.2024.

© Лошкарев И.Ю., Булгаков В.Г., 2025

Научная статья

УДК 631.365.3/4:633.88

КЛАССИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

Людмила Александровна Лягина¹, Игорь Андреевич Гуринов²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. В настоящей статье рассматривается классификация сельскохозяйственной робототехники. По отраслям применения и видам выполняемых работ является актуальным робототехника в животноводстве, в частности стрижка овец.

Ключевые слова: робототехника, стрижка овец, манипулятор, механизм, робот-рука.

Для цитирования: Лягина, Л.А. Классификация сельскохозяйственной робототехники / Л.А. Лягина, И.А. Гуринов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

CLASSIFICATION OF AGRICULTURAL ROBOTICS

Lyudmila Alexandrovna Lyagina¹, Igori Andreevich Gurinov²

^{1,2}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation. This article discusses the classification of agricultural robotics. According to the branches of application and types of work performed, robotics in animal husbandry, in particular sheep shearing, is relevant.

Keywords: robotics, sheep shearing, the manipulator, mechanism, the robot arm.

For citation: Lyagina, L.A. Classification of agricultural robotics / L.A. Lyagina, I.A. Gurinov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Сельскохозяйственная робототехника – это совокупность автоматических программируемых устройств, выполняющих операции по производству сельскохозяйственной продукции или другие операции с высокой точностью и повторяемостью автономно или посредством команд оператора.

Материалы и методы. Отдельно взятый робот – автоматическое устройство, предназначенное для осуществления производственных и других операций в сельском хозяйстве, которое действует по заранее заложенной программе и получает информацию о внешнем мире от датчиков, самостоятельно осуществляет производственные и иные операции, обычно выполняемые человеком. При этом робот может, как иметь связь с оператором (получать от него команды), так и действовать автономно.

Робототехника может быть использована и используется практически в любой отрасли сельского хозяйства: в растениеводстве, животноводстве, переработке сырья, транспортировке, хранении и реализации продукции [4, 5].

Результаты исследования. В связи с этим важное теоретическое и практическое значение имеет классификация сельскохозяйственной робототехники [1].

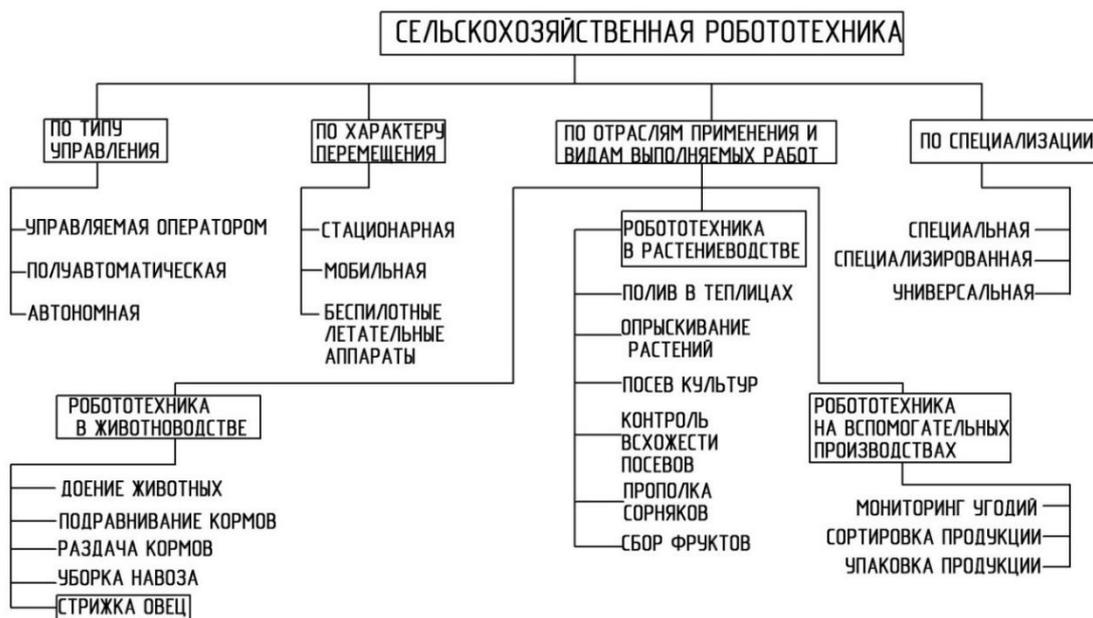


Рисунок 1 – Классификация сельскохозяйственной робототехники

Овечья шерсть – один из самых ценных продуктов овцеводства. Шерстяная промышленность подвергается все более растущей конкуренции со стороны синтетических волокон [2]. Современная технология содержания животных и производство животноводческой продукции – машинная технология. Поэтому без знания машин, механизмов, технологического оборудования, влияния их на организм и поведение животных нельзя освоить и тем более нельзя организовать и контролировать технологию производства животноводческой продукции. Новая техника и технология требует современных новых приемов и методов ветеринарной работы. Применяемые в настоящее время методы содержания животных чаще оказываются оторванными от естественной среды и поставленными в полную зависимость от человека. Довольно часто они неблагоприятно отражаются на здоровье, продуктивности и воспроизводительной способности животных. Решающим звеном в технологии животноводства является человек. Он управляет сложным процессом в системе «животное – технология содержания – среда – человек». Животное в этой системе является объектом воздействия со стороны многочисленных остальных элементов системы.

Таблица – Виды электромеханической стрижки овец

Виды машинной стрижки овец		
на столах (стеллажах)	поточная на карусельных и конвейерных установках	скоростная
Один стригаль доставляет овец к рабочему столу, стрижет, собирает и сдает	Карусельная установка состоит из пяти рабочих столов. На одном фиксируют овцу для стрижки, на	Овец стригут в «сидячем» положении на полу без настилов. Следует остерегаться разрыва руна во время стрижки или его загрязнения. Состриженное руно переносчик передает вместе с личным

<p>шерсть на классировочный стол или на весы. Стригаль также заменяет, регулирует, смазывает режущую пару машинки и выполняет вспомогательные операции.</p>	<p>остальных четырех - стригут. Подавальщик ловит в загоне, подтаскивает к установке и закрепляет на столе животное. Карусельная установка перемещает овцу от одного стригалья к другому. Процесс стрижки делится на четыре операции, выполняемые отдельными стригальями. Каждый из них стрижет только строго определенный участок овцы, чем и обеспечивается поточность стрижки. Остриженная овца снова попадает на рабочее место подавальщика, который освобождает ее и убирает руно. Затем процесс повторяется.</p>	<p>листом стригалья на весы. Данные по массе шерсти учетчик записывает в журнал стрижки и в индивидуальную карточку стригалья. Затем руно классировочные проводят в помещении, где размещают классировочные столы, отсеки для накопления расклассированной шерсти, пресс для упаковки, и выделяют место для хранения кип с шерстью. Кипы маркируют согласно требованиям стандартов шерсти, и упакованную шерсть по мере накопления отправляют на ближайшую фабрику первичной обработки шерсти или на заготовительный пункт. Огромное значение для правильной организации и проведения стрижки имеют своевременный подбор, подготовка и правильная расстановка кадров. Необходимо заранее подобрать и назначить начальников агрегатов, точильщиков, наладчиков, их помощников и стригалей из числа наиболее опытных постоянных работников хозяйства. Стригали, не имеющие достаточного опыта работы, должны пройти специальное обучение.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Связь между животными и человеком осуществляется через технологию со всеми ее элементами: методами содержания и кормления, микроклиматом, системами механизации и автоматизации. Механизация и автоматизация облегчает труд человека, но одновременно оказывает на него определенную психологическую нагрузку. При этом применяемые механизмы не должны нарушать биологию и физиологию животных [2].

Стрижка овец – достаточно трудоемкая операция. При электромеханической стрижке опытный стригальщик может состричь от 60-80 до 100-120 овец в день. Стригали высокой квалификации остригают 300-350 овец за рабочий день.

До недавнего времени роботизация стрижки представлялась наименее вероятной из всех существующих альтернатив в проведении стрижки овец. Преимущества роботизированной стрижки позволяют получать более качественное и однородное руно. Повреждения, которые наносятся овцам при традиционной стрижке, в значительной степени сокращаются при использовании роботов. Чувствительные устройства, применяемые для контроля режущих механизмов, могут чувствовать кожу в пределах нескольких тысячных долей секунды, при этом робот незамедлительно осуществляет корректирующее движение. Поскольку стрижка овец является тяжелой, утомительной, требующей постоянного внимания работой, то трудно привлечь к этой работе

молодых людей, что в конечном итоге приведет к увеличению оплаты за нее. Роботы можно использовать в 2-3 смены вместо обычного рабочего дня, продолжающегося 8 ч. На рис. 2 представлена автоматизированная станция для стрижки овец.

Автоматизированная станция для стрижки овец включает манипулятор, который удерживает овцу и стригальный робот-руку, передвигающуюся по направляющим, расположенным сверху. Манипулятор не только удерживает овцу, но и придает ей удобные для стрижки положения, переворачивая и растягивая ноги и шею. Манипулятор состоит из двух основных узлов: подвижной люльки, включающей два параллельных ролика для поддержания тела животного, и двух концевых фиксаторов для закрепления ног и головы [3].



Рисунок 2 – Автоматизированная станция для стрижки овец

Заключение. Без инновационной робототехники невозможны дальнейший рост производительности труда, снижение дефицита кадров и увеличение конкурентоспособности сельского хозяйства, поэтому рынок этой техники будет расти.

Список источников

1. Рамеш Бабу, Н. Классификация и особенности робототехники в сельском хозяйстве / Н. Рамеш Бабу, В.И. Набоков, Е.А.Скворцов // Аграрный вестник Урала, 2017. – № 02(156) – С. 82-88.
2. <http://pereosnastka.ru/articles/strizhka-ovets>
3. <https://studfile.net/preview/6018752/page:38/>
4. Лягина, Л.А. Совершенствование локальной системы автоматического управления контроля расхода в установке для предпосевной обработки семян / Л.А. Лягина, С.Л. Савлук // Материалы XII Национальной научно.-практ. конф. с международным участием, Актуальные проблемы энергетики АПК// ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2021. – С. 188-190.

5. Лягина, Л.А. Система автоматического управления процессом сушки растительного сырья / Л.А. Лягина, В.А. Каргин, А.П. Моисеев // Аграрный научный журнал, 2017. – №7. – С.78-82.

© Лягина Л.А., Гуринов И.А., 2025

Научная статья
УДК 631.365.3/4:633.88

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ

Людмила Александровна Лягина¹, Игорь Андреевич Гуринов²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. В настоящей статье предлагается система автоматического управления тепловой обработки кормов применением современных технических средств, в частности программируемых логических контроллеров.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, программируемый логический контроллер, обработка кормов, запаривание.

Для цитирования: Лягина, Л.А. Совершенствование оборудования для приготовления кормов / Л.А. Лягина, И.А. Гуринов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

IMPROVEMENT OF FEED PREPARATION EQUIPMENT

Lyudmila Alexandrovna Lyagina¹, Igori Andreevich Gurinov²

^{1,2}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation. This article proposes an automatic control system for the heat treatment of feed using modern technical means, in particular programmable logic controllers.

Keywords: automated control systems, programmable logic controller, feed processing, steaming.

For citation: Lyagina, L.A. Improvement of feed preparation equipment / L.A. Lyagina, I.A. Gurinov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Откорм свиней является заключительным этапом в производстве свинины на каждом свиноводческом предприятии или ферме. От успешного его проведения зависит экономика хозяйства, так как в этот период требуется наибольшее количество кормов.

Материалы и методы. Основными факторами, от которых зависит успех откорма, являются правильно сбалансированное кормление и содержание животных, порода, возраст свиней, подготовленность молодняка к откорму, четкая организация труда. В зависимости от вида кормов, зоотехнических требований к скармливанию, требований технологического процесса на животноводческих фермах применяют следующие способы обработки кормов [1].

Таблица – Способы обработки кормов для свиней

Способы обработки кормов для свиней	
Экструдирование	Эффективный способ повышения питательной ценности зернового сырья. В экструдерах зерно подвергается кратковременному механическому и баротермическому воздействию.
Измельчение	Повышает поедаемость корма, увеличивает площадь соприкосновения размолотого зерна с пищеварительным соком
Осолаживание	Применяется для улучшения вкусовых качеств зерновых кормов (ячменя, кукурузы, пшеницы и др.) и повышения их поедаемости.
Проращивание	В пророщенном зерне повышается биологическая полноценность цельного зерна и витаминная питательность.
Микронизация	Обработка зерна инфракрасными лучами, в результате которой оно размягчается, набухает, вспучивается и растрескивается.
Поджаривание	Процесс заключается в увлажнении зерна, его нагреве и поджаривании в течение 10-12 минут при температуре 100-108°C и повторном увлажнении с целью охлаждения и увеличения влажности.
Плющение	Этот приём повышает питательную ценность углеводного и протеинового комплексов, позволяет очистить зерно от антипитательных веществ, семян сорняков и возможной плесени.
Запаривание	Обработанное паром или горячей водой зерно выдерживают в течение нескольких часов. Оно становится мягким, с улучшенными вкусовыми качествами.

Результаты исследования. Повышение производительности труда и снижение энергозатрат на производство единицы продукции, улучшение использования электрооборудования и условий труда работников невозможно без внедрения системной автоматизации. Уровень автоматизации является определяющим фактором, в том числе, себестоимости производимой продукции – важного показателя конкурентоспособности производства в условиях рыночной экономики. Таким образом, решением задач по совершенствованию технических средств и технологии обработки кормов является разработка и внедрение автоматизированных систем управления [3]. При этом использование микропроцессорных средств, например, программируемых логических контроллеров (ПЛК), является эффективным [2, 4].

В настоящее время на рынке предлагается тепловая обработка кормов со способом запаривание. На рис. приведена функциональная схема САУ процессом запарника-смесителя ЗС-Ф-1.

Запарник-смеситель ЗС-Ф-1-1 имеет прямоугольный корпус, внутри которого размещена камера запаривания и смешивания кормов с желобковым днищем 3. Корм загружают через бункер 5 с помощью конвейера 8 марки ТС-Ф-40-4, готовая кормовая масса выгружается с помощью такого же конвейера 2. На торцевой стенке корпуса смонтированы шкаф управления 4, приводное устройство 6 перемещение шиберных задвижек загрузочной и выгрузной горловин. Запарник-смеситель снабжен сигнализаторами уровня, патрубком для подачи жидких компонентов, парораспределительным коллектором с трехходовым краном для пара и воды, предохранительным устройством, через клапан которого автоматически сбрасывается пар при давлении более 0,07 МПа. Управление процессом запаривания и смешивания кормовых и жидких компонентов автоматическое, по заданной программе реле времени.

При работе запарника-смесителя в режиме запаривания в запарочную камеру заливают жидкие компоненты и включают мешалки, затем конвейером подают корма. При работе в режиме смешивания после загрузки компонентов и перевода на автоматическое управление, реле времени включает и выключает мешалку запарника-смесителя на заданное время.

Предлагается система автоматического управления (САУ) скорости перемещения зерна, выполненная на базе программируемого логического контроллера.

Запуск технологического процесса осуществляется с помощью кнопки «Push». Программируемый логический контроллер 12 реализует алгоритм управления операциями величины перемещения заслонки от скорости потока продукта [3].

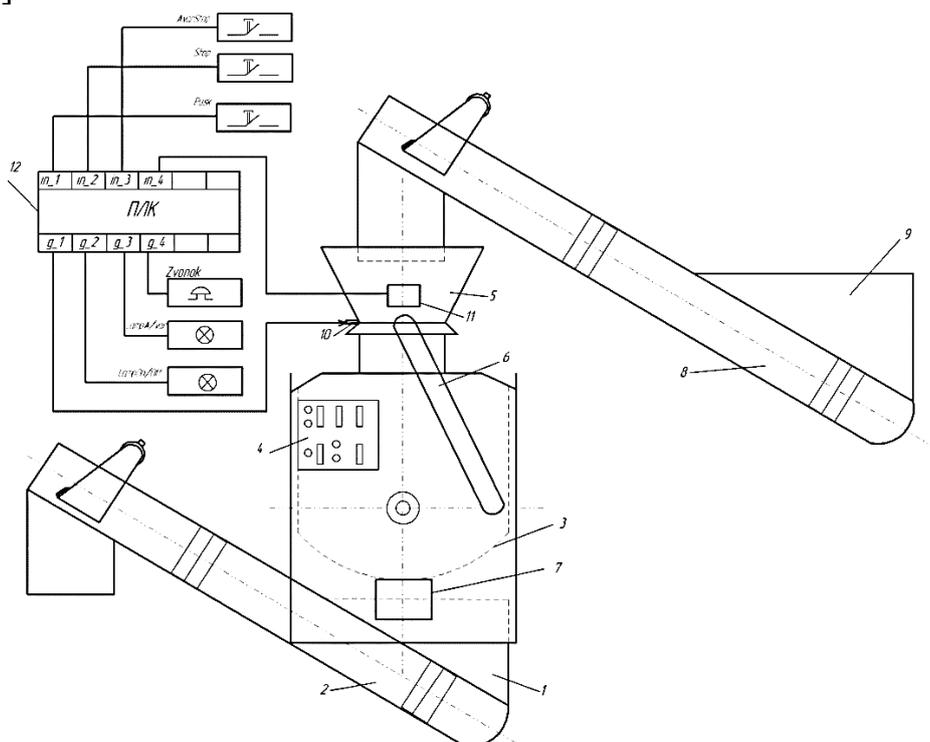


Рисунок – Функциональная схема САУ процессом запарника-смесителя ЗС-Ф-1:
 1, 9 – приемочные бункеры выгрузного и загрузочного конвейеров; 2, 8 – выгрузной и загрузочный конвейеры; 3 – запарник-смеситель; 4 – шкаф управления; 5 – загрузочный бункер смесителя; 6 – приводное устройство; 7 – выгрузная горловина; 10 – привод заслонки; 11 – расходомер; 12 – программируемый логический контроллер

Заключение. Таким образом, предварительный анализ показал, что использование программированных логических контроллеров представляется перспективным для автоматизации процесса тепловой обработки кормов.

Список источников

1. https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/10_13/10-13_41-44.pdf
2. Моисеев, А.П. Технические средства управления: учебное пособие / А.В. Волгин, Л.А. Лягина, В.А. Каргин, Е.А. Четвериков // ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова». – Саратов: Амирит, 2022. – 122 с.
3. Лягина, Л.А. Система автоматического управления процессом сушки растительного сырья / Л.А. Лягина, В.А. Каргин, А.П. Моисеев // Аграрный научный журнал. 2017. № 7. – С.78-82.
4. Лягина, Л.А. Программируемая система автоматического управления процессом переработки помета / Л.А. Лягина, А.Е. Устинин, И.Г. Христочева // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2023. – С. 280-285.

© Лягина Л.А., Гуринов И.А., 2025

Научная статья
УДК 631.21

АНАЛИЗ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ ИМУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

Сергей Петрович Мерзлов¹, Андрей Александрович Верзилин²,
Александр Иванович Шематурин³

^{1,2,3}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. Статья посвящена анализу способов и устройств импульсного регулирования излучения. Анализ способов и устройств импульсного регулирования излучения включает изучение различных методов и устройств, используемых для управления импульсным оптическим излучением. В устройствах импульсного действия для регулирования выходного напряжения применяются различные виды модуляции, такие как широтно-импульсная (ШИМ) или частотно-импульсная модуляция (ЧИМ). Выбор между этими методами зависит от конкретных задач и требований к регулированию.

Ключевые слова: импульсное облучение, оптическое излучение, широтно-импульсная модуляция, частотно-импульсная модуляция.

Для цитирования: Мерзлов, С.П. Анализ способов и устройств импульсного регулирования излучения / С.П. Мерзлов, А.А. Верзилин,

А.И. Шематури́н // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

THE USE OF LED LAMPS FOR ADDITIONAL ILLUMINATION OF FIELD CROPS IN THE PHYTOTRON

Sergey Petrovich Merzlov¹, Andrey Aleksanrovich Verzilin², Aleksandr Ivanovich Shematurin³

^{1,2,3}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation. The article is devoted to the analysis of methods and devices for pulse radiation control. The analysis of pulsed radiation control methods and devices includes the study of various methods and devices used to control pulsed optical radiation. Pulse action devices use various types of modulation, such as pulse width modulation (PWM) or pulse frequency modulation (PWM), to control the output voltage. The choice between these methods depends on the specific tasks and requirements for regulation.

Keywords: pulse irradiation, optical radiation, pulse-width modulation, pulse-frequency modulation.

For citation: Merzlov, S.P. Analysis of methods and devices for pulse regulation of radiation / S.P. Merzlov, A.A. Verzilin, A.I. Shematurin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. При искусственном выращивании растений в замкнутых агроэкосистемах с использованием светокультуры регулирование параметров освещения приобретает особую значимость.

Освещение растений на базе светодиодных светильников послужило поводом к исследованиям влияния импульсного светового облучения на рост и развитие растений. Основной для замены непрерывного светового потока на импульсный является снижение потребления электроэнергии используемого для освещения оборудования [1, 2].

Материалы и методы. Импульсные режимы освещения, позволяющие экономить электроэнергию, уже давно привлекали внимание исследователей. Однако сложность реакций отклика фотосинтетических и ростовых процессов растений на импульсное облучение не позволили получить однозначного ответа.

С помощью современных методик было установлено, что реакционные центры листьев растений способны поглощать и запасать энергию от импульсов света длительностью порядка 100 мкс и короче, а затем использовать ее для транспорта электронов в электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) в течение темновой паузы между импульсами.

Подача света короткими импульсами высокой интенсивности в периоды активации светопоглощающих комплексов и выключение света в периоды их инактивации смогут удовлетворить энергетические потребности у ряда зеленых культур при относительно невысоких значениях усредненной ППФ.

Результаты исследования. Импульсное регулирование излучения – это метод, при котором интенсивность излучения регулируется с помощью импульсных методов модуляции, таких как широтно-импульсная (ШИМ) или частотно-импульсная модуляция (ЧИМ).

Например, в светодиодных светильниках диодами регулирование тока через диод осуществляется путём регулирования уровня прикладываемого напряжения или его среднего значения с использованием импульсной модуляции.

Возможность импульсного регулирования интенсивности излучения обусловлена тем, что излучение с частотой модуляции f_M свыше 1000 Гц принято рассматривать как квазинепрерывное.

Среди импульсных методов регулирования в данном случае может быть использована как широтно-импульсная (ШИМ), так и частотно-импульсная модуляция (ЧИМ).

ШИМ предполагает регулирование выходного напряжения изменением длительности импульсов при постоянной частоте следования. Метод применяется для изменения скорости вращения двигателей, яркости света, управления силовым транзистором импульсных блоков питания.

ЧИМ предполагает регулирование изменением частоты следования импульсов напряжения. При увеличении мгновенного значения сообщения частота импульсов возрастает, а при уменьшении – снижается, при этом длительность импульсов остаётся постоянной.

Выбор между этими методами зависит от конкретных задач и требований к регулированию. Например, для инверторов, работающих на резонансную нагрузку, более подходящим может быть метод модуляции плотности импульсов (PDM). Он позволяет регулировать мощность инвертора без применения дополнительных силовых элементов, сохраняя «мягкий» режим переключения ключей во всём диапазоне регулирования мощности.

Если для регулирования выбрана ШИМ с $f_M = 1000$ Гц, то для обеспечения диапазона регулирования интенсивности излучения 1:100 длительность импульсов b прикладываемого напряжения должна изменяться в диапазоне от 0,01 до 1 мс. В том случае, если для регулирования выбрана ЧИМ, то при $I = 10$ мкс диапазон изменения f_M должен составлять от 1 до 100 кГц. Обеспечение регулирования I или f_M в указанных диапазонах может быть достаточно легко достигнуто средствами микропроцессорной техники.

Устройства импульсного регулирования излучения – это устройства, позволяющие управлять импульсным оптическим излучением, например, регулировать его мощность и фокусировку. Один из примеров такого устройства – управляющий элемент в виде пластины или линзы, расположенный на пути распространения излучения. В нём возбуждают упругие колебания, которые изменяют кривизну поверхности и сдвигают фокус управляющего элемента.

Упругие колебания синхронизируют с импульсами оптического излучения таким образом, чтобы его фокусировка происходила на заданном расстоянии от источника излучения.

Также существует устройство амплитудной модуляции оптического импульсного излучения, которое содержит источник модулирующего сигнала, модулятор и усилитель-преобразователь. Оно позволяет регулировать мощность оптического импульсного излучения в соответствии с величиной и формой напряжения модулирующего источника.

Влияние импульсного облучения на продуктивность растений известно. Оно сводится к следующему эффекту: вместо непрерывного облучения растений достаточен импульс потока, чтобы запустить в растении механизмы и реакции, ответственные за продукционный процесс. Зависимость потребляемой энергии от параметров импульсов также известна. Энергия потока импульсов определяется интегралом под осциллограммой импульсов.

Важнейшим параметром режима облучения является спектральный состав потока оптического излучения и его динамика на протяжении всего срока выращивания растений.

Известен способ импульсного облучения растений, при котором энергию потока оптического излучения периодически подают на растения, применяя для этого концентраторы и обтюраторы [5]. Такое техническое решение не приводит к снижению затрат энергии и не обеспечивает регулирование спектрального состава потока оптического излучения (ОИ).

Дополнительной возможностью повышения энергоэффективности процесса облучения является применение импульсного режима облучения.

В качестве примера, можно привести способ воздействия на растения потоком ОИ: воздействуют на растения потоком ОИ, поток ОИ необходимого спектрального состава получают включением групп светодиодов с различным спектром излучения, регулируют параметры импульсов: периодичность, амплитуду и продолжительность, импульсы потока ОИ с заданным спектром и заданными параметрами формируют общими для всех групп светодиодов коммутацией выключателя, расположенного в общей части цепи питания групп светодиодов.

Можно привести пример устройства, которое содержит корпус, группы светодиодов с различным спектром излучения, преобразователь напряжения, блок управления, формирователи импульсов, регулятор параметров импульсов, в состав которого включены задачки периодичности, амплитуды и продолжительности, причем регулятор параметров импульсов выполнен общим для всех групп светодиодов, формирователь импульсов выполнен в виде выключателя, установленного в цепи питания светодиодов между общим минусовым выходом и блоком управления [3].

Недостатками данного устройства – является отсутствие возможности обеспечения максимального энергосбережения при облучении растений и недостаточно широкие возможности регулирования параметров импульсного облучения.

Применение импульсного режима облучения может быть дополнительной возможностью повышения энергоэффективности процесса облучения, например, при облучении растений. Вместо непрерывного облучения достаточен импульс потока, чтобы запустить в растении механизмы и реакции, ответственные за продукционный процесс. Правильно настроенная интенсивность света экономит электроэнергию на фоне стабильно высоких урожаев.

На примере ремонтантного сорта земляники садовой, учеными было выявлено, что в условиях длинного дня, где световой период составлял 18 часов, к цветению перешло около 75% растений. Но при этом короткий день, продолжительность которого была 12 часов, стимулировал цветение у всех сортов земляники. Что интересно, почти все из исследованных сортов проявляли склонность к повторному плодоношению в условиях длинного дня. То есть подобный инструмент позволяет настраивать продукционный процесс растений под свои нужды. Ученые из Китая в своем эксперименте показали, что на этапе рассады интенсивность света более 270 мкмоль/м²/с не приводит к существенному увеличению продукционных показателей.

В ряде исследований авторы приходят к следующему выводу – смещение акцента в сторону синей области спектра способствует более ранней бутонизации ремонтантных сортов. Увеличение доли красного с 45% до 65%, по мнению ученых, работает в данном случае как ингибитор цветения. Также авторы рекомендуют применять светильники, у которых доля дальнего красного составляет не менее 15%. Это приведет к увеличению длины цветоносов, что упростит сбор урожая, особенно при механизированном способе уборки.

В конечном итоге количество и качество урожая будет характеризовать результативность подобранного спектра. Освещение с высокой долей синего 2:1 оказалось неэффективным для большинства неремонтантных сортов. При этом для ремонтантной земляники все было не так однозначно – увеличение синего спектра в световом потоке не приводило к существенной разнице между вариантами со светодиодным освещением.

Заключение. Применение способов и устройств импульсного регулирования излучения позволяет выявить влияние периода, амплитуды, продолжительности и фазового угла импульсов отдельных спектральных интервалов на продуктивность растений.

Применение устройств импульсного регулирования излучения в практике растениеводства позволяет задавать наиболее оптимальное сочетание параметров импульсного облучения растений, обеспечивающее наибольшее энергосбережение.

Анализ материалов показал, что необходимы дальнейшие исследования импульсного облучения с целью лучшего понимания механизмов его воздействия на растения.

Список источников

1. Анализ влияния импульсного светового воздействия на рост и развитие растений / А.А. Анашкин, А.А. Анашкин, Г.Г. Угаров [и др.] // Повышение

эффективной эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве: Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко, Саратов, 22 декабря 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 11-16.

2. Боос, Г.В. Светодиодная революция и новые возможности повышения эффективности светокультуры растений / Г.В. Боос, Л.Б. Прикупец, В.И. Трухачёв и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2022. – №5. – С. 36-41.

3. Пат. РФ №2326525. Светоимпульсный осветитель (варианты) и способ светоимпульсного освещения растений / Марков В.Н. – Заявка №2006117847/11. Оpubл. 20.06.2008

4. Прикупец, Л.Б. Оптимизация спектра излучения при выращивании овощей в условиях интенсивной светокультуры / Л.Б. Прикупец, А.А. Тихомиров // Светотехника. – 1992. – No 3. – С. 5-7.

5. Шахов, А.А. Теоретические аспекты преобразования световой энергии в импульсном режиме / В сб. Светоимпульсная стимуляция растений. Под. ред. Шахова А.А. – М.: Наука, 1971. – 368 с.

© Мерзлов С.П., Верзилин А.А., Шематулин А.И., 2025

Научная статья
УДК 621.311.4

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПОДСТАНЦИЙ. ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ

Артем Тахирович Насибуллин¹, Камила Ильшатовна Акбулатова²

^{1,2}Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

¹nasibullin.at@mail.ru

²a_ki_ra@mail.ru

Аннотация. Актуальность модернизации подстанций и их последующее оснащение интеллектуальными системами управления является ключевым фактором в развитии современной энергетической инфраструктуры. Это обусловлено критической необходимостью создания надежной и эффективной двусторонней связи между измерительными приборами, установленными на подстанциях, и центрами управления энергосистемой. В условиях постоянно растущих требований к качеству и надежности электроснабжения, такая связь становится неотъемлемым элементом успешного функционирования энергетического комплекса.

Ключевые слова: интеллектуальные сети, интеллектуальные подстанции, интеллектуальные системы управления, интеллектуальные системы диагностики, интеллектуальные устройства учета.

Для цитирования: Насибуллин, А.Т. Цифровизация подстанций. Применение интеллектуальных систем управления электроснабжением / А.Т. Насибуллин, К.И. Акбулатова // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

DIGITALIZATION OF SUBSTATIONS. APPLICATION OF INTELLIGENT POWER SUPPLY MANAGEMENT SYSTEMS

Artyom Takhirovich Nasibullin¹, Kamilla Ilshatovna Akbulatova²

^{1,2}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

¹nasibullin.at@mail.ru

²a_ki_ra@mail.ru

Annotation. The urgency of modernizing substations and their subsequent equipping with intelligent control systems is a key factor in the development of modern energy infrastructure. This is due to the critical need to create reliable and efficient two-way communication between measuring instruments installed at substations and power system control centers. With ever-increasing demands on the quality and reliability of electricity supply, such a connection is becoming an integral element of the successful operation of the energy complex.

Keywords: intelligent networks, intelligent substations, intelligent control systems, intelligent diagnostic systems, intelligent metering devices.

For citation: Nasibullin, A.T. Digitalization of substations. Application of intelligent power supply management systems / A.T. Nasibullin, K.I. Akbulatova // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Внедрение современных интеллектуальных систем управления позволяет не только осуществлять оперативный и непрерывный сбор данных о ключевых параметрах сети в режиме реального времени, включая важнейшие показатели качества электроэнергии и технического состояния оборудования, но и предоставляет расширенные возможности для удаленного управления всеми компонентами системы. Это имеет особое значение для оптимизации режимов работы, существенного повышения надежности энергоснабжения и максимального сокращения эксплуатационных издержек при обслуживании энергетической инфраструктуры.

Материалы и методы. Использование передовых средств мониторинга и комплексной диагностики технического состояния электроэнергетических сетей открывает беспрецедентные возможности для значительного повышения их эксплуатационной эффективности и надежности в долгосрочной перспективе. Особую роль в этом процессе играет внедрение современных измерительных

приборов, интеллектуальных устройств учета, многофункциональных систем защиты, автоматики, сигнализации и управления с интегрированным цифровым интерфейсом.

Эти системы, специально разработанные для эффективной работы в сетях переменного и постоянного тока с номинальным напряжением 6(10)-110 кВ и стандартной частотой 50/60 Гц, существенно расширяют возможности комплексного контроля. Они обеспечивают не только точную передачу всех необходимых параметров электрической сети в режиме реального времени, но и предоставляют детальную информацию о текущем состоянии самого оборудования, включая возможность прогнозирования его остаточного ресурса и планирования профилактических мероприятий.

Результаты исследования. Современные цифровые измерительные приборы реализуют высокоточное преобразование аналоговых значений тока и напряжения в цифровые сигналы с минимальными погрешностями измерений и высокой степенью достоверности получаемых данных. Важным аспектом является то, что передача этих цифровых данных осуществляется через защищенную локальную сеть LAN с использованием современных протоколов шифрования, полностью соответствующих международному стандарту МЭК 61850-9-2.

В сравнении с традиционными электромагнитными системами, современные цифровые трансформаторы демонстрируют значительные преимущества в области технических и эксплуатационных характеристик. Они обладают исключительной устойчивостью к различным феррорезонансным явлениям и электромагнитным помехам, обеспечивают высокоточные измерения во всем диапазоне рабочих параметров и гарантируют надежную передачу данных даже в критических аварийных ситуациях.

Практический опыт внедрения интеллектуальных систем диагностики демонстрирует существенное повышение эффективности в предотвращении потенциальных аварийных ситуаций. Однако, несмотря на достигнутые положительные результаты, современный уровень развития технологий требует дальнейшего совершенствования для обеспечения полного предотвращения аварийных ситуаций и оптимизации планово-предупредительных работ.

Заключение. В заключение следует отметить, что методы непрерывного диагностирования в режиме реального времени становятся все более значимыми для обеспечения надежной работы интеллектуальных подстанций нового поколения. При этом существующий недостаток практического опыта внедрения и эксплуатации комплексных цифровых систем мониторинга на большинстве подстанций указывает на необходимость проведения дальнейших исследований и разработок в данной области для обеспечения последовательного развития и совершенствования современных цифровых систем управления.

Список источников

1. Козлов, А.Н. Внедрение комбинированных цифровых трансформаторов тока и напряжения / А.Н. Козлов, И.А. Романенко // Вестник Амурского

государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2019. №85. URL:

2. Николаев, Н.А. Диагностирование технического состояния трансформаторного оборудования как основа энергетической безопасности промышленного предприятия / Н.А. Николаев, А.А. Николаев, Р.А. Леднов // Электротехнические системы и комплексы. – 2014. – № 4(25). – С. 34-40. – EDN TGUTHX.

3. Андреева, О.А. Анализ текущего состояния цифровизации электрических сетей и подстанций / О.А. Андреева, Л.Г. Мигунова // Universum: технические науки. – 2023. – № 11-6(116). – С. 19-21. – EDN OSVUKP.

© Насибуллин А.Т., Акбулатова К.И., 2025

Научная статья
УДК 621.182

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕХОДА С ПАРОВОЙ КОТЕЛЬНОЙ НА ВОДОГРЕЙНУЮ В ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Дмитрий Вячеславович Наумов¹

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹dmitriy.naumov.1997.2020@mail.ru

Аннотация. В данной статье представлен сравнительный анализ паровых, комбинированных и водогрейных котельных с точки зрения их эффективности, эксплуатационных характеристик и экологических показателей. Рассмотрены основные особенности каждой системы, включая их коэффициент полезного действия (КПД), применимость для различных нужд и затраты на обслуживание. Паровые котельные выделяются универсальностью в промышленных процессах, но имеют сравнительно низкий КПД и высокие эксплуатационные расходы. Комбинированные котельные обеспечивают гибкость использования тепловой энергии и повышенную эффективность, требуя при этом более сложного обслуживания. Водогрейные котлы демонстрируют максимальный КПД, простоту эксплуатации и соответствие экологическим стандартам, что делает их предпочтительным выбором для систем отопления и горячего водоснабжения. Сделан вывод о необходимости выбора системы в зависимости от специфических требований объекта с учётом экономической и экологической целесообразности.

Ключевые слова: паровые котельные, комбинированные котельные, блочно-модульные котельные, водогрейные котельные, энергетическая эффективность, КПД.

Для цитирования: Наумов, Д.В. Анализ эффективности перехода с паровой котельной на водогрейную в отопительных системах / Д.В. Наумов //

Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE TRANSITION FROM STEAM BOILER TO WATER HEATING IN HEATING SYSTEMS

Dmitry Vyacheslavovich Naumov¹

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹dmitriy.naumov.1997.2020@mail.ru

Annotation. This article presents a comparative analysis of steam, combined heat and power (CHP) and hot water boilers in terms of their efficiency, performance characteristics and environmental performance. The main features of each system are considered, including their efficiency, applicability for various needs and maintenance costs. Steam boilers are distinguished by their versatility in industrial processes, but have a relatively low efficiency and high operating costs. Combined heat and power (CHP) boilers provide flexibility in the use of thermal energy and increased efficiency, but require more complex maintenance. Hot water boilers demonstrate maximum efficiency, ease of operation and compliance with environmental standards, which makes them the preferred choice for heating and hot water supply systems. A conclusion is made about the need to select a system depending on the specific requirements of the facility, taking into account economic and environmental feasibility.

Keywords: steam boiler houses, combined boiler houses, block-modular boiler houses, hot water boiler houses, energy efficiency, efficiency coefficient.

For citation: Naumov, D.V. Analysis of the efficiency of the transition from steam boiler to water heating in heating systems / D.V. Naumov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. В современном мире энергетическая эффективность является одним из ключевых факторов, определяющих выбор технологий для отопления и горячего водоснабжения. Одним из актуальных направлений является замена паровых котельных на водогрейные, что связано с рядом экономических и экологических преимуществ. Настоящая работа посвящена анализу эффективности такого перехода, учитывая эксплуатационные и экономические параметры [1].

Материалы и методы. Сравнение эффективности между паровыми, комбинированными и водогрейными котельными является важным аспектом при выборе оптимального решения для систем теплоснабжения (рис.). Каждая из

этих систем имеет свои особенности, преимущества и недостатки, которые необходимо учитывать при анализе их применения [2].

Результаты исследований. Паровые котельные традиционно используются для производства насыщенного или перегретого пара, который применяется как для отопления, так и для технологических нужд. Основным преимуществом таких систем является их способность одновременно обеспечивать тепловую и паровую нагрузку, что делает их универсальными в промышленной сфере. Однако паровые котельные обладают относительно низким коэффициентом полезного действия (КПД), который обычно составляет 75-85%. Значительная часть энергии теряется в процессе генерации пара, его транспортировки и конденсации. Дополнительно эксплуатация паровых котельных требует высоких затрат на поддержание сложных систем высокого давления и безопасности, что увеличивает стоимость их обслуживания [3].

Комбинированные котельные представляют собой системы, способные одновременно генерировать пар и нагревать воду. Такие установки сочетают преимущества паровых и водогрейных котлов, обеспечивая гибкость в распределении тепловой энергии. Их эффективность зависит от способа организации процесса теплообмена и конфигурации оборудования. КПД комбинированных котельных может достигать 85-90%, что выше, чем у паровых систем, благодаря более рациональному использованию тепловой энергии. Однако их сложная конструкция и необходимость в точной настройке рабочих параметров могут увеличивать затраты на обслуживание и эксплуатацию [4].

Блочно-модульные котельные (БМК) являются современным решением для систем теплоснабжения, которое сочетает в себе высокую эффективность, мобильность и простоту эксплуатации. Эти установки представляют собой модульные конструкции, состоящие из готовых блоков, которые могут быть легко смонтированы на объекте, что значительно сокращает сроки и затраты на строительство. Основным преимуществом БМК является их высокая энергоэффективность. КПД таких котельных может достигать 92-98%, что обусловлено использованием современных технологий теплообмена и автоматизированных систем управления процессами. За счет этого достигается минимизация тепловых потерь и оптимизация потребления топлива. Применение инновационных горелочных устройств позволяет снизить выбросы вредных веществ в атмосферу, что делает БМК экологически безопасными.

Гибкость блочно-модульных котельных обеспечивает их адаптацию под различные нужды, включая отопление, горячее водоснабжение и даже технологическое пароснабжение. Возможность масштабирования системы за счет добавления новых модулей делает их особенно удобными для объектов с изменяющейся нагрузкой, таких как жилые комплексы, промышленные предприятия и социальные учреждения. Экономическая эффективность БМК связана не только с высоким КПД, но и с сокращением затрат на строительство и обслуживание. Модульная конструкция позволяет производить основную часть работ в заводских условиях, что уменьшает стоимость монтажа и исключает необходимость в сложных строительных работах на месте установки. Кроме того, автоматизация большинства процессов снижает потребность в

постоянном присутствии обслуживающего персонала. Однако блочно-модульные котельные имеют и некоторые ограничения. Например, они могут быть неэффективными для крупных промышленных объектов с очень высокой тепловой нагрузкой. Также стоимость первоначального оборудования может быть выше по сравнению с традиционными котельными, что требует тщательного анализа экономической целесообразности их внедрения. Таким образом, блочно-модульные котельные представляют собой эффективное и универсальное решение для теплоснабжения. Они обладают высоким уровнем энергоэффективности, экологической безопасности и гибкости, что делает их привлекательными для широкого спектра объектов. Внедрение таких систем способствует снижению эксплуатационных затрат и уменьшению негативного влияния на окружающую среду [5].

Водогрейные котельные предназначены исключительно для нагрева воды, что делает их наиболее эффективными для систем отопления и горячего водоснабжения. КПД водогрейных котлов часто превышает 90-95% благодаря минимальным потерям энергии и высокой степени теплопередачи. Простота конструкции и эксплуатации, а также низкие эксплуатационные расходы делают их предпочтительным выбором для объектов, не требующих подачи пара. Кроме того, такие системы обладают меньшими выбросами углекислого газа, что соответствует современным экологическим требованиям. Однако водогрейные котельные не могут использоваться в технологических процессах, где требуется пар, что ограничивает сферу их применения [6].

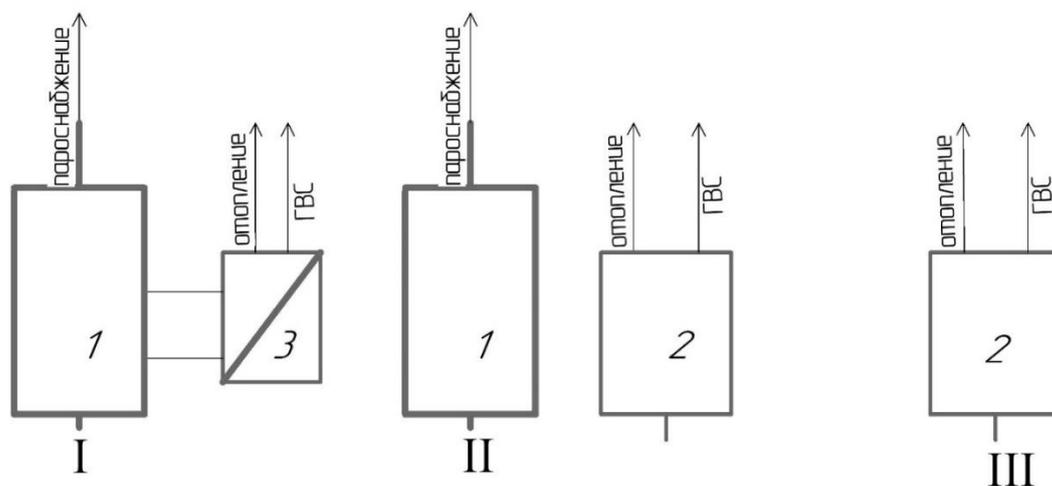


Рисунок – Виды котельных в отопительных системах:

I – паровая котельная; II – комбинированная котельная; III – водогрейная котельная;
1 – паровой котел; 2 – водогрейный котел; 3 – теплообменник

Заключение. Сравнительный анализ показывает, что выбор между паровыми, комбинированными, водогрейными и блочно-модульными котельными должен основываться на специфических требованиях объекта. Паровые котельные подходят для промышленных предприятий, где необходима подача пара. Комбинированные системы эффективны для объектов с комбинированной тепловой нагрузкой, водогрейные котельные являются лучшим вариантом для отопления и горячего водоснабжения, а блочно-модульные котельные обеспечивают универсальность, энергоэффективность и

экологическую безопасность. Внедрение энергоэффективных технологий и оптимизация эксплуатационных параметров позволяют значительно повысить общую эффективность любой из рассматриваемых систем, что делает их использование экономически и экологически обоснованным [7].

Список источников

1. Вишневский, А.И. Энергоэффективные технологии в теплоснабжении / А.И. Вишневский, Ю.П. Климов. – Москва: Энергоатомиздат, 2021. – 280 с.
2. Семенов, П.Н. Энергосбережение в котельных установках: российский и международный опыт / П.Н. Семенов. – Москва: Технополис, 2023. – 192 с.
3. Иванов, В.Н. Котельные установки и парогенераторы / В.Н. Иванов. – СПб.: Лань, 2020. – 320 с.
4. Климов, Е.П. Анализ эффективности использования комбинированных котельных / Е.П. Климов // Теплоэнергетика. – 2022. – № 3. – С. 98-104.
5. Иванов, В.Н. Блочно-модульные котельные: проектирование и эксплуатация / В.Н. Иванов. – Москва: Энергоиздат, 2023. – 320 с.
6. Грачёв, М.В. Перспективы внедрения водогрейных котельных в систему ЖКХ / М.В. Грачёв // Вестник строительных технологий. – 2023. – № 2. – С. 45-52.
7. Дроздов, А.В. Энергоэффективность и экология тепловых систем / А.В. Дроздов. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2023. – 230 с.

© Наумов Д.В., 2025

Научная статья

УДК [621.314.26+621.316.94+621.317.757]:621.311.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИРИСТОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА ФОРМУ НАПРЯЖЕНИЯ В ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ 10 кВ

Александр Аркадьевич Николаев¹, Михаил Викторович Буланов², Никита Романович Матушкин³, Владислав Дмитриевич Кудимов⁴
^{1,2,3,4}Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

Аннотация. В данной статье представлен анализ экспериментальных данных напряжения и тока внутризаводской сети 10 кВ, полученных при различных режимах электроснабжения и режимах работы главных электроприводов станов горячей прокатки одного из металлургических предприятий РФ. Данное исследование показывает возникновение в сети высших гармоник и их негативное влияние на качество электрической энергии при работе мощных тиристорных преобразователей в составе электроприводов постоянного тока.

Ключевые слова: тиристорные преобразователи, стан горячей прокатки, гармонический состав, коэффициент гармонических составляющих, режим электроснабжения, качество электрической энергии, частотная характеристика.

Для цитирования: Николаев А.А. Исследование влияния тиристорных электроприводов стана горячей прокатки на форму напряжения в питающей сети 10 кВ / А.А. Николаев, М.В. Буланов, Н.Р. Матушкин, В.Д. Кудимов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THYRISTOR ELECTRIC DRIVES OF A HOT ROLLING MILL ON THE VOLTAGE SHAPE IN A 10 kV SUPPLY NETWORK

Alexander Arkadevich Nikolaev¹, Mikhail Viktorovich Bulanov², Nikita Romanovich Matushkin³, Vladislav Dmitrievich Kudimov⁴

^{1,2,3,4}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Annotation. This article presents an analysis of experimental data on the voltage and current of a 10 kV plant network obtained under various power supply modes and operating modes of the main electric drives of a hot rolling mill at one of the metallurgical enterprises of the Russian Federation. This study shows the occurrence of higher harmonics in the network and their negative impact on the quality of electrical energy during the operation of powerful thyristor converters as part of DC electric drives.

Keywords: thyristor converters, hot rolling mills, harmonic composition, harmonic distortion factor, power supply mode, quality of electrical energy, frequency characteristics.

For citation: Nikolaev A.A. Study of the influence of thyristor electric drives of a hot rolling mill on the of voltage in a 10 kV supply network / Nikolaev A.A., Bulanov M.V., Matushkin N.R., Kudimov V.D. // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Характеристика объекта и задача исследования. Специалистами ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» в рамках работы НИОКР на одном из металлургических предприятий на станах горячей прокатки были проведены экспериментальные исследования по оценке качества электроэнергии сети 10 кВ района цеховой распределительной подстанции РП путём записи и последующего анализа мгновенных значений напряжений и токов питающих фидеров. Эксперимент был проведён при различных режимах электропитания при нагруженных двигателях станков и при их холостом ходе. При проведении измерений были использованы измерительные комплексы, имеющие

возможность длительной многоканальной записи мгновенных значений напряжений и токов с высокой частотой дискретизации 50 кГц и анализом гармонических составляющих напряжений и токов до 512-ой гармоники.

Материалы и методы. Двумя станами горячей прокатки, на которых проводился эксперимент, являются стан 2800 и стан 1750. Двухклетевой реверсивный стан 2800 имеет три приводных двигателя постоянного тока. Питание двигателей осуществляется с помощью двух электромашинных агрегатов, выполненных по системе Г-Д с синхронными двигателями. Шестиклетьевой непрерывный стан 1750 имеет 6 приводных двигателей постоянного тока, получающих питание от реверсивных тиристорных преобразователей большой мощности. Также для резервного питания используется дополнительный ТП, включаемый при необходимости на любой из приводных двигателей. Питание электромашинных агрегатов и всех ТП осуществляется от цеховой РП, имеющей 6 секций.

Задачей данного исследования является анализ качества электроэнергии 10 кВ внутризаводской сети. Исследования для анализа существующего гармонического состава напряжения в сети 10 кВ были проведены при трёх возможных вариантах питания секций РП и, соответственно, главных электроприводов станов. На основании результатов данных экспериментальных исследований были выявлены наиболее тяжелые режимы электроснабжения с точки зрения максимального уровня суммарного коэффициента гармонических искажений синусоидальности кривой напряжения K_U .

Результаты исследования: Анализ качества электроэнергии. Для каждого режима электроснабжения в ходе экспериментальных исследований получены архивы мгновенных значений напряжений и токов при работе электроприводов клеток станов 2800 и 1700 на холостом ходу и при работе электроприводов клеток под нагрузкой. На основании мгновенных значений напряжений и токов в математической среде Matlab – Simulink были рассчитаны значения мгновенного суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжений K_U с учетом высших гармонических составляющих до 100-ой гармоники.

На рис. 1 показаны графики изменения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения K_U на секции 5 ЗРУ-10 кВ РП, также показаны графики изменения скорости и тока приводных двигателей клеток стана 1700, скорости приводных двигателей стана 2800, тока сетевых синхронных двигателей. Добавление этих параметров позволяет определить влияние режимов работы главных электроприводов на гармонический состав напряжения. На графиках изменения мгновенного значения K_U показаны максимальные и минимальные значения $K_{U\min}$ и $K_{U\max}$, а также среднее значение $K_{U\text{уст.нагр.}}$ за период работы электроприводов под нагрузкой.

На рис. 2 и рис. 3 приведены графики мгновенных значений напряжений и токов, а также гистограммы гармоник в диапазоне от 1-ой (50 Гц) до 100-ой (5000 Гц) гармоники для 5 секции РП. Также выполнено выделение n -ых гармонических значимое воздействие на гармоническое искажение напряжения сети 10 кВ.

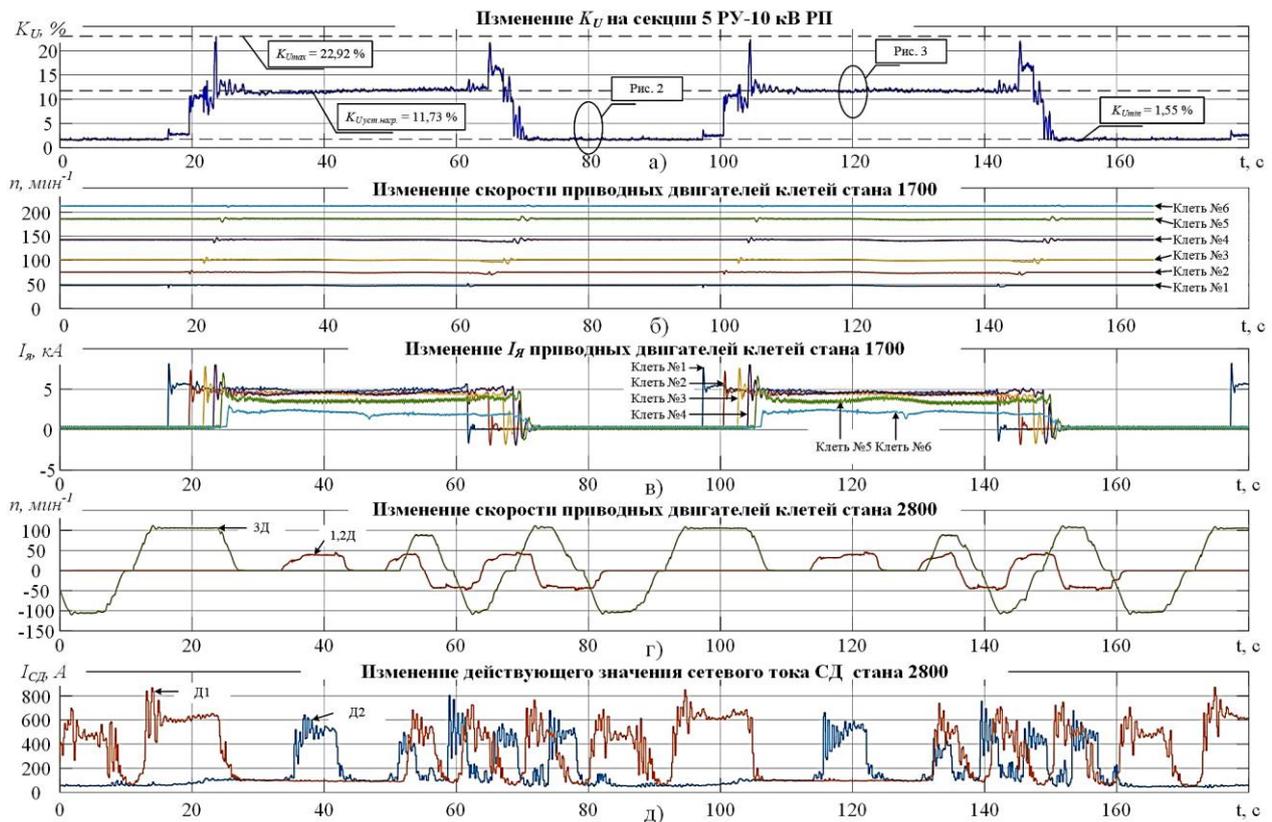


Рисунок 1 – Графики изменения K_U (а) на секции 5 РУ-10 кВ РП, а также графики изменения скорости (б) и тока (в) приводных двигателей стана 1700, скорости приводных двигателей стана 2800 (г) и сетевого тока (д) синхронных двигателей

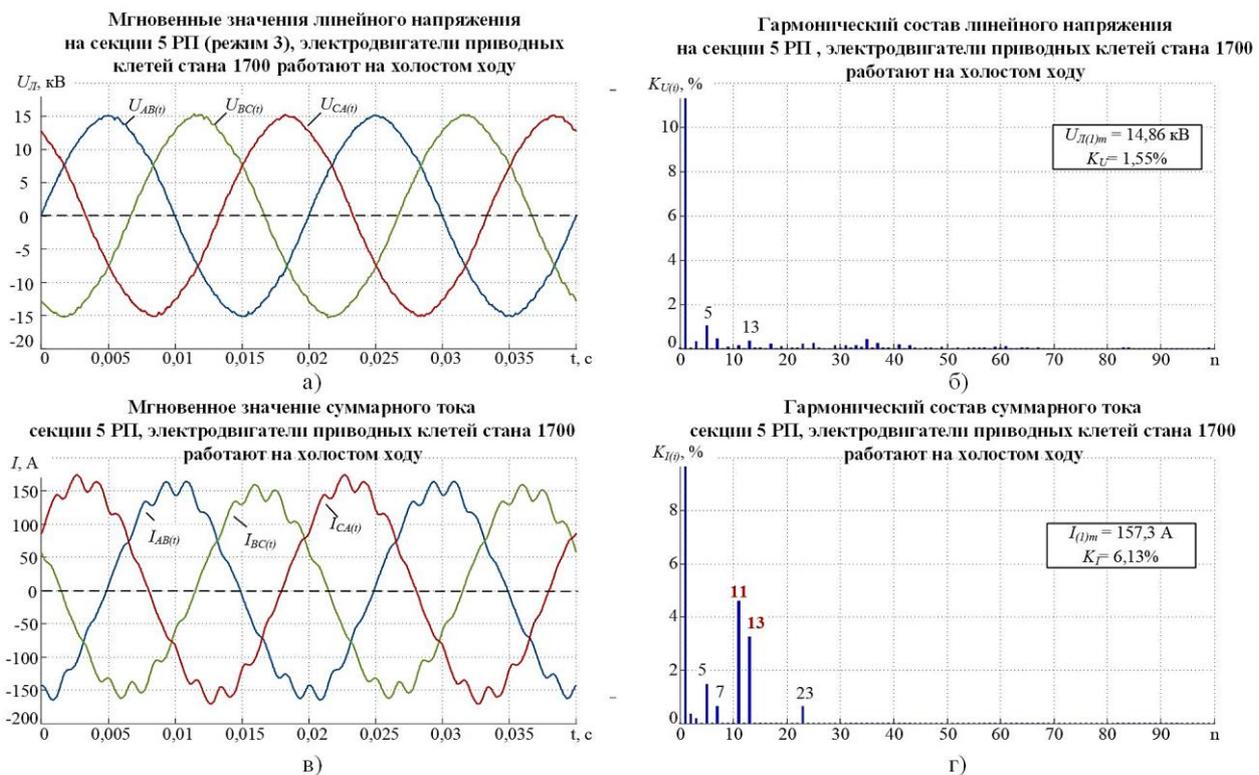


Рисунок 2 – Мгновенные значения линейного напряжения (а) и суммарных фазных токов (в) на секции 5 РП, а также их спектральный анализ (б, г) при работе двигателей клеток стана 1700 на холостом ходу (3 режим)

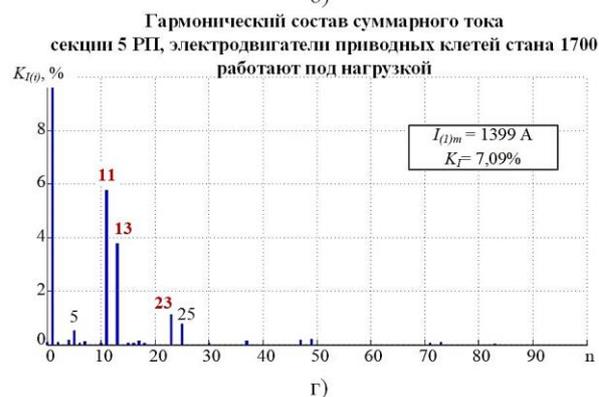
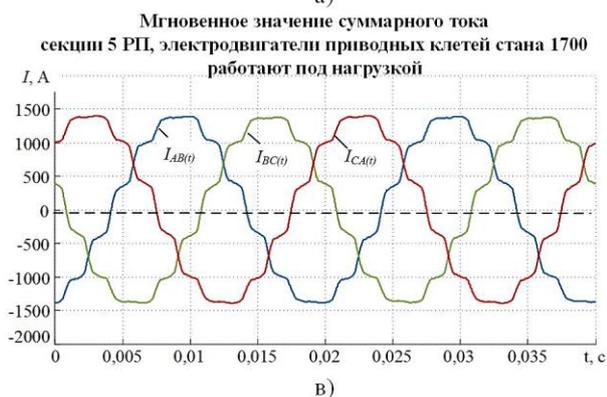
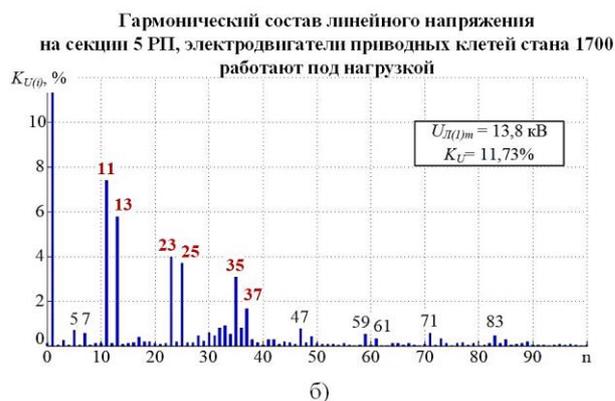
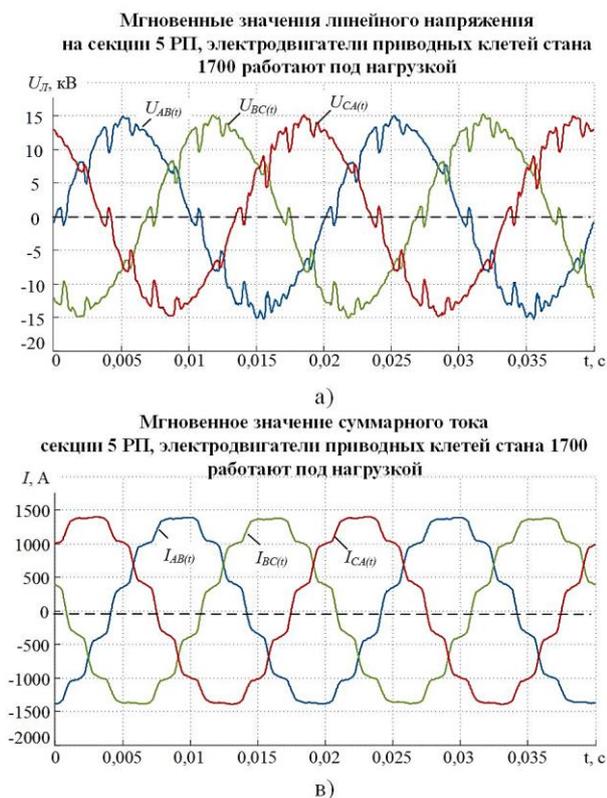


Рисунок 3 – Мгновенные значения линейного напряжения (а) и суммарных фазных токов (в) на секции 5 РП, а также их спектральный анализ (б, г) при работе двигателей клеток стана 1700 под нагрузкой (3 режим)

Сводный анализ значений K_U и K_I во всех точках измерения на РП-11 для трех режимов электроснабжения приведен в табл.

Таблица – Диапазоны изменения коэффициентов K_U и K_I сети 10 кВ

Номер секции	Режим электроснабжения №1		Режим электроснабжения №2		Режим электроснабжения №3	
	Под нагрузкой	Холостой ход	Под нагрузкой	Холостой ход	Под нагрузкой	Холостой ход
1 Секция	$K_{Umax} = 23,81\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 10,75\%$ $K_I = 4,73\%$	$K_{Umin} = 1,97\%$ $K_I = 4,29\%$	$K_{Umax} = 10,38\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 6,15\%$ $K_I = 4,46\%$	$K_{Umin} = 1,23\%$ $K_I = 9,71\%$	$K_{Umax} = 17,43\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 4,58\%$ $K_I = 3,54\%$	$K_{Umin} = 1,91\%$ $K_I = 5,02\%$
	$n_{U(i)max} = 11, 13, 23, 25, 47, 49, 59$		$n_{U(i)max} = 11, 13, 35, 37$		$n_{U(i)max} = 11, 13, 35, 37$	
2 Секция	$K_{Umax} = 9,33\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 3,66\%$ $K_I = 6,29\%$	$K_{Umin} = 0,82\%$ $K_I = 1,08\%$	$K_{Umax} = 9,87\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 6,13\%$ $K_I = 6,20\%$	$K_{Umin} = 1,37\%$ $K_I = 10,49\%$	$K_{Umax} = 8,50\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 8,24\%$ $K_I = 3,66\%$	$K_{Umin} = 1,37\%$ $K_I = 8,41\%$
	$n_{U(i)max} = 11, 13, 23$		$n_{U(i)max} = 11, 13, 23, 25, 35, 37, 47$		$n_{U(i)max} = 11, 13, 23, 25, 35, 37$	
4 Секция	$K_{Umax} = 11,66\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 5,19\%$ $K_I = 4,10\%$	$K_{Umin} = 0,96\%$ $K_I = 1,96\%$	$K_{Umax} = 4,8\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 3,01\%$ $K_I = 19,6\%$	$K_{Umin} = 1,08\%$ $K_I = 11,22\%$	$K_{Umax} = 6,40\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 3,24\%$ $K_I = 3,92\%$	$K_{Umin} = 1,64\%$ $K_I = 12,91\%$
	$n_{U(i)max} = 11, 13, 25$		$n_{U(i)max} = 11, 13, 25$		$n_{U(i)max} = 11, 13$	
5 Секция	$K_{Umax} = 15,70\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 14,48\%$ $K_I = 6,01\%$	$K_{Umin} = 1,68\%$ $K_I = 2,78\%$	$K_{Umax} = 19,30\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 14,77\%$ $K_I = 6,42\%$	$K_{Umin} = 1,67\%$ $K_I = 5,98\%$	$K_{Umax} = 22,92\%$ $K_{U_{уст.нагр.}} = 11,73\%$ $K_I = 7,09\%$	$K_{Umin} = 1,55\%$ $K_I = 6,13$
	$n_{U(i)max} = 11, 13, 25$		$n_{U(i)max} = 11, 13, 23, 25, 35, 37$		$n_{U(i)max} = 11, 13, 23, 25, 35, 37$	

Из рис. 1-3 видно, что основное влияние на искажение напряжения на секциях РП оказывают тиристорные преобразователи в составе главных

электроприводов стана 1700. Работа электроприводов клеток 1,2 стана 2800 с питанием от электромашинных агрегатов выполненных по системе Г-Д, оказывает незначительное влияние на гармонический состав токов.

В процессе проведения исследований был также проведен анализ частотной характеристики сети 10 кВ. На рис. 4 представлены частотные характеристики РП. Анализ частотных характеристик позволит выявить наличие параллельных резонансов в определенных частотных диапазонах характеристик $Z_{\text{сети}}(f)$ и сделать выводы об их влиянии на качество напряжения на секциях ЗРУ-10 кВ РП.

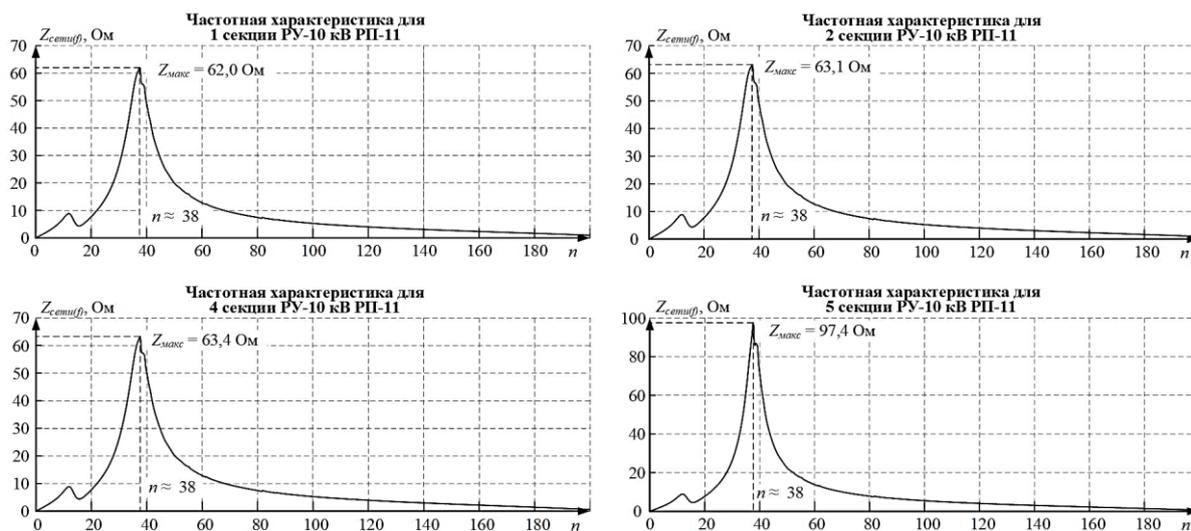


Рисунок 4 – Частотные характеристики сети для секций РУ-10 РП для 3 режима

Заключение. Для всех анализируемых режимов электроснабжения уровни отклонений напряжений на секциях РП-11 в ряде случаев превышают 10%, что негативным образом влияет на устойчивость работы силовых преобразователей.

Максимальный уровень гармонических составляющих напряжения 10 кВ имеет место на секции 5. Значимые гармоники: 11-ая, 13-ая, 23-я, 25-ая, 35-ая и 37-ая. Последние 4 гармоники усиливаются из-за резонанса тока в частотной характеристике сети.

Характер частотной характеристики сети 10 кВ следующий: основная область подъема импеданса сети расположена в диапазоне частот от 1250 Гц ($n = 25$) до 2350 Гц ($n = 47$), с максимумом около 1900 Гц ($n = 38$). Во всех случаях режимов электроснабжения амплитуды резонансов примерно одинаковые и составляют от 55 до 100 Ом. Данные экспериментальные исследования доказывают негативное влияние формы частотной характеристики сети на качество электрической энергии при работе мощных тиристорных преобразователей в составе электроприводов постоянного тока.

Список источников

1. Исследование резонансных явлений во внутриводской распределительной сети с мощными электроприводами постоянного тока / М.В. Буланов, И.Г. Гилемов, М.Ю. Афанасьев [и др.] // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Тезисы докладов 82-й

международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 22-26 апреля 2024 года. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2024. – С. 26.

2. Гилемов, И.Г. Исследование влияния режимов работы электроприводов стана горячей прокатки 1750 ЗАО «ММК Metalurji» на качество электроэнергии во внутривозвратной сети / И.Г. Гилемов, М.В. Буланов, М.С. Светлаков // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Тезисы докладов 81-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 17-21 апреля 2023 года. Том 1. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2023. – С. 290.

3. Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электроприводов четырехклетьевого стана ППП XII ЧерМК ПАО "Северсталь" с питающей сетью 10 кВ / А.А. Николаев, И.Г. Гилемов, М.В. Буланов [и др.] // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2021. – Т. 12, № 1. – С. 65-74.

4. Шевырев, Ю.В. Повышение качества электрической энергии в сетях с полупроводниковыми преобразователями / Ю.В. Шевырев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S4. – С. 234-241.

© Николаев А.А., Буланов М.В., Матушкин Н.Р., Кудимов В.Д., 2025

Научная статья

УДК 622.276.575.1/4

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОДОГРЕВА НЕФТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ПО ТРУБОПРОВОДАМ

Алёна Валерьевна Овчинникова¹, Иван Николаевич Попов²

^{1,2}Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

Аннотация. Подогрева нефти являются одной из задач в повышении эффективности трубопроводного транспорта. Данная статья посвящена анализу различных методов подогрева нефти, применяемых при транспортировке по трубопроводам, включая печной подогрев прямым нагревом, через промежуточный теплоноситель, а также подогрев с помощью скоростных подогревателей. В статье анализируются принципы реализации каждого способа подогрева, их преимущества и недостатки. В результате проведенного анализа выделены наиболее перспективные методы подогрева нефти для различных условий транспортировки.

Ключевые слова: подогрев нефти, транспортировка нефти, трубопроводы, методы подогрева, энергоэффективность, эксплуатационные расходы, печи подогрева, скоростные подогреватели.

Для цитирования: Овчинникова, А.В. Анализ способов подогрева нефти при транспортировке по трубопроводам / А.В. Овчинникова, И.Н. Попов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF OIL HEATING METHODS FOR PIPELINE TRANSPORTATION

Alyona Valeryevna Ovchinnikova¹, Ivan Nikolaevich Popov¹

¹Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

Annotation. Oil heating is one of the tasks in improving the efficiency of pipeline transport. This article is devoted to the analysis of various oil heating methods used for transportation through pipelines, including furnace heating by direct heating, through an intermediate coolant, as well as heating using high-speed heaters. The article analyzes the principles of implementation of each heating method, their advantages and disadvantages. As a result of the analysis, the most promising methods of oil heating for various transportation conditions have been identified.

Keywords: oil heating, oil transportation, pipelines, heating methods, energy efficiency, operating costs, heating furnaces, high-speed heaters.

For citation: Ovchinnikova, A.V. Analysis of oil heating methods for pipeline transportation / A.V. Ovchinnikova, I.N. Popov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Большие объемы добычи и экспорта нефти в России определяют необходимость обеспечивать экологически чистый и пожаробезопасный подогрев этого ключевого энергоносителя. Учитывая географические и климатические особенности, включая низкие температуры в различных регионах страны, разработка и внедрение адаптированных решений для подогрева нефти является важной задачей [1].

Материалы и методы. Подогрев нефти, неотъемлемый этап многих нефтегазовых процессов, сопряжен с рядом проблем, сложностей и экологических рисков, обусловленных как характеристиками самой нефти, так и технологическими аспектами.

Загрязнение и отложения на теплообменных поверхностях, вызванные содержащимися в нефти примесями, такими как парафины, смолы, соли и асфальтены, снижают эффективность теплообмена, увеличивают энергозатраты и могут привести к перегреву оборудования. Коррозия, вызванная агрессивными веществами в нефти и теплоносителях, приводит к утечкам и снижению прочности оборудования. Неравномерность нагрева, связанная с неправильной

циркуляцией или неэффективностью конструкции подогревателя, может вызвать термическое разложение нефти и образование отложений. Перегрев нефти, возникающий из-за неисправностей системы управления, также ведет к образованию кокса. Высокая вязкость некоторых видов нефти затрудняет их перекачивание и нагрев. Отказы оборудования, гидравлические удары и сложность регулирования температуры являются дополнительными техническими трудностями.

Экологические риски включают выбросы парниковых газов от сжигания топлива в печах, выбросы загрязняющих веществ, утечки нефти и теплоносителей, загрязнение воды. Причины возникновения этих проблем и рисков разнообразны, включая неправильный выбор оборудования, некачественные материалы, ошибки в эксплуатации, недостаточный контроль, низкую квалификацию персонала и человеческий фактор.

Для предотвращения этих негативных последствий необходимы комплексные меры, такие как правильный выбор оборудования и материалов, оптимизация параметров нагрева, регулярное техническое обслуживание, автоматизация управления, обучение персонала, применение технологий очистки нефти, использование энергоэффективных решений и постоянный мониторинг состояния окружающей среды [1].

Результаты исследования. Одним из более распространенных способов перекачки высоковязких и высокозастывающих нефтей и нефтепродуктов является так называемая горячая перекачка, предусматривающая периодический нагрев жидкости по мере ее остывания в трубопроводе. Для этого используются специальные печи тепловых станций, устанавливаемые на трассе приблизительно через каждые 100 км, позволяя обеспечивать необходимый нагрев нефти, что значительно облегчает ее транспортировку по трубопроводам, особенно при низких температурах. Нагрев также предотвращает образование гидратов и парафиновых отложений, способных вызвать закупорку и поломку оборудования. В качестве топлива как правило используют перекачиваемую нефть [2].

Такие печи подогрева нефти имеют как достоинства, так и недостатки, которые необходимо учитывать при их эксплуатации. К достоинствам можно отнести способность печи достигать высоких температур, требуемых для некоторых технологических процессов, и возможность их адаптации к разным объемам перекачиваемой нефти. Их способность работать на различных видах топлива, включая природный газ, мазут и дизельное топливо, обеспечивает гибкость в выборе энергетических ресурсов. Тем не менее, печи подогрева нефти имеют и существенные недостатки. Основным недостатком является то, что в печах прямого нагрева имеет место локальный перегрев нефти в пристенном слое с образованием агрессивных сред и, как следствие, быстрая коррозия магистральных трубопроводов. Кроме того, печи являются источниками выбросов загрязняющих веществ. Печи также характеризуются большими габаритами и требуют значительных площадей для установки, а также сложной инфраструктуры для подачи топлива и отвода продуктов сгорания. Они нуждаются в регулярном и трудоемком техническом обслуживании,

включающем проверку футеровки, горелок и дымоходов, что также увеличивает эксплуатационные расходы. Наличие открытого пламени в печах повышает риск возгорания и требует соблюдения строгих мер безопасности [3].

Различают два основных типа таких печей, различающихся способом передачи тепла: печи прямого нагрева и печи с промежуточным теплоносителем внутри (рис. 1).

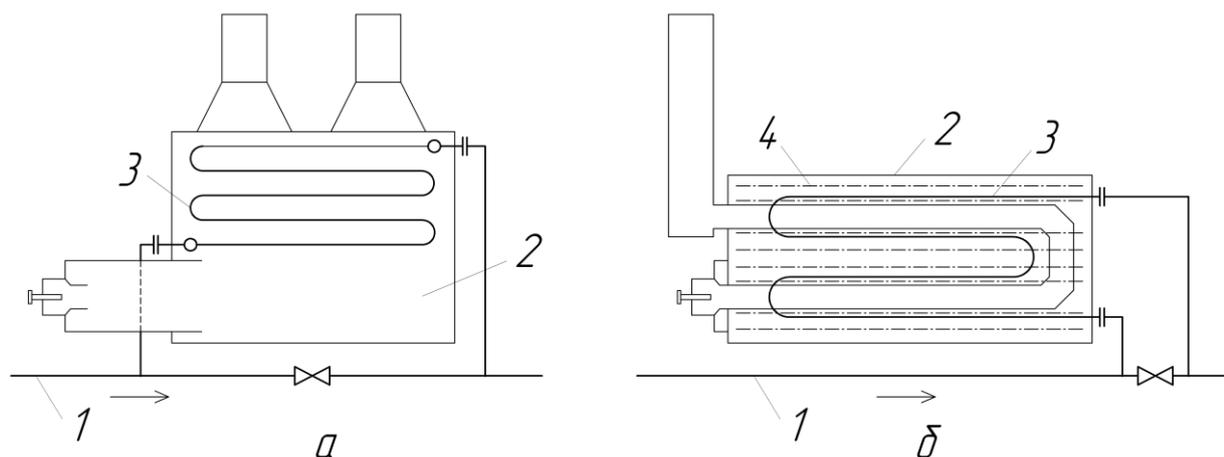


Рисунок 1 – Схема печи подогрева нефти: а) прямого нагрева; б) с промежуточным теплоносителем; 1 – нефтепровод; 2 – нагревательная печь; 3 – продуктовые теплообменные трубы (змеевик); 4 – промежуточный теплоноситель

В печах прямого нагрева тепло от сгорания топлива передается непосредственно на змеевики с нефтью, расположенные внутри камеры сгорания. Горячие газы омывают трубы змеевика, обеспечивая нагрев нефти путем конвекции и излучения. В отличие от них, печи с теплоносителем внутри используют промежуточный теплоноситель, такой как термальное масло или горячая вода. Топливо сгорает в отдельной камере, производя нагрев промежуточного теплоносителя, в который помещены продуктовые теплообменные трубы, передающие тепло нефти. Этот метод обеспечивает более равномерный нагрев, меньший риск перегрева и повышенную эффективность использования тепла за счет циркуляции промежуточного теплоносителя в замкнутом контуре [2].

Скоростной подогреватель нефти более современное решение подогрева нефти в различных технологических процессах, для замены менее эффективных и более громоздких печей. Спектр задач скоростного подогревателя в сфере топливно-энергетического комплекса широк, но в целом можно сказать, что установка агрегата позволяет повысить производительность при перекачке и транспортировке нефти и нефтепродуктов. При этом скоростные подогреватели могут встраиваться в магистральные трубопроводы, не требуя вывода нефти для подогрева в отдельную установку и обеспечивает бесперебойную работу технологических линий [4].

С помощью скоростного подогревателя может производиться локальный нагрев нефти на участках магистральных трубопроводов при транспортировке на большие расстояния, а также при перекачке в пункты учёта и сдачи нефти.

Оборудование может применяться в целях локального нагрева нефтяного и природного газа, подаваемого в газотурбинные установки, котельные и т.п. [5].

В скоростных подогревателях нагревается весь поток нефти, но при этом сразу до рабочей температуры (не перегревая). Это позволяет повысить эффективность транспортировки. Скоростные подогреватели позволяют быстро нагревать нефть до требуемой температуры, снижая время простоя оборудования и затраты энергии. Современные подогреватели характеризуются высокой эффективностью теплообмена, что также способствует экономии энергии [6].

С помощью скоростных подогревателей возможно решить такую проблему, как разогрев замерзшего потока нефти. Вне зависимости от типа подогревателя, разогрев замерзшего потока нефти требует постепенного и контролируемого подхода, а не резкого нагрева. Резкий нагрев может привести к резкому расширению льда, парафиновых отложений или самой нефти, что, в свою очередь, может повредить трубопровод, фитинги или оборудование.

Существуют два основных вида скоростных подогревателей нефти:

1. *Паровые и жидкостные скоростные теплообменники.* Это один из самых распространенных типов скоростных подогревателей, представляющий собой цилиндрический корпус (кожух), внутри которого размещен пучок труб. Теплоноситель (обычно пар, горячая вода или термальное масло) циркулирует внутри труб, а нефть течет в межтрубном пространстве, омывая трубы и нагреваясь. Наибольшее применение имеет водяной пар, обладающий высоким теплосодержанием и теплоотдачей, легко транспортируемый и не представляющий пожарной опасности. Обычно используют насыщенный пар давлением 0,3-0,4 МПа, обеспечивая нагрев нефтепродукта до 80-100°C. Горячую воду применяют в тех случаях, когда ее имеется большое количество, так как теплосодержание воды в 5-6 раз меньше теплосодержания насыщенного пара. Термальные масла в качестве теплоносителей также применяют редко, в случаях, когда требуется разогреть тугоплавкие нефтепродукты теплоносителем с высокой температурой вспышки, для которых невозможен разогрев горячей водой и паром.

2. *Электрические скоростные подогреватели нефти.* Эти устройства, предназначенные для быстрого нагрева нефти с использованием электрической энергии в качестве источника тепла. Нагрев осуществляется за счет преобразования электрической энергии в тепловую с помощью нагревательных элементов (ТЭНов) или других резистивных нагревателей. Основными преимуществами таких подогревателей являются простота монтажа и эксплуатации и возможность точного регулирования температуры с помощью автоматизированных систем. Также у них снижен риск утечек и коррозии по сравнению с паровыми системами. Недостатки состоят в высокой стоимости электроэнергии, ограниченной мощности и в зависимости работы подогревателя от наличия стабильного электроснабжения (рис. 2).

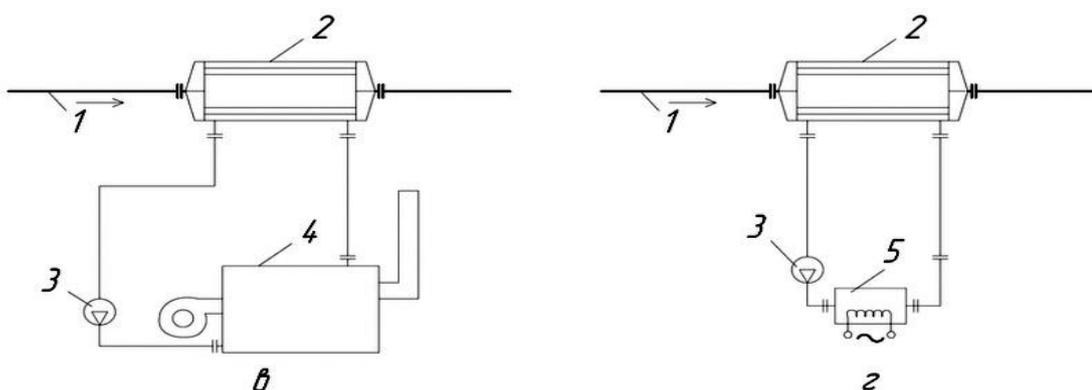


Рисунок 2 – Схема скоростного подогревателя нефти: в) скоростной теплообменник с котлом; г) скоростной теплообменник с электронагревателем; 1 – нефтепровод; 2 – скоростной подогреватель нефти; 3 – циркуляционный насос; 4 – котёл для нагрева промежуточного теплоносителя; 5 – электрический нагреватель

В результате сравнения двух типов оборудования можно выделить ряд существенных преимуществ скоростных подогревателей нефти перед печами:

- Скорость нагрева. Скоростные подогреватели обеспечивают значительно более высокую скорость нагрева нефти по сравнению с печами. Они позволяют оперативно достигать заданной температуры, что особенно важно в процессах, где время нагрева играет критическую роль.

- Эффективность теплообмена. Конструкция скоростных подогревателей, использующая развитую поверхность теплообмена, способствует более эффективной передаче тепла от теплоносителя к нефти. В печах значительная часть тепла теряется в окружающую среду, что снижает их общую эффективность [6].

- Компактность конструкции. Скоростные подогреватели имеют меньшие размеры и вес, что обеспечивает возможность встраивать установки в различные потоки. В сочетании с узлом электрического нагрева установка становится наиболее компактной, а благодаря разнесенной конструкции обладает пожаро- и взрывобезопасностью. Печи, напротив, являются стационарным оборудованием, требующим значительного пространства.

- Точность управления температурой. Скоростные подогреватели, особенно электрические, позволяют с высокой точностью регулировать температуру нагрева, что критически важно для многих технологических процессов. Управление температурой в печах является более инерционным и менее точным.

- Простота эксплуатации и обслуживания. Конструкция скоростных подогревателей, как правило, более проста, что облегчает их обслуживание и снижает затраты на ремонт. Печи требуют более сложного и частого технического обслуживания.

- Экологичность и безопасность. Электрические скоростные подогреватели не производят выбросов в атмосферу, что делает их более экологически чистым решением, по сравнению с печами прямого нагрева, работающими на нефти. Благодаря разнесенной конструкции как паровые и так электрические скоростные подогреватели обладают пожаро- и взрывобезопасностью.

Заключение. Скоростные подогреватели нефти обладают рядом значительных преимуществ, которые делают их предпочтительным выбором для многих современных технологических процессов нефтегазовой промышленности. В то же время печи все еще могут быть применимы при подогреве у устьев скважин и на установках подготовки нефти, при перевозке нефти в железнодорожных цистернах и танкерах, на установках подготовки нефти на нефтедобывающих предприятиях.

Список источников

1. Заливин, Е.И. Системы подогрева нефти при трубопроводной транспортировке: обзор технологий / Е.И. Заливин, А.В. Котов // Нефтегазовое дело. – 2020. – №2. – С. 35-42.
2. Кияшко, П.А. Конструктивные особенности печей для подогрева нефти / П.А. Кияшко // Промышленное строительство и инженерные сооружения. – 2021. – № 5. – С. 42-49.
3. Котов, А.В. Современные методы управления печами подогрева нефти / А.В. Котов, С.В. Петров // Нефтяное хозяйство. – 2018. – №1. – С. 55-62.
4. Иванов, А.А. Исследование влияния температуры нефти на эффективность транспортировки [Электронный ресурс] / А.А. Иванов // Электронный журнал "Нефтегазовые технологии". – 2021. – URL: <https://www.neftegaztech.ru/archive/2021/1>.
5. Баранов, А.В. Скоростные подогреватели нефти: конструкции и особенности / А.В. Баранов // Нефтепромысловое дело. – 2019. – № 2. – С. 30-35.
6. Смирнов, А.П. Энергоэффективность скоростных подогревателей при транспортировке высоковязкой нефти / А.П. Смирнов // Сборник научных трудов «Транспорт и хранение нефти». – 2018. – С. 110-116.

© Овчинникова А.В., Попов И.Н., 2025

Научная статья
УДК 621.314

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Виталий Александрович Олейник¹, Артем Тахирович Насибуллин²

^{1,2}Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

¹olviale@mail.ru

²nasibullin.at@mail.ru

Аннотация. Тепловизионный контроль обслуживающий персонал выполняет тепловизором либо пирометром, на данный момент появилось решение способное контролировать до 36 точек нагрева, с помощью датчиков температуры и контролера.

Ключевые слова: датчик температуры, изоляция, контактные соединения.

Для цитирования: Олейник, В.А. Контроль температуры контактных соединений / В.А. Олейник, А.Т. Насибуллин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

TEMPERATURE CONTROL OF CONTACT JOINTS

Vitaly Aleksandrovich Oleynik¹, Artyom Takhirovich Nasibullin²

^{1,2}Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

¹olviale@mail.ru

²nasibullin.at@mail.ru

Annotation. The service personnel performs thermal imaging with a thermal imager or pyrometer, at the moment there is a solution capable of monitoring up to 36 heating points using temperature sensors and a controller.

Keywords: temperature sensor, insulation, contact connections.

For citation: Oleynik, V.A. Temperature control of contact joints / V.A. Oleynik, A.T. Nasibullin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Согласно РД 153-34.0-20.363-99 тепловизионный контроль оборудования выполняют на:

- ПС 110÷220 кВ, при суммарной нагрузке силовых трансформаторов менее 50% от номинальной – 1 раз в 2 года;
- ПС 35 кВ, при суммарной нагрузке силовых трансформаторов более 50% от номинальной – 1 раз в 2 года;
- ПС 35 кВ, при суммарной нагрузке силовых трансформаторов менее 50% от номинальной – 1 раз в 3 года.

Материалы и методы. На данный момент на производствах уменьшается количество обслуживающего персонала и перегрев контактных соединений по факту будет замечен только по оплавленной изоляции и запаху, если тепловизионный контроль будет автоматизирован, то выход из строя оборудования будет минимизирован.

Результаты исследования. Датчики температуры STS 1011 и 1002 компании «ВольтКонтроль» предназначены для оперативного мониторинга температуры и обнаружения чрезмерного нагрева элементов распределительных устройств, а также для сигнализации о перегреве контактных соединений под напряжением, разница датчиков STS 1011 и 1002 в габаритах, 1002 в 1,5 раза меньше.

Датчики температуры выполнены в пластиковом корпусе, содержащем сквозное отверстие для пропуска ферромагнитной ленты-сердечника и контрольного хомута. Дно корпуса выполнено из алюминиевой пластины, которая является полной термочувствительной площадкой. Устройство устанавливается непосредственно на токоведущую часть и осуществляет контактное измерение температуры в установленном месте. Результаты измерений передаются в цифровом формате по радиоканалу. Питание датчика осуществляется за счет энергии внешнего магнитного поля, создаваемого вокруг токоведущей части при протекании переменного электрического тока. Для надежной работы датчика необходимо минимальное значение силы тока, которое зависит от размеров (ширины) токоведущей части.



Рисунок – Датчики температуры STS 1011

Для приема результатов измерений по радиоканалу используется контроллер STC 1010, он предназначен для сбора данных с датчиков STS 1011 и сигнализации о перегреве с помощью сухих контактов реле, светодиодной индикации и информации на дисплее, а также для передачи данных по интерфейсу RS-485 на высший уровень.

Контроллер выполнен в металлическом корпусе с кронштейном для установки на DIN-рейку на задней стороне. На верхней и нижней боковых стенках расположены разъемы для подключения цепей внешнего оперативного питания, интерфейса RS-485, исполнительных устройств, а также разъем для внешней антенны. На лицевой панели находятся элементы индикации и управления: светодиоды, жидкокристаллический дисплей и клавиатура. Также на лицевой стороне корпуса имеется гайка для подключения цепи заземления. Заключение. Таким образом, применение датчики температуры для оперативного мониторинга температуры и обнаружения чрезмерного нагрева элементов распределительных устройств позволит автоматизировать тепловизионный контроль и сократить выход оборудования из строя.

Список источников

1. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ / РД 153-34.0-20.363-99
2. <https://voltkontrol.ru/catalog/product/sts1011>

ПРОЕКТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТ ЭНЕРГО-ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ТЕПЛИЦ

Никита Евгеньевич Панин^{1,2}

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

²Центральное производственное отделение филиала ПАО «Россети Волга», г. Саратов, Россия

Аннотация. Теплицы создают максимально комфортные условия для выращивания различных культур, и такой фактор как сезонность не влияет на их выращивание. Поэтому необходимо совершенствовать электроснабжение в агропромышленном производстве, рационально использовать возобновляемые природные ресурсы и улучшать технологию их использования.

Ключевые слова: электроснабжение теплиц, возобновляемая энергия, солнечная энергия.

Для цитирования: Панин, Н.Е. Проект электроснабжения от энерго-возобновляемых теплиц / Н.Е. Панин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ELECTRICITY SUPPLY PROJECT FROM ENERGY-RENEWABLE GREENHOUSES

Nikita Evgenievich Panin^{1,2}

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²Central production department of the branch of PJSC Rosseti Volga, Saratov, Russia

Annotation. Greenhouses create the most comfortable conditions for growing various crops, and such a factor as seasonality does not affect their cultivation. Therefore, it is necessary to improve the power supply in agro-industrial production, make rational use of renewable natural resources and improve the technology of their use.

Keywords: greenhouse power supply, renewable energy, solar energy.

For citation: Panin, N.E. The Project of electricity supply from energy-renewable greenhouses / N.E. Panin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Человечество потребляет огромное количество электроэнергии, часть которого идет на снабжение сельского хозяйства. Происходит сжигание миллиардов тонн топлива, что оказывает пагубное влияние на экологию. Использование возобновляемых источников энергии позволит сохранить запасы полезных ископаемых, а также повлиять на экономическую сторону аграрной промышленности.

Агропромышленный комплекс (АПК) представляет собой совокупность отраслей экономики, направленных на производство и переработку сельскохозяйственного сырья, получения из него продукции, доводимой до конечного потребителя. Это комплекс взаимосвязанных отраслей экономики страны, включающая сельское хозяйство и все виды промышленности, тесно связанные с сельскохозяйственным производством, осуществляющие транспортировку, хранение, переработку сельскохозяйственной продукции, реализацию конечному потребителю, а также обеспечивающие сельское хозяйство техникой, химикатами и удобрениями, обслуживающие сельскохозяйственное производство.

Материалы и методы. Отдельной отраслью, обеспечивающей работоспособность всей системы АПК в целом, можно выделить энергетику, благодаря внедрению всех отраслей которой в кратчайшие сроки были повышена производительность агропромышленного комплекса. Высокая насыщенность сельского хозяйства элементами электрификации, освещения, отопления и прочего технического оснащения привела к возникновению ряда проблем, решение которых позволит снизить издержки и повысить конкурентоспособность продукции. Помимо износа оборудования, энергетика в сельском хозяйстве столкнулась с зависимостью от энергоносителей, их дефицитом, а также с неизменным ростом цен, что сказывается на стоимости производства. При этом в отрасли защищенного грунта, ввиду специфики, преобладает высокая энергоемкость перед низкой энергоэффективностью. В сложившихся условиях крайне необходимо широко использовать берегающие технологии и инноваций при строительстве тепличных комплексов и выращивании овощной продукции, а также использовать пути для снижения затрат на энергоносители.

Возобновляемая энергия – это энергия, получаемая из природных источников, которые пополняются со скоростью, превышающей скорость ее потребления. Возобновляемые источники могут обеспечить огромное количество энергии и окружают нас повсюду.

К возобновляемым источникам энергии относятся: энергия солнца, ветра, биомассы, естественного движения водных потоков, тепла земли и других источников, не относящихся к невозобновляемым. Специфическим видом возобновляемых источников, имеющим сельскохозяйственное происхождение, является биомасса, к которой могут быть отнесены отходы животноводства и птицеводства, отходы растениеводства, специально выращиваемые высокоурожайные растения. В качестве энергоносителей может использоваться либо биогаз, получаемый на основе анаэробного сбраживания, либо биомасса в непосредственном виде (древесина, солома и др.), используемая для

производства энергии путем сжигания. Однако существует мнение, что нерегулярность поступления энергии от этих источников и ее низкая плотность создают значительные трудности в их применении. Практически это проявляется в высокой стоимости производимой электроэнергии и низкой надежности ее поставки потребителю. Устранить эти препятствия путем совершенствования преобразователей возобновляемых источников энергии не удастся, так как это сопровождается таким ростом их стоимости, что проблема экономичности автономных солнечных электростанций еще более обостряется.

Возобновляемые источники энергии имеются везде, бесплатны и неисчерпаемы, безопасны в эксплуатации и экологически чисты, для малой энергетики очень экономичны. В то же время потоки энергии имеют низкий потенциал, не постоянны по величине и времени, оборудование для их использования достаточно дорогое. Этих недостатков можно избежать, если аккумулировать энергию или использовать разные ее виды (ВИЭ) в комплексе, например, био-ветро-гелиокомплексы. К вторичным энергоресурсам (ВЭР) относятся: сбросная теплота тепловых электростанций (нерегулируемый отбор пара из турбин, теплота воды после конденсаторов используемых в теплицах); теплота уходящих газов металлургических печей, котлоагрегатов; теплота горячей воды и сбросного пара от промышленных производств; теплота газокompрессорных станций (ГКС) магистральных газопроводов; сбросная теплота вентиляции и кондиционирования животноводческих и птицеводческих ферм, крупных торговых центров, спортивных сооружений и т.д.

Результаты исследования. Теплица – специальное (культивационное) сооружение с покрытием из светопропускающего материала для сезонного или круглогодичного выращивания овощных культур и рассады. Теплица – это прежде всего, объект, зависимый от обеспеченности энергией, среди которых основным является поток лучистой энергии солнца.

Солнечная энергия, в свою очередь, является самым значительным из альтернативных источников. Тепловой поток солнечного излучения на нашу планету составляет $1,5 \times 10^{26}$ Дж/год. Ежегодное количество солнечной энергии у поверхности Земли превышает в 25 раз, разведанные запасы угля в 3-10 тысяч раз больше ежегодного расходуемой человечеством энергии.

Солнечную энергию можно использовать для получения электроэнергии различными способами: преобразованием ее в тепловую энергию и затем в электрическую (по схеме ТЭС), а также, непосредственно в электрическую при помощи солнечных батарей.

Солнечная энергия в том или ином виде является источником всей энергии на Земле. Основная цель состоит в преобразование солнечного излучения в другие виды энергии, используемые человеком для своих нужд. Солнечная энергия широко используется как для нагрева воды, так и для производства электроэнергии.

Технологии применения солнечной энергии для агропромышленного комплекса решают широкий спектр задач в сфере сельскохозяйственной деятельности. Солнечная энергия дает тепло и пищу как для человека, так и для любого другого животного или растения. Поэтому в сельском хозяйстве

используют солнечную энергию для получения и переработки ее в тепло, чтобы повысить коэффициент качества и производительности продуктов питания, а также непосредственно в электрическую энергию, поступающую по электросетям.

Теплицы, оборудованные солнечными батареями, не только подают, сохраняют тепло и накапливают его, задерживая внутри, но и обеспечивают необходимый растениям микроклимат. Наличие свободных территорий и значительной площади крыш, стен домов, хозяйственных построек позволяет получать и накапливать большие количества бесплатной электроэнергии.

Всего за 9 минут Земля получает больше энергии от Солнца, чем человечество производит за весь год. Эта энергия поставляется бесплатно и не оказывает влияния на окружающую среду. На выращивание сельскохозяйственных культур в обычных теплицах расходуется большое количество электроэнергии. Использование традиционной электрической энергии влияет на стоимость овощей, фруктов и зелени, повышая себестоимость продукции.

Установка солнечных панелей на крышах теплиц обеспечит комфортные условия для выращивания растений, а также снизит себестоимость выращиваемых сельскохозяйственных культур.

К основным технологическим процессам теплицы, электроснабжение которых можно организовать от возобновляемой энергией можно отнести:

- *Системы вентиляции.* Например, автоматизированные, которые можно оснастить электроэнергией, вырабатываемой солнечными батареями.
- *Системы орошения.* Можно использовать водонагреватели на солнечной энергии, которые будут подавать питание для полива растений.
- *Тепловые батареи.* Они накапливают избыточное тепло в периоды перегрева, чтобы перераспределять его в теплице в прохладные периоды.

Электрическая нагрузка в теплицах с возобновляемой энергией включает в себя оборудование и системы, обеспечивающие контроль микроклимата, ирригацию, фертигацию, санитарию, измерение и контроль освещения, безопасность, сбор урожая и выполнение послеуборочных работ.

Микроклимат в помещениях теплиц, обеспечивается отопительными системами (автономными или централизованными), часто с тепловыми насосами или чиллерами с электрическим приводом, теплообмен – водяными и воздушными насосами, вентиляторами, а также приводами окон, орошение, полив – ирригационными насосными агрегатами, станциями водозабора, циркуляции воды и т.д. Причем для запуска и работы двигателей, в том числе через программно-логические контроллеры автоматических (автоматизированных) систем управления могут использоваться, как традиционные пусковые устройства на моторных конденсаторах, так и комплектные преобразователи электроприводов.

Режим работы каждой системы, агрегата индивидуальный и зависит от выполняемой функции – от 24-часовых циклов для систем измерения и управления до периодического включения приводов вентиляции и запланированных периодов орошения.

При электропитании теплицы от возобновляемого источника энергии к нагрузке добавляются преобразователи и накопители энергии – инверторы для преобразования энергии постоянного тока, генерируемой фотоэлектрической системой, ветрогенератором с резервированием в батареях, в мощность переменного тока, аккумуляторы и контроллеры заряда (для автономного применения), что позволяет системам быть совместимыми с традиционными сетями распределения электроэнергии.

В отдельную (условно) категорию нагрузок выделяют системы освещения, включая фотосинтетически активные установки с определенным диапазоном излучения для фотосинтеза, роста и развития растений, лампы и облучатели которых, во время эксплуатации, находятся в наиболее «проблемных» зонах теплицы с высокой температурой и влажностью, что негативно влияет на надежность и долговечность осветительного оборудования.

При электропитании теплицы от возобновляемого источника энергии к нагрузке добавляются *преобразователи и накопители энергии*: инверторы для преобразования энергии постоянного тока, генерируемой фотоэлектрической системой, ветрогенератором, в мощность переменного тока, аккумуляторы и контроллеры заряда (для автономного применения).

Также для поддержания постоянного температурного режима в зоне выращивания растений в круглогодичных теплицах используют *подпочвенные накопители тепловой энергии*. В холодный период года тепловой аккумулятор можно зарядить тепловой энергией от водогрейной гелиоустановки, теплового насоса или от электрических нагревателей, электропитание которых осуществляется от солнечных фотоэлектрических модулей.

Как известно, классические солнечные панели обычно бывают темного либо синего цвета, реже почти черного. Из-за этого они зачастую очень сильно выделяются на фоне здания, внося ощутимый диссонанс в его архитектурный стиль. Кроме того, цветовые особенности приходится учитывать и проектировщикам при разработке современных энергоэффективных зданий и малых архитектурных форм. Решение этой проблемы применение прозрачных солнечных батарей для производства и систем остекления. Прозрачные солнечные панели – однозначный тренд в мире солнечной энергетики.

Сфера применения прозрачных панелей весьма обширна:

- Остекление фасадов;
- Возведение зимних садов;
- Строительство теплиц и животноводческих комплексов;
- Остекление павильонов.

Создание стеклянных крыш и внутренних двориков (атриумов);

В отдельную (условно) категорию нагрузок выделяют системы освещения, включая фотосинтетически активные установки с определенным диапазоном излучения для фотосинтеза, роста и развития растений, лампы и облучатели которых во время эксплуатации находятся в наиболее «проблемных» зонах теплицы с высокой температурой и влажностью, что негативно влияет на надежность и долговечность осветительного оборудования.

Электроэнергии, вырабатываемой встроенными в крышу постройки солнечными батареями, достаточно для обогрева теплицы в холодное время года, а также для питания другого оборудования. Например, теплицу можно оснастить системами вентиляции и орошения, в том числе автоматизированными.

Фотоэлектрическая установка проекта представлена шестью солнечными панелями с выходной мощностью 165 Вт каждая. К ним подключены четыре 6-ти вольтовых аккумулятора емкостью по 235 А·ч.

Фотоэлектрическая система способна производить до 2,02 кВт·ч (в июле) и накапливать всю эту энергию в своих батареях емкостью 5,56 кВт·ч, – пояснили исследователи. Для сравнения: частный жилой дом в Квебеке (Канада) потребляет в среднем 50 кВт·ч в день, а емкость обычного автомобильного аккумулятора составляет примерно 0,5 кВт·ч.

Разработчики также добавили, что уровень энергопотребления у теплицы намного меньше, чем у дома, в том числе потому, для ее оснащения специально были выбраны компоненты, расходующие минимально возможное количество электричества.

Фотоэлектрическая система спроектирована таким образом, что все тепличное оборудование может полноценно работать в течение трех дней в пасмурную погоду, то есть когда фотопанели не производят электричество. Растения в теплице можно размещать не только на грунте, но и на стеллажах, расположенных вдоль северной и западной стен. Дополнительные поверхности позволяют максимально использовать внутреннее пространство и упрощают выращивание теплолюбивых культур и рассады.

Заключение. Поэтому совокупное применение энергосберегающих технологий и возобновляемых источников электроэнергии позволит снизить себестоимость выпускаемой продукции и быть менее зависимым от централизованного электроснабжения, особенно в летний период.

Список источников

1. АПК: Возобновляемые источники энергии и эффективность работы. [Электронный ресурс] // AgroBelarus.by: сайт. URL: https://agrobeltarus.by/articles/ekonomika/apk_vozobnovlyaemye_istochniki_energii_i_effektivnost_raboty/ (дата обращения 25.06.2021).

2. Левин, М.А. Сравнение типов систем освещения в теплице / М.А. Левин, Т.И. Третьякова // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 28 апреля 2023 года / Под общей редакцией С.М. Бакирова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2023. – С. 173-176. – EDN SVXSSL.

3. Цатурян, А.И. Использование солнечной энергии в теплицах / А.И. Цатурян, К.В. Александрян // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1986. №1. С.7.

4. Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. / Дж. Твайделл, А. Уэйр / – М. Энергоатомиздат. 1990. – 392 с.

5. <https://eenergy.media/news/14587> Теплицы на солнечной энергии и с положительным энергетическим балансом.

6. Котков, Р.О. Применение возобновляемых источников питания электротехнологических процессов в АПК малой мощности / Р.О. Котков, М.А. Левин // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы XII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 29–30 апреля 2021 года. – Саратов: ООО "Амирит", 2021. – С. 110-112. – EDN NITSBC.

© Панин Н.Е., 2025

Научная статья

УДК 004.89: 620.9

ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Владимир Анатольевич Погонышев¹, Дина Алексеевна Погонышева²

^{1,2}Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия

Аннотация. Высокая энергоёмкость промышленной продукции негативно влияет на ее конкурентоспособность, снижает уровень энергетической и экологической безопасности. При решении актуальных задач энергосбережения и энергоэффективности многообещающим цифровым решением выступают цифровые двойники объектов и систем электроэнергетики.

Ключевые слова: электроэнергетика, большие данные, интернет вещей, цифровой двойник.

Для цитирования: Погонышев, В.А. Вопросы использования цифровых двойников в электроэнергетике / В.А. Погонышев, Д.А. Погонышева // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ISSUES OF USING DIGITAL TWINS IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

Vladimir Anatolyevich Pogonyshchev¹, Dina Alekseevna Pogonyshcheva²

^{1,2}Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia

Annotation. The high energy intensity of industrial products negatively affects its competitiveness, reduces the level of energy and environmental safety. When solving urgent problems of energy conservation and energy efficiency, digital counterparts of electric power facilities and systems are a promising digital solution.

Keywords: electric power, big data, internet of things, digital twin.

For citation: Pogonyshev, V.A. Issues of the use of digital twins in the electric power industry / V.A. Pogonyshev, D.A. Pogonysheva // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Согласно прогнозам экспертов, к 2050 г. ожидается рост энергопотребления в промышленности более 25%. К 2050 г. около 60% спроса на энергию со стороны железных дорог будет обеспечиваться электроэнергией. В 2021-2035 гг. почти 60% прироста производства электроэнергии обеспечат ВИЭ, а в 2035-2050 гг. – весь прирост. На БРИКС к 2050 г. придется 50% мирового потребления и производства энергии. Рост экономики к 2050 г. актуализирует рост потребности в генерации электрической энергии в России до 1,5 трлн кВт·ч, при этом основой энергоснабжения выступает природный газ.

Эксперты отмечают высокую энергоемкость внутреннего валового продукта, превышающую среднемировой уровень более чем в 2 раза. В условиях турбулентности и цифровой трансформации мировой энергетики отрасль нацелена на рост эффективности работы. Компания «Россети» в 2018 г. разработала концепцию «Цифровая трансформация 2030», оцениваемую в 1,3 трлн руб., предназначенную для перехода к цифровым электрическим сетям с использованием интернета вещей, искусственного интеллекта, больших данных, цифровых двойников.

Материалы и методы. Цифровой двойник (ЦД), как комплекс динамических, мультифизических, адаптивных, цифровых вероятностных моделей, способен с приемлемой точностью описывать эволюцию объекта (процесса, системы) на всех этапах жизненного цикла и повышать гибкость управления энергосистемами. [1-3] ЦД, как сложные артефакты, различаются сферой использования, своим функционалом, технологией, атрибутами и др. ЦД в контексте больших данных и интернета вещей выступают многообещающим цифровым инструментом. Интеллектуальный анализ больших данных с использованием методов предиктивной аналитики сокращает затраты на проектирование, адекватно описывает, прогнозирует, оптимизирует структуру, производительность, техническое состояние и функционирование объекта электроэнергетики в течение его жизненного цикла. [4-7] (рис. 1).

Применение сетей 5G создает предпосылки создания сервисов виртуальной реальности в составе ЦД для обеспечения виртуальной верификации и валидации объектов. Согласно данным, темп роста рынка ЦД приближается к 50%. Эксперты утверждают, что к 2026 г. в электроэнергетике объем рынка ЦД вырастет до 1,3 млрд долл., и наибольшую долю рынка будут занимать ЦД электросетей и энергосистем. (рис. 2).



Рисунок 1 – Инструменты разработки ЦД [7]



Рисунок 2 – Прогноз рынка ЦД [10]

ЦД различают по уровню интеграции, автономности, интеллекта, обучаемости, детализации и др. Автономный ЦД способен функционировать без непосредственного участия человека; присутствие интеллектуальных компонентов в ЦД позволяет имитировать когнитивные процессы; обучаемые ЦД способны на основе анализа данных обучаться. [8-10]. Различают ЦД оборудования, энергосетей, электростанции, атомного реактора. ЦД электростанции способен выполнить синхронизацию моделей планирования и операционной деятельности, интеграцию ресурсов распределенной энергетики, синхронизацию с ГИС, интеллектуальными системами учета электроэнергии и др.

Примером отраслевого ЦД выступает программно-аппаратный комплекс на «Ново-Салаватской ТЭЦ», моделирующий тепловую и технологическую

схемы энергообъекта, функционирует «Виртуально-цифровая атомная электростанция с реактором ВВЭР» [5].

В конце 2023 г. компанией «Россети» был объявлен тендер стоимостью более 500 млн руб. на разработку системы информационного моделирования электрической сети (СИМЭС), как ЦД энергокомплекса, объединяющего более 500 тыс. подстанций среднего и высокого напряжения. ЦД формирует информацию об объектах, рассчитывает систему показателей. СИМЭС, централизованная информационная система, разработана с использованием российского ПО «РС-20.ModelEditor», доступ к ней обеспечивается посредством веб-интерфейса. К потенциальным возможностям СИМЭС относятся использование стандартов открытых систем, поддержка многопользовательского режима, масштабирования, обеспечение кибербезопасности и др. Использование искусственного интеллекта позволит создавать сети ЦД энергообъектов, способных автономно скоординированно функционировать для решения общих проблем. Важным направлением использования ЦД в отрасли выступает подготовка персонала. Так, в профстандарте специалиста отмечается необходимость владения современными цифровыми инструментами.

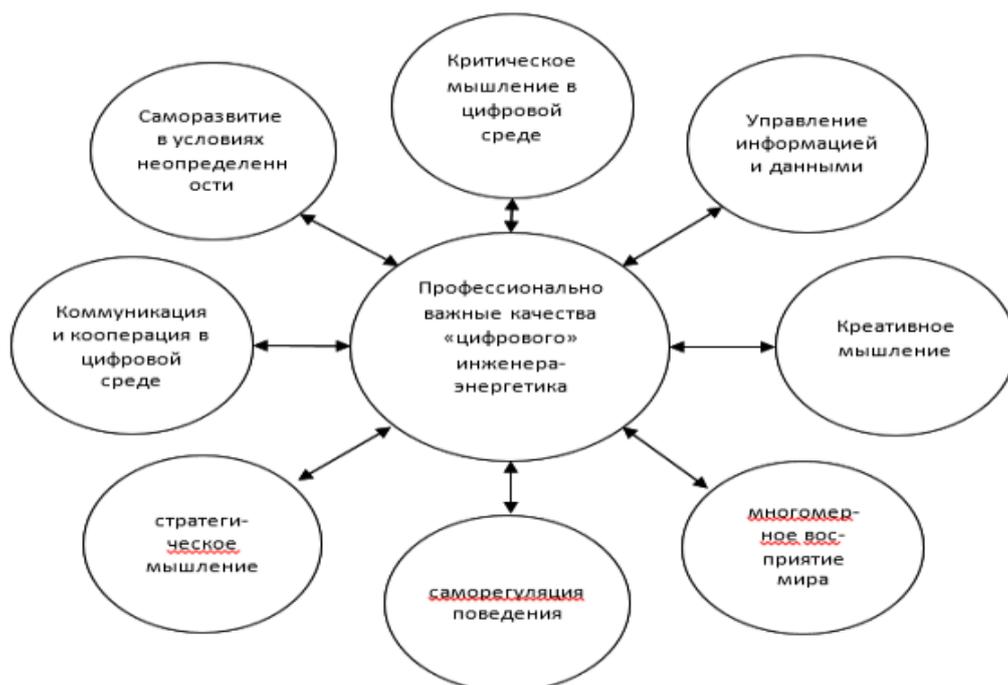


Рисунок 3 – Профессионально важные качества «цифрового» инженера-энергетика (составлено авторами)

Использование в электроэнергетике ЦД позволяет создавать ценности, генерировать инновационные решения по изменению бизнес-моделей за счет интеллектуальных активов. К барьерам внедрения ЦД относят преимущественно барьеры, обусловленные получением и обработкой данных, включая целостность, доступность, конфиденциальность, кибербезопасность; отсутствие функциональной совместимости ЦД; высокая стоимость реализации; пропускная способность и надежность сетей; риски использования инструментов искусственного интеллекта и др. [1-10].

Функционирование ЦД объектов, процессов и систем в электроэнергетике позволит создать единый источник информации о состоянии отрасли, повысить эффективность хозяйствующих субъектов, снизить антропогенную нагрузку и др. Использование ЦД в образовательном процессе вузов создаст предпосылки подготовки конкурентоспособных специалистов.

Список источников

1. Альманах ассоциации «Цифровая энергетика». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2021/10/Альманах_web.pdf.
2. Андриюшкевич, С.К. Подходы к разработке и применению цифровых двойников энергетических систем / С.К. Андриюшкевич, С.П. Ковалев, Е. Нефедов // Цифровая подстанция. – 2019. – № 12. – С. 38-43.
3. Боровков, А. Цифровые двойники и цифровые тени в высокотехнологичной промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://4science.ru/articles/Cifrovie-dvoyniki-i-cifrovieteni-v-visokotehnologichnoi-promishlennosti>.
4. Массель, Л.В. Эволюция технологий исследований энергетики и применения их результатов: от математических моделей и компьютерных программ к цифровым двойникам и цифровым образам / Л.В. Массель, А.Г. Массель, А.Н. Копайгородский // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2019. – № 4 (16). – С. 5-19.
5. Моравель, В.И. Возможности использования цифровых двойников в задачах электроэнергетики / В.И. Моравель, В.А. Борисов // Современные научные исследования и инновации. 2022. № 6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2022/06/98404>.
6. Никитина, Е.В. Цифровой двойник для электрических сетей / Е.В. Никитина, А.Н. Полуэктов, С. Кох // Энергия единой сети. 2019. № 4 (46). С. 32-36.
7. Царев, М.В. Цифровые двойники в промышленности: история развития, классификация, технологии, сценарии использования / М.В. Царев, Ю.С. Андреев // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 7. С. 517-531
8. Погоньшев, В.А. Использование цифровых двойников в профессиональной подготовке студентов аграрного вуза / В.А. Погоньшев, Д.А. Погоньшева // Стратегия и тактика подготовки современного педагога в условиях диалогового пространства образования. сборник научных статей. Брянск, 2023. С. 179-186.
9. Прохоров, А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, М. Лысачев // Под ред. А. Боровкова. Издание первое, исправленное и дополненное. М.: ООО «АльянсПринт». – 2020. – 401 с.
10. Цифровые двойники: прошлое, настоящее и будущее [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://up-pro.ru/library/information_systems/automation_project/proshloe-nastoyashee-i-budushee/.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Ольга Викторовна Пономарчук¹, Наталья Ивановна Козловская²

^{1,2}Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия

¹agrokonf@bgsha.com

Аннотация. В агропромышленном комплексе растет объем и качество внедряемых современных технологий и цифровых систем, в том числе систем сбора, хранения и обработки данных. Применяются данные со спутников, датчиков, из операционных и транзакционных систем. При этом увеличивается как объем данных, так и потребность в их качественной обработке и достоверных выводах, на которые можно полагаться, принимая решения. В результате оформляется спрос на промышленные аналитические системы и, в частности, углубленную аналитику.

Ключевые слова: технологии, цифровизация, сельское хозяйство, информация, цифровые системы.

Для цитирования: Пономарчук, О.В. Использование цифровых систем в агропромышленном комплексе / О.В. Пономарчук, Н.И. Козловская // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

THE USE OF DIGITAL SYSTEMS IN THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Olga Viktorovna Ponomarchuk¹, Natalia Ivanovna Kozlovskaya²

^{1,2}Bryansk State Agricultural University, Bryansk, Russia

¹agrokonf@bgsha.com

Annotation. The volume and quality of modern technologies and digital systems being implemented, including data collection, storage and processing systems, is growing in the agro-industrial complex. Data from satellites, sensors, operational and transactional systems are used. This increases both the volume of data and the need for high-quality processing and reliable conclusions that can be relied upon when making decisions. As a result, there is a demand for industrial analytical systems and, in particular, in-depth analytics.

Keywords: technologies, digitalization, agriculture, information, digital systems.

For citation: Ponomarchuk, O.V. The Use of digital systems in the agro-industrial complex / O.V. Ponomarchuk, N.I. Kozlovskaya // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the

Введение. В настоящее время независимость и стабильность всех отраслей агропромышленного комплекса РФ отражается темпами развития и роста по всем показателям. Неотъемлемой частью данного развития и конкурентоспособности является повсеместное внедрение цифровых систем.

К основным направлениям сельскохозяйственных отраслей, которые используют глобальную цифровизацию, относятся финансовый сектор, логистика, контроль процессов растениеводства и животноводства, документооборот. Системы для ведения финансового и оперативного учёта помогают эффективно настроить деятельность всех подразделений на каждом этапе полевых работ.

Цифровые системы в логистических сервисах позволяют выбрать подрядчика, рассчитать стоимость перевозки и оформить заявку, а также оптимизировать маршрут, уменьшить простои техники, контролировать занятость водителей, отслеживать каждую поездку в режиме реального времени через сайт или специальное приложение в мобильном телефоне.

Материалы и методы. Все процессы в растениеводстве и животноводстве связаны между собой, поэтому необходимы целые системы для контроля технологических процессов. Искусственный интеллект, устройства с внедрёнными датчиками, использование дронов – это позволяет не только снизить потребность в человеческом ресурсе, но и ускорить передачу данных и показаний между блоками. Системы замеряют и передают параметры почв, данные о состоянии сельскохозяйственных культурах, температурном режиме, уровне влажности и других показателях. В специализированных программах происходит автоматизированный анализ полученной информации, в результате которого составляются инструкции и советы по посадке с/х культур и внесению удобрению, а также технологические карты по выращиванию скота.

Крупные предприятия АПК последние десять лет используют цифровые карты сельхозугодий, которые загружены в бортовые компьютеры сельскохозяйственных машин. Конечно, карты составлены на основе уже полученных ранее данных химического анализа почвы, проанализированы и систематически проводятся обновления с учетом изменений в картографии территорий. Системы на базе цифровых карт выдают рекомендации по оптимальной высадке культур, количеству и типу удобрений и средств защиты растений. Электронные базы знаний, внедренные в системы поддержки принятия решений, включают в себя каталоги пестицидов, семян, отраслевые справочники, список компаний, партнеров.

Результаты исследования. Сельское хозяйство нашей страны долгое время являлось самой консервативной отраслью экономики. По данным института статистических исследований и экономики знаний ВШЭ сельское хозяйство находится на последнем месте по степени внедрения цифровизации. Для сравнения индекс цифровизации АПК составляет 23 условные единицы при среднем показателе во всех остальных отраслях в 32 единицы. Однако одним из

государственных приоритетов в настоящее время является глобальная трансформация сельского хозяйства. Основными задачами и целями Минсельхоза ставятся пятикратный рост рынка цифровых решений для агропромышленного сектора к 2026 году. По предварительным оценкам цифровая трансформация может обеспечить дополнительный рост производительности труда в сельском хозяйстве на 15,6% к 2030 году. Такие цели являются выполнимыми в том случае, если процесс цифровизации сельского хозяйства будет осуществляться по всем направлениям и затрагивать все технологические процессы и цепочки.

По результатам опроса 34 предприятий АПК на ноябрь 2023 года 39% компаний планируют импортозамещение оборудования в 2024 году, 40% планируют заменить программное обеспечение. Причем наиболее значимый сектор, в котором должно пройти обновление на отечественные продукты, это системы бухгалтерского учета. Автоматизированность и автономность планируют 63% компаний агропромышленного комплекса. Основными сложностями при переходе на российские решения были названы отсутствие необходимых функций в российских аналогах, а также ограниченность бюджетов на программное обеспечение и оборудование. Но согласно опросу 21% организаций и предприятий АПК всетаки используют зарубежные решения по цифровой части. В последнее время тенденция направлена на увеличение процента предприятий, которые активно внедряют технологии искусственного интеллекта.

Заключение. Можно сделать вывод, что обзор современной цифровизации в АПК, невозможно ограничиться только автоматизацией производственной области. Абсолютно все бизнес-процессы сельскохозяйственного сектора также поддаются автоматизации и соответственно позволяет им выходить на новый, более эффективный уровень своей работы. С внедрением IT-инфраструктуры в АПК повышается производительность, минимизируется объем ошибок, связанных с человеческим фактором, снижается объем тяжелого ручного труда.

Список источников

1. Алферьев, Д.А. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве / Д.А. Алферьев // АгроЗооТехника. – 2018. – Т. 1. – № 4. – С. 5.
2. Архипов, А.Г. Цифровая трансформация сельского хозяйства России / А.Г. Архипов, С.Н. Косогор, О.А. Моторин, М.И. Горбачев, Г.А. Суворов, Е.В. Труфляк // М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 80 с.
3. Федеральный закон от 8 августа 2024 г. N 297-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О развитии сельского хозяйства».
4. Статья 2 Федерального закона «О внесении изменения в статью 7 Федерального закона «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
5. Господдержка по развитию АПК Брянской области (2022-2023 гг.) / С.А. Бельченко, А.В. Дронов, В.Ю. Симонов [и др.] // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: материалы XXI международной научной

конференции, Брянск, 18 марта 2024 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2024. – С. 107-115. – EDN BPTRYI.

© Пономарчук О.В., Козловская Н.И., 2025

Научная статья
УДК 621.365.683.9

РАСЧЕТ НЕПРОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ-ДАТЧИКОВ С МНОГОЗОННОЙ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМОЙ

Михаил Александрович Прищепов¹, Иосиф Геннадьевич Рутковский²

^{1,2}Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье приведена разработанная методика расчета непроточных электродных электронагревателей-датчиков с плоскопараллельной многозонной электродной системой. Отмечено, что сложность процессов, происходящих в электронагревательных установках с такими электродными электронагревателями требует использования численных методов расчета.

Ключевые слова: электронагрев, многозонный электродный электронагреватель-датчик, информационный сигнал, температура, моделирование, численный метод.

Для цитирования: Прищепов, М.А. Расчет непроточных электродных электронагревателей-датчиков с многозонной плоскопараллельной электродной системой / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

CALCULATION OF NON-FLOWING ELECTRODE ELECTRIC HEATERS-SENSORS WITH A MULTI-ZONE PLANE-PARALLEL ELECTRODE SYSTEM

Mikhail Alexandrovich Prishchepov¹, Iosif Gennadievich Rutkouski²

^{1,2}Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Annotation. The article presents the developed method for calculating non-flowing electrode electric heaters-sensors with a plane-parallel multi-zone electrode system. It is noted that the complexity of the processes occurring in electric heating

installations with such electrode electric heaters requires the use of numerical calculation methods.

Keywords: electric heating, multi-zone electrode electric heater-sensor, information signal, temperature, modeling, numerical method.

For citation: Prishchepov, M.A. Calculation of non-flowing electrode electric heaters-sensors with a multi-zone plane parallel electrode system / M.A. Prishchepov, I.G. Rutkouski // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Электрическая энергия широко используется для тепловых нужд как в промышленных технологических процессах, так и в коммунально-бытовом секторе. Электронагревательные установки (ЭНУ) небольшой мощности реализуются, как правило, на основе ТЭНов, СВЧ и индукционного нагрева. Для ЭНУ большой мощности, целесообразно применение электродных электронагревателей (ЭЭН), обеспечивающих объемный ввод энергии в нагреваемую среду [1]. Особенно это актуально при обработке сельскохозяйственных термолабильных сред, у которых интенсивность нагрева ограничивается допустимой температурой и распределением плотности тока в среде межэлектродного пространства [2]. Кроме того, процессы термообработки термолабильных сред, как правило, быстротечны. Чтобы обеспечить нагрев обрабатываемой среды в соответствии с требованиями технологического процесса, современные ЭНУ оснащаются сложными терморегуляторами, которые обеспечивают реализацию необходимого закона регулирования. Для упрощения системы автоматического регулирования (САР) целесообразно использование электродных электронагревателей-датчиков (ЭЭН-Д). Их применение исключает влияние теплоемкости промежуточного теплоносителя и датчика температуры, кроме того, позволяет получить информационный сигнал (ИС), характеризующий среднеинтегральную температуру в межэлектродном пространстве ЭЭН-Д [3, 4].

Цель данной статьи – разработать методику расчета конструктивных параметров непроточных электродных электронагревателей-датчиков с плоскопараллельной многозонной электродной системой.

Материалы и методы. Для разработки непроточных ЭНУ целесообразно использовать электротепловую схему (ЭТС) ЭЭН-Д с плоскопараллельной многозонной электродной системой (рис. 1), которая позволяет обеспечивать заданное распределение плотности тока в обрабатываемой среде межэлектродного пространства [5, 6]. В этом случае электротепловые процессы (ЭТП) в ЭЭН-Д описываются следующей системой уравнений [5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_p \cdot \rho_c \left(\frac{\partial \theta_c}{\partial \tau} + v(x) \frac{\partial \theta_c}{\partial x} \right) = \frac{U_k^2 \cdot \eta}{\rho_t(\theta_c) \cdot H_k^2}; \\ U_k = \sum_{k=1}^N I \cdot R_k; \\ I = \frac{U}{R}; \\ R_k = \left(\int_0^{L_k} \rho_t(\theta_c) dx \cdot \int_0^{L_k} H_k dx \right) / \left(\int_0^{L_k} \Pi dx \cdot L_k^2 \right); \\ R = \sum_{k=1}^N R_k; \\ P = I \cdot U, \end{array} \right. \quad (1)$$

где C_p – удельная теплоемкость обрабатываемой среды, Дж/(кг·°С);
 ρ_c – плотность обрабатываемой среды, кг/м³;
 θ_c – температура обрабатываемой среды, °С;
 τ – переменная по времени нагрева, с;
 $v(x)$ – скорость обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве на расстоянии x от начала ЭЭН-Д, м/с;
 x – переменная по высоте межэлектродного пространства ЭЭН-Д, м;

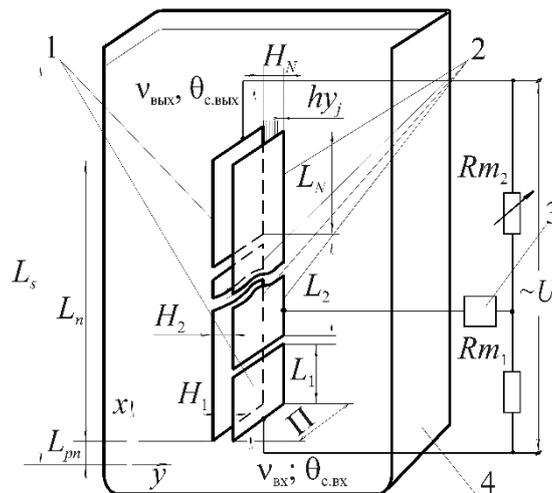


Рисунок 1 – ЭТС непроточного ЭЭН-Д с зонированной плоскопараллельной электродной системой: 1 – электроды токоподводящие основные; 2 – электроды промежуточные;

3 – управляющий элемент САР; 4 – емкость с обрабатываемой средой; $v_{вх}$,

$v_{вых}$ – скорость обрабатываемой среды на входе и выходе ЭЭН-Д, м/с; $\theta_{с.вх}$, $\theta_{с.вых}$ – температура обрабатываемой среды на входе и на выходе ЭЭН-Д, °С; Π – ширина электродов ЭЭН-Д, м;

N – количество соединенных последовательно зон нагрева ЭЭН-Д; L_1, L_2, \dots, L_N – высота электродов ЭЭН-Д на 1, 2, ..., N -ой соединенной последовательно зоне нагрева, м;

H_1, H_2, \dots, H_N – межэлектродное расстояние ЭЭН-Д на 1, 2, ..., N -ой соединенной последовательно зоне нагрева, м; h_{y_j} – толщина условно выделенного слоя обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве ЭЭН-Д, по оси y , ($j=1 \dots J_s$, где J_s – суммарное количество условно выделенных слоев в межэлектродном пространстве ЭЭН-Д, по оси y), м;

y – текущая координата межэлектродного расстояния, ЭЭН-Д, м; Rm_1, Rm_2 – постоянное и переменное термoneзависимое сопротивление измерительного моста ЭЭН-Д, Ом;

U – напряжение питания, В; L_{pm} – расстояние между ЭЭН-Д и дном емкости с обрабатываемой средой, м; L_n – высота ЭЭН-Д, по оси x , м; L_s – высота уровня обрабатываемой среды в емкости для нагрева, м

U_k – напряжение на k -й зоне ЭЭН-Д ($k = 1, 2, \dots, N$), В;
 η – коэффициент полезного действия, о.е.;
 ρ_t – удельное сопротивление обрабатываемой среды, Ом·м;
 H_k – межэлектродное расстояние на k -й зоне ЭЭН-Д, м;
 N – количество последовательно соединенных зон (на единицу меньше количества электродов электродной системы ЭЭН-Д);
 I – ток ЭЭН-Д, А;
 R_k – текущее сопротивление k -й зоны ЭЭН-Д, Ом;
 U – напряжение питания, В;
 R – текущее суммарное сопротивление ЭЭН-Д, Ом;
 L_k – длина электродов k -ой зоны ЭЭН-Д, м;
 Π – ширина электродов ЭЭН-Д, м;
 P – мощность ЭЭН-Д, Вт.

Скорость обрабатываемой среды $v(x)$ в межэлектродном пространстве ЭЭН-Д определяется путем решения системы уравнений [6]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial v_k}{\partial \tau} - \frac{\mu}{\rho_c} \cdot \frac{\partial^2 v_k}{\partial y^2} = \beta \cdot g(\theta_{\text{нн}} - \theta_s); \\ v(x) = \frac{1}{J_s} \sum_{j=1}^{J_s} v_{kj}; \\ \theta_{\text{нн}} = \theta_{\text{cn}} + \int_0^{\tau_p} \frac{\Delta\theta_v \cdot v(x) \cdot \Pi \cdot H_N \cdot \rho_c}{M_{\text{нн}}} dt; \\ \theta_s = \frac{1}{L_n} \int_0^{L_n} \theta_F dx, \end{array} \right. \quad (2)$$

где v_{kj} – скорость обрабатываемой среды на, условно выделенном, вертикальном j -ом слое k -ой зоны ЭЭН-Д, по оси y , м/с;

μ – коэффициент динамической вязкости, Па · с;

β – коэффициент теплового расширения обрабатываемой среды, $1/^\circ\text{C}$;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

$\theta_{\text{нн}}$ – температура среды в емкости для нагрева над нагревателем, $^\circ\text{C}$;

θ_s – среднеинтегральная температура среды в межэлектродном пространстве ЭЭН-Д, по оси x , $^\circ\text{C}$;

J_s – количество слоев по оси y в каждой секции;

θ_{cn} – начальная температура обрабатываемой среды, $^\circ\text{C}$;

τ_p – время нагрева, с;

$\Delta\theta_v$ – превышение температуры на выходе из ЭЭН-Д над температурой обрабатываемой среды в емкости для нагрева над нагревателем, $^\circ\text{C}$;

$M_{\text{нн}}$ – масса обрабатываемой среды в емкости для нагрева над нагревателем ($M_{\text{нн}} = M(L_s - L_n - L_{pn}) / L_s$; $L_s = M / (\rho_c \cdot S_{\text{емк}})$), кг;

M – масса обрабатываемой среды в нагреваемой емкости, м;

L_s – высота уровня обрабатываемой среды в емкости для нагрева, м;

L_n – высота ЭЭН-Д, по оси x , м;

L_{pn} – расстояние от ЭЭН-Д до дна емкости, м;

$S_{\text{емк}}$ – площадь поперечного сечения емкости для нагрева с обрабатываемой средой, м²;

θ_F – температура секций ЭЭН-Д по оси x , превышающая $\theta_{\text{нн}}$ и обеспечивающая возникновение подъемной силы, °С.

Распределение температуры в емкости с нагреваемой средой, вне ЭЭН-Д, находится из уравнения:

$$\frac{\partial \theta_E}{\partial \tau} + v_E \frac{\partial \theta_E}{\partial x_E} - \alpha \frac{\partial^2 \theta_E}{\partial x_E^2} = 0, \quad (3)$$

где θ_E – температура обрабатываемой среды в емкости для нагрева, вне ЭЭН-Д, °С;

v_E – скорость обрабатываемой среды в емкости для нагрева вне ЭЭН-Д ($v_E = v(x) \cdot H_N \cdot \Pi / S_{\text{емк}}$), м/с;

α – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Расчет величины информационного сигнала (ИС) в измерительной диагонали моста ЭЭН-Д ΔU (рис. 1) проводится по выражению [2, 7]:

$$\Delta U = U \cdot R_{pr} \frac{Rm_3 \cdot Rm_2 - Rm_4 \cdot Rm_1}{Rm_{12} \cdot R_{pr} \cdot R + Rm_3 \cdot Rm_4 \cdot Rm_{12} + Rm_1 \cdot Rm_2 \cdot R}, \quad (4)$$

где R_{pr} – внутреннее сопротивление измерительного прибора, Ом;

Rm_1, Rm_2 – постоянное и переменное термонеинвариантное сопротивление измерительного моста ЭЭН-Д, Ом;

Rm_3, Rm_4 – термозависимые сопротивления зон нагрева ЭЭН-Д, образующие мостовую измерительную схему, Ом;

$Rm_{12} = Rm_1 + Rm_2$ – сумма термонеинвариантных сопротивлений мостовой измерительной схемы, Ом.

При расчете ЭЭН-Д определяется суммарное время нагрева среды τ_p . Оно должно быть меньше заданного T_Z , т.е. между τ_p и T_Z разность по абсолютной величине должна быть меньше погрешности расчета ε :

$$|\tau_p - T_Z| = F(\Pi) < \varepsilon, \quad (5)$$

где $F(\Pi)$ – функция, определяющая расчет ширины электродов ЭЭН-Д по времени нагрева, с.

При решении уравнения (5) можно воспользоваться методом Ньютона [8], определяя при этом новое $(n+1)$ -е приближение ширины электродов:

$$\Pi_{n+1} = \Pi_n - F(\Pi_n) / F'(\Pi_n), \quad (6)$$

где производную $F'(\Pi_n)$, в свою очередь, можно определить численно, используя малое приращение ширины электродов $d\Pi$:

$$F'(\Pi_n) = (F(\Pi_n + d\Pi) - F(\Pi_n)) / d\Pi. \quad (7)$$

Результаты исследования. На основе разработанной математической модели составлена блок-схема алгоритма расчета конструктивных параметров ЭЭН-Д (рис. 2). На рис. 3 приведена блок-схема алгоритма расчета функции F ,

определяющей разность по абсолютной величине между реальным временем нагрева ЭЭН-Д τ_p при начальном приближении ширины электродов Π и заданным временем нагрева T_Z , которое определяется требованиями технологического процесса.

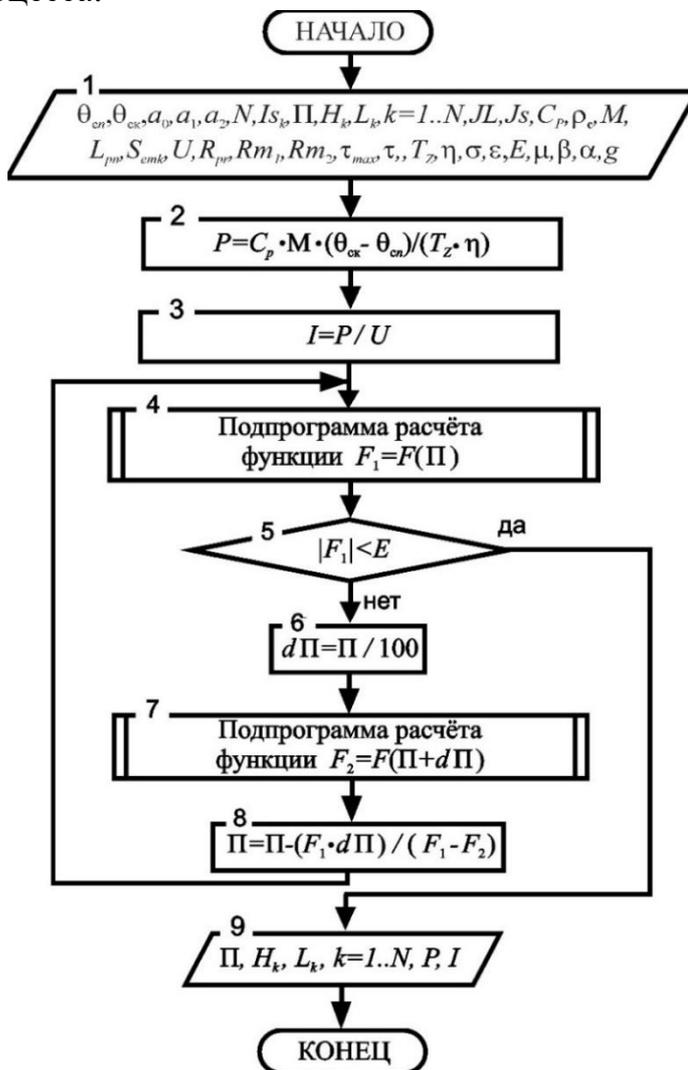


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма расчета ширины электродов непровочного ЭЭН-Д

В приведенных блок схемах алгоритмов дополнительно приняты следующие обозначения:

$\theta_{ск}$ – заданная температура нагрева обрабатываемой среды, °С;

a_0, a_1, a_2 – коэффициенты уравнения $\rho_t = a_0 + a_1 \cdot \theta_c^n + a_2 \cdot \theta_c^{n^2}$, определяющие зависимость удельного сопротивления обрабатываемой среды от температуры ее нагрева;

E – погрешность вычислений ширины электродов;

T_Z – заданное время нагрева обрабатываемой среды, с;

ε – погрешность вычислений температуры и скорости обрабатываемой среды;

JL – количество слоев разностной сетки по высоте емкости (в противоположном направлении оси y);

$d\Pi$ – приращение ширины электродов ЭЭН-Д, м;

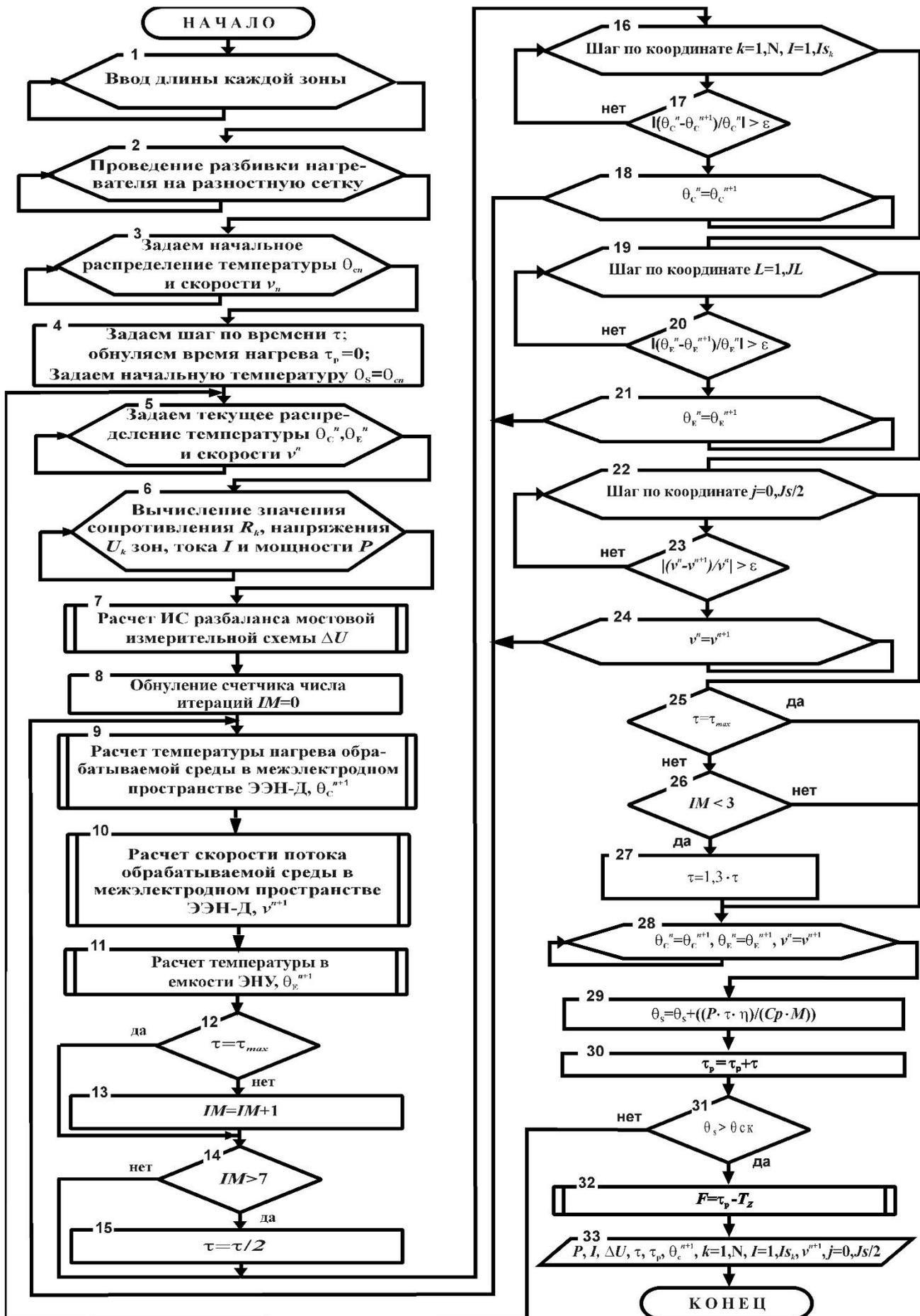


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма расчета функции F

v_n – начальная скорость обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве, м/с;

$I s_k$ – число секций в зоне k -й зоне;

IM – число итераций;

θ_c^n – температуры обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве на n -м расчетном (предыдущем) шаге, °С;

θ_E^n – температура обрабатываемой среды в емкости на n -м расчетном (предыдущем) шаге, °С;

v^n – скорость обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве на n -м расчетном (предыдущем) шаге, м/с;

θ_c^{n+1} – температура обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве на $n+1$ -м расчетном (текущем) шаге, °С;

θ_E^{n+1} – температура обрабатываемой среды в емкости на $n+1$ -м расчетном (текущем) шаге, °С;

v^{n+1} – скорость обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве на $n+1$ -м расчетном (текущем) шаге, м/с.

В блоке 9 блок-схемы алгоритма (рис. 3) проводится расчет температуры θ_c в ЭЭН-Д путем решения дифференциального уравнения в частных производных, описывающего ЭТП в непроточном ЭЭН-Д с плоскопараллельной многозонной электродной системой конечно-разностным методом. Для этого использовалась методика аппроксимации дифференциального уравнения в виде конечно-разностной схемы, которая преобразовывалась к рекуррентной формуле, обеспечивающей построение системы алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей, решаемой методом прогонки [9].

В блоке 10 блок-схемы алгоритма (рис. 3) проводится расчет скорости обрабатываемой среды v_{kj} в межэлектродном пространстве ЭЭН-Д на, условно выделенном, вертикальном j -ом слое k -ой зоны ЭЭН-Д, по оси y , путем решения системы дифференциально-интегральных уравнений (2). В блоке 11 блок-схемы алгоритма (рис. 3) проводится расчет значений температуры θ_E в емкости путем решения дифференциального уравнения в частных производных (3).

При проведении расчетов, температура на входе ЭЭН-Д $\theta_{c.вх}$ принималась равной температуре под нагревателем θ_{pn} . Температура под нагревателем θ_{pn} – равной температуре θ_E у дна емкости. После определения распределения температуры θ_c в ЭЭН-Д, по температуре на его выходе рассчитывалась температура $\theta_{нн}$ (в емкости над нагревателем), которая принималась в качестве начального значения для нахождения температуры θ_E в емкости. В результате расчета распределения значений температуры θ_E в емкости определялась температура θ_{pn} под нагревателем. При расчете температур на следующем конечно-разностном временном слое, указанная последовательность расчета повторялась [5].

В блоках 4-8 блок-схемы алгоритма (рис. 2) проводится корректировка ширины электродов ЭЭН-Д по критерию разности между временем нагрева ЭЭН-Д τ_p при начальном приближении ширины электродов Π и заданным временем нагрева T_z , с целью расчета ЭЭН-Д на требуемую мощность P , обеспечивающую нагрев обрабатываемой среды в течении заданного времени T_z .

Обобщая особенности приведенной методики расчета конструктивных параметров непроточных электродных электронагревателей-датчиков с плоскопараллельной многозонной электродной системой, можно отметить, что они требуют применения численных методов решения дифференциально-интегральных уравнений с использованием компьютерной техники.

Заключение. Несмотря на множество возможных вариантов реализации ЭЭН и ЭЭН-Д для непроточных ЭНУ, разработанную методику расчета можно легко адаптировать для расчета конструктивных параметров и других непроточных ЭЭН и ЭЭН-Д. Применение предложенной методики расчета конструктивных параметров непроточных ЭЭН-Д с плоскопараллельной многозонной электродной системой позволяет рассчитать ЭЭН-Д, обеспечивающий нагрев обрабатываемой среды в течении заданного времени, а так же получить одинаковое распределение плотности тока в обрабатываемой среде межэлектродного пространства по ширине электродов и заданное – по длине (высоте), что обеспечивает интенсивность нагрева согласно требований технологического процесса. Многозонный ЭЭН-Д обеспечивает также получение ИС характеризующего среднеинтегральную температуру в межэлектродном пространстве ЭЭН-Д.

Список источников

1. Кудрявцев, И.Ф. Электрический нагрев и электротехнология / И.Ф. Кудрявцев, В.А. Карасенко // Минск: Колос, – 1975. – 384 с.
2. Прищепов, М.А. Основы термозависимого резистивного электронагрева в технологических процессах сельскохозяйственного производства / М.А. Прищепов // Мн.: БАТУ, – 1999. – 295 с.
3. Прищепов, М.А. Исследование динамических характеристик непроточных электродных электронагревателей с плоскопараллельной электродной системой / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2024. – № 7. – С. 25-32.
4. Прищепов, М.А. Моделирование характеристик емкостного электродного нагревателя-датчика для нагрева термолабильных сред / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Агропанорама. – 2004. – №6. – С. 15-22.
5. Прищепов, М.А. К вопросу совершенствования непроточных электродных нагревателей-датчиков с зонированной плоскопараллельной электродной системой / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Агропанорама. №1. – 2002. – С. 9-11.
6. Прищепов, М.А. Функциональные возможности электродных электронагревателей с зонированными электродными системами / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Агропанорама. – 2024. – № 1. – С. 23-28.
7. Денисов, М.С. Технические измерения и приборы : учебно-практическое

пособие / М.С. Денисов // Владимир : Изд-во ВлГУ, – 2021. – 148 с.

8. Турчак, Л.И. Основы численных методов / Л.И. Турчак // М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., – 1987. – 320 с.

9. Кузнецов, Г.В. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. / Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет // Томск: Изд-во ТПУ. – 2007. – 172 с.

© Прищепов М.А., Рутковский И.Г., 2025

Научная статья

УДК 504.054

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**Арип Таймасханович Рашидханов¹, Наталья Владимировна Середина²,
Эльвира Омаровна Рашидханова³**

^{1,2,3}Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала,
Россия

Аннотация: В работе рассматриваются эколого-социальные проблемы, которые появляются при эксплуатации гидроэлектростанций, проявляющиеся в виде загрязнения водной среды твердыми бытовыми отходами и пути их решения автоматизированными системами.

Ключевые слова: гидроэлектростанции, твердые бытовые отходы, загрязнение, системы очистки.

Для цитирования: Рашидханов, А.Т. Экологические аспекты использования гидроэлектростанций / А.Т. Рашидханов, Н.В. Середина, Э.О. Рашидханова // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF USE HYDROELECTRIC POWER PLANTS

**Arip Taymaskhanovich Rashidkhanov¹, Natalia Vladimirovna Seredina²,
Elvira Omarovna Rashidkhanova³**

^{1,2,3}Dagestan State Technical University, Makhachkala, Russia

Annotation. The paper examines the ecological and social problems that arise during the operation of hydroelectric power plants, manifested in the form of pollution

of the aquatic environment with solid household waste and ways to solve them with automated systems.

Keywords: hydroelectric power plants, solid household waste, pollution, purification systems.

For citation: Rashidkhanov, A.T. Environmental aspects of the use of hydroelectric power plants / A.T. Rashidkhanov, N.V. Sereda, E.O. Rashidkhanova // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Дагестанский филиал РусГидро – крупнейший по количеству гидроэлектростанций, имея 16 объектов с общей мощностью 1885 МВт. Самая мощная из них достигает 1000 МВт, а самая маленькая – 0,5 МВт. Филиал стремится обеспечить надежную работу ГЭС и производить экологически чистую энергию, эффективно используя водные ресурсы Республики Дагестан для гармоничного развития общества.

Материалы и методы. Долгосрочный опыт эксплуатации водохранилищ гидроэлектростанций выявил ряд экологических, экономических и социальных проблем. Среди экологических аспектов выделяются загрязнение водоемов плавающей и затопленной древесиной, а также органическими веществами. Проблемы, связанные с проектированием и эксплуатацией крупных гидротехнических объектов, можно классифицировать на первичные и вторичные, которые возникают как следствие их создания.

Вторичные проблемы, возникающие в результате строительства водохранилищ, представляют собой более сложные и взаимосвязанные аспекты, которые могут проявляться спустя многие годы после завершения строительства. Их предсказание с достаточной научной точностью является сложной задачей. Эти проблемы можно классифицировать на экологические и социальные. Среди основных экологических проблем можно выделить: эрозию берегов водохранилищ, изменения в конфигурации берегов и дна, а также устьевых участков рек, впадающих в водоемы; образование баров; накопление плавающей древесины в результате береговой эрозии и накопление твердых бытовых отходов и других загрязняющих веществ в акватории.

В последние годы в средствах массовой информации все чаще сообщается о проблеме накопления мусора в водохранилищах, вызванного горными реками. Эти водоемы играют важную роль в обеспечении водой жителей соседних сел и городов. С увеличением туристического потока в горные районы Дагестана, такие скопления мусора становятся недопустимыми как с экологической, так и с этической точки зрения. На поверхности водоемов можно наблюдать пластиковые отходы, древесину, бутылки, а также ветки, стволы деревьев и листья.

Результаты исследования. Твердые коммунальные отходы (ТКО) являются ценным источником вторичных ресурсов и могут выступать в роли «бесплатного» энергоносителя, так как бытовой мусор представляет собой возобновляемое углеродсодержащее сырье для производства энергии. Очистка

территории – это одно из важнейших санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на защиту здоровья граждан и сохранение окружающей среды. Этот процесс включает в себя комплекс действий по сбору, удалению, утилизации и переработке бытовых отходов. Эффективная система управления отходами должна быть организована так, чтобы обеспечить рациональный сбор, хранение, регулярный вывоз мусора и поддержание чистоты на территориях.

Предлагаются автоматизированные системы для сбора твердых бытовых отходов, которые могут работать как автономно, используя энергию потоков воды, так и с применением возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели. Места установки этих систем выбираются на основе анализа данных о крупных скоплениях ТКО. Главная цель заключается в сборе отходов и их переработке, так как эффективная организация переработки ТКО позволяет использовать до 80% переработанных материалов в строительной отрасли, например, в качестве заполнителей для бетона. Кроме того, существует возможность прямого сжигания ТКО: при сжигании 1000 кг отходов можно получить эквивалентное количество тепловой энергии, как при сжигании 250 кг мазута.

Заключение. Проблема управления ТКО остается крайне важной, поскольку ее решение связано с необходимостью создания нормальных условий жизни для населения, санитарной очистки муниципальных образований, защиты окружающей среды и рационального использования ресурсов.

Список источников

1. Корпачев, В.П. Некоторые проблемы взаимодействия крупных водохранилищ с окружающей природной средой / В.П. Корпачев // Сиб. госуд. технол. ун-т. – Красноярск, 1988. – 10 с. – Деп. в ВИНТИ 10.09.88, №1826-В88.
2. Поворов, А.А. Очистка дренажных вод полигонов твердых бытовых отходов (ТБО).
3. Корпачев, В.П. Рациональное использование водных ресурсов. Водоохранилища ГЭС и лес: монография / В.П. Корпачев // Красноярск: СибГТУ, 1998. – 153 с.
4. Логинов, Т.И. Лесосводка и лесочистка водохранилищ гидротехнических сооружений / Т.И. Логинов, А.И. Лещ-Борисовский, Д.Н. Фогель // М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 136 с.
5. Гусев, А.Г. Охрана рыбохозяйственных водоемов от загрязнения / А.Г.Гусев // М.: Пищевая пром-сть, 1975. – 368 с.
6. Лапин, Г.Г. О состоянии и перспективах развития гидроэнергетики России / Г.Г. Лапин, В.В. Смирнов, Е.И. Ваксова // Гидротехническое строительство. – 2007. – №6. – С. 9-15.

© Рашидханов А.Т., Середа Н.В., Рашидханова Э.О., 2025

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ В МЕХАНИЗМЕ ДВИЖЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ТРЕКЕРА

Вадим Игоревич Редкозубов¹, Сергей Владимирович Бахтеев²,
Юлия Викторовна Иванкина³

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹yad.redckozubow@yandex.ru

²s.v.bakhteev@yandex.ru

³lexsi2007@yandex.ru

Аннотация. В статье описаны разновидности солнечных трекеров. Положительные и отрицательные качества линейных приводов. Представлен механизм гидроцилиндра на основе элемента Пельтье.

Ключевые слова: солнечный трекер, элемент Пельтье, гидроцилиндр.

Для цитирования: Редкозубов, В.И. Использование элемента Пельтье в механизме движения солнечного трекера / В.И. Редкозубов, С.В. Бахтеев, Ю.В. Иванкина // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

USING THE PELTIER ELEMENT IN THE MOTION MECHANISM OF THE SOLAR TRACKER

Vadim Igorevich Redkozubov¹, Sergey Vladimirovich Bakhteev²,
Yulia Viktorovna Ivankina³

^{1,2,3} Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹yad.redckozubow@yandex.ru

²s.v.bakhteev@yandex.ru

³lexsi2007@yandex.ru

Annotation. The article describes the types of solar trackers. Positive and negative qualities of linear actuators. A hydraulic cylinder mechanism based on the Peltier element is presented.

Keywords: solar tracker, Peltier element, hydraulic cylinder.

For citation: Redkozubov, V.I. Using the Peltier element in the mechanism of movement of a solar tracker / V.I. Redkozubov, S.V. Bakhteev, Yu.V. Ivankina // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies:

Введение. Гелиотрекер, или солнечный трекер – это устройство, предназначенное для автоматического отслеживания положения Солнца в течение дня. Его основная задача – обеспечить постоянное перпендикулярное падение солнечных лучей на поверхность фотоэлектрической панели.

Трекер позволяет максимально эффективно использовать солнечную энергию. Обеспечивает более высокую выработку энергии по сравнению с неподвижными системами, поскольку постоянное перпендикулярное падение лучей гарантирует максимальное поглощение. Позволяет использовать солнечную энергию в течение более длительного времени суток, особенно утром и вечером, когда Солнце находится под углом к горизонту [1].

Основная часть. Типы гелиотрекеров:

– Одноосевые трекары: отслеживают положение Солнца только по одной оси, обычно по азимуту (горизонтальный угол) или по углу места (вертикальный угол).

1. Горизонтальные одноосные трекары наиболее распространены и просты в конструкции. Вращаются вокруг вертикальной оси;

2. Вертикальные одноосные трекары вращаются вокруг горизонтальной оси, отслеживая высоту Солнца над горизонтом.

– Двухосевые трекары (рис. 1): отслеживают положение Солнца по двум осям (по азимуту и углу места), что обеспечивает максимальное поглощение солнечного излучения. Однако они более сложные и дорогие [2].



Рисунок 1 – Двухосевой трекары



Рисунок 2 – Линейный электропривод

В подавляющем большинстве солнечных гелиотрекеров используются линейные электроприводы (рис. 2). Линейный привод, также известный как линейный актуатор – это механическое устройство, которое преобразует вращательное движение двигателя в поступательное (прямолинейное) движение.

Обладает рядом положительных качеств:

- Позволяет управлять движением, скоростью и положением штока;
- Обеспечивает высокую точность позиционирования;
- Имеет долгий срок службы.

Также линейные актуаторы обладают и определенными отрицательными качествами:

– Линейные приводы часто имеют ограничения по максимальному усилию, которое они могут развивать. Для очень тяжелых нагрузок могут потребоваться гидравлические или пневматические системы;

– В приводах с винтовой передачей винт со временем может изнашиваться, что приводит к потере точности и необходимости замены;

– Некоторые компоненты привода могут требовать периодического технического обслуживания, например, замена смазки в редукторе, замена графитовых щеток электродвигателя;

– Большинство приводов имеет степень (класс) защиты IP 54. Класс защиты IP54 средний. Цифра 5 означает, что внутрь корпуса может попадать пыль, но она не будет оказывать влияния на работу прибора. Цифра 4 – корпус защищает от попадающих брызг и капель воды. Такая степень защиты может привести к быстрому выходу из строя привода под воздействием пыли, солнца, и дождя.

Для замены линейного привода можно использовать гидроцилиндр на основе элемента Пельтье (рис. 3). Элемент Пельтье состоит из последовательного соединения множества чередующихся полупроводниковых элементов «n» и «р» типов. При прохождении постоянного тока через такое соединение одна сторона полярности стороны меняются.

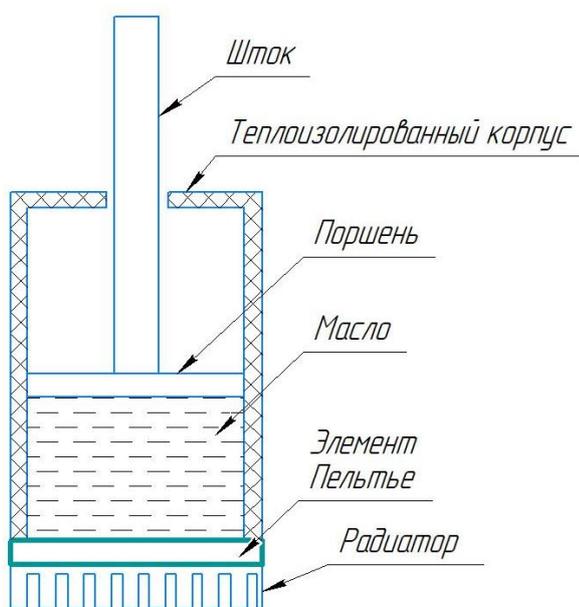


Рисунок 3 – Гидроцилиндр на основе элемента Пельтье

Масло нагревается от элемента Пельтье, расширяется и толкает поршень с штоком, совершая линейное движение. При смене полярности на элементе

сторона, контактирующая с маслом, охлаждается и тянет поршень с штоком назад. Изменяя напряжение и полярность на элементе можно использовать гидроцилиндр в своих целях.

Такой принцип обладает рядом положительных качеств:

- Минимальное количество подвижных частей;
- Не требует обслуживания;
- Развивает большое усилие;
- Низкое энергопотребление;
- Можно добиться максимального класса защиты (к примеру, IP69).

Отрицательные качества:

- Большая инерция;
- Низкая скорость реакции.

Данные цилиндры отлично подойдут для использования в элементах управления гелиотрекера. Так как там не требуется быстрота работы, а движение происходит в течение всего дня с низкой скоростью. Однако, конструкция требует всестороннего изучения и проведения экспериментальных исследований [3].

Заключение. Гелиотрекеры являются важной технологией для повышения эффективности использования солнечной энергии. Они обеспечивают оптимальное положение солнечных панелей относительно Солнца, что приводит к увеличению выработки энергии. Выбор конкретного типа гелиотрекера зависит от конкретных условий и задач, а также от баланса между затратами и выгодой.

Список источников

1. Редкозубов, В.И. Перспективы солнечной энергетики в Саратовской области / В.И. Редкозубов, С.В. Шлюпиков, Ю.В. Иванкина // В сборнике: Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием. Саратов, 2022. С. 130-134.

2. Редкозубов, В.И. Системы пространственной ориентации СФУ/ В.И. Редкозубов, Ю.В. Иванкина // В сборнике: Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием. Под общей редакцией С.М. Бакирова. Саратов, 2023. – С. 234-237.

3. Трушкин, В.А. Эксплуатация электроэнергетического оборудования // В.А. Трушкин, Ю.В. Иванкина, М.А. Левин / Учебное пособие для бакалавров 35.03.06 – Агроинженерия профиля подготовки «Электрооборудование и электротехнологии», 13.03.01 – «Теплотехника и теплоэнергетика» и слушателей курсов повышения квалификации ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им Н.И. Вавилова / Саратов: ИЦ ООО «Амирит», 2016. – 93 с.

Редкозубов В.И., Бахтеев С.В., Иванкина Ю.В., 2025

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ ТЕХНИКИ НА ЭЛЕКТРОТЯГЕ ДЛЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В ХОЗЯЙСТВЕ

Лязат Анатольевна Садыкова¹, Сергей Мударисович Бакиров²,
Даниил Маратович Саидов³

¹Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,
г. Уральск, Казахстан

^{2,3}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии
и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹archisad@mail.ru

²s.m.bakirov@mail.ru

³dansai30@gmail.com

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности вспомогательных работ в сельском хозяйстве за счёт использования малогабаритной техники с электроприводом. Проведён сравнительный анализ техники с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) и с электроприводом по энергозатратам и эксплуатационным характеристикам. Выявлены преимущества техники на электротяге: снижение затрат на топливо, уменьшение выбросов углекислого газа и упрощение технического обслуживания. Рассмотрены перспективы внедрения малогабаритной с/х техники с электроприводом с учетом использования автономных источников энергии.

Ключевые слова: электротрактор, вспомогательные работы в сельском хозяйстве, электропривод, малогабаритная техника.

Для цитирования: Садыкова, Л.А. Обоснование использования малогабаритной техники на электротяге для вспомогательных работ в хозяйстве / Л.А. Садыкова, С.М. Бакиров, Д.М. Саидов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

RATIONALE FOR USING SMALL-SIZED ELECTRIC TRACTION EQUIPMENT FOR AUXILIARY WORK IN THE FARM

Lyazat Anatolyevna Sadykova¹, Sergey Mudarisovich Bakirov²,
Daniil Maratovich Saidov³

¹West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Kazakhstan

^{2,3}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹archisad@mail.ru

²s.m.bakirov@mail.ru

³dansai30@gmail.com

Annotation. The article considers the issues of increasing the energy efficiency of auxiliary work in agriculture through the use of small-sized electric-powered equipment. A comparative analysis of equipment with an internal combustion engine (ICE) and with an electric drive in terms of energy consumption and operational characteristics is carried out. The advantages of equipment with electric traction are revealed: reduced fuel costs, reduced carbon dioxide emissions and simplified maintenance. The prospects for the introduction of small-sized agricultural equipment with an electric drive are considered, taking into account the use of autonomous energy sources.

Keywords: electric tractor, auxiliary work in agriculture, electric drive, small-sized equipment.

For citation: Sadykova, L.A. Justification of the use of small-sized equipment with electric traction for auxiliary work on the farm / L.A. Sadykova, S.M. Bakirov, D.M. Saidov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Эффективное ведение производства в сельском хозяйстве требует оптимизации трудовых и энергетических затрат на выполнение различных вспомогательных работ. Использование в представленных вспомогательных работах техника с электроприводом имеет высокие перспективы для повышения энергоэффективности и снижения эксплуатационных затрат [1].

Вспомогательные работы в сельском хозяйстве охватывают широкий спектр задач, от покоса травы до перемещения небольших грузов. Несмотря на то, что такие работы не являются основными производственными операциями, они составляют заметную часть ежедневной занятости работников, а значит, требуют особого подхода к организации труда и выбору техники. В табл. приведены основные виды вспомогательных работ и их характеристики.

Таблица – Вспомогательные работы в сельском хозяйстве

Вид работы	Описание	Используемая техника
Покос травы	Покос травы для поддержания чистоты территории хозяйства и заготовка в качестве подкормки.	Моторизованные и аккумуляторные косилки
Уборка территории	Сбор мусора, очистка площадок	Мини-погрузчики
Развоз корма	Перемещение кормов внутри хозяйства	Электрокары, тракторы
Перемещение грузов	Транспортировка грузов небольших габаритов	Ручные и мото-тележки, электропогрузчики

Для выполнения этих работ традиционно применяются бензиновые или дизельные машины. Такая техника остаётся востребованной благодаря относительно невысокой стоимости, простоте обслуживания, типичной системе ремонта и поставок запчастей. Однако у подобных машин имеется ряд недостатков: высокий уровень шума, выхлопных газов, а также затраты на топливо и сопутствующие эксплуатационные материалы. Переход на технику с электроприводом позволяет сократить эти затраты, упростить обслуживание и повысить экологичность [2]. В то же время существуют некоторые ограничения, связанные с ёмкостью аккумуляторных батарей и необходимостью организации зарядной инфраструктуры [3]. С учётом роста энергоэффективности современной аккумуляторной техники и появления быстрой зарядки и автономных источников энергии (к примеру, солнечных панелей), внедрение электропривода в сегменте малогабаритных сельскохозяйственных машин становится всё более оправданным.

Материалы и методы. Современные хозяйства используют широкий спектр малогабаритной техники. Ключевыми характеристиками, определяющими выбор оборудования, являются его мощность, энергоэффективность и эксплуатационные затраты. Наиболее популярными видами техники являются:

– Небольшие тракторы с ДВС, например, модели Беларусь МТЗ 320, «Русич Т-21», УАЗ 3303 Unimog U400, ВТЗ-2048А, Arion 640 [4];

– Мини-погрузчики, которые применяются для уборки территории: «Bobcat S70» и «Avant 225».

Для оценки эффективности выполнения вспомогательных работ важно рассмотреть ключевые процессы, на которых применяется малогабаритная техника, а также провести анализ их трудоемкости, энергозатрат и временных характеристик.

Обсуждения. Рассмотрим некоторые процессы в сельскохозяйственном производстве и рассчитаем их технико-экономические показатели.

1. Уборка территории.

Уборка территории включает в себя сбор мусора, очистку площадок от грязи и листьев. Часто для этих задач применяются мини-погрузчики, оснащенные ковшами или щетками.

Пример расчета энергоэффективности техники на ДВС: Дизельный мини-погрузчик Bobcat S70.

– Производительность: 0,1 га/ч.

– Расход топлива: 2,5 л/ч.

Для стандартизации расчётов энергозатрат укажем удельную теплоту сгорания дизтоплива: 42,5 МДж/л [1], таким образом энергозатраты:

$$2,5 \cdot 42,5 = 106,25 \text{ МДж.}$$

Пример техники на электротяге: Электрический мини-погрузчик Lonking CPD15-EF:

– Производительность: 0,1 га/ч.

– Энергопотребление: 7,5 кВт·ч.

Для стандартизации расчётов переведем кВт·ч в Дж:

$$1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3,6 \text{ МДж},$$

таким образом энергозатраты:

$$7,5 \cdot 3,6 = 27 \text{ МДж}.$$

Сравнительный результат:

$$\left(\frac{106,25 - 27}{106,25} \right) \cdot 100\% = 74,6\%$$

Электрический мини-погрузчик потребляет на 74,6% меньше энергии, чем дизельный. Он также более удобен для работы в закрытых помещениях благодаря отсутствию выхлопных газов.

2. Раздача корма.

Раздача корма является одной из самых энергоемких задач, особенно в хозяйствах с большой численностью поголовья. Для этой работы используются тракторы, электрокары и погрузчики с прицепами.

Пример расчета техники на ДВС: Трактор МТЗ-320 (дизельный).

– Производительность: 4 т/ч.

– Расход топлива: 5 л/ч.

На основании [1] получаем расчет энергозатрат:

$$5 \cdot 42,5 = 212,5 \text{ МДж}.$$

Пример расчета техники на электротяге: Электрокар Linde P250.

– Производительность: 4 т/ч.

– Энергопотребление: 2·10 кВт·ч.

На основании [2] получаем расчет энергозатрат:

$$20 \cdot 3,6 = 72 \text{ МДж}.$$

Сравнительный результат:

$$\left(\frac{212,5 - 72}{212,5} \right) \cdot 100\% = 66,12\%$$

Электрокар на 66,12 % энергоэффективнее дизельного трактора. При этом его эксплуатационные затраты (зарядка батареи, экономия на горюче-смазочных материалах) значительно ниже.

3. Перемещение грузов.

Для перемещения грузов на небольшие расстояния используются дизельные и электро- погрузчики и ручные и мототележки. Электропогрузчики выгодно выделяются за счет высокой точности управления и низкого уровня шума.

Пример расчета техники на ДВС: Дизельный погрузчик Toyota 8FD25.

– Грузоподъемность: 2,5 т.

– Расход топлива: 3 л/ч.

На основании [1] получаем расчет энергозатрат:

$$3 \cdot 42,5 = 127,5 \text{ МДж}.$$

Пример расчета техники на электротяге: Электропогрузчик JAC Electric Forklift.

– Грузоподъемность: 2,5 т.

– Энергопотребление: 16,6 кВт·ч

На основании [2] получаем расчет энергозатрат:

$$16,6 \cdot 3,6 = 59,76 \text{ МДж}.$$

Сравнительный результат:

$$\left(\frac{127,5 - 59,76}{127,5}\right) \cdot 100\% = 53,12\%$$

Электропогрузчик потребляет на 53,12% меньше энергии, чем дизельный аналог.

Результаты исследования. Применение электротехники в сельском хозяйстве становится всё более актуальным в условиях роста цен на топливо и укрепления экологических стандартов [5]. Техника с электроприводом обладает рядом преимуществ, которые делают её рациональной альтернативой традиционным ДВС.

Преимущества техники с электроприводом:

1. Экономия энергоресурсов: стоимость электроэнергии ниже стоимости бензина и дизельного топлива.
2. Экологичность: отсутствие выбросов CO₂ и других вредных веществ.
3. Низкие эксплуатационные затраты: электродвигатели требуют меньшего обслуживания, чем двигатели внутреннего сгорания.

В Европе активно используются электрические мини-погрузчики (например, Avant e6), которые успешно конкурируют с дизельными аналогами [6]. В России электроприводные газонокосилки и электрокары находят применение в крупных агрохозяйствах [7].

Для дальнейшего повышения энергоэффективности вспомогательных работ в хозяйстве рекомендуется:

1. Провести анализ структуры хозяйства. Перед внедрением техники с электроприводом целесообразно провести аудит имеющегося парка машин, проанализировать объём их использования, определить приоритетные участки для перехода на технику с электроприводом.
2. Интегрировать технику с автономными источниками энергии. Солнечные панели, установленные на крышах кабин самой техники и складских помещений, могут обеспечить существенную часть необходимой электроэнергии для зарядки электротранспорта.
3. Обучить персонал. Использование техники с электроприводом требует знаний в области особенностей эксплуатации аккумуляторов, правил зарядки и техники безопасности при работе с электрическими системами.
4. Проводить дальнейшие исследования. Изучение возможностей автоматизации и роботизации процессов вспомогательных работ на базе электрических платформ.

Заключение. Представленный анализ показал, что внедрение техники с электроприводом позволит сократить энергетические и эксплуатационные затраты. Это особенно актуально в условиях роста цен на топливо и необходимости повышения экологичности хозяйственной деятельности [8]. Внедрение электрической малогабаритной техники и перевод отдельных процессов на электропривод показывает высокую перспективность с точки зрения энергоэффективности и экологической безопасности. Проведённые расчёты показали, что внедрение техники на электротяге позволяет сократить энергозатраты на 50-75% в зависимости от типа работ.

Список источников

1. Иванов, А.С. Анализ эксплуатационных затрат на беспилотные электротракторы в сельскохозяйственном производстве / А.С. Иванов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1(99). – С. 159-163. – EDN WVCUEH.
2. Riedner, L., Mair, C., Zimek, M. et al. E-mobility in agriculture: differences in perception between experienced and non-experienced electric vehicle users. Clean Techn Environ Policy 21, 55–67 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1615-2>.
3. Performance comparison of charging systems for autonomous electric field tractors using dynamic simulation / O. Lagnelöv, G. Larsson, D. Nilsson et al. Biosystems Engineering. 2020; 194: 121-137
4. Ганжа, В.А. Универсальные транспортно-технологические машины для сельского хозяйства / В.А. Ганжа, Ю.Ф. Кайзер, П.В. Ковалевич // Вестник КрасГАУ. 2013. №8. С. 137-142.
5. Ghobadpour, A.; Monsalve, G.; Cardenas, A.; Mousazadeh, H. Off-Road Electric Vehicles and Autonomous Robots in Agricultural Sector: Trends, Challenges, and Opportunities. Vehicles 2022, 4, 843-864. <https://doi.org/10.3390/vehicles403004>
- 6.«Dairy goes electric with Avant e6 pivot-steer telehandler» // URL: <https://www.fwi.co.uk/machinery/telehandlers/dairy-goes-electric-with-avant-e6-pivot-steer-telehandler>
- 7.«Компания «Русагро» становится обладателем электропогрузчиков Nichiyu» // URL: https://www.sklad.ru/news/company_news/kompaniya-rusagro-stanovitsya-obladatelem-elektropogruzchikov-nichiyu/
- 8.«Рынок электрокаров в России: поддержка государства и перспективы развития» // URL: <https://riamo.ru/articles/aktsenty/rynok-elektrokarov-v-rossii-podderzhka-gosudarstva-i-perspektivy-razvitiya/>

© Садыкова Л.А., Бакиров С.М., Саидов Д.М., 2025

Научная статья
УДК 628.1:621.1

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАТРИЙ-КАТИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПАО «Т ПЛЮС» Г. САРАТОВ

Ольга Владимировна Саранцева¹

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹olga_saranceva@mail.ru

Аннотация. В данной статье исследуется эффективность натрий-катионной очистки водогрейных котлов как метода снижения жесткости воды и предотвращения образования накипи. В результате проведенного исследования

установлено, что натрий-катионная очистка водогрейных котлов снижает жесткость воды предотвращая тем самым образование накипи, что в свою очередь снижает затраты на их обслуживание и увеличивает срок службы. Статья предназначена для специалистов в области теплоэнергетики и водоснабжения.

Ключевые слова: натрий-катионные установки, водогрейные котлы, щелочность, жесткость умягченной воды, эксперимент.

Для цитирования: Саранцева, О.В. Анализ эффективности натрий-катионной очистки водогрейных котлов на предприятии ПАО «Т Плюс» г. Саратов / О.В. Саранцева // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF SODIUM-CATIONIC PURIFICATION OF HOT WATER BOILERS AT THE ENTERPRISE OF PJSC «T PLUS» SARATOV

Olga Vladimirovna Sarantseva¹

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹olga_saranceva@mail.ru

Annotation. This article examines the effectiveness of sodium-cationic treatment of hot water boilers as a method of reducing water hardness and preventing scale formation. As a result of the study, it was found that sodium-cationic treatment of hot water boilers reduces water hardness, thereby preventing the formation of scale, which in turn reduces maintenance costs and increases service life. The article is intended for specialists in the field of thermal power engineering and water supply.

Keywords: sodium-cationic installations, hot water boilers, alkalinity, hardness of softened water, experiment.

For citation: Sarantseva, O.V. Analysis of the effectiveness of sodium-cationic purification of hot water boilers at the enterprise of PJSC «T Plus» Saratov / O.V. Sarantseva // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Одной из основных проблем, с которыми сталкиваются предприятия, является образование накипи, вызванное присутствием ионов жесткости (кальция и магния) в воде. Накипь может значительно снизить эффективность теплообмена и привести к повреждению оборудования. В связи с этим, натрий-катионная очистка, позволяет эффективно удалять ионы жесткости и улучшать эксплуатационные характеристики котлов.

Материалы и методы. В котельной по адресу г. Саратов ул. 4-Нагорная, 32 ПАО «Т Плюс» на натрий-катионной установки ФИП а1 0.7-06 На был проведен отбору проб воды для проведения химического анализа котловой воды.

Пробы отбирались до системы обработки котловой воды и после первой ступени ступени Na-катионирования, анализ проб проводился в химической лаборатории ПАО «Т Плюс». Вода с каждой точки сбора была разлита по колбам. При этом наблюдалась цветовая особенность исходной воды от очищенной на другой точки. В первой колбе (вода собранная в начальной точке сбора перед первой ступенью очистки Na-катионирования) вода визуальна была чистая, прозрачная. В следующей (после первой ступени Na-катионирования), цветность воды изменилась в желтоватую сторону.

Результаты исследования. Анализ взятых проб проводился по следующей методике. Для определения жесткости умягченной воды в мерную колбу помещалось 100 мл анализируемой воды, в которую добавлялся 5 мл аммиачно-буферной смеси и 4 капли индикатора кислотного хром-темно-синего. Если при этом вода имеет синюю окраску, то жесткость от 0,5-20 мкг-экв/л. Красно-сиреневый цвет воды указывает на присутствие в воде солей жесткости (Ca, Mg). Титрование производилось раствором Трилона Б до изменения окраски.

Расчет проводился по формуле:

$$Ж = 0,1 \cdot a \cdot K \cdot 1000 \text{ мкг} - \text{экв} / \text{л}$$

где K – поправочный коэффициент 0,01н раствора Трилона Б; a – число мл. 0,01н Трилона Б, израсходованное на титрование 100мл пробы; 1000 – приведение к микрограммам.

Контроль щелочности.

Щелочность определяется содержанием фенолфталеина (гидратная) и метилоранжа (общая). Для титрования отбирается проба 100 мл, добавляется 2 капли фенолфталеина и при окрашивании раствора в розовый цвет обесцвечивается раствором соляной кислоты. По количеству кислоты на титрование определяется щелочность по формуле:

$$Щ_{\Gamma} = \frac{N \cdot a \cdot K \cdot 1000}{v}$$

где a – расход соляной кислоты; N – нормальность соляной кислоты 0,1 или 0,01; K – поправочный коэффициент; v – количество пробы, взятой на анализ;

Дале определяется общая щелочность для чего к обесцвеченной пробе добавляется водяной раствор метилоранжа и раствор соляной кислоты до окрашивания в оранжевый цвет. По общему расходу кислоты определяется общая щелочность, которая рассчитывается по формуле:

$$Щ_o + Щ_{\text{м.о.}} = \frac{N \cdot a \cdot K \cdot 1000}{v}$$

Для определения наличия солей применялись следующие химические реактивы Ca_2 и Mg_2 в питательной воде реактивы: а) трилон Б – титрование; б) хром темно-синий – индикатор; в) буферная смесь – аммиачно-буферный раствор.

Принцип метода [5]: Трилон Б образует растворимые в воде внутрикомплексные соединения с катионами различных двух или трехвалентных металлов [4]. К числу катионов, с которыми Трилон Б образует комплексы, относятся катионы кальция, магния. Если в раствор, содержащий ионы кальция и магния ввести индикатор хром темно-синий, который дает непрочное цветное соединение с ионами кальция и магния, то при добавлении Трилона Б к такому окрашенному раствору в эквивалентной точке произойдет изменение окраски. Индикатором для определения в воде солей кальция и магния применяется хром темно-синий. Для приготовления реактивов и разбавления исследуемых проб необходим дистиллят, не содержащий медь. Рекомендуется использовать воду, перегнанной в аппарате стеклянном или Н-катионированном. Качество дистиллята определяем: к 100 мл дистиллята прибавляют 1 мл аммиачно-буферной смеси и 5-7 капель индикатора хром темно-синего. Голубая окраска указывает на чистоту воды. Для изготовления раствора Трилона Б берем следующие навески. Отвешивают количество 1,863 гр Трилона Б (двузамещенная натриевая соль этилендиамина тетрауксусная кислота) растворяют в дистилляте и фильтруют. Если раствор получился мутным, то объем раствора доводят до литра. Для установки титров растворов Трилона Б разной нормальности (рН) берут различные объемы.

Буферный раствор – смесь 20 гр хлористого аммония растворяют в дистиллированной воде и добавляют 100 мл 25%-го раствора аммиака и доводят до одного литра дистиллята.

Растворы индикаторов.

Кислотный хром темно-синий 0,5 гр растворяют в 20 мл аммиачно-буферного раствора и доводят до 100 мл этиловым спиртом. Раствор хрома темно-синего следует готовить на срок не более 10 суток. Кислотный хром темно-синий ТУМ МХП 587-51.

Реактивы для определения щелочности: а) раствор соляной кислоты (HCl); б) метилоранж – индикатор; в) фенолфталеин – индикатор.

Погрешность результата измерения не превышала значений, приведенных в табл. 1.

Эксперимент показал, что установка Na-катионирования на котельной по адресу г. Саратов ул. 4-Нагорная, 32 доводит воду до требуемой жесткости и составляет 0,07мг-экв/дм³ (табл. 2).

Таблица 1 – Диапазон измерений, значения характеристик погрешности и ее составляющих (P = 0,95)

Диапазон значений измеряемой жесткости, X, мг-экв/ дм ³	Показатель точности (границы погрешности при вероятности P = 0,95) ±Δ, мг-экв/ дм ³
От 0,06 до 2,00 включ.	0,037 + 0,040·X
Св. 2,00 до 13,00 включ.	-0,05 + 0,073·X

Таблица 2 – Результаты химического анализа исследуемой котловой воды

Ингредиент	Результаты анализа исследуемой пробы	Норматив
Железо, мг/дм ³	0,484	< 0,5

Жесткость общая, мг-экв/дм ³	0,07	< 0,7
Индекс карбонатный, (мг-экв/дм ³) ²	0,1	< 1
Прозрачность (количественно), см	30	30...45
рН, ед.рН	7,3	7...11
Щелочность общая, мг-экв/дм ³	1,7	Не нормируется
Щелочность по фенолфталеину, мг-экв/дм ³	0	Не нормируется
Жесткость кальциевая, мг-экв/дм ³	0,05	Не нормируется

Заключение. Внедрение натрий-катионных установок на водогрейных котлах города Саратова демонстрируют хорошие результаты. Эти установки снижают затраты на водоподготовку и уменьшают расходы на обслуживание оборудования.

Список источников

1. ГОСТ 10652-73 «Реактивы. Соль динатриевая этилендиамина N, N, N', N' – тетрауксусной кислоты, 2-водная (трилон Б). Технические условия».
2. ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб».
3. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике».
4. Дытнерский, Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей / Ю.И. Дытнерский // – М., – 1975.
5. РД 52.24.395-2007 «Жесткость воды. Методика выполнения измерений титриметрическим методом с трилоном Б».
6. Иванов, И.И. «Современные методы водоподготовки» / И.И. Иванов // Журнал «Энергетика», – 2022.
7. Петров, П.П. «Ионный обмен в водоподготовке» / П.П. Петров // Издательство «Наука», – 2021.
8. Кузнецов, И.И. «Ионный обмен и его применение в промышленности». / И.И. Кузнецов // Издательство «Химия», – 2019.

© Саранцева О.В., 2025

Научная статья
УДК 65.011.56

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Михаил Игоревич Синягин¹, Михаил Александрович Левин²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹m_sinyagin@mail.ru

²m.a.levin@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается применение мобильных приложений в электроэнергетической отрасли. Описаны примеры использования мобильных приложений для клиентов и персонала. Клиентам приложения помогают обеспечить контроль расходов электроэнергии, оплату счетов, передачу показаний и связь с поддержкой. Персонал использует мобильные приложения для управления ремонтными работами, осмотра оборудования, обучения и коммуникации. Приведены конкретные примеры использования приложений различных компаний энергетической отрасли. В заключение отмечается, что мобильные приложения играют ключевую роль в повышении эффективности электроэнергетики.

Ключевые слова: мобильные приложения, электроэнергетика, клиенты, персонал, управление, оптимизация, инфраструктура, взаимодействие.

Для цитирования: Синягин, М.И. Использование мобильных приложений в электроэнергетике / М.И. Синягин, М.А. Левин // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

USE OF MOBILE APPLICATIONS IN THE ELECTRICAL POWER INDUSTRY **Sinyagin Mikhail Igorevich¹, Levin Mikhail Aleksandrovich²**

^{1,2}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹m_sinyagin@mail.ru

²m.a.levin@mail.ru

Annotation. This article examines the use of mobile applications within the electrical power industry. Examples of mobile application usage for both customers and personnel are described. For customers, these applications facilitate electricity consumption monitoring, bill payment, meter reading submission, and communication with customer support. Personnel utilize mobile applications for managing maintenance operations, equipment inspection, training, and communication. Specific examples of application usage by various energy sector companies are provided. In conclusion, the article emphasizes the pivotal role of mobile applications in enhancing the efficiency of the electrical power industry.

Keywords: mobile applications, electrical power industry, customers, personnel, management, optimization, infrastructure, communication.

For citation: Sinyagin, M.I. Use of mobile applications in the electric power industry / M.I. Sinyagin, M.A. Levin // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. В современном мире цифровые технологии проникают во все сферы нашей жизни, и электроэнергетика не является исключением. Мобильные приложения становятся все более важным инструментом в работе энергетических компаний, предоставляя им новые возможности для оптимизации процессов, улучшения взаимодействия с клиентами и повышения эффективности управления инфраструктурой. В данной статье мы рассмотрим примеры использования мобильных приложений в электроэнергетике.

Материалы и методы. Мобильные приложения, разработанные электроэнергетическими компаниями, предоставляют широкий спектр возможностей для клиентов, делая процесс учета электроэнергии максимально простым и удобным. Рассмотрим основные функции, доступные пользователям:

• **Мобильные приложения для клиентов**

Одним из наиболее очевидных направлений использования мобильных приложений в электроэнергетике является взаимодействие с клиентами. Приложения для клиентов предоставляют широкий спектр возможностей, таких как:

Контроль учета электроэнергии. Клиенты могут отслеживать свой расход электроэнергии в режиме реального времени, анализировать данные и получать рекомендации по энергосбережению.

Оплата счетов. Приложения позволяют быстро и удобно оплачивать счета за электроэнергию, избегая необходимости посещения офисов или банков.

Передача показаний счетчиков. Клиенты могут передавать показания счетчиков непосредственно через приложение, что упрощает процесс учета потребленной электроэнергии.

Обращение в службу поддержки. Приложения обеспечивают возможность связи с службой поддержки для решения вопросов и получения помощи.

Получение информации о плановых отключениях. Клиенты могут получать уведомления о плановых отключениях электроэнергии, что позволяет заранее к этому подготовиться.

• **Мобильные приложения для персонала**

Мобильные приложения также играют важную роль в работе персонала энергетических компаний. Они помогают автоматизировать многие процессы и повысить эффективность сотрудников. Примеры использования мобильных приложений в работе персонала включают:

Управление ремонтными работами. Приложения позволяют диспетчерам назначать ремонтные бригады на объекты, отслеживать ход работ и получать информацию о состоянии оборудования.

Обход и осмотр оборудования. Персонал может использовать мобильные приложения для фиксации результатов обхода и осмотра оборудования, что ускоряет процесс выявления неисправностей.

Обучение и инструктаж. Приложения могут использоваться для обучения персонала, проведения инструктажей по безопасности и предоставления доступа к необходимой документации.

Коммуникация и координация. Приложения обеспечивают возможность обмена информацией между сотрудниками, координации действий и оперативного реагирования на аварийные ситуации.

Результаты исследования. Рассмотрим использование мобильных приложений на конкретных примерах.

1. Мониторинг учета электроэнергии.

Мобильные приложения позволяют пользователям отслеживать расход электроэнергии в реальном времени. Пользователи могут видеть, сколько электроэнергии они использовали, что помогает им управлять своими расходами. Например, приложение «Россети – Личный кабинет» от компании ПАО «Россети» позволяет своим клиентам передавать показания приборов учета электрической энергии, подавать заявки на смену тарифного плана, подавать сообщения о хищении, неучтенном потреблении электрической энергии, а также быть в курсе отключений электроэнергии.

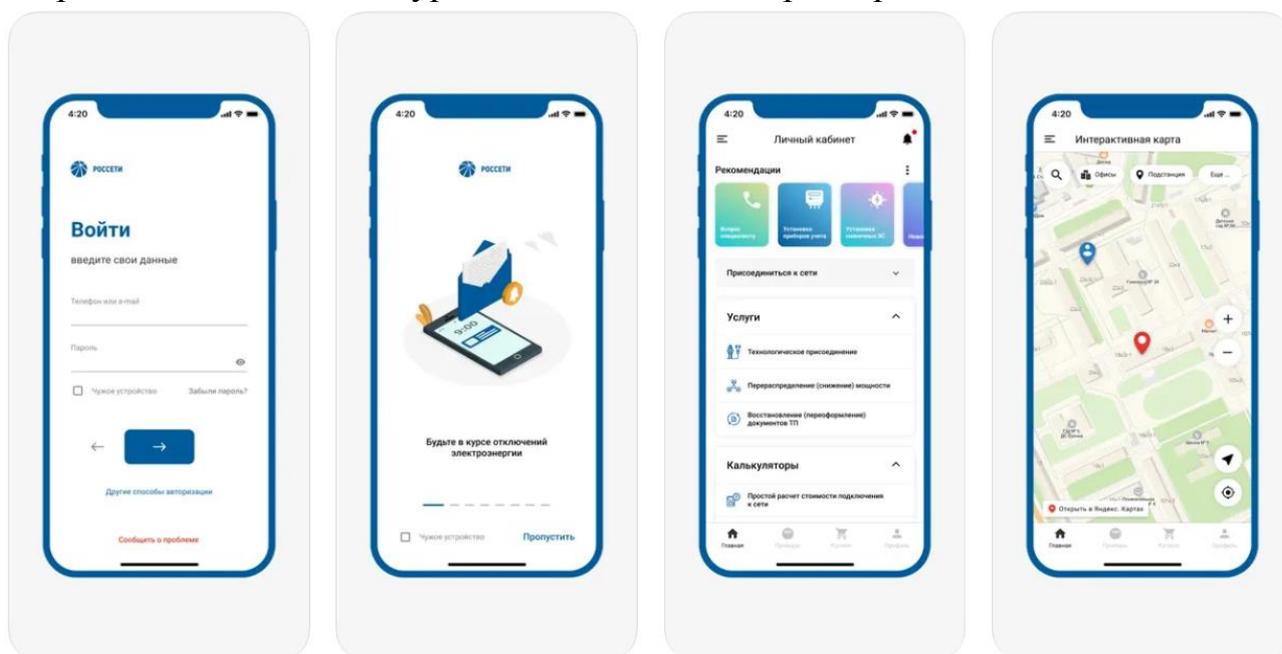


Рисунок 1 – Скриншот приложения «Россети – Личный кабинет» из AppStore

2. Управление инфраструктурой.

В 2021 году компания «Сигма» успешно внедрила АИС «**Мобильный обходчик**» на 2-х электростанциях «**Интер РАО – Электрогенерация**». На данный момент система внедрена уже на 22-х электростанциях, что позволило компании сократить трудозатраты, ускорить реагирование на инциденты и повысить эффективность мобильных бригад.

Основные функции приложения:

- **Регистрация и учет обходов:** приложение позволяет создавать маршруты обходов, фиксировать время и место каждого обхода, а также добавлять комментарии и фотографии.

- **Контроль состояния объектов:** с помощью приложения можно отмечать выявленные проблемы и дефекты на объектах, а также назначать ответственных за их устранение.

- **Формирование отчетов:** приложение автоматически формирует отчеты о выполненных обходах, выявленных проблемах и принятых мерах.

- **Взаимодействие с другими системами:** приложение может интегрироваться с другими системами учета и управления, такими как CRM или ERP.

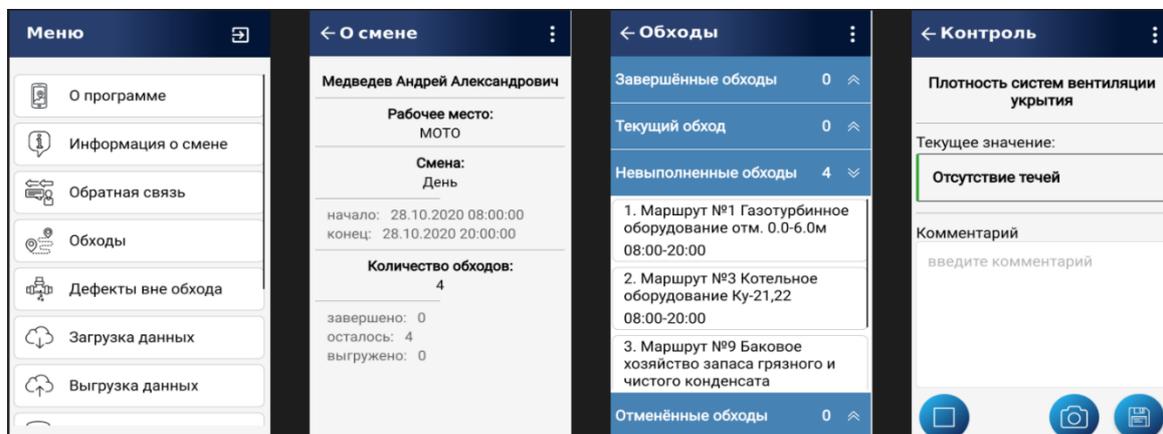


Рисунок 2 –Скриншот приложения «Мобильный обходчик» с сайта AuroraOS

3. Управление возобновляемой энергией.

В качестве примера можно привести приложение от компании **Tesla**, которое позволяет заряжать свои автомобили с помощью функции **Charge on Solar**. Работает это так: когда солнечные панели генерируют больше энергии, чем потребляет дом, избыток направляется в **Powerwall** (литий-ионный аккумулятор, разработанный компанией Tesla. Аккумулятор предназначен для сохранения энергии в целях бытового использования, сдвига нагрузки потребления, а также резервного питания) или обратно в электросеть. Функция Charge on Solar позволяет использовать избыток солнечной энергии для зарядки автомобиля Tesla. Также в приложении можно настроить параметры зарядки от солнечной энергии. Пользователь может установить лимит заряда, до которого автомобиль будет заряжаться от солнечной энергии, а также указать, когда зарядка должна быть приоритетной (например, в определенное время суток).

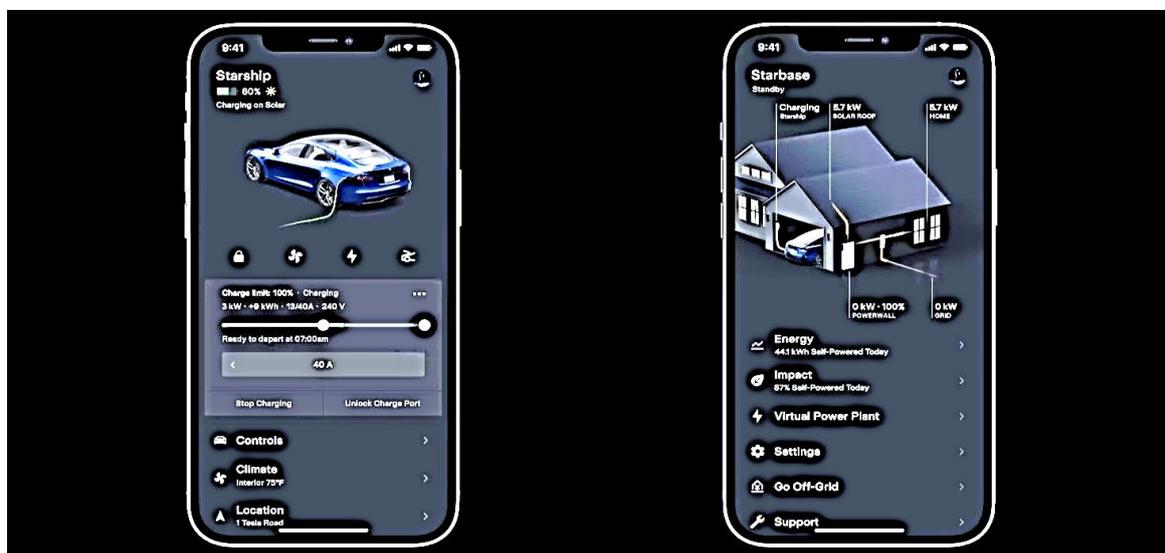


Рисунок 3 –Фото функции Charge on Solar в приложении Tesla

Заключение. Мобильные приложения играют все более важную роль в электроэнергетике, предоставляя компаниям новые возможности для оптимизации процессов, улучшения взаимодействия с клиентами и повышения эффективности управления инфраструктурой. Развитие мобильных технологий и появление новых возможностей открывают широкие перспективы для дальнейшего использования мобильных приложений в этой отрасли. В будущем можно ожидать появления еще более функциональных и умных приложений (с использованием AI и AR), которые будут способствовать дальнейшему развитию электроэнергетики и повышению ее эффективности. Непосредственное развитие применением контроля и учета выполнения регламентного обслуживания, выполнение восстановительных работ позволит оперативно учитывать особенности оборудования, вести виртуальный журнал восстановительных и регламентных работ.

Список источников

1. Петренко, Ю.Н. Программное управление технологическими комплексами в энергетике / Ю.Н. Петренко, С.О. Новиков, А.А. Гончаров // Минск: Издв-во Вышэйшая школа, 2013. – 407 с.
2. Гриффитс, Д. Head First. Программирование для Android на Kotlin. / Д. Гриффитс, Д. Гриффитс; пер. с англ. под ред. Е.П. Матвеева. – Изд. 3-е – СПб.: Издв-во Питер, 2023. – 912 с.
3. Баланов, А.Н. Цифровая энергетика. Системы управления, интеграция, оптимизация, прогнозирование спроса: учебное пособие для вузов / А.Н. Баланов. – СПб.: Издв-во Лань, 2024. – 408 с.
4. Inspector: [Электронный ресурс] // Aurora OS. URL: <https://auroraos.ru/applications/inspector>.
5. Внуков, Е.В. Цифровые технологии в агроинженерии / Е.В. Внуков, М.А. Левин // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы XII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 29–30 апреля 2021 года. – Саратов: ООО «Амирит», 2021. – С. 44-47. – EDN FPRFNV.

© Синягин М.И., Левин М.А., 2025

Научная статья
УДК 621.577

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛООВОГО НАСОСА И ВЫБОР ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Кирилл Александрович Спиридонов¹

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹kirill_spiridonov_85.ru

Аннотация. Системы сбора низкопотенциального тепла поверхностных слоев Земли представляют собой комплексные установки, включающие грунтовый теплообменник, подающий и обратный трубопроводы, а также тепловой насос или промежуточный теплообменник. Эти системы могут быть разделены на открытые и закрытые, в зависимости от источника низкопотенциального тепла. В данной статье рассматривается открытая система теплоснабжения, которая использует грунтовые воды как источник тепла. Основными компонентами такой системы являются скважины для забора «теплой» воды и скважины для возврата охлажденной воды. Для эффективной работы системы важно размещать скважины для забора воды выше по течению, чем скважины для возврата воды, а также использовать промежуточный теплообменник для защиты от замерзания испарителя теплового насоса. Основным достоинством открытых систем является возможность получения большего количества тепла при относительно низких капитальных затратах.

Ключевые слова: теплоэнергетика, тепловые насосы, выбор теплоносителя.

Для цитирования: Спиридонов, К.А. Анализ применения конструкции теплового насоса и выбор теплоносителя. / К.А. Спиридонов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYZING THE APPLICATION OF THE HEAT PUMP DESIGN AND SELECTION OF THE HEAT TRANSFER MEDIUM

Kirill Aleksandrovich Spiridonov¹

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹kirill_spiridonov_85.ru

Annotation. Systems for collecting low potential heat from the Earth's surface layers are complex installations including a ground heat exchanger, supply and return pipelines, and a heat pump or intermediate heat exchanger. These systems can be divided into open and closed systems, depending on the source of low-potential heat. This paper considers an open heat supply system that utilizes groundwater as a heat source. The main components of such a system are boreholes for the intake of “warm” water and boreholes for the return of cooled water. For efficient operation of the system, it is important to place the intake wells upstream of the return wells and to use an intermediate heat exchanger to protect the heat pump evaporator from freezing. The main advantage of open systems is the possibility to produce more heat at relatively low capital costs.

Key words: heat energy, heat pumps, choice of heat carrier.

For citation: Spiridonov, K.A. Analysis of the application of the heat pump design and the choice of coolant / K.A. Spiridonov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Системы сбора низкопотенциального тепла поверхностных слоев Земли, в общем случае, включает в себя грунтовый теплообменник, а также подающий и обратный трубопроводы, которые соединяют грунтовый теплообменник с тепловым насосом или промежуточным теплообменником. Кроме основной функции отбора тепла, грунтовые теплообменники выполнять функцию накопления тепла в массиве грунта. Как правило, выделяют два вида системы сбора низкопотенциального тепла поверхностных слоев Земли:

– открытые системы (источником низкопотенциального тепла являются грунтовые воды, которые подводятся к теплообменникам тепловых насосов или промежуточным теплообменникам);

– закрытые системы (источником низкопотенциального тепла являются непосредственно сам грунт и/или грунтовые воды. Отбор тепла происходит по средствам циркуляции теплоносителя в трубах грунтового теплообменника и переносит его в испаритель теплового насоса).

Методы и материалы. В нашем случае будем использовать открытую систему теплоснабжения. Основными частями открытой системы теплоснабжения являются скважины для забора «теплой» воды и скважины для возврата воды, охлажденной в испарителе теплового насоса или промежуточном теплообменнике. Скважины для забора воды следует размещать выше по течению, чем скважины для возврата воды, для того чтобы уже охлажденная вода не попала повторно в испаритель теплового насоса или промежуточный теплообменник. Так же производителями тепловых насосов рекомендуется использовать промежуточный теплообменник для защиты от замерзания испарителя теплового насоса.

Главным достоинством таких систем является возможность получения большего количества тепла, при низких капитальных затратах. Однако, качество грунтовых вод не всегда удовлетворяет требованиям к качеству воды для теплообменного оборудования, что влечет за собой большие затраты на обслуживание скважин и теплообменного оборудования.

Основные требования к грунту и грунтовым водам:

– высокая водопроницаемость грунтовых пород, позволяющая пополнять запасы воды;

– химический состав воды, удовлетворяющий требованиям к качеству воды для теплообменного оборудования для предотвращения коррозии и появления отложений на стенках трубопроводов и внутренних поверхностей теплообменников.

Вертикальные грунтовые теплообменники дают возможность использовать геотермальное тепло недр Земли. Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками не занимают большой площади участков и не зависят от теплопоступлений от солнечной радиации. Температура на глубине ниже 15 м постоянна. Работа вертикального грунтового теплообменника не зависит от

геологической среды, в которой он расположен, исключением являются только грунтовые породы, имеющие низкую теплопроводность. Такие системы получили наибольшее распространение, благодаря вышеперечисленным преимуществам. Вертикальные грунтовые теплообменники изготавливают из металлических, полипропиленовых и полиэтиленовых труб.

Существует два основных типа вертикальных грунтовых теплообменников:

– U-образный теплообменник, состоящий из двух параллельных труб, закольцованных в нижней части. В одной пробуренной скважине располагают до трех таких теплообменников. Капитальные затраты на изготовление этого типа вертикальных грунтовых теплообменников минимальные;

– концентрический теплообменник. Простейший концентрический теплообменник состоит из двух труб разного диаметра. Труба меньшего диаметра располагается в трубе большего диаметра. Такие теплообменники бывают и более сложных конфигураций.

Наиболее выгодным является применение U-образных вертикальных теплообменников, изготовленных из полиэтиленовой трубы, так как данный материал труб наиболее долговечен.

Для выбора и обоснования теплоносителя необходимо учесть требования, предъявляемые к теплоносителю в первичном и вторичном контуре систем теплоснабжения с применением тепловых насосов: низкая температура замерзания; минимальное гидравлическое сопротивление; соответствие нормам качества воды для подпитки тепловых сетей; большая теплоемкость.

Были рассмотрены три теплоносителя:

- 25% раствор пропиленгликоля;
- 35% раствор пропиленгликоля;
- вода.

Теплофизические свойства рассматриваемых теплоносителей приведены в табл. 1.

Для сравнения гидравлического сопротивления, создаваемого теплоносителем при движении воды в трубах, был произведен гидравлический расчет вертикального грунтового теплообменника методом удельных потерь давления по длине.

Таблица 1 – Теплофизические свойства теплоносителей (при температуре 20°C)

Параметр теплоносителя	Обознач.	Единица измерения	35% раствор пропиленгликоля	25% раствор пропиленгликоля	Вода
Температура замерзания	t_z	°C	-20	-10	0
Плотность	ρ	кг/м ³	1036	1033	998
Удельная теплоемкость	c	Дж/(кг·°C)	3770	3980	4190
Коэффициент динамической вязкости	μ	Па·с	$4,56 \cdot 10^{-3}$	$2,86 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Коэффициент кинематической вязкости	ν	м ² /с	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Коэффициент теплопроводности	λ	Вт/(м·°C)	0,429	0,478	0,56

Обсуждение. Потери давления по l длине определяются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{l}{d_{вн}} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

где λ – безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления; l – длина трубопровода, м; $d_{вн}$ – внутренний диаметр трубы, м; v – средняя скорость движения жидкости, м/с.

Средняя скорость движения жидкости, м/с:

$$v = \frac{G}{F}$$

где G – объемный расход, м³/сек; F – площадь поперечного сечения потока м².

Коэффициент гидравлического сопротивления λ зависит от режима течения жидкости и шероховатости внутренней поверхности трубы (канала), т.е.

$$\lambda = \lambda \cdot \left(\text{Re} \frac{\Delta}{d_{вн}} \right)$$

где $\Delta/d_{вн}$ – относительная шероховатость, Δ – абсолютная шероховатость, м, для расчета примем $5 \cdot 10^{-6}$ м [3].

Re – число Рейнольдса,

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot d_h \cdot v}{\mu}$$

где d_h – гидравлический диаметр труб, для круглых труб равный геометрическому диаметру труб, для круглых труб равный внутреннему диаметру.

Расчетная зависимость для коэффициента гидравлического сопротивления движению несжимаемой жидкости в круглой трубе для зоны гидравлических труб ($\text{Re}_{кр} < \text{Re} < 10 d_{вн} / \Delta$, $\text{Re}_{кр} \approx 2320$):

$$\lambda = \frac{1}{(1,8 \cdot \lg \text{Re} - 1,5)}$$

Основные преимущества и недостатки сведены в табл. 2.

Из таблиц видно, что наиболее выгодным теплоносителем с точки зрения энергоэффективности и капитальных затрат является вода. Но вследствие того, что в первичном контуре теплового насоса возможно понижение температуры ниже нуля, для системы теплоснабжения с применением теплового насоса в качестве теплоносителя был выбран 25% раствор пропиленгликоля с температурой замерзания -10°C .

Таблица 2 – Преимущества и недостатки теплоносителей

Теплоноситель	Преимущества	Недостатки
Вода	Минимальное гидравлическое сопротивление; большая теплоемкость, безопасен с экологической точки зрения	Высокая температура замерзания
25% раствор пропиленгликоля	Среднее гидравлическое сопротивление; безопасен с экологической точки зрения, низкая температура замерзания	Низкая теплоемкость
35% раствор пропиленгликоля	Безопасен с экологической точки зрения, низкая температура замерзания	Низкая теплоемкость, высокое гидравлическое сопротивление

Заключение. Открытые системы сбора низкопотенциального тепла представляют собой перспективное решение для эффективного использования геотермальной энергии. Благодаря своей конструкции, такие системы обеспечивают надежный и экономичный способ отопления, однако требуют внимательного подхода к выбору местоположения скважин и качеству грунтовых вод.

На фоне растущих затрат на традиционные источники энергии, эффективные и устойчивые системы теплоснабжения становятся всё более актуальными. Варианты с вертикальными грунтовыми теплообменниками, особенно U-образные конструкции из полиэтилена, демонстрируют оптимальное сочетание цены и долговечности, что делает их выгодным выбором.

При выборе теплоносителя важно учитывать его теплофизические характеристики, позволяющие снижать риск замерзания и обеспечивать надежную работу системы. Сравнительный анализ различных растворителей показывает, что пропиленгликоль может стать отличной альтернативой воде, несмотря на возможные дополнительные затраты.

Таким образом, системы сбора низкопотенциального тепла не только способствуют снижению энергетических затрат, но и активно поддерживают экологическую устойчивость, что делает их важным элементом современного подхода к энергоснабжению.

Список литературы

1. Баранов, И.Н. Тепловые насосы и их применение в системах отопления / И.Н. Баранов // М.: Энергоатомиздат, – 2015.
2. Ефимов, С.В. Основы термодинамики для инженеров / С.В. Ефимов // М.: Машиностроение, – 2016.
3. Жуков, А.В. Геотермальные системы отопления / А.В. Жуков // М.: Стройиздат, – 2017.
4. Зайцев, П.А. Теплотехнические расчеты в системах отопления / П.А. Зайцев // М.: Архитектура-С, – 2018.
5. Иванов, А.С. Тепловые насосы: теория и практика / А.С. Иванов // СПб.: Питер, 2014.

© Спиридонов К.А., 2025

Научная статья
УДК 621.313

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ В РАЗВИТИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Рамиль Ильдарович Солямов¹, Егор Олегович Прокофьев², Кирилл Сергеевич Бирюков³

^{1,2,3}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. При использовании роботов в гражданской промышленности и сельском хозяйстве наибольшее значение придается их экономической эффективности. В той или иной степени, применение мобильных роботов в интересах различных подразделений возможно при проведении операции любого типа и поставленные задачи непосредственно облегчают развитие мобильных роботов.

Ключевые слова: задача, робототехника, гибридные роботы, условия работы, мобильный робот, система управления.

Для цитирования: Солямов, Р.И. Основные задачи в развитии промышленных мобильных роботов / Р.И. Солямов, Е.О. Прокофьев, К.С. Бирюков // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

THE MAIN TASKS IN THE DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL MOBILE ROBOTS

**Ramil Ildarovich Solyamov¹, Egor Olegovich Prokofiev²,
Kirill Sergeevich Biryukov³**

^{1,2,3}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation. When using robots in the civilian industry, the greatest importance is attached to their economic efficiency. To one degree or another, the use of mobile robots in the interests of various departments is possible during any type of operation, and the tasks set directly facilitate the development of mobile robots.

Keywords: task, robotics, hybrid robots, working conditions, mobile robot, control system.

For citation: Solyamov, R.I. The main tasks in the development of industrial mobile robots / R.I. Solyamov, E.O. Prokofiev, K.S. Biryukov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. В настоящее время наиболее перспективной считается разработка комбинированных систем, сочетающих возможности автоматического и дистанционного управления под наблюдением оператора. Например, человек отвечает за «захват» дороги и выход на нее, а система автовождения управляет движением по дороге. Человек идентифицирует ориентиры на местности, а бортовая система управления вычисляет местоположение робота. Исключение человека из непосредственного процесса управления значительно сокращает объем передаваемой информации, а возможность его вмешательства в критических ситуациях расширяет круг решаемых задач. Кроме того,

автоматическая система обеспечивает продолжение выполнения задания или эвакуацию робота из опасной зоны в случае потери связи из-за применения средств радиоподавления или отказа радиооборудования [1, 2].

Объект и методика исследования. Применение мобильного робота более эффективно при использовании последнего в составе робототехнического комплекса, образованного группой мобильных роботов, средствами доставки, энергообеспечения и технического обслуживания, центральным постом управления и обработки данных.

Результаты исследования. Мобильные роботы универсальны и поэтому могут быть использованы в разных областях. Применительно к использованию робототехники в различных целях и в чрезвычайных ситуациях приоритетное значение имеют технические «способности» роботов, пригодность к эксплуатации в жестких и экстремальных условиях и способность обеспечить защиту обслуживающего персонала. При использовании роботов в гражданской промышленности наибольшее значение придается их экономической эффективности. В той или иной степени, применение мобильных роботов в интересах подразделений возможно при проведении операции любого типа. Однако наиболее целесообразно использование роботов при проведении взрывотехнических работ и антитеррористических операций, а также при охране значимых объектов, в том числе линии ВЛ [1, 2]. При этом применение роботов возможно для решения следующих задач:

- при проведении взрывотехнических работ: поиск и диагностика взрывных устройств; уничтожение или эвакуация взрывных устройств; расснаряжение или обезвреживание взрывных устройств; проведение химической и радиационной разведки объектов и территорий;

- при проведении антитеррористических операций: постановка радиоэлектронных помех, дымовых и специальных завес; доставка и применение спецсредств нелегального действия; скрытое проникновение на захваченные и охраняемые объекты; ведение радиоэлектронной аудио- и видеоразведки объектов и территорий; разрушение преград (двери, стены);

- при охране объектов: патрулирование территории или периметра объекта, пресечение попыток проникновения на объект, нейтрализация нарушителей.

Указанные операции проводятся на разных объектах и в разнообразных условиях: на объектах общественного транспорта (городской транспорт, автомобильный, авиационный, железнодорожный, морской); в местах проживания и жизнедеятельности людей (дома, квартиры, офисы и др.); на промышленных объектах (объекты ядерного технологического цикла, химической промышленности, энергетической и пр.); на объектах городской инфраструктуры (теплостанции, канализация, подстанции и т.п.); на открытой местности, на сильно пересеченной местности, в лесах и т.д. Специфика операций, условия эксплуатации и функциональное назначение мобильного робота определяют его конструктивные особенности, степень сложности системы управления, массогабаритные характеристики и состав специального оборудования [1, 2].

К мобильному роботу предъявляются следующие общие требования: роботу необходимо иметь высокую подвижность и проходимость в городских условиях, внутри зданий и сооружений, в зонах разрушений, на пересеченной местности, как на твердых гладких покрытиях, так и на деформируемых грунтовых основаниях; робот должен надежно действовать как в неподготовленных естественных условиях, так и в среде, специально приспособленной для обитания человека (внутри домов, в транспортных коммуникациях), вписываться в городские транспортные потоки или двигаться в составе транспортных колонн; конструкция робота должна обеспечивать быстрое развертывание при выполнении операций и его высокую мобильность [1, 2].

Заключение. Для выполнения вышеуказанных задач имеют следующие основные группы мобильных роботов: мобильный робототехнический комплекс (универсальные наземные роботы, предназначенные для действий на объектах транспорта, промышленности, городской инфраструктуры и т.д., на открытой слабопересеченной местности; специальные робототехнические комплексы (роботы, способные перемещаться по вертикальным и наклонным поверхностям промышленных объектов и транспортных средств, а также в трубопроводах и узких местах; малогабаритный дистанционно пилотируемый летательный аппарат (МДПЛА) (воздушный робот для проведения разведки на открытой местности, сильно пересеченной местности, в горах, в городе).

Список источников

1. Бройнль, Т. Встраиваемые робототехнические системы: проектирование и применение мобильных роботов со встроенными системами управления: пер. с англ. / Т. Бройнль // – Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. – 520 с.

2. Форум разработчиков электроники [Электронный ресурс]: раздел «Электрические машины, Электропривод и Управление». – Режим доступа: <http://electronix.ru/forum/index.php?showforum=179>.

© Солямов Р.И., Прокофьев Е.О., Бирюков К.С., 2025

Научная статья
УДК 621.313

ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

**Рамиль Ильдарович Солямов¹, Алексей Петрович Моисеев²,
Егор Олегович Прокофьев³, Кирилл Сергеевич Бирюков⁴**

^{1,2,3,4}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. В статье приведены, на основе сопоставительного анализа данных различных источников, классификация, свойства множества конструктивных мобильных роботов, также представлена структура мобильного роботизированного комплекса.

Ключевые слова: робототехника, гибридные роботы, условия работы, мобильный робот, система управления.

Для цитирования: Солямов, Р.И. Тенденции в развитии промышленных мобильных роботов / Р.И. Солямов, А.П. Моисеев, Е.О. Прокофьев, К.С. Бирюков // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL MOBILE ROBOTS

Ramil Ildarovich Solyamov¹, Aleksey Petrovich Moiseev²,

Egor Olegovich Prokofiev³, Kirill Sergeevich Biryukov⁴

^{1,2,3,4}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation. The article presents, based on a comparative analysis of data from various sources, the classification and properties of a variety of constructive mobile robots, as well as the structure of a mobile robotic complex.

Keywords: robotics, hybrid robots, working conditions, mobile robot, control system.

For citation: Solyamov, R.I. Trends in the development of industrial mobile robots / R.I. Solyamov, A.P. Moiseev, E.O. Prokofiev, K.S. Biryukov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. В ходе современной научно-технической революции одним из ключевых аспектов стало широкое распространение робототехники в промышленной и исследовательской деятельности. Роботы выступают в качестве универсальных автоматизированных систем, способных имитировать двигательные и когнитивные функции человека. Среди классов роботов особо выделяется манипуляционная робототехника [1, 2].

Основная цель разработки роботов – перенос на них задач, которые для человека являются трудоемкими, физически тяжелыми, монотонными, опасными для здоровья и жизни. Такого рода функции включают в себя:

– вспомогательные операции на производстве (загрузка и разгрузка оборудования, станков, автоматических систем);

– ключевые производственные операции (сварка, окрашивание, резка, сборка и т. д.);

– работы в экстремальных условиях (на подводных объектах, в космосе, в условиях радиоактивного или токсического загрязнения).

Роботы используются для комплексной автоматизации производственных процессов, повышения производительности труда и улучшения качества продукции. В отличие от традиционных систем автоматизации, промышленные роботы отличаются универсальностью и возможностью быстрой переналадки. Это позволяет создавать на основе универсального оборудования роботизированные технологические комплексы и гибкие автоматизированные производства [1, 3].

Использование роботов способствует повышению эффективности производственных процессов, снижению затрат и повышению конкурентоспособности предприятий. Кроме того, робототехника создает новые возможности для научных исследований и разработок, а также для решения сложных общественных проблем, таких как изменение климата и перенаправление деятельности населения.

Объект и методика исследования. Каждый тип мобильного робота имеет свои преимущества и недостатки, которые определяются конкретными условиями эксплуатации. Колесные роботы наиболее универсальны и подходят для большинства поверхностей, в то время как шагающие роботы лучше справляются с пересеченной местностью. Гибридные роботы сочетают в себе возможности обоих типов. Специализированные роботы предназначены для работы в особых условиях, таких как рельсы, вертикальные поверхности или неровная местность.

Поэтому исследования в данном направлении считается актуальным.

Результаты исследования. Роботизация охватила практически все сферы человеческой деятельности, и ее масштабы постоянно растут. Диапазон применения робототехники чрезвычайно широк:

– *производство*: Роботы автоматизируют многие производственные процессы, заменяя людей в выполнении повторяющихся и трудоемких задач. Это повышает эффективность и снижает затраты на производство.

– *космические и морские исследования*: Роботы используются для изучения космоса и океанских глубин, где условия слишком суровы или опасны для человека.

– *медицина*: Роботы-хирурги проводят сложнейшие операции с высокой точностью и минимальной инвазивностью. Разрабатываются роботизированные протезы для восстановления утраченных функций конечностей и органов.

– *военное дело*: Военная техника становится все более интеллектуальной и автономной. Роботы выполняют задачи управления движением, разведки, прицеливания и стрельбы, оставляя человеку принятие стратегических решений и техническое обслуживание.

Несмотря на широкое распространение, до сих пор не существует четкого определения термина «робот». В целом, робот считается автоматической системой, которая оснащена датчиками для восприятия окружающей среды, исполнительными механизмами для воздействия на нее и блоком управления, позволяющим ей целенаправленно действовать в меняющихся условиях. Роботы отличаются от традиционных автоматизированных систем своей универсальностью, способностью выполнять различные задачи и возможностью частично или полностью имитировать

двигательные и интеллектуальные функции человека [1, 2]. На практике же понятие “робот” распространяют и на любые дистанционно управляемые транспортные средства, снабженные системой осязания (как минимум, системой технического зрения). Робот призван заменить человека в случаях, когда выполнение задачи находится за пределами человеческих возможностей либо сопряжено с чрезмерной угрозой здоровью и жизни человека, а также при недостатке профессионально подготовленного персонала для выполнения трудоемких и циклически повторяющихся задач.

Робота можно классифицировать по:

1) областям применения: производственные (промышленные), военные (боевые, обеспечивающие), исследовательские, медицинские;

2) среде обитания (эксплуатации): наземные, подземные, надводные, подводные, воздушные, космические;

3) степени подвижности: стационарные, мобильные;

4) типу системы управления: программные, адаптивные, интеллектуальные;

5) функциональному назначению: манипуляционные, транспортные, информационные, комбинированные;

6) уровню универсальности: специальные, специализированные, универсальные;

7) конструктивным признакам:

– типу исполнительных приводов: электрические, гидравлические, пневматические;

– типу движителя: гусеничные, колесные, колесно-гусеничные, полугусеничные, шагающие, колесно-шагающие, роторные, с петлевым, винтовым, водометным и реактивным движителями;

– конструктивным особенностям технологического оборудования: по числу манипуляторов, по грузоподъемности манипуляторов, по системе координат рабочей зоны (линейная, угловая);

– типу источников первичных управляющих сигналов: электрические, биоэлектрические, акустические;

– способу управления: автоматические, дистанционно управляемые (копирующие, командные, интерактивные, супервизорные, диалоговые), ручные (шарнирно-балансирные, экзоскелетонные) [1, 2].

Условия работы роботов, определяемые типом среды эксплуатации и характером выполняемой задачи, можно разделить на две категории: детерминированные и недетерминированные.

Детерминированные среды спроектированы и созданы человеком. Они характеризуются предсказуемым и контролируемым поведением. Например, производственные цеха, лаборатории и офисы являются детерминированными средами.

Детерминированные процессы – это процессы, протекание которых полностью зависит от намеренных действий человека. Они характеризуются предсказуемостью и повторяемостью. Например, сборка автомобиля на конвейере является детерминированным процессом [1, 3].

В отличие от детерминированных сред, недетерминированные среды характеризуются непредсказуемым и динамичным поведением. Они могут содержать препятствия, изменяющиеся условия и неопределенные факторы. Например, открытая местность, океан и космос являются недетерминированными средами. Недетерминированные процессы – это процессы, которые зависят от факторов, которые трудно или невозможно предсказать, или контролировать. Они характеризуются неопределенностью и непредсказуемостью. Например, навигация по бездорожью является недетерминированным процессом.

В детерминированных средах уже существует высокий уровень организации, либо требуемый уровень организации может быть достигнут с относительно небольшими затратами. Определенность среды обусловлена априорным знанием точного расположения всех объектов, с которыми робот может взаимодействовать. Для манипуляционного робота это означает точное знание местоположения и ориентации объектов в его рабочей зоне. Для транспортного робота детерминированной средой является, например, рельсовая система в цехе. К этой категории также относятся среды, которые можно организовать необходимым образом, хотя и с большими затратами (не полностью организованные среды). В этом случае отдельные объекты могут иметь заранее неизвестные отклонения от нормы. К таким средам можно отнести полевые склады боеприпасов, горюче-смазочных материалов, технологические позиции и т. д. В средах второй категории практически невозможно организовать их. Такие среды называются полностью неорганизованными (недетерминированными). К ним относятся, в частности, природные среды и среды, создаваемые аварийными ситуациями как в природных условиях, так и при разрушении сред, спроектированных и созданных человеком (например, разрушение зданий и сооружений). К действиям робота в природных средах относятся: разведка местности, военные операции, разминирование и патрулирование, подводные и подземные работы.

К действиям робота при разрушениях сред, созданных человеком, относятся: боевые действия в городских условиях, расчистка завалов, спасательные работы в разрушенных зданиях. К недетерминированным процессам относится любой процесс, протекание и результат которого полностью не зависят от целенаправленной деятельности человека. Недетерминированными процессами являются: боевые действия, природные процессы (землетрясения, извержения вулканов и т.п.), пожары, взрывы (результаты техногенных аварий) [1, 4].

Для работы в недетерминированных условиях в настоящее время разрабатывается класс робототехнических систем, называемых «мобильными роботами». Отличительной чертой мобильных роботов является их локомоционная способность (способность к перемещению в пространстве).

Любой мобильный робот состоит из трех основных систем (рис.): а) транспортная система: транспортное средство для доставки специального и технологического оборудования к месту выполнения задачи; б) специальная система: выполняет конкретные задачи, для которых предназначен робот

(например, манипулирование объектами, разведка местности, тушение пожаров); в) система управления: управляет транспортной и специальной системами, обеспечивая перемещение робота и выполнение им поставленных задач.

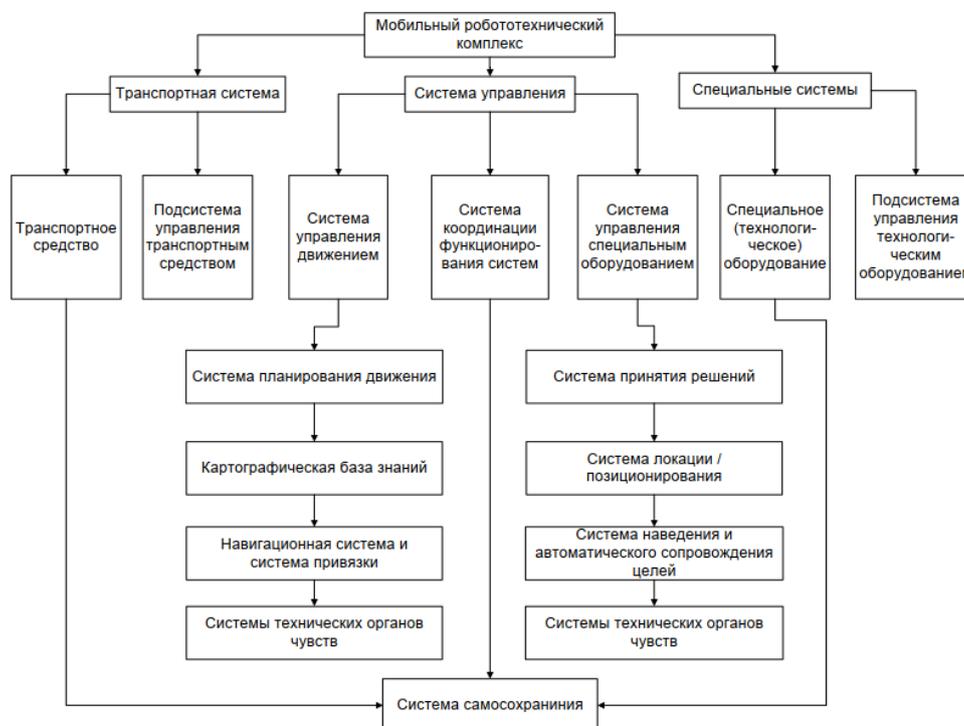


Рисунок – Обобщенная структура мобильного роботизированного комплекса

Транспортное средство состоит из ходовой части, корпуса и энергетической установки. Как правило, система управления устанавливается внутри корпуса. В зависимости от типа среды эксплуатации ходовая часть может быть гусеничная, колесная, колесно-гусеничная, полугусеничная, шагающая, колесно-шагающая, роторная, с петлевым, винтовым, водометным и реактивным движителями. Облик наземного мобильного робота в первую очередь определяется типом и конструкцией движителя, служащего для преобразования в процессе взаимодействия с внешней средой усилия, получаемого от двигателя, в тяговое усилие, движущее транспортное средство. Выбор типа движителя и его размеров является очень сложной задачей. Практически невозможно создать универсальную конструкцию движителя, дающего возможность одинаково уверенно передвигаться в разнообразных условиях окружающей среды: множество видов и свойств оснований, сложные пересечения рельефа местности, необходимость перемещения по элементам сооружений и внутри зданий являются причиной создания большого числа компоновочных схем роботов с различными типами движителей. Основное внимание разработчиков уделяется различным вариантам колесного и гусеничного движителей. Несколько меньшее внимание уделено шагающему движителю [1, 3]. И существенно меньшее – другим типам (например, роторно-винтовому, аппаратам на воздушной подушке и др., предназначенным для движения по поверхности со специфическими физико-механическими свойствами (заболоченным местам, мелководью, глубокому снегу).

Заключение. По результату проведенного анализа необходимо модернизировать мобильный робот под определенные задачи, который будет осуществлять подвозку деталей от склада к станку, а также для проверки труб на теплотрассе, поиска места аварии, определения повреждение силового электрического кабеля и за короткое время оперативно доставить информацию для устранения.

Список источников

1. Бройнль, Т. Встраиваемые робототехнические системы: проектирование и применение мобильных роботов со встроенными системами управления: пер. с англ. / Т. Бройнль // – Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. – 520 с.

2. Форум разработчиков электроники [Электронный ресурс]: раздел «Электрические машины, Электропривод и Управление». - Режим доступа: <http://electronix.ru/forum/index.php?showforum=179>.

3. Михайлов, О.П. Современный электропривод станков с ЧПУ и промышленных роботов [Текст]: учеб. / О.П. Михайлов, Р.Т. Орлова, А.В. Пальцев // под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Высш.шк., 1989. – 111с.

4. Усанов, К.М. Импульсный электромагнитный привод машин с однонаправленным поступательным движением рабочего органа / К.М. Усанов, А.П. Моисеев, В.А. Каргин // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Кобы В.Г. – Саратов, 2011. – С. 239-241.

© Солямов Р.И., Моисеев А.П., Прокофьев Е.О., Бирюков К.С., 2025

Научная статья
УДК 004.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ СОРТИРОВКИ ФРУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Дмитрий Юрьевич Сохинов¹, Семён Валентинович Сыч²,
Анна Анатольевна Тарола³, Екатерина Владиславовна Пестова⁴

^{1,2,3,4}Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия

¹sohinovdju@mgupp.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0030-8580>

²89180013568@mail.ru

³tarolaaa@mgupp.ru

⁴pestovaev@mgupp.ru

Аннотация. В статье представлена интеллектуальная автоматизированная система сортировки фруктов, основанная на применении технического зрения

и алгоритмов машинного обучения. Основной задачей системы является автоматизация процесса сортировки яблок, что позволяет значительно повысить эффективность и точность обработки продукции. Описаны основные компоненты установки, включая конвейерную систему, камеру технического зрения, сервер для обработки данных и программируемый логический контроллер (ПЛК), который управляет исполнительными механизмами. Методика сортировки основана на анализе изображений фруктов в реальном времени с помощью сверточной нейронной сети, обученной классифицировать плоды по наличию дефектов. Система позволяет обнаруживать повреждения на поверхности плодов, что повышает качество продукции и уменьшает трудозатраты.

Ключевые слова: Интеллектуальная система сортировки, техническое зрение, машинное обучение, сверточные нейронные сети, автоматизация, обработка изображений, классификация фруктов.

Для цитирования: Сохинов, Д.Ю. Автоматизация сортировки фруктов с использованием технического зрения и алгоритмов машинного обучения / Д.Ю. Сохинов, С.В. Сыч, А.А. Тарола, Е.В. Пестова // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

AUTOMATION OF FRUIT SORTING USING MACHINE VISION AND MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Dmitry Yuryevich Sokhinov¹, Semyon Valentinovich Sych², Anna Anatolyevna Tarola³, Ekaterina Vladislavovna Pestova⁴

^{1,2,3,4}Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

¹sohinovdju@mgupp.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0030-8580>

²89180013568@mail.ru

³tarolaaa@mgupp.ru

⁴pestovaev@mgupp.ru

Annotation. The article presents an intelligent automated fruit sorting system based on machine vision and machine learning algorithms. The primary goal of the system is to automate the apple sorting process, significantly improving efficiency and processing accuracy. The main components of the setup are described, including the conveyor system, machine vision camera, data processing server, and programmable logic controller (PLC) that controls the actuators. The sorting methodology is based on real-time fruit image analysis using a convolutional neural network trained to classify fruits based on defect presence. The system detects surface damage on fruits, enhancing product quality and reducing labor costs.

Keywords: intelligent sorting system, machine vision, machine learning, convolutional neural networks, automation, image processing, fruit classification.

For citation: Sokhinov, D.Y. Automation of fruit sorting using machine vision and machine learning algorithms / D.Y. Sokhinov, S.V. Sych, A.A. Tarola, E.V. Pestova // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Современная пищевая промышленность сталкивается с рядом трудностей, связанных с необходимостью повышения эффективности производства, сокращения трудозатрат и улучшения качества продукции. Особенно актуальными эти задачи становятся в контексте увеличивающегося объёма производства фруктов, где сортировка является ключевым этапом для обеспечения стандартизации и последующей переработки. Традиционные методы сортировки, основанные на ручном труде, не всегда способны обеспечить высокую производительность и точность, что приводит к увеличению себестоимости продукции и снижению её качества.

Материалы и методы. В условиях интенсивного роста технологических возможностей одним из перспективных решений является автоматизация процесса сортировки с применением систем технического зрения и алгоритмов машинного обучения. Эти технологии позволяют точно оценивать внешний вид и качество плодов, выявлять повреждения и дефекты на поверхности фруктов, что особенно важно при подготовке продукции к хранению или переработке [1].

Интеллектуальная система сортировки фруктов на базе технического зрения представляет собой комплексное решение, основанное на применении передовых технологий машинного обучения и обработки изображений [2]. Основная цель системы – автоматизация процесса сортировки фруктов с минимальным участием человека, что позволяет значительно повысить производительность и точность на производственных линиях пищевой промышленности.

Результаты исследования. Основу всей установки составляет конвейерная система (рис.), которая включает ленточный транспортер. Ленточный транспортер находится под углом и вращает плоды в обратном направлении таким образом, чтобы система технического зрения могла получить изображения всей поверхности каждого фрукта. Этот механизм обеспечивает равномерное перемещение плодов через всю линию сортировки, предотвращая скопление фруктов на конвейере и давая возможность камерам получить данные с разных сторон каждого плода [3].

Конвейер оснащён электроприводом, который управляется программируемым логическим контроллером (ПЛК), что позволяет регулировать скорость движения в зависимости от нагрузки линии и скорости обработки данных [4]. Направляющие системы разделяют плоды на три потока, что упрощает работу камеры технического зрения и увеличивает производительность.

Камера, установленная над конвейером, играет ключевую роль в получении данных для классификации фруктов. Она фиксирует изображения

каждого плода при его движении по конвейеру. Благодаря вращению роликов и равномерному распределению плодов, камера может фиксировать поверхность плодов с различных ракурсов, что позволяет оценивать не только наличие дефектов, но и их площадь [5].

Полученные изображения передаются по локальной сети Ethernet на сервер, где осуществляется дальнейшая обработка с использованием алгоритмов машинного обучения.

Сервер выступает центральным вычислительным узлом системы [6]. Он принимает изображения с камеры и передаёт их в обученную сверточную нейронную сеть для дальнейшей классификации. Благодаря высокой производительности сервера, система способна обрабатывать изображения в режиме реального времени, что позволяет поддерживать высокую производительность сортировочной линии. Сервер использует обученную модель машинного обучения для анализа каждого изображения, определяя, является ли плод здоровым или повреждённым.

На сервере также происходит контроль качества работы нейронной сети, а также корректировка параметров обработки изображений для повышения точности классификации.

ПЛК отвечает за управление исполнительными механизмами системы сортировки. После того как сервер завершает обработку изображения и классифицирует плод, ПЛК получает сигнал, который определяет дальнейшее направление плода. Если плод распознан как повреждённый, он направляется в одну из ёмкостей для отбракованных фруктов [7]. В случае обнаружения незначительных дефектов, плод может быть направлен в секцию для переработки на сок.

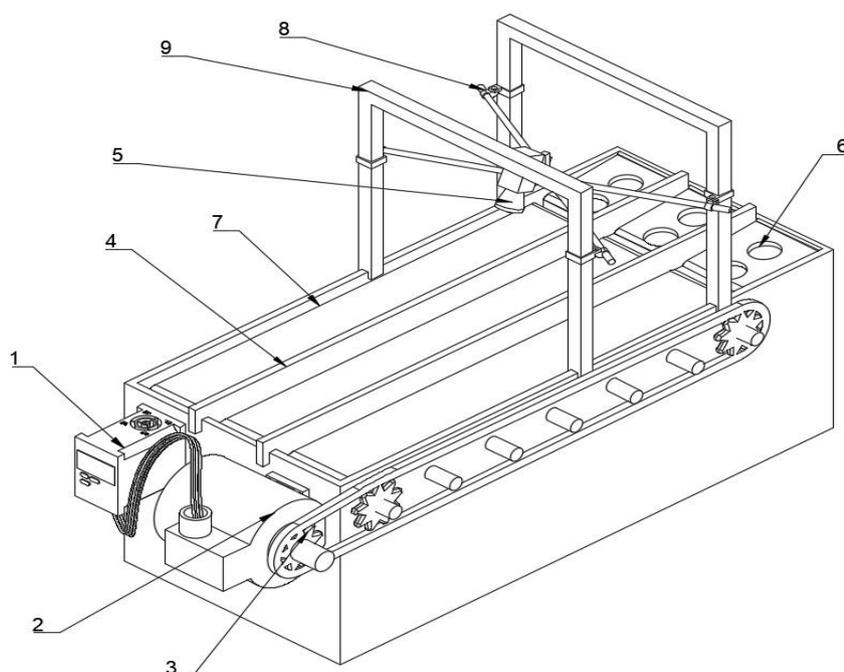


Рисунок – Структура макета для системы сортировки яблок: 1 – трехфазный регулятор; 2 – мотор на 0,12 кВт; 3 – приводная цепь; 4 – направляющие транспортера; 5 – камера; 6 – заслонки, 7 – транспортировочная лента; 8 – крепление платформы к направляющим; 9 – направляющие для движения платформы по оси z

Контроллер также следит за состоянием конвейера, скоростью его работы и за положением заслонок, которые управляют потоками фруктов.

Ключевым элементом всей системы являются алгоритмы машинного обучения, в частности, сверточная нейронная сеть, которая была специально обучена для распознавания дефектов на поверхности фруктов [8]. СНС состоит из нескольких слоев, которые поочередно обрабатывают изображение, выделяя важные признаки, такие как текстура и цвет плодов. С помощью таких алгоритмов система способна точно определить наличие повреждений на поверхности фруктов, классифицируя их на здоровые и поврежденные.

Алгоритм использует предварительно подготовленный набор данных, включающий изображения различных видов дефектов на фруктах, что позволяет ему точно распознавать повреждения даже при небольших отклонениях в цвете или текстуре [9].

Заключительным элементом системы являются исполнительные механизмы, которые включают сортировочный узел с заслонками, управляющими направлением движения плодов. В зависимости от результатов классификации, заслонки открываются или закрываются, направляя фрукты либо в контейнер для отбракованных, либо в секцию для дальнейшего использования.

Каждая заслонка оснащена позиционным электромагнитным приводом, который получает сигналы от ПЛК, что обеспечивает высокую точность и скорость работы всей системы [10].

Заключение. Структура интеллектуальной системы сортировки фруктов представляет собой интеграцию механических и цифровых компонентов, которые работают в едином комплексе. Конвейерная система обеспечивает равномерное перемещение фруктов, камера фиксирует изображения, сервер обрабатывает их с помощью алгоритмов машинного обучения, а ПЛК и исполнительные механизмы направляют плоды в соответствующие секции. Такой подход позволяет значительно увеличить производительность линии, повысить точность сортировки и снизить трудозатраты, делая процесс сортировки более эффективным и экономичным.

Список источников

1. Интеллектуальная автоматизированная система управления сортировкой фруктов / В.А. Каргин, Д.Ю. Сохинов, К.М. Усанов [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 2. – С. 100-106.
2. Борисевский, А.М. Перспективы использования роботизированной системы для сортировки фруктов / А.М. Борисевский, В.А. Каргин, С.А. Мокрушин, Д.Ю. Сохинов // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2023. – С. 133-138.
3. Каргин, В.А. Разработка и оценка нейронной сети для оценки качества яблок / В.А. Каргин, Д.Ю. Сохинов, В.В. Кишко, И.В. Каверзин // Современные

проблемы автоматизации технологических процессов и производств: сборник научных докладов научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 205-211.

4. Яблоков, А.Е. Разработка устройства сортировки яблок по сортам с использованием технологий сверточных нейронных сетей / А.Е. Яблоков, С.А. Потапов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2024. Т. 17, № 6. С. 49-55. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-6-49-55.

5. Каргин, В.А. Оценка перспектив использования роботизированных систем для сортировки фруктов / В.А. Каргин, Д.Ю. Сохинов, В.В. Кишко, С.А. Сыч // Инновационное техническое обеспечение агропромышленного комплекса: Материалы научно-технической конференции с международным участием имени А.Ф. Ульянова, Саратов, 03 октября 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 308-313.

6. Талмазова, Д.В. Реализация нейронной сети для определения качества карамели / Д.В. Талмазова, А.С. Семенов, Д.Ю. Сохинов // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко, Саратов, 25 апреля 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2024. – С. 269-276.

7. Кравченко, Р.А. Автоматизация процессов производства колбасных изделий использованием программируемых технических средств / Р.А. Кравченко, Ф.В. Кучер, Д.Ю. Сохинов, И.В. Кротов // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 192-200.

8. Кравченко, Р.А. Автоматизированная система мониторинга зрелости плодов томата / Р.А. Кравченко, И.В. Кротов, Д.Ю. Сохинов // Повышение эффективной эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве: Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко, Саратов, 22 декабря 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 205-210.

9. Кравченко, Р.А. Выбор программируемых управляющих устройств для автоматизации процессов пищевого производства / Р.А. Кравченко, В.В. Бею, Д.Ю. Сохинов, А.В. Сармаев // Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», 2023. – С. 238-243.

10. Сохинов, Д.Ю. Анализ роботизированных систем для сортировки плодов на пищевом производстве / Д.Ю. Сохинов, Р.А. Кравченко, В.В. Кишко // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 28 апреля 2023 года / Под общей редакцией С.М. Бакирова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова, 2023. – С. 271-277.

© Сохинов Д.Ю., Сыч С.В., Тарола А.А., Пестова Е.В., 2025

Научная статья
УДК 004.5

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СОРТИРОВКИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Дмитрий Юрьевич Сохинов¹, Семён Валентинович Сыч²,
Анна Анатольевна Тарола³, Татьяна Викторовна Зудина⁴

^{1,2,3,4}Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва,
Россия

¹sohinovdju@mgupp.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0030-8580>

²89180013568@mail.ru

³tarolaaa@mgupp.ru

⁴zudinatv@mgupp.ru

Аннотация. В статье описаны алгоритмы, разработанные для системы автоматической сортировки пищевых продуктов на основе методов технического зрения и машинного обучения. В основе системы лежит сверточная нейронная сеть (СНС), обученная классифицировать изображения фруктов и овощей на основе внешних признаков, таких как наличие дефектов и повреждений. Приведены методы предобработки данных, включая масштабирование, коррекцию освещения и удаление шума, а также сегментация изображений для выделения объектов интереса. Основным алгоритмом работы СНС состоит из нескольких сверточных и полносвязных слоев, которые последовательно извлекают признаки и классифицируют изображения в заданные категории. Описана постобработка результатов классификации, в ходе которой программируемый логический контроллер (ПЛК) управляет механической сортировкой на основе данных, полученных от нейронной сети. Применение метода регуляризации Dropout, а также оптимизация гиперпараметров, позволяют снизить риск переобучения и повысить точность работы системы в условиях реального времени.

Ключевые слова: сверточные нейронные сети, автоматическая сортировка, классификация изображений, машинное обучение.

Для цитирования: Сохинов, Д.Ю. Разработка интеллектуальной системы сортировки пищевой продукции на основе технического зрения и сверточных

нейронных сетей / Д.Ю. Сохинов, С.В. Сыч, А.А. Тарола, Т.В. Зудина // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT FOOD SORTING SYSTEM BASED ON MACHINE VISION AND CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Dmitry Yuryevich Sokhinov¹, Semyon Valentinovich Sych², Anna Anatolyevna Tarola³, Tatyana Viktorovna Zudina⁴

^{1,2,3,4}Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

¹sohinovdju@mgupp.ru, <https://orcid.org/0009-0000-0030-8580>

²89180013568@mail.ru

³tarolaaa@mgupp.ru

⁴zudinatv@mgupp.ru

Annotation. The article describes algorithms developed for an automatic food sorting system based on machine vision and machine learning methods. The system is built around a convolutional neural network (CNN) trained to classify images of fruits and vegetables based on external features, such as the presence of defects and damage. Data preprocessing methods, including scaling, lighting correction, noise removal, and image segmentation for object isolation, are presented. The core CNN algorithm consists of several convolutional and fully connected layers that sequentially extract features and classify images into predefined categories. Post-processing of classification results is described, where a programmable logic controller (PLC) manages mechanical sorting based on data received from the neural network. The application of the Dropout regularization method, along with hyperparameter optimization, reduces the risk of overfitting and improves the system's accuracy under real-time conditions.

Keywords: convolutional neural networks, automatic sorting, image classification, machine learning.

For citation: Sokhinov, D.Y. Development of an intelligent food sorting system based on machine vision and convolutional neural networks / D.Y. Sokhinov, S.V. Sych, A.A. Tarola, T.V. Zudina // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Одной из важных задач является обработка и сортировка продукции в пищевой промышленности, где требуется высокое качество и скорость выполнения операций. Для решения этой задачи активно применяются методы технического зрения и машинного обучения, которые позволяют

создавать интеллектуальные системы, способные самостоятельно принимать решения на основе анализа визуальных данных.

Материалы и методы. Программное обеспечение для системы автоматической сортировки фруктов основано на сложной архитектуре, использующей методы технического зрения и машинного обучения [1]. Алгоритмы, применяемые в системе, направлены на высокоточное распознавание, классификацию и сортировку фруктов по качественным признакам, таким как наличие дефектов или отклонений от стандарта. В основе обработки данных лежат алгоритмы компьютерного зрения, а также обученная сверточная нейронная сеть (СНС), которая отвечает за классификацию изображений. Рассмотрим основные этапы работы системы [2].

Первым шагом в работе системы является захват изображения фруктов, движущихся по конвейеру, с помощью камеры технического зрения. Алгоритм начинает с фиксации высококачественных изображений в реальном времени, обеспечивая полный обзор каждого плода [3]. Для обеспечения стабильной работы системы применяются следующие методы предобработки:

- Масштабирование: изображение приводится к стандартному размеру, необходимому для обработки моделью СНС.
- Коррекция освещения: учитываются внешние условия освещенности, чтобы устранить искажения, вызванные тенями или бликами [4].
- Удаление шума: фильтрация изображений для устранения цифрового шума и повышения четкости контуров фруктов.

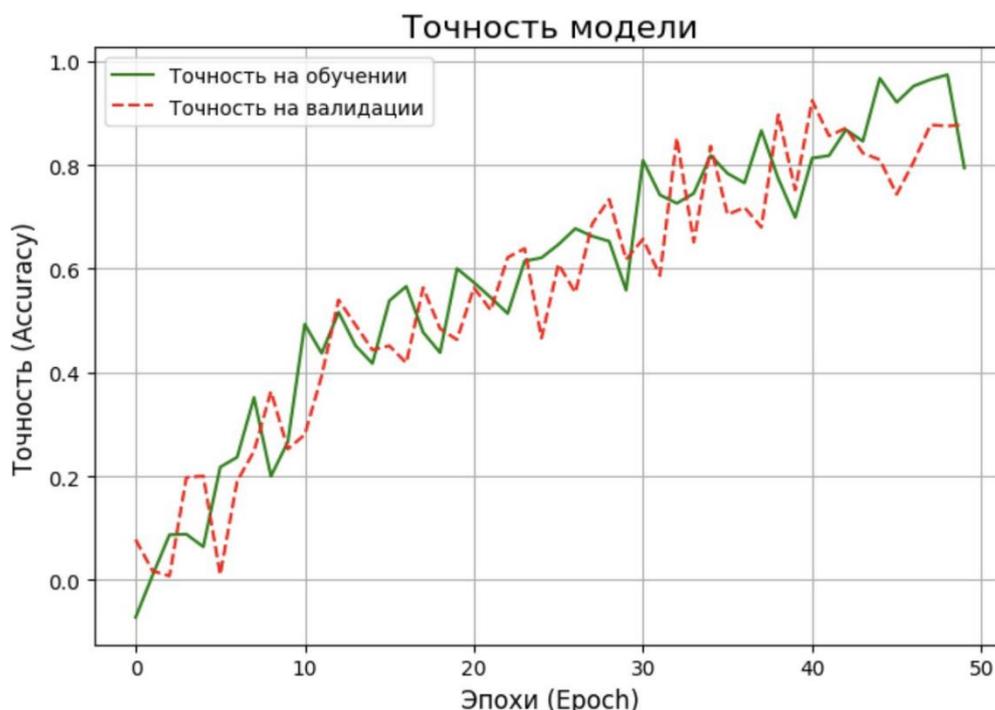


Рисунок 1 – Кривая потерь модели во время этапов обучения и валидации

На следующем этапе алгоритм выполняет сегментацию изображения, то есть выделение интересующих объектов — фруктов — на фоне конвейера. Для этого применяется метод пороговой обработки или алгоритмы, основанные на градиентных методах выделения контуров [5]. Сегментация позволяет разделить изображение на области интереса, которые в дальнейшем будут

анализироваться. Сегментированные изображения затем передаются на вход нейронной сети для дальнейшего анализа.

Центральным элементом системы является сверточная нейронная сеть (СНС), обученная на большом наборе изображений фруктов с различными дефектами, в нашем случае обучение происходило на яблоках. На рис. 1 представлена кривая потерь модели нейронной сети в процессе обучения. График демонстрирует устойчивый рост точности, что свидетельствует о том, что модель успешно обучается и улучшает свои результаты по мере увеличения числа эпох [6]. СНС состоит из нескольких сверточных и полносвязных слоев, которые последовательно извлекают признаки из изображений. Основные шаги работы СНС:

- Сверточные слои: выделяют ключевые признаки яблок, такие как размер, цвет и форма. Эти признаки важны для распознавания дефектов и классификации.
- Пулинговые слои: уменьшают размер признаков карт, что позволяет ускорить обработку и снизить избыточность данных [7].
- Полносвязные слои: объединяют выделенные признаки и классифицируют изображение в одну из категорий — "здоровый плод", "поврежденный плод" или "непригодный для переработки". Обучение нейронной сети осуществлялось на большом датасете (рис. 2), содержащем изображения яблок с разными типами повреждений, что обеспечивает высокую точность распознавания дефектов.

Наименование	Ø ябл. мм.	Ø забол. мм.	М всего яблока	М яблока без гнили	Дм	Объём яблока (прибл., мм³)	Объём заболевания (прибл., мм³)	Процент объёма поражения (по диаметру)	Процент массы поражения
1	72	36	158	143	15	19,54321958	2,442902447	12,5	9,493670886
2	72	55	154	100	54	19,54321958	8,711374629	44,5749207	35,06493506
3	67	34	119	102	17	15,74791385	2,057952628	13,06809681	14,28571429
4	62	56	82	55	27	12,4788249	9,195232258	73,6866839	32,92682927
5	110	35	217	197	20	69,69099703	2,24492975	3,221262209	9,216589862
6	68	40	110	100	10	16,46362102	3,351032164	20,35416243	9,090909091
7	74	43	137	106	31	21,21747902	4,162976785	19,62050619	22,62773723
8	65	23	100	93	7	14,37933137	0,63706263	4,430405098	7
9	75	46	195	179	16	22,08932335	5,096501042	23,07223704	8,205128205
10	65	54	124	114	10	14,37933137	8,24479576	57,33782431	8,064516129
11	68	36	146	133	13	16,46362102	2,442902447	14,83818441	8,904109589
12	57	31	65	57	8	9,696682805	1,559853112	16,08646115	12,30769231
13	68	55	127	105	22	16,46362102	8,711374629	52,91287146	17,32283465
14	74	60	184	150	34	21,21747902	11,30973355	53,3038517	18,47826087
15	68	32	128	114	14	16,46362102	1,715728468	10,42133116	10,9375
16	59	18	77	75	2	10,75361929	0,305362806	2,8396282	2,597402597
17	69	32	123	119	4	17,20069102	1,715728468	9,974764771	3,25203252
18	76	32	155	150	5	22,98472961	1,715728468	7,464644992	3,225806452
19	101	31	83	69	14	53,94643421	1,559853112	2,89148511	16,86746988
20	101	38	217	159	58	53,94643421	2,873091201	5,32582226	26,7281106
21	117	36	193	154	39	83,86026058	2,442902447	2,913063268	20,20725389
22	116	25	101	79	22	81,72832344	0,818123087	1,001027615	21,78217822
23	117	21	180	163	17	83,86026058	0,484904826	0,578229572	9,444444444
24	71	28	169	145	23	18,74017614	1,149404032	6,133368351	13,60946746
25	89	30	188	131	57	36,91209052	1,413716694	3,829955643	30,31914894

Рисунок 2 – Таблица экспериментальных данных с расчетными показателями степени поражения яблок гнилью

Результаты исследования. После того как нейронная сеть классифицирует плод, результаты обработки передаются на модуль принятия решений. Этот модуль интегрирован с программируемым логическим контроллером (ПЛК), который управляет исполнительными механизмами

конвейера [8]. На основе данных классификации ПЛК открывает или закрывает заслонки, направляя плоды в нужные секции — для хранения, переработки или выбраковки.

Алгоритм постобработки также включает возможность корректировки классификаций в реальном времени. В случае возникновения ошибок или сбоев в системе, оператор может вручную внести изменения и обучить систему на новых данных, что повышает гибкость и адаптивность программного обеспечения [9].

Для повышения эффективности работы системы применяются методы оптимизации нейронной сети. Одним из ключевых аспектов является регуляризация с использованием методов Dropout, что предотвращает переобучение сети и сохраняет ее способность к генерализации. Также реализованы методы динамической настройки гиперпараметров, такие как изменение скорости обучения и использование метода Adam для оптимизации веса [10].

Алгоритмы системы были протестированы на большом объеме данных с разной степенью повреждений. Результаты показали высокую точность классификации, особенно при обнаружении дефектов поверхности, таких как гниль, пятна или вмятины. Система демонстрирует стабильную работу при сортировке как обычных, так и нестандартных по размеру и форме плодов, что делает её универсальным решением для пищевой промышленности.

Заключение. Такая системы сортировки фруктов демонстрируют высокую производительность и точность работы, позволяя значительно улучшить качество конечной продукции и автоматизировать процесс сортировки. Дальнейшая оптимизация кода и внедрение новых алгоритмов, таких как более сложные архитектуры нейронных сетей, позволит расширить функциональные возможности системы и повысить её адаптивность к условиям реального производства.

Список источников

1. Интеллектуальная автоматизированная система управления сортировкой фруктов / В.А. Каргин, Д.Ю. Сохинов, К.М. Усанов [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 2. – С. 100-106.

2. Борисевский, А.М. Перспективы использования роботизированной системы для сортировки фруктов / А.М. Борисевский, В.А. Каргин, С.А. Мокрушин, Д.Ю. Сохинов // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 133-138.

3. Каргин, В.А. Разработка и оценка нейронной сети для оценки качества яблок / В.А. Каргин, Д.Ю. Сохинов, В.В. Кишко, И.В. Каверзин // Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств: сборник научных докладов научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича

Петрова, Москва, 11 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 205-211.

4. Яблоков, А.Е. Разработка устройства сортировки яблок по сортам с использованием технологий сверточных нейронных сетей / А.Е. Яблоков, С.А. Потапов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2024. Т. 17, № 6. С. 49-55. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-6-49-55.

5. Каргин, В.А. Оценка перспектив использования роботизированных систем для сортировки фруктов / В.А. Каргин, Д.Ю. Сохинов, В.В. Кишко, С.А. Сыч // Инновационное техническое обеспечение агропромышленного комплекса: Материалы научно-технической конференции с международным участием имени А.Ф. Ульянова, Саратов, 03 октября 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 308-313.

6. Талмазова, Д.В. Реализация нейронной сети для определения качества карамели / Д.В. Талмазова, А.С. Семенов, Д.Ю. Сохинов // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко, Саратов, 25 апреля 2024 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, 2024. – С. 269-276.

7. Кравченко, Р.А. Автоматизация процессов производства колбасных изделий использованием программируемых технических средств / Р.А. Кравченко, Ф.В. Кучер, Д.Ю. Сохинов, И.В. Кротов // Роговские чтения: сборник докладов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 16 декабря 2022 года. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2023. – С. 192-200.

8. Кравченко, Р.А. Автоматизированная система мониторинга зрелости плодов томата / Р.А. Кравченко, И.В. Кротов, Д.Ю. Сохинов // Повышение эффективной эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве: Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко, Саратов, 22 декабря 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 205-210.

9. Кравченко, Р.А. Выбор программируемых управляющих устройств для автоматизации процессов пищевого производства / Р.А. Кравченко, В.В. Бео, Д.Ю. Сохинов, А.В. Сармаев // Фабрика будущего: переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам для отраслей пищевой промышленности: Сборник научных докладов IV Международной специализированной конференции-выставки, Москва, 26 апреля 2023 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», 2023. – С. 238-243.

10. Сохинов, Д.Ю. Анализ роботизированных систем для сортировки плодов на пищевом производстве / Д.Ю. Сохинов, Р.А. Кравченко, В.В. Кишко // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов,

28 апреля 2023 года / Под общей редакцией С.М. Бакирова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова, 2023. – С. 271-277.

© Сохинов Д.Ю., Сыч С.В., Тарола А.А., Зудина Т.В., 2025

Научная статья
УДК 621.311

ОПТИМИЗАЦИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Анастасия Андреевна Терехова¹, Борис Сергеевич Дмитриевский², Семён Эдуардович Эктов³

^{1,2}Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

³Тамбовской завод «Октябрь», г. Тамбов, Россия

Аннотация. В статье рассматривается оптимизация качественных показателей энергосистемы промышленного предприятия как ключевой фактор повышения его конкурентоспособности, обеспечения безопасности и экологичности производства. Для достижения этой цели предлагается реализовать комплекс мероприятий, включающий повышение эффективности использования энергетических ресурсов, снижение потерь энергии, повышение надёжности электроснабжения, внедрение новых технологий, интеграцию возобновляемых источников энергии, автоматизацию и цифровизацию. Особое внимание уделяется модернизации оборудования, распределительных сетей, систем управления энергопотреблением и режимов работы оборудования. Обсуждается важность интеграции возобновляемых источников энергии для снижения зависимости от традиционных источников, снижения затрат на электроэнергию и повышения экологичности производства. Автоматизация и цифровизация процессов рассматриваются как важные условия повышения эффективности использования энергетических ресурсов и снижения потерь энергии.

Ключевые слова: повышение эффективности, оптимизация энергосистемы, управление энергосистемой.

Для цитирования: Терехова, А.А. Оптимизация качественных показателей энергосистемы промышленного предприятия / А.А. Терехова, Б.С. Дмитриевский, С.Э. Эктов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

OPTIMIZATION OF THE QUALITY INDICATORS OF THE POWER SYSTEM OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Anastasia Andreevna Terekhova¹, Boris Sergeevich Dmitrievsky², Semyon Eduardovich Ektov³

^{1,2}Tambovsky State Technical University, Tambov, Russia

³Tambov October factory, Tambov, Russia

Annotation. The article considers the optimization of the quality indicators of the energy system of an industrial enterprise as a key factor in increasing its competitiveness, ensuring the safety and environmental friendliness of production. To achieve this goal, it is proposed to implement a set of measures that include improving the efficiency of energy resources, reducing energy losses, improving the reliability of electricity supply, introducing new technologies, integrating renewable energy sources, automation and digitalization. Special attention is paid to the modernization of equipment, distribution networks, energy management systems and equipment operating modes. The importance of integrating renewable energy sources is discussed in order to reduce dependence on traditional sources, reduce energy costs and increase the environmental friendliness of production. Automation and digitalization of processes are considered as important conditions for increasing the efficiency of using energy resources and reducing energy losses.

Keywords: improving efficiency, optimizing the energy system, and managing the energy system.

For citation: Terekhova, A.A. Optimization of the quality indicators of the power system of an industrial enterprise / A.A. Terekhova, B.S. Dmitrievsky, S.E. Ektov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Современные тенденции развития промышленной отрасли обуславливают растущую потребность в высоком качестве электроснабжения, стабильности и доступности энергоресурсов. Последствия аварийных ситуаций на электростанциях могут привести к значительным экономическим потерям и приостановке производств, что подчёркивает значимость оптимизации качественных характеристик энергосетей. Оптимизация качественных показателей энергосистем основывается на успешном внедрении и использовании собственных источников выработки электроэнергии. Наиболее важным видится рассмотрение данного аспекта с точки зрения необходимости постоянного повышения качества электроснабжения, снижением затрат на закупку электроэнергии у региональных энергетических компаний, а также повышением надёжности функционирования системы в целом.

Материалы и методы. Современные технологии позволяют создать собственные автономные источники электроснабжения нескольких типов, что делает их внедрение привлекательным для предприятий различного профиля. Понимание особенностей оптимизации качественных показателей при использовании таких источников позволит эффективно планировать и управлять энергопотреблением, что также является ключевым вопросом в контексте обеспечения устойчивого развития.

В результате внедрения собственных генераторов электроэнергии снижаются затраты на обеспечение питания, достигается более высокий уровень надежности и качества энергоснабжения. Однако при интеграции автономных источников в общую сеть требуется тщательная проработка с учетом таких качественных показателей системы, как устойчивость напряжения и частоты.

При внедрении генераторов в энергосистему важно учитывать специфику каждого компонента системы для обеспечения правильной работы сети. Такая модернизация должна способствовать оптимизации качественных показателей сети в целом, обеспечивая бесперебойное и качественное энергоснабжение.

Результаты исследования. На основании вышеизложенного, к теоретическим основам оптимизации качественных показателей энергосистем можно отнести несколько основных аспектов, характеризующихся определением основных параметров качества электрической энергии, а также влиянием этих параметров на надёжность и стабильность работы энергосистемы, к которым можно отнести напряжение, частоту, гармонические искажения, коэффициент мощности и другие, рассмотренные в первой главе настоящей работы. Указанные параметры определяют качество электроэнергии, передаваемой потребителю.

Влияние параметров на надёжность и стабильность работы энергосистемы представляет собой отклонение параметров качества от нормальных значений, которое может привести к сбоям в работе оборудования, снижению эффективности энергосистемы и увеличению вероятности аварийных ситуаций. Гармонические искажения могут вызывать перегрев и повреждения трансформаторов и электродвигателей, а также ухудшать работу систем управления и автоматики. Отклонение частоты выше или ниже номинальной может вызвать колебания в работе вращающихся механизмов и систем регулирования мощности, что приводит к снижению надёжности и стабильности энергосистемы [1].

Другим важным аспектом является контроль и поддержание параметров качества электроэнергии в допустимых пределах в целях предотвращения возможных проблем и обеспечения стабильной работы энергосистемы, для чего проводятся измерения и анализ параметров с помощью специальных приборов и методов контроля.

Качество электроэнергии напрямую влияет на надёжность работы производственного электрооборудования. Превышение нормативных значений показателей качества электроэнергии может привести к ухудшению состояния оборудования, сокращению его срока службы и увеличению вероятности отказов. Это, в свою очередь, снижает надёжность электроснабжения и увеличивает риск возникновения аварийных ситуаций, что может привести к недоотпуску продукции.

Оптимизация качественных показателей энергосистемы с учетом требований надёжности является необходимым условием для обеспечения эффективного и надёжного электроснабжения. Это включает в себя контроль качества электроэнергии, обеспечение бесперебойности электроснабжения и повышение устойчивости системы к внешним воздействиям.

Оптимизация качественных показателей энергосистемы предприятия с собственными источниками генерации требует комплексного подхода, включающего разработку и внедрение специализированных методик и алгоритмов. Улучшение качества электроэнергии способствует повышению эффективности работы системы в целом, снижению потерь и затрат на обслуживание оборудования, позволяет повысить надёжность, эффективность и безопасность энергосистем, обеспечить качественное энергоснабжение потребителей и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Важными аспектами оптимизации являются оперативный расчёт и анализ эксплуатационных режимов работы, оптимальное распределение активной и реактивной мощности между генераторами и узлами присыкания к энергосистеме, а также разработка моделей электрических нагрузок для оперативной коррекции и учёта влияния параметров режима [2].

Современные методы и подходы к оптимизации качественных показателей в энергосистеме включают в себя разработку математических моделей, использование алгоритмов оптимизации, внедрение систем автоматического регулирования и мониторинга, а также анализ возможных рисков и разработка стратегий минимизации негативных последствий.

Разработка математических моделей подразумевает детальный анализ и прогнозирование условий эксплуатации энергосистемы с помощью специальных компьютерных программ и алгоритмов, что позволяет определить оптимальные параметры работы оборудования и выполнить планирование стратегий развития на основе собранных данных, анализировать и прогнозировать различные условия эксплуатации, что способствует более эффективному управлению энергосистемой [3].

Использование алгоритмов оптимизации включает в себя выбор оптимальных режимов работы генераторов и поддержание качественных показателей. Алгоритмы оптимизации помогают эффективно использовать ресурсы генераторов, минимизировать потери и оптимизировать работу системы. Одно из главных преимуществ такого подхода – это возможность адаптироваться к изменяющимся условиям в режиме реального времени.

Внедрение систем автоматического регулирования подразумевает непрерывный контроль параметров работы генераторов в реальном времени, обеспечивает постоянный контроль и корректировку работы генераторов, снижает необходимость постоянного человеческого участия. Системы мониторинга также осуществляют наблюдение за основными показателями и предоставляют информацию о состоянии энергосистемы, что позволяет своевременно обнаруживать и устранять неполадки и предотвращает нежелательные последствия.

Важным элементом оптимизации является анализ возможных рисков и разработка стратегий минимизации негативных последствий для энергосистемы, таких как сбой, аварии или снижение эффективности работы. Эти меры позволяют заблаговременно предвидеть проблемы и принимать необходимые действия для их устранения.

Совместное применение этих методов позволяет улучшить эффективность и надёжность энергоснабжения, снизить затраты на обслуживание оборудования

и повысить общую производительность системы, достичь высокого уровня эффективности энергосистемы и обеспечить её надёжную и безопасную работу.

Одним из способов оптимизации качественных показателей энергосистемы и повышения надёжности электроснабжения производственных объектов является внедрение системы SCADA, посредством работы которой происходит оптимизация режимов работы и достижение максимальной эффективности и надёжности электроснабжения. Имеющиеся алгоритмы могут учитывать текущие погодные условия, график нагрузки и другие факторы, влияющие на производительность генераторов, что способствует снижению потерь электроэнергии и повышению общей эффективности системы. Кроме того, SCADA производит регулярный мониторинг и анализ данных о работе энергосистемы, выявляя потенциальные проблемы и узкие места, позволяя оперативному персоналу своевременно принимать и разрабатывать меры по их устранению. Использование современных аналитических инструментов и методов машинного обучения позволяет автоматизировать процесс анализа данных и принятия решений, что способствует повышению надёжности и эффективности системы.

Кроме того, эффективно и внедрение в систему управления мультиагентных подсистем управления, которые позволяют создать гибкую и адаптивную систему управления энергосистемой предприятия. Агенты, представляющие различные компоненты системы (генераторы, накопители энергии, потребители), взаимодействуют друг с другом, обмениваясь информацией и координируя свои действия для достижения общих целей – оптимизации энергопотребления и повышения надёжности электроснабжения.

Заключение. На основании вышеизложенного, оптимизация качественных показателей энергосистемы при использовании собственных источников генерации электроэнергии является ключевым аспектом для повышения эффективности и надёжности промышленного электроснабжения. Применение таких источников позволяет не только снизить зависимость от внешних сетей, но и улучшить качество электроэнергии, подаваемой на производство.

Список источников

1. Кочкина, А.В. Методика оптимизации эксплуатационных режимов промышленных систем электроснабжения / А.В. Кочкина, А.В. Малафеев, Д.Е. Варганов, Н.А. Курилова, И.А. Дубина // ЭС и К. 2014. – № 3 (24). С. 49-50.

2. Короткевич, М.А. К обоснованию целесообразности установки собственных генерирующих источников на промышленном предприятии / М.А. Короткевич, А.Л. Старжинский // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2006. – №1.

3. Малафеев, А.В. Оптимизация эксплуатационных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными источниками электроэнергии: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2004. – 212 с.

© Терехова А.А., Дмитриевский Б.С., Эктов С.Э., 2025

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В XXI ВЕКЕ

Геннадий Григорьевич Угаров¹, Сергей Мударисович Бакиров²,
Сергей Владимирович Бахтеев³, Елена Николаевна Чернова⁴

^{1,2,3,4}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

²s.m.bakirov@mail.ru

³s.v.bakhteev@yandex.ru

⁴elena-chernova-67@bk.ru

Аннотация. В 2021 г. в Европе обозначился резкий спрос на углеводороды для получения различных видов энергии. В первую очередь, он коснулся стран, которые бурно занялись «зеленой» энергетикой. Точнее сказать – это была зеленая политика. Благие намерения стран оказались не подкреплены реальными возможностями науки и техники. Отдельные мировые и сырьевые гиганты уже выиграли от резкого роста цен, накрывших страны, отказавшихся от ядерной энергетике и ископаемых видов топлива. В настоящей статье рассматривается состояние, проблемы и перспективы основных природных энергоносителей для производства электроэнергии.

Ключевые слова: электроэнергетика, возобновляемые источники энергии, современная энергетика, «зеленая» энергетика, ВИЭ, энергоресерсы.

Для цитирования: Угаров, Г.Г. Возобновляемые источники электроэнергии в XXI веке / Г.Г. Угаров, С.М. Бакиров, С.В. Бахтеев, Е.Н. Чернова // Проблемы и перспективы развития энергетике, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE 21ST CENTURY

Gennady Grigorievich Ugarov¹, Sergey Mudarisovich Bakirov²,
Sergey Vladimirovich Bakhteev³, Elena Nikolaevna Chernova⁴

^{1,2,3,4}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²s.m.bakirov@mail.ru

³s.v.bakhteev@yandex.ru

⁴elena-chernova-67@bk.ru

Abstract. In 2021, Europe saw a sharp demand for hydrocarbons to produce various types of energy. First of all, it affected countries that were actively engaged in «green» energy. More precisely, it was a green policy. The good intentions of countries

were not supported by the real capabilities of science and technology. Some global and raw materials giants have already benefited from the sharp rise in prices that have hit countries that have abandoned nuclear energy and fossil fuels. This article examines the state, problems and prospects of the main natural energy sources for electricity generation.

Key words: electric power industry, renewable energy sources, modern energy, «green» energy, RES, energy sources.

For citation: Ugarov, G.G. Renewable sources of electricity in the 21st century / G.G. Ugarov, S.M. Bakirov, S.V. Bakhteyev, E.N. Chernova // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Общепринятым мнением считается, что мировой прогресс определяется тремя факторами: энергией, материалами, информацией. Из известных в настоящее время 15 видов энергии практическое значение имеют 10 видов, а наиболее востребованными являются: электрическая, тепловая, механическая, фотонная (электромагнитная), химическая. Из этого перечня электрической энергии принадлежит особая роль, определяемая известными преимуществами перед другими видами, главными из которых является универсальность, самопереносимость, относительно высокий уровень концентрации, упорядоченность (уступает лазерной). В производстве материальных благ электрическая энергия в общем балансе занимает 60-70%. Это объясняется тем, что для получения механической энергии используются электромеханические преобразователи энергии с высокой энергоэффективностью – КПД [1, 2].

Указанные факторы позволяют считать, что современная энергетика является электроэнергетикой. Учитывая также относительно высокую экологичность электрической энергии, специалисты считают, что в ближайшие сто лет ей нет альтернативы. Если электрическую энергию можно считать на сегодняшний день наилучшей в известном смысле, то способы её получения вызывают ряд нерешенных до сих пор серьёзных проблем. Сущность этого замечания заключается в том, что сама электрическая энергия является вторичной, преобразованной из других видов энергии. И сами энергоносители (источники первичной энергии), и преобразователи для получения электрической энергии по энергетической и экологической эффективности создают ряд серьёзных проблем. Рассмотрим, их подробнее, так как сущность этих проблем не всегда очевидна, а иногда умышленно скрывается.

Основная часть. Выделим энергетический баланс при выработке электрической энергии, приведённый корреспондентом Е. Проскуряковым в газете «Комсомольская правда» за февраль 2021 г. (табл.)

Основные показатели таблицы основаны на известных специалистам статистических данных. Анализ этих показателей свидетельствует, что нет резкой разницы в потребляемых энергоносителях для различных территорий, за исключением ядерных и возобновляемых (солнце и ветер).

Таблица – Использование энергоносителей для производства электрической энергии в %

Энергоносители	Территория		
	Мир	Европа	Россия
Ископаемое топливо	62	34	63
Атомная энергия	11	26	19
Энергия ветра и солнца	8	21	0,15
Гидроэнергетика и биоэнергетика	19	19	18 (без биоэнергетики)

Указанные отличия во многом влияют и на проблемы и перспективы использования энергоносителей. Вопрос об энергоносителях активно обсуждается с 1973 года в связи с так называемым энергетическим кризисом, связанным с истощением невозобновляемых источников энергией и далее с экологическими проблемами. Указанные темы не сходят с мировой повестки до сих пор и, по-видимому, продолжатся неопределённо долго.

Более того, локальные конфликты последних десятилетий непосредственно связаны с разделением сфер влияния за энергоисточники. Это ещё раз свидетельствует о влиянии энергетики и на экономику, и на другие аспекты.

Решением проблем, связанных с ископаемыми энергоносителями стимулированы работы по альтернативным энергоисточникам – возобновляемым. Деятельность в этом направлении привела к определённым результатам, иногда отличными от ожидаемых. Оказалось, что использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) само породило серьёзные проблемы и критическое отношение к ним. Несмотря на привлекательность бесплатных и экологически «чистых» ВИЭ в общественном сознании, следует отметить и негативные аспекты их применения.

Одной из главных проблем возобновляемой или «зелёной» энергетики является её зависимость от изменчивости метеоусловий и, следовательно, ею очень сложно управлять. Такая нестабильность не обходится без негативных последствий для отдельных стран. Так в январе 2021 г. потребление Российского газа в Европе возросло на 45% по сравнению с январем 2020 г. В январе 2021 г. в Евросоюзе взлетел спрос также и на уголь. А что же с ветровыми и солнечными электростанциями? Как отмечает заместитель генерального директора института национальной энергетики А. Фролов в эти периоды производство солнечной электроэнергии в Германии снизилось в два раза, а ветровой – на треть. В связи со сложившейся обстановкой Евросоюзу пришлось закупать ископаемые энергоносители и нагружать угольные и газовые электростанции, чтобы компенсировать потери в общем энергетическом балансе энергии от ВИЭ. Следовательно, кроме экономических потерь, произвели более «загрязнённую» электроэнергию.

Таким образом, «необходимость приспособливать процесс получения энергии к капризам погоды делает его менее эффективным, что увеличивает расход энергии и количество выбросов углекислого газа» – пишет в своём бестселлере «Моральные аргументы в пользу ископаемого топлива» А.Эйнштейн, президент американского центра индустриального прогресса.

Только на приведённых примерах можно поставить вопрос: может ли

мировая цивилизация отказаться от «грязной» энергии и развивать только чистую?

Понятным является стремление избавиться по возможности от газовых и особенно угольных ТЭС – самых неблагоприятных для экологии. Но не решенным остается вопрос: кто должен страховать ветро- и солнечные электростанции в периоды, когда нет ветра и солнца? Для этого, пишет А.Эйнштейн, угольные электростанции нужно поддерживать в состоянии готовности чтобы при необходимости оперативно выдать электроэнергию потребителям. А это связано с выбросом в атмосферу углекислого газа и других вредных веществ и ответственными за это являются альтернативные, так называемые, чистые источники энергии. Такой вывод представляется, несмотря на неожиданность, корректным.

Рассмотрим и другие негативные стороны, сопутствующие использованию ВИЭ. Оборудование для солнечных и ветровых электростанций изготавливают из материалов, которые добываются в неэкологических условиях. Для их производства необходима, например, серная кислота.

По данным американской исследовательской организации «Экологический прогресс», при равной мощности для производства солнечной электростанции потребуется в 17 раз больше материалов, чем для атомной. При этом отходов она создаёт в 200 раз больше, и будут они в 300 раз токсичнее. Наиболее вредными компонентами этих отходов является свинец и кадмий. Эффективные технологии их утилизации или переработки пока не разработаны, поэтому на свалках эти элементы выделяют CO₂ и канцерогены (за них отвечает магний).

Современные технологии по преобразованию природных энергоресурсов в ряде случаев отрицательно воздействуют на флору и фауну. «Сколько птиц гибнет из-за ветряков?» – говорил В. Путин в 2019 г. Об этом говорят и пишут экологи. «Турбины действуют как идеальный хищник, с которым птицы не сталкиваются в процессе эволюции. В год они убивают около миллиона редких ястребов, орлов, сов, кондоров, – пишет глава «Экологического прогресса» Майкл Шелленберт в статье «Почему возобновляемая энергия не спасёт планету». И он же – «Солнечная электростанция оказывает такое же воздействие на окружающую среду. Чтобы её построить надо «зачистить» всё живое на площади, где будут установлены солнечные батареи». Следует отметить различное отношение даже экологов к полезности ВИЭ: одних заботит рост заболеваний, других физическое уничтожение фауны и флоры.

Рассмотрим и другие виды ВИЭ под углом обозначенных проблем.

Гидроэлектростанции (ГЭС) в России – это главный источник «зелёной» энергии. В 2018 г. группа исследователей из Китая и Австралии объявили ГЭС самым вредным источником ВИЭ. По их данным по всему миру ГЭС затопляют для своих водохранилищ 340 тыс. кв. км земли – это площадь Германии.

Во-первых, затопление убивает всё живое. А во-вторых, при этом начинают гнить растения, выделяя CO₂ и метан. Бразильские учёные подсчитали, что ГЭС выбрасывает в атмосферу в 3,6 раза больше парниковых газов, чем ТЭС такой же мощности.

Биотопливо. 10-15 лет назад была популярна тема замещения нефти и газа биотопливом (биоэтанолом) при производстве электроэнергии. Для этого использовались масла из риса, пальм и других растений. Идея оказалась не состоятельной. Учёные подсчитали: чтобы заменить хотя бы десятую часть углеводородного сырья биотопливом, нужно распахать под технические сельхоз культуры 15% земной суши. В то же время известно, что $\frac{1}{2}$ населения земного шара теснится на $\frac{1}{10}$ суши, а $\frac{1}{3}$ земли не заселена из-за отсутствия влаги. С помощью дешёвых источников энергии можно не заселённую часть Земли превратить в оазис. Но это надо делать пошагово, не за счет биотоплива и ГЭС. Исследователи разных стран выяснили, что производство электричества из биоэтанола загрязняет атмосферу сильнее угля. Этим объясняется тот факт, что господдержку отрасли свернули и производство биотоплива из рассмотренных источников сходит на нет. Однако это не значит, что биотопливо не имеет перспектив развития. Достаточно много примеров его использования в мире для генерации электроэнергии из отходов животноводства, лесного хозяйства и других источников, не наносящих значительного вреда цивилизации.

Рассмотрим чисто экономические оценки солнечных и ветровых энергоносителей. Может ли возобновляемая энергия быть выгоднее традиционной? Сравнительные оценки стоимости электрической энергии пятилетней давности от солнечных и ветровых энергоносителей и от углеводородных топлив свидетельствовали о низкой (в 4-5 раз) стоимости киловатт часа, полученных от ископаемых топлив.

Каковы цены на электроэнергию в странах, которые являются лидерами по производству энергии из ВИЭ. В штате Калифорния (США) электричество стоит на 60% дороже, чем в среднем по стране. Самая дорогая электроэнергия в мире – в Германии, которая является лидером в Европе по использованию ветра и солнца.

Парадоксальное положение с ценами на электроэнергию в странах, лидирующих по использованию ВИЭ объясняет заместитель гендиректора Института национальной энергетики А. Фролов.

Дело в том, что возобновляемую энергетику в Евросоюзе поддерживают всеми способами. Например, у них есть приоритетный доступ к энергетическим сетям. Все остальные – газовые, атомные и прочие электростанции подключаются к сетям в порядке очереди. В связи с такими обстоятельствами экономика электростанций, работающих на ископаемых видах топлива сильно страдает, а поддержка всей отрасли перекладывается на потребителя. Вряд ли можно согласиться, что потребитель этого не замечает. Естественно возникает ряд вопросов: зачем развивать зеленую энергетику, если она не так уже и полезна для природы, да и дорого обходится?

Некоторая ясность наступает если рассматривать причины, побудившие развивать «зелёную» энергетику в связи с мировым экономическим кризисом и нужен был стимул для роста экономики и развитие возобновляемой энергетики стало одним из таких толчков. В это время Европа больше всего производила оборудования для ветровых и солнечных электростанций. К тому же у европейцев было множество газовых электростанций. Поэтому у них возникла

идея решить разом две задачи: снизить зависимость от импорта энергоносителей и загрузить свои производственные мощности. Этим самым предполагалось создать точку роста для экономики.

Подогрела интерес к возобновляемой энергетике и авария на японской атомной электростанции «Фукусима» в 2011 году. Солнечные и ветровые электростанции в Европе стали интенсивно строиться. Видя возросший спрос на оборудование для них, Китай наладил выпуск дешёвых и хороших по качеству солнечных панелей и стал поставлять их в Европу. В итоге многие производители оборудования для солнечных электростанций в Европе либо разорились, либо переехали в Китай. В этой ситуации европейцы не нашли правильного решения и не смогли перестроить свою промышленность, связанную с оборудованием для возобновляемой энергетике. К тому же они ещё и запоздали: программу развития возобновляемой энергетике уже приняли, последовало вложение финансов, началась пропаганда. Все это, однако затрудняет решение экономических проблем – они главные, хотя раньше выдвигались главными – экологические проблемы. Несмотря на это Европа сохраняет свои позиции в производстве оборудования для ветровых электростанций. Китай в этом вопросе не составил конкуренцию: везти в Европу стометровые лопасти затруднительно. КНР считают АЭС – «зеленой» энергетикой.

Какой же можно дать ответ на главный вопрос: развивать или не развивать альтернативную энергетику? Ответ: развивать там, где это будет эффективно, учитывая, что она вряд ли когда-либо станет основной. Расчеты показывают, что для выработки такого же количества электроэнергии, как на ископаемых энергоносителях, электростанции на ВИЭ должны повысить свое производство в 26 раз, что в ближайшее время вряд ли достижимо.

Из этого следует, что энергетику на ВИЭ следует развивать, но не вместо традиционной энергетики, а параллельно с ней. Для достижения полезности и выгоды должны выполняться следующие условия. Во-первых, необходим дефицит энергии. Во-вторых, необходимо иметь развитую промышленность, которая в состоянии обеспечить производство оборудования для использования природных энергоносителей. В-третьих, надо развивать и традиционную – главную энергетику. По крайней мере до 2050 г. главную роль будут играть ТЭС, после 2050 г. – ядерные электростанции.

В качестве примера эффективного подхода к тенденции развития энергетики рассмотрим позиции России и КНР в этой проблеме. В конце 2021 г. состоялся третий Российско-Китайский энергетический форум, на котором заместитель председателя правительства РФ А. Новак так оценил его результаты:

– «У нас давнее сотрудничество с нашими китайскими партнёрами в традиционной энергетике. Но с учетом тех трендов, которые сегодня есть в рамках климатической повестки и энергоперехода, мы заинтересованы в том, чтобы развивать сотрудничество с нашими китайскими партнёрами и в новом направлении, в зеленой энергетике. И КНР, и Россия определили целевые показатели достижения к 2060 году углеродной нейтральности, поэтому у нас здесь цели сходятся.

В этой области мы видим несколько направлений. Одно из них – это

возобновляемые источники энергии, которые активно развиваются и поддерживаются правительствами обеих стран. Здесь у нас на сегодняшний день большие перспективы: создание ветропарков, солнечная генерация».

Ориентир на мировые тренды в зеленой и низкоуглеродной энергетике также был подтвержден представителями Китая на этой встрече.

– «Следует продвигать зелёную и низкоуглеродную трансформацию в энергетической сфере. Как ответственные державы, Китай и Россия поставили перед собой цели по достижению углеродной нейтральности не позднее 2060 г., рассчитывая на взаимную поддержку по углублению сотрудничества в области возобновляемых источников энергии, водородной энергетики, «умной энергии» – сказал Хань Чжэн.

– «Наши страны обладают значительным потенциалом низкоуглеродной энергетики, добыча углеводородов также становится все более технологичной. В этой связи полагал бы целесообразным рассмотреть возможность объединения наших усилий по разработке и внедрению высокотехнологичных низкоуглеродных технологий и систем искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли», – сказал Игорь Сечин.

Ответственный секретарь Комиссии по ТЭК при Президенте РФ высказал уверенность в том, что в долгосрочной перспективе энергетика сохранит ключевую роль в отношениях России и Китая даже в условиях глобального пересмотра подходов к ее развитию, так как российские компании усиливают акцент на поставках потребителям зелёной энергии с низким углеродным следом, что полностью соответствует долгосрочному видению обеих стран.

Состояние экономики Китайской Народной Республики, показывают колоссальные потенциальные возможности для развития торгово-экономического и инвестиционного сотрудничества наших стран.

Энергетические контакты России и Китая не ограничиваются нефтью и газом, уверен Игорь Сечин. «Интенсивное развитие в России инфраструктуры и масштабных логистических проектов, таких как Северный морской путь, модернизация Байкало-Амурской магистрали, газопровода «Сила Сибири» а также транспортного автомобильного коридора Европа-Китай, придаст новый импульс и укрепит наше сотрудничество», – сказал глава Роснефти.

Заключение. Декарбонизация мировой энергетики за счет возобновляемых источников Земли в ближайшие 30 лет не обоснована научно и экономически.

Список литературы

1. Родионов, В.Г. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего / В.Г. Родионов // Москва: ЭНАС, 2010 – 135 с.
2. Елистратов, В.В. Использование возобновляемой энергии / В.В. Елистратов // – СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2008 – 259 с.

© Угаров Г.Г., Бакиров С.М., Бахтеев С.В., Чернова Е.Н., 2025

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АГРЕГАТА ДЛЯ КОШЕНИЯ ТРАВЫ

Алена Александровна Усталкова¹, Оксана Николаевна Чурляева², Александр Васильевич Спиченок³

^{1,2,3}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, г. Саратов, Россия

Аннотация. В современном мире технологии играют ключевую роль в оптимизации и автоматизации трудоемких процессов. Сельское хозяйство, как одна из основных отраслей экономики, не является исключением. Разработка систем автоматизированного управления для агрегатов, предназначенных для ухода за зелеными насаждениями, становится все более актуальной задачей. Эффективное использование таких систем позволяет не только снизить физические затраты труда, но и повысить качество обработки газонов, что в свою очередь способствует улучшению экологической обстановки и эстетического вида городской среды.

Целью работы является разработка агрегата для кошения травы и подбор комплектующих для него, а также разработка системы автоматизированного управления агрегата для кошения травы.

Ключевые слова: автоматизированная газонокосилка, инфракрасные и ультразвуковые датчики, лазерные дальномеры, камеры, электронные компасы и гироскопы, датчик уровня заряда батареи, датчик поверхности, GPS-модуль, алгоритм работы.

Для цитирования: Усталкова, А.А. Обоснование структурной схемы автоматизированного агрегата для кошения травы / А.А. Усталкова, О.Н. Чурляева, А.В. Спиченок // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

SUBSTANTIATION OF THE STRUCTURAL SCHEME OF AN AUTOMATED GRASS MOWING UNIT

Alena Aleksandrovna Ustalkova¹, Oksana Nikolaevna Churlyayeva², Alexander Vasilyevich Spichenok³

^{1,2,3}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

Annotation. In today's world, technology plays a key role in optimizing and automating labor-intensive processes. Agriculture, as one of the main sectors of the economy, is no exception. The development of automated control systems for units designed for the care of green spaces is becoming an increasingly urgent task. The effective use of such systems allows not only to reduce physical labor costs, but also to improve the quality of lawn treatment, which in turn contributes to improving the environmental situation and aesthetic appearance of the urban environment. The purpose of the work is to develop a grass mowing unit and select components for it, as well as to develop an automated control system for a grass mowing unit.

Keywords: automated lawn mower, infrared and ultrasonic sensors, laser rangefinders, cameras, electronic compasses and gyroscopes, battery level sensor, surface sensor, GPS module, operation algorithm.

For citation: Ustalkova, A.A. Substantiation of the structural scheme of an automated grass mowing unit / A.A. Ustalkova, O.N. Churlyayeva, A.V. Spichenok // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Автоматизация и роботизация являются перспективным направлением и одним из ведущих областей инновационного развития. Так, например, согласно указу Президента Российской Федерации о национальных целях развития, к 2030 году Россия должна войти в топ-25 стран по плотности роботизации [1].

Автоматизация сельскохозяйственных процессов и агрегатов также выступает одним из таких важных сфер развития. Использование автоматизации и роботизации в сельском хозяйстве дает следующие преимущества: оптимизация процессов и повышение производительности труда, снижение затрат на рабочую силу, уменьшение влияние человеческого фактора и улучшение качества продукции, автоматическое выполнение операций, рутинных, сложных или даже невозможных для выполнения вручную и др.

Одной из таких рутинных операций, возможных к автоматизации, является кошение травы. Автоматизированные газонокосилки похожи на аккумуляторные, но способны самостоятельно передвигаться по газону и выполнять работу за человека-оператора. Среди качеств такого агрегата можно выделить способности «видеть» препятствия и рельеф, записывать свой маршрут и автоматически возвращаться на док-станцию [2].

Материалы и методы. Газонокосилка представляет собой агрегат для скашивания травы. Классификация газонокосилок бывает в зависимости от источника энергии, способа скашивания травы и дополнительных функций. Однако у всех газонокосилок есть общие конструкционные элементы: корпус, режущий винт, колёса и контейнер для скошенной травы [2, 3].

При группировке газонокосилок в зависимости от источника энергии различают следующие: бензиновые, механические, электрические и аккумуляторные. В большинстве случаев автоматизированная газонокосилка используется является аккумуляторной.

Автоматизация состоит из различных структурных элементов, которые взаимозависимы друг от друга для успешной реализации и функционирования робота. Отказ от одного из этих структурных элементов повлияет на общий процесс автоматизации [4, 5]. Структурные элементы роботизированного агрегата следующие:

1. Контроллеры;
2. Датчики и приемники;
3. Анализаторы;
4. Исполнительные механизмы;
5. Приводы.

Управление всеми элементами автоматизированной газонокосилки осуществляется центральной системой управления. Она включает в себя программное обеспечение, которое содержит алгоритмы работы, модули ввода и вывода информации для пользователя. Некоторые модели также имеют систему защиты от несанкционированного доступа и блокировку режущих элементов [2, 6].

Наиболее распространенными контроллерами, используемыми для управления, являются программируемые логические контроллеры и микроконтроллеры [4].

Для перемещения по участку автоматизированные газонокосилки используют различные сенсоры и датчики. Наиболее распространёнными являются инфракрасные и ультразвуковые датчики, лазерные дальномеры, камеры, электронные компасы и гироскопы, датчик уровня заряда батареи, датчик поверхности, специальные маяки, устанавливаемые пользователем, GPS-модуль [2, 7].

Функции анализаторов заключаются в регистрации и анализе выходных сигналов, вырабатываемых датчиками или устройствами. Анализаторы датчиков могут иметь аналогово-цифровой преобразователь, который преобразует данные, генерируемые датчиками, в цифровые двоичные данные, понятные роботу [4].

Как только состояние реального мира будет обнаружено и проанализировано, может потребоваться что-то сделать. Исполнительные механизмы выполняют прямое физическое действие для конкретного процесса. Исполнительные механизмы могут включать в себя соленоиды и цилиндры.

Подобно исполнительным механизмам, приводы предпринимают определенные действия в отношении процесса по команде контроллера или другого анализатора. Разница между исполнительным механизмом и приводами заключается в том, что исполнительные механизмы используются для осуществления короткого, полного, дискретного движения (обычно линейного), а приводы выполняют более непрерывные движения, традиционно ими являются двигатели.

Двигатели – это мышцы робота; используются для перемещения других объектов или для перемещения самого робота. Существует несколько типов двигателей, обычно используемых роботами: шаговые двигатели, двигатели постоянного тока и серводвигатели [4].

Автоматизированная газонокосилка должна быть оснащена несколькими электродвигателями, каждый из которых выполняет свою функцию. Один двигатель отвечает за работу ножей, а другие регулируют вращение колёс [7].

Чаще всего передвижение газонокосилки осуществляется за счёт задних ведущих колёс с независимыми электромоторами. Однако существуют и полноприводные модели. Для совершения манёвров ведущим колёсам задаётся различная скорость или направление вращения.

Разработчики стремятся уменьшить время поворота и ширину поворотной полосы, чтобы минимизировать энергозатраты. Такие автоматизированные газонокосилки являются малогабаритными, маневренными, самостоятельными и достаточно тихими [2].

Результаты исследования. Задача алгоритма автоматизированной газонокосилки – описать работу и движение агрегата, а также его реакции на внештатные ситуации. Алгоритм движения определяет маршрут и способ движения машины для наиболее полной и эффективной обработки участка.

Автоматизированные газонокосилки движутся циклично, повторяя определённые действия. Можно выделить три группы способов движения:

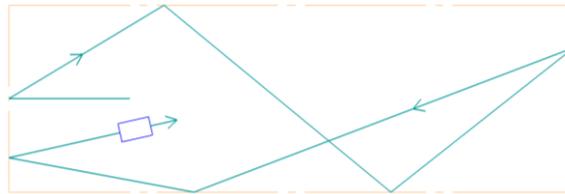
1. Гоновые (рис. 1 (а)) – движение вдоль одной из сторон участка.
2. Диагональные – движение под острым или тупым углом к сторонам участка.
3. Круговые (рис. 1 (б)) – повторение контуров участка.

Первая группа способов движения эффективна для маневренных агрегатов, обрабатывающих участок прямоугольной формы. Вторая группа позволяет обработать участок любой формы. Третья группа обеспечивает более быструю стрижку травы, так как количество холостых ходов и работы винтов без полезной нагрузки минимально.

Также существует хаотичное движение (рис. 1 (в)), которое, однако, малоэффективно из-за больших затрат ресурсов и времени. Единственное преимущество хаотичного движения – это равномерное подстригание газона без «швов» [2, 6].

Аккумулятор является основным источником питания агрегата. В настоящее время большее распространение получили аккумуляторы типа Li-Ion и NiMh. В свою очередь среди данных батарей наиболее популярным является Li-Ion, что связано с таким преимуществом, как быстрая зарядка и большая емкость в сравнении с NiMh, а также меньшей степенью саморазрядки [2].





(б)

Рисунок 1 – Способы движения автоматической газонокосилки:
а) гоновый способ, б) круговой способ, в) хаотичный способ

Энергия от питающего устройства поступает в аккумулятор, а затем на управляющую плату и другие необходимые компоненты: датчики, GPS-модуль, процессор, колёса и винт (рис. 2).

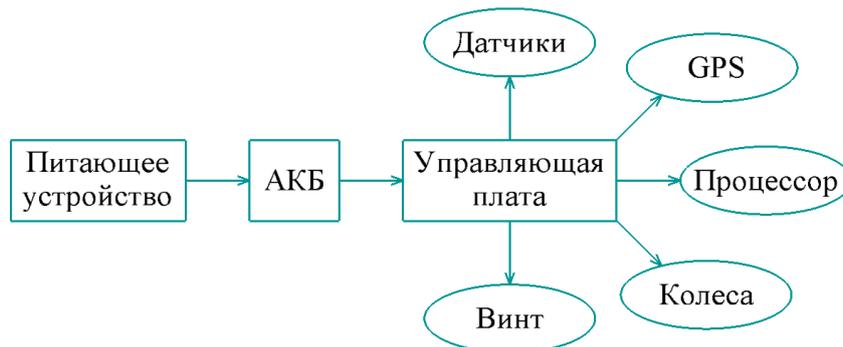


Рисунок 2 – Распределение энергии в газонокосилке

Управляющие команды отправляются от процессора к управляющей плате. Процессор, в свою очередь, взаимодействует с датчиками, например, с GPS-модулем, ультразвуковыми датчиками, колесными энкодерами и др. Через управляющую плату команды будут поступать на необходимые элементы схемы, такие как двигатели и винт (рис. 3) [4].



Рисунок 3 – Структурная схема управления автоматизированной газонокосилкой

Заключение. В данной работе рассмотрены основные принципы работы и устройство автоматической газонокосилки. Такие устройства позволяют автоматизировать скашивание травы на участке любой площади и сложности. Данные агрегаты способны работать автономно, практически без участия человека, питаясь от аккумуляторов, что делает их практически бесшумными. Использование различных датчиков и алгоритмов вкуче поможет оптимизировать и ускорить рутинный процесс.

Список источников

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [Электронный ресурс]. – URL: www.kremlin.ru/events/president/news/73986.
2. Ельков, С.А. Робот-газонокосилка на биотопливном элементе / С.А. Ельков, Н.А. Осмаков // Международный студенческий научный вестник. – 2021. – №. 1. – С. 51-51.
3. Колесников, П.Г. Проектирование и конструирование технологических машин садово-паркового и ландшафтного строительства: учебное пособие для студентов направлений 23.03.02, 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» очной, очно-заочной форм обучения [Электронное издание] / П.Г. Колесников // Красноярск: СибГТУ, 2015. – 118 с.
4. Mohammad Baloch, T., Timothy Thien Ching Kae Design and modelling a prototype of a robotic lawn mower / International Symposium on Information Technology, 2008.
5. Asfahl, C. Ray «Robots and Manufacturing Automation», Canada, John Wiley & Sons Inc., 1992.
6. Терентьев, Е.С. Роботизированные газонокосилки / Е.С. Терентьев // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов IX Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи, 5-7 апреля 2018 г., Юрга. – Томск, 2018. – С. 8-10.
7. Звонарев, И.А. Проектирование робота-газонокосилки для проведения ландшафтных работ / И.А. Звонарев // Фундаментальные и прикладные аспекты развития современной науки. – 2022. – С. 87-93.

© Усталкова А.А., Чурляева О.Н., Спиченок А.В., 2025

Научная статья
УДК 62-519

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Илья Дмитриевич Цуканов¹, Лязат Анатольевна Садыкова²,
Сергей Мударисович Бакиров³, Никита Валерьевич Долгов⁴

^{1,3,4}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, г. Саратов, Россия

²Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Казахстан

¹tsukanovid@gmail.com

²archisad@mail.ru

³s.m.bakirov@mail.ru

⁴rob spider@yandex.ru

Аннотация. В работе проанализированы особенности дистанционного управления мобильными роботами с использованием компьютерных технологий. Рассматриваются материалы и методы, применяемые в этой области, включая программное обеспечение, аппаратные средства и алгоритмы. Приводится пример программы для управления мобильным роботом с двумя шаговыми двигателями с использованием платы ESP32 и WebSocket для связи между роботом и оператором.

Ключевые слова: робот-паук исследователь, алгоритм управления роботом, мобильный робот, плата ESP32, WebSocket.

Для цитирования: Цуканов, И.Д. Анализ особенностей дистанционного управления мобильными роботами с использованием компьютерных технологий / И.Д. Цуканов, Л.А. Садыкова, С.М. Бакиров, Н.В. Долгов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF FEATURES OF REMOTE CONTROL OF MOBILE ROBOTS USING COMPUTER TECHNOLOGIES

Ilya Dmitrievich Tsukanov¹, Lyazat Anatolyevna Sadygova², Sergey Mudarisovich Bakirov³, Nikita Valerievich Dolgov⁴

^{1,3,4}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

²West Kazakhstan Innovation and Technological University, Uralsk, Kazakhstan

¹tsukanovid@gmail.com

²archisad@mail.ru

³s.m.bakirov@mail.ru

⁴rob spider@yandex.ru

Annotation. The paper analyzes the features of remote control of mobile robots using computer technologies. The materials and methods used in this area are considered, including software, hardware and algorithms. An example of a program for controlling a mobile robot with two stepper motors using an ESP32 board and WebSocket for communication between the robot and the operator is given.

Keywords: spider robot explorer, robot control algorithm, mobile robot, ESP32 board, WebSocket.

For citation: Tsukanov, I.D. Analysis of features of remote control of mobile robots using computer technologies / I.D. Tsukanov, L.A. Sadykova, S.M. Bakirov, N.V. Dolgov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. С развитием современных технологий дистанционное управление мобильными устройствами стало неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Мобильные роботы, управляемые с помощью компьютерных технологий, используются в самых разных областях - от бытовой автоматизации до сложных промышленных процессов. Одной из ключевых задач в этой сфере является создание эффективных и надёжных систем дистанционного управления, способных обеспечить высокую точность выполнения команд и устойчивость к внешним воздействиям.

В последние годы наблюдается значительный прогресс в разработке алгоритмов и программного обеспечения для дистанционного управления роботами. Использование искусственного интеллекта, машинного обучения и нейросетей позволило существенно повысить производительность и функциональность таких систем. Однако, несмотря на достигнутые успехи, существует ряд проблем и ограничений, которые требуют дальнейшего изучения и решения.

Цель данной статьи – провести анализ особенностей дистанционного управления мобильными устройствами с использованием компьютерных технологий, рассмотреть основные материалы и методы, применяемые в этой области, обсудить ключевые аспекты на примере конкретной программы и предложить пути улучшения алгоритмов управления.

Материалы и методы. Для исследования были использованы следующие материалы и методы:

- программное обеспечение: C++, HTML, CSS, VS Code;
- аппаратные средства: ESP32, шаговый двигатель;
- алгоритмы: обработка изображений, нейронные сети, алгоритмы маршрутизации;
- методы научного познания: эксперимент, симуляция, анализ данных.

Результаты исследований. Рассмотрим возможности управлением мобильного робота с двумя шаговыми двигателями с платой ESP32.

Аппаратная часть. Данный код предназначен для работы с двумя шаговыми двигателями, которые управляются через библиотеку GyverStepper. Шаговые двигатели широко используются в робототехнике и автоматизации благодаря своей способности точно позиционировать ротор и поддерживать заданную скорость вращения. В данном случае используется плата ESP32, которая подключается к двум шаговым двигателям через пины 13, 12, 14 и 27 (рис. 1). Эти пины настроены как выходы, и через них подаются сигналы для управления скоростью и направления вращений двигателей.

```
GStepper<STEPPER2WIRE> stepper(2048, 13, 12);  
GStepper<STEPPER2WIRE> stepperSecond(2048, 14, 27);  
const int speed = 800;  
int firstStepperDir = 1;  
int secondStepperDir = 1;
```

Рисунок 1 – Код для работы шаговых двигателей

Здесь представлены первоначальные настройки шаговых двигателей, заданные используемые пины, изначальные скорость и направление.

Программная часть. Основной частью программы является функция `setup`, которая нужна для настройки всех необходимых компонентов. Сначала устанавливается соединение с Wi-Fi сетью (рис. 2).

```
const char* ssid = "AndroidAP109C";
const char* password = "axxe6387";
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Booting");
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.waitForConnectResult() != WL_CONNECTED) {
    Serial.println("Connection Failed! Rebooting...");
    ESP.restart();
  }
}
```

Рисунок 2 – Код для подключения к WIFI-сети

В данном фрагменте кода указаны название WIFI-сети и ее пароль. При запуске плата ESP32 осуществляет попытку подключения. Пока подключение не будет выполнено, код дальше выполняться не будет. Плата ESP32 имеет возможность самосоздания WIFI-соединения. Это может быть полезно в разработке и тестировании при отсутствии возможности подключиться к уже существующей WIFI-сети.

Затем запускается OTA (Over-the-Air) – обновление прошивки, которое позволяет обновлять программу без физического подключения к устройству. Это позволит вносить изменения в алгоритм работы робота без физического подключения к плате ESP32. Данная функция поможет сэкономить значительное количество времени во время разработки и тестировании робота (рис. 3).

```
ArduinoOTA
.onStart([] () {
  String type;
  if (ArduinoOTA.getCommand() == U_FLASH)
    type = "sketch";
  else
    type = "filesystem";
  Serial.println("Start updating " + type);
})
.onEnd([] () {
  Serial.println("\nEnd");
})
.onProgress([] (unsigned int progress, unsigned int total) {
  Serial.printf("Progress: %u%%\r", (progress / (total / 100)));
})
.onError([] (ota_error_t error) {
  Serial.printf("Error[%u]: ", error);
  if (error == OTA_AUTH_ERROR) Serial.println("Auth Failed");
  else if (error == OTA_BEGIN_ERROR) Serial.println("Begin Failed");
  else if (error == OTA_CONNECT_ERROR) Serial.println("Connect Failed");
  else if (error == OTA_RECEIVE_ERROR) Serial.println("Receive Failed");
  else if (error == OTA_END_ERROR) Serial.println("End Failed");
});
ArduinoOTA.begin();
```

Рисунок 3 – Код для обновления через беспроводное подключение

После этого запускается WebSocket сервер, который ожидает подключений от оператора (рис. 4).

```

void initWebSocket() {
    ws.onEvent(onEvent);
    server.addHandler(&ws);
}

```

Рисунок 4 – Код для запуска WebSocket сервера

Когда оператор подключается к серверу, он может отправлять команды, такие как "toggle", "toggleSecond", "toggleBack" и другие (рис. 5-7). Эти команды обрабатываются функцией handleWebSocketMessage. Например, команда "toggle" меняет направление вращения первого шагового двигателя, а команда "toggleSecond" – второго шагового двигателя. В совокупности, это позволит управлять роботом любым мобильным или компьютерным устройством, подключенным к одной WIFI-сети с роботом. Таким образом, появляются возможности использования различных устройств для управления, быстрого добавления новых функций. Данная программа помогает быстро создавать простые, гибкие и функциональные алгоритмы для работы робота.

```

server.on("/", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest *request){
    request->send_P(200, "text/html", index_html, processor);
});

server.on("/off", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest *request){
    ledState = !ledState;
    stepper.setSpeed(speed * ledState);
    request->send_P(200, "text/html", index_html, processor);
});

server.on("/second", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest *request){
    if (secondStepperDir == 0) {
        secondStepperDir = 1;
    } else {
        secondStepperDir = 0;
    }
    stepperSecond.setSpeed(-speed * secondStepperDir);
    request->send_P(200, "text/html", index_html, processor);
});

```

Рисунок 5 – Код для обработки GET-запросов

```

void handleWebSocketMessage(void *arg, uint8_t *data, size_t len) {
    AwsFrameInfo *info = (AwsFrameInfo*)arg;
    if (info->final && info->index == 0 && info->len == len && info->opcode ==
    WS_TEXT) {
        data[len] = 0;
        if (strcmp((char*)data, "toggle") == 0) {
            if (firstStepperDir == 0 || firstStepperDir == -1) {
                firstStepperDir = 1;
            } else {
                firstStepperDir = 0;
            }
            stepper.setSpeed(speed * firstStepperDir);
        }
    }
}

```

Рисунок 6 – Функция для обработки кнопки toggle

```

if (strcmp((char*)data, "toggleSecond") == 0) {
    if (secondStepperDir == 0 || secondStepperDir == -1) {
        secondStepperDir = 1;
    } else {
        secondStepperDir = 0;
    }
    stepperSecond.setSpeed(speed * secondStepperDir);
    notifyClients();
}
if (strcmp((char*)data, "toggleBack") == 0) {
    if (firstStepperDir == 0 || firstStepperDir == 1) {
        firstStepperDir = -1;
    } else {
        firstStepperDir = 0;
    }
    stepper.setSpeed(speed * firstStepperDir);
    notifyClients();
}
if (strcmp((char*)data, "toggleBackSecond") == 0) {
    if (secondStepperDir == 0 || secondStepperDir == 1) {
        secondStepperDir = -1;
    } else {
        secondStepperDir = 0;
    }
    stepperSecond.setSpeed(speed * secondStepperDir);
    notifyClients();
}

```

Рисунок 7 – Пример обработки других команд

Веб-интерфейс. Программа также включает в себя HTML-код, который отображает интерфейс в браузере оператора. Этот код содержит кнопки для управления шаговыми двигателями (рис. 8-10). Когда пользователь нажимает одну из кнопок, соответствующая команда отправляется на сервер через WebSocket. Это позволяет создать удобный и легко расширяемый функционал для управления роботом.

```

<body>
<div class="topnav">
  <h1>ESP WebSocket Server</h1>
</div>
<div class="content">
  <div class="card">
    <h2>Output - GPIO 2</h2>
    <p class="state">state: <span id="state">%STATE%</span></p>
    <p><button id="button" class="button">ForwardOne</button></p>
    <p><button id="buttonBack" class="button">BackOne</button></p>
    <p><button id="button2" class="button">ForwardTwo</button></p>
    <p><button id="buttonBack2" class="button">BackOne</button></p>
    <p><button id="buttonFull" class="button">Full</button></p>
    <p><button id="buttonFullBack" class="button">FullBack</button></p>
  </div>
</div>

```

Рисунок 8 – Создание вебсайта для управления роботом

```

<script>
var gateway = `ws://${window.location.hostname}/ws`;
var websocket;
window.addEventListener('load', onLoad);
function initWebSocket() {
    console.log('Trying to open a WebSocket connection...');
    websocket = new WebSocket(gateway);
    websocket.onopen    = onOpen;
    websocket.onclose   = onClose;
    websocket.onmessage = onMessage; // <-- add this line
}
function onOpen(event) {
    console.log('Connection opened');
}
function onClose(event) {
    console.log('Connection closed');
    setTimeout(initWebSocket, 2000);
}
function onMessage(event) {
    var state;
    if (event.data == "1"){
        state = "ON";
    }
    else{
        state = "OFF";
    }
    document.getElementById('state').innerHTML = state;
}
function onLoad(event) {
    initWebSocket();
    initButton();
}
}

```

Рисунок 9 – Подключение к WebSocket серверу

```

function toggle(){
    websocket.send('toggle');
}
function toggleSecond(){
    websocket.send('toggleSecond');
}
function toggleBack(){
    websocket.send('toggleBack');
}
function toggleBackSecond(){
    websocket.send('toggleBackSecond');
}
function toggleFull(){
    websocket.send('toggleFull');
}
function toggleFullBack(){
    websocket.send('toggleFullBack');
}
}

```

Рисунок 10 – Функции для работы кнопок управления роботом

Заключение. Таким образом, данное исследование демонстрирует, как можно использовать ESP32 в сочетании с WebSocket для создания простой системы дистанционного управления физическими объектами через веб-интерфейс. Эта технология может быть расширена и применена для управления более сложными системами, такими как роботы или промышленные установки, что в будущем может повысить функциональность управления и сократить время настройки.

Список источников

1. RFC 6455 – The WebSocket Protocol. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6455>.
2. WebSocket. URL: <https://learn.javascript.ru/websocket>.
3. ESP32 HTTPClient [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://github.com/espressif/arduino-esp32/blob/master/libraries/HTTPClient/src/HTTPClient.h>.
4. ESP32 OTA (Over-the-Air) Updates – ElegantOTA Library with Arduino IDE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-ota-elegantota-arduino/>.

© Цуканов И.Д., Садыкова Л.А., Бакиров С.М., Долгов Н.В., 2025

Научная статья
УДК 314.615.9

ОЗОНИРОВАНИЕ ПЛОДОВООЩНОЙ ПРОДУКЦИИ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ПОВЫШЕНИИ СРОКОВ ИХ СОХРАННОСТИ

Елена Николаевна Чернова¹, Александра Денисовна Белохвостова²

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

²Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И.Вавилова, финансово-технологический колледж, г. Саратов, Россия

Аннотация. Статья посвящена анализу различных способов хранения плодоовощной продукции, включая традиционные методы, современные технологии и инновационные подходы. Рассматриваются ключевые параметры, такие как температурный режим, влажность воздуха, контролируемая атмосфера, а также методы сушки, замораживания, консервирования и маринования. Особое внимание уделено биологическим методам защиты продукции от порчи. Описаны преимущества и недостатки каждого подхода, что позволяет выбрать оптимальный способ хранения в зависимости от типа продукции и требований к её качеству.

Ключевые слова: плодоовощная продукция, замораживание, консервирование, температурный режим, озонирование, контролируемая атмосфера.

Для цитирования: Чернова, Е.Н. Озонирование плодовоошной продукции – новое направление в повышении сроков их сохранности / Е.Н. Чернова, А.Д. Белохвостова // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

OZONIZATION OF FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS – A NEW DIRECTION IN INCREASING THEIR SHELF LIFE

Elena Nikolaevna Chernova¹, Alexandra Denisovna Belokhvostova²

¹N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Saratov, Russia

²N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, College of Finance and Technology, Saratov, Russia

Annotation. The article is devoted to the analysis of various methods of storing fruit and vegetable products, including traditional methods, modern technologies and innovative approaches. Key parameters such as temperature, air humidity, controlled atmosphere, as well as methods of drying, freezing, canning and marinating are considered. Particular attention is paid to biological methods of protecting products from spoilage. The advantages and disadvantages of each approach are described, which allows choosing the optimal storage method depending on the type of product and quality requirements. **Keywords:** fruit and vegetable products, freezing, canning, temperature conditions, ozonation, controlled atmosphere.

Keywords: fruit and vegetable products, freezing, canning, temperature control, ozonation, controlled atmosphere.

For citation: Chernova, E.N. Ozonization of fruit and vegetable products – a new direction in increasing their shelf life / E.N. Chernova, A.D. Belokhvostova // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Сохранение качества и свежести плодовоошной продукции является одной из ключевых задач, как для производителей, так и для торговых сетей. От того, насколько правильно организован процесс хранения, зависит не только срок годности продуктов, но и их вкусовые качества товарный и пищевая ценность.

Материалы и методы. В данной статье мы рассмотрим основные способы хранения плодовоошной продукции, проанализируем их преимущества и недостатки.

Результаты исследования.

1. Традиционные методы хранения.

Традиционно овощи и фрукты хранились в подвалах, погребах или специальных хранилищах с контролируемой температурой и влажностью. Этот

метод до сих пор широко используется в сельском хозяйстве и у частных лиц. Основные условия традиционного метода хранения включают:

Температурный режим-оптимальная температура для большинства овощей и фруктов составляет от $+2^{\circ}\text{C}$ до $+10^{\circ}\text{C}$, некоторые культуры требуют более низких температур (например, картофель).

Влажность воздуха заключается в поддержание уровня влажности около 85–95% помогает предотвратить увядание плодов.

Вентилируемое поглощение воздуха предотвращает накопление этилена - газа, который ускоряет созревание и старение плодов.

Преимущества традиционных методов – это простота реализации; низкие затраты на оборудование; возможность использования существующих помещений.

Но кроме достоинств есть и недостатки: ограниченные возможности контроля температуры и влажности; риск развития плесени и грибков при недостаточной вентиляции; невозможность длительного хранения некоторых видов продукции.

2. Холодильные камеры.

Холодильное хранение является одним из наиболее эффективных способов сохранения плодоовощной продукции. Современные холодильные установки позволяют точно контролировать температуру, влажность и состав атмосферы внутри камер.

Контроль температуры в камерах может варьироваться в зависимости от типа продукта. Например, яблоки лучше всего хранятся при температуре около 0°C , а бананы – при $+13^{\circ}\text{C}$.

Регулирование состава атмосферы: использование технологий контролируемой атмосферы (СА) позволяет изменять содержание кислорода, углекислого газа и азота в воздухе, что замедляет процессы созревания и старения плодов.

Ультранизкотемпературное хранение: для некоторых культур применяется ультра-холодная заморозка (-18°C и ниже), которая позволяет сохранить продукцию на длительный период без потери качества.

Преимущества холодных камер в высокой точности поддержания параметров среды; длительный срок хранения продукции; минимизация потерь за счет снижения активности микроорганизмов.

Недостатки заключаются в высоких капитальных затратах на установку оборудования, в необходимости регулярного технического обслуживания и имеют энергетическую зависимость.

3. Сушка и замораживание.

Эти методы позволяют значительно продлить срок хранения плодоовощной продукции путем удаления влаги или ее консервации при низких температурах. Процесс сушки включает удаление воды из плодов до минимального содержания. Это можно сделать естественным способом (солнечная сушка) или с использованием специального оборудования (сушилки). Продукты после сушки становятся легкими и компактными, что упрощает их транспортировку и хранение.

Замороженная продукция сохраняет свои свойства благодаря низкому содержанию воды в клетках и замедлению биохимических процессов. Различают шоковую заморозку (быстрое охлаждение до -30°C) и медленную заморозку.

Преимущества сушки и замораживания – это незначительное увеличение срока хранения; сохранение питательных веществ и вкуса; удобство транспортировки и хранения.

Недостатки этого метода в потери части витаминов и микроэлементов при сушке; изменение текстуры и внешнего вида продуктов после разморозки; потребность в специальном оборудовании и энергоресурсах.

4. Консервирование и маринование.

Консервирование и маринование – это традиционные методы обработки плодоовощной продукции, которые также применяются для увеличения сроков хранения. Консервирование включает стерилизацию продукции перед герметичной упаковкой, стерилизация уничтожает микроорганизмы, способные вызывать порчу продукта.

Маринование заключается в обработке продукции уксусом или другими консервантами, что создает неблагоприятную среду для бактерий и грибов.

Преимущества консервирования и маринования: длительные сроки хранения (до нескольких лет); сохранение вкуса и аромата продукции; отсутствие необходимости в специальных условиях хранения.

Недостатки в изменение органолептических свойств продукции; в наличие консервантов, которые могут быть нежелательны для некоторых потребителей и требуется тщательный контроль процесса производства во избежание бактериологического заражения.

5. Биологические методы защиты продукции.

Современные технологии предлагают биологические методы защиты плодоовощной продукции от порчи. Эти методы основаны на использовании натуральных антимикробных агентов, таких как эфирные масла, экстракты растений и пробиотики.

Эфирные масла. Применение эфирных масел, обладающих антибактериальными свойствами, позволяет защитить плоды от патогенных микроорганизмов.

Пробиотические покрытия: Нанесение пробиотиков на поверхность плодов способствует созданию защитного барьера против вредных бактерий.

Преимущества биологических методов в экологической безопасности, сохранение натуральности продукции и увеличение срока хранения без применения химических консервантов.

Недостатки в ограниченности спектра действия по сравнению с химическими методами, более высокая стоимость по сравнению с традиционными способами.

6. Озонирование.

Данный способ имеет достоинства и недостатки. Озон способен проникать в труднодоступные места и эффективно очищать поверхности.

В мире накоплен значительный опыт применения озона для обработки фруктов и овощей. Озонирование резко снижает обсемененность плодоовощной

продукции гнилостной микрофлорой, уровень метаболических процессов и препятствует прорастанию, т. е. Озон полностью уничтожает вирусы, бактерии и болезнетворные микроорганизмы

Эффективная дезинфекция. Озон убивает большинство известных патогенов, включая *Escherichiacoli*, *Salmonella*, *Listeria* и многие виды плесени. Это особенно важно для предотвращения пищевых отравлений и улучшения безопасности продуктов питания. Благодаря уничтожению микроорганизмов, озон помогает снизить скорость разложения овощей и фруктов, продлевая их свежесть и товарный вид.

После завершения реакции озон распадается обратно на кислород, не оставляя токсичных остатков. Это делает его безопасным для окружающей среды и здоровья человека.

Озон можно использовать для обработки различных типов овощей и фруктов, независимо от их формы, размера и плотности и этим обеспечивает универсальность.

Недостатки озонирования: Из-за своей высокой реакционной способности озон может повредить некоторые чувствительные продукты, если концентрация будет слишком высока или время воздействия будет чрезмерным. Необходимость контроля концентрации. Для обеспечения эффективности и безопасности необходимо строго соблюдать рекомендуемые уровни озона. Чрезмерно высокие концентрации могут привести к повреждению продукции и ухудшению её качества.

Установка систем озонирования требует значительных инвестиций в оборудование и регулярное техническое обслуживание. Кроме того, персонал должен пройти специальное обучение для безопасного обращения с озоном.

Заключение. Приведенный анализ различных способов хранения плодоовощной продукции показывает, что каждый метод имеет свои особенности, преимущества и ограничения. Использование озона для хранения овощей и фруктов является перспективным методом, обеспечивающим высокую степень дезинфекции и продление срока хранения продукции. Однако, чтобы избежать негативных последствий, необходимо тщательно контролировать концентрацию озона и учитывать специфику обрабатываемых продуктов. При правильном применении озонирование может стать эффективным инструментом в арсенале современных агропромышленных предприятий.

Список источников

1. Бахтеев, С.В. Способ обеспечения сохранности плодоовощной продукции / С.В. Бахтеев, С.М. Бакиров, А.А. Верзилин, Н.Н. Пушкаренко, М.К. Садыгова, А.П. Ищенко // Патент на изобретение RU 2808494 С1, 28.11.2023. Заявка № 2023114665 от 05.06.2023.

2. Трушкин, В.А. Перспективы использования озона в сельскохозяйственном производстве / В.А. Трушкин, С.В. Шлюпиков, Т.И. Третьякова // В сборнике: Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы X национальной научно-практической конференции с международным участием. Под общ. ред. Трушкина В.А. 2019. С. 228-232.

3. Лунин, В.В. Физическая химия озона: монография / В.В. Лунин, М.П. Попович, С.Н. Ткаченко. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: МАКС Пресс, 2019. – 540 с.

4. Лунин, В.В. Способы получения озона и современные конструкции озонаторов / В.В. Лунин, Н.В. Карягин, В.Г. Самойлович – М.: МАКС Пресс, 2008. – 150 с.

5. Лунин, В.В. Озон в очистке газовых выбросов, сельском хозяйстве и подготовке питьевой воды / В.В. Лунин, Н.В. Карягин, С.Н. Ткаченко, В.Г. Самойлович – М.: МАКС Пресс, 2010. – 232 с.

6. Разумовский, С.Д. Озон и его реакция с органическими соединениями / С.Д. Разумовский, Г.Е. Заиков – М.: Наука, 1974. – 322 с.

7. Лунин, В.В. Озон в очистке сточных вод, удалении цианидов, гидрометаллургии / В.В. Лунин, В.Г. Самойлович, С.Н. Ткаченко, И.С. Ткаченко // Москва: МАКС Пресс, 2019. – 284 с.

© Чернова Е.Н., Белохвостова А.Д., 2025

Научная статья
УДК 621.313

КРИВЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНВЕРТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОРШНЕВОГО НАСОСА В СИСТЕМЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ СИСТЕМЫ T-L

Алексей Георгиевич Черных¹

¹Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, Иркутская область, Иркутский район, поселок Молодежный, Россия

¹kandida2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>

Аннотация. В статье приводятся расчетные кривые производительности инверторного двигателя поршневого насоса в системе гидростатического привода опорных тележек дождевальной машины фирмы T-L Irrigation Company в зависимости от частоты и величины напряжения на статорных обмотках двигателя. Сформулированы выводы о работоспособности системы гидростатического привода дождевальной машины с учетом вариации частоты и величины рабочего напряжения питающего двигателя.

Ключевые слова: инверторный двигатель, кривые производительности, гидростатический привод, поршневой насос, дождевальная машина.

Для цитирования: Черных, А.Г. Кривые производительности инверторного двигателя поршневого насоса в системе гидростатического привода дождевальной машины системы T-L / А.Г. Черных // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

PERFORMANCE CURVES OF AN INVERTER MOTOR OF A RECIPROCATING PUMP IN A HYDROSTATIC DRIVE SYSTEM OF A SPRINKLER MACHINE OF THE T-L SYSTEM

Alexey Georgievich Chernykh¹

¹Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement, Russia

¹kandida2006@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>

Annotation. The article presents calculated performance curves of an inverter motor of a reciprocating pump in a hydrostatic drive system for support trolleys of a sprinkler machine from T-L Irrigation Company, depending on the frequency and magnitude of the voltage on the stator windings of the motor. Conclusions are formulated about the operability of the hydrostatic drive system of the sprinkler machine, taking into account the variation in frequency and magnitude of the operating voltage supplying the engine.

Keywords: inverter motor, performance curves, hydrostatic drive, piston pump, sprinkler machine.

For citation: Chernykh, A.G. Performance curves of an inverter motor of a reciprocating pump in a hydrostatic drive system of a sprinkler machine of the T-L system / A.G. Chernykh // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Современные дождевальные машины кругового движения с учетом высокого уровня автоматизации таких систем орошения обеспечивают возможность полива на малую глубину, а также очень высокую равномерность полива – благодаря заданному удельному распределению воды единичного дождевателя из общего массива, определяемого принятой схемой посадки на основном трубопроводе машины [1, 2].

В дождевальных машинах указанного способа движения основной трубопровод состоит из нескольких пролетов, прикрепленных к неподвижной центральной башне, содержащей узел подачи воды и источник электроснабжения, вокруг которой вращаются указанные пролеты и несущие их соответствующие башни [3, 4]. Гибкие механические и гидравлические соединения, позволяют каждому из пролетов функционировать как индивидуальному конструкционному узлу системы, обеспечивая при этом их совместную работу в процессе орошения [5, 6]. Гибкие соединения обеспечивают возможность несоосной работы смежных пролетов, что позволяет всей конструкции преодолевать неравномерности рельефа на орошаемой площади. Скорость дождевальной машины и тип дождевателей на трубопроводе определяет объемное количество воды (глубину полива), подаваемой за каждый оборот трубопровода [7, 8]. При этом регулировка процесса функционирования

системы для требуемого показателя или параметра полива обеспечивается с помощью стационарных микропереключателей, рычагов регулировки и контрольного оборудования, входящих в состав системы.

В состав дождевальной машины фирмы T-L Irrigation Company (США) входят гидростатические компоненты [9]. Целесообразность их использования обусловлена выполнением ряда условий, предъявляемых к системам орошения в целом, включая показатель удельной мощности всех видов потребляемой энергии на единицу площади полива, минимальные потери воды используемой в процессе орошения, обеспечение требуемой степени автоматизации с учетом максимальной динамики работы системы.

Материалы и методы. Гидростатические компоненты, входящие в одноименную систему дождевальной машины системы T-L определяются конструктивным исполнением участков распределения подаваемой на орошение воды и исполнительными устройствами, обеспечивающими круговое движение машины. Участки распределения воды представляют собой пролеты с дискретными элементами основного трубопровода, которые на границах каждого пролета жестко прикреплены к соответствующим башням, контактирующими с поверхностью земли посредством колесных пар с воздушными шинами (рис. 1).

Каждый из участков распределения воды кроме непосредственной реализации функции подачи воды в орошаемую область, содержит на границе смежных пролетов устройство, называемое узлом выравнивания, которое обеспечивает соосное расположение пролета относительно основной оси. Указанная ось, соответствует условной линии, проходящей через две точки: узел подачи воды (подводящий трубопровод) и концевую пушку в месте ее крепления к основному трубопроводу.



Рисунок 1 – Общий вид фрагмента опорной башни с колесом с бескамерной шиной типа 14,9R24 DR-105 TL Tyrex Agro

Узел выравнивания (рис. 2, поз. 1) представляет собой четырехлинейный трехпозиционный золотниковый гидрораспределитель с запертым центром и механическим тросовым управлением (рис. 2, поз. 2 и поз. 3). Узел содержит: напорную линию Р (рис. 2, поз. 4), сливную линию Т (рис. 2, поз. 5) и две линии, соединенные с полостями гидроцилиндра А (рис. 2, поз. 6) и В (рис. 2, поз. 7). В любом положении золотника в напорную линию Р узла выравнивания поступает гидравлическая жидкость типа Phillips 66® Hydraulic Pivot Oil 22 от гидравлического радиально-поршневого насоса типа 411AK00101A PVE21AR фирмы EATON дождевальная машины. В частности, при нейтральном положении золотника напорная линия Р по дифференциальной схеме соединяется с обеими полостями гидроцилиндра, поз. А и поз. В на рис. 2. Необходимо отметить, что каждая из сливных линий Т (рис. 2, поз. 5) узлов выравнивания опорных тележек посредством общего маслопровода (рис. 2, поз. 8) подключена к масляному баку дождевальной машины расположенного в непосредственной близости от места установки гидравлического привода, как правило, рядом с узлом подачи воды.

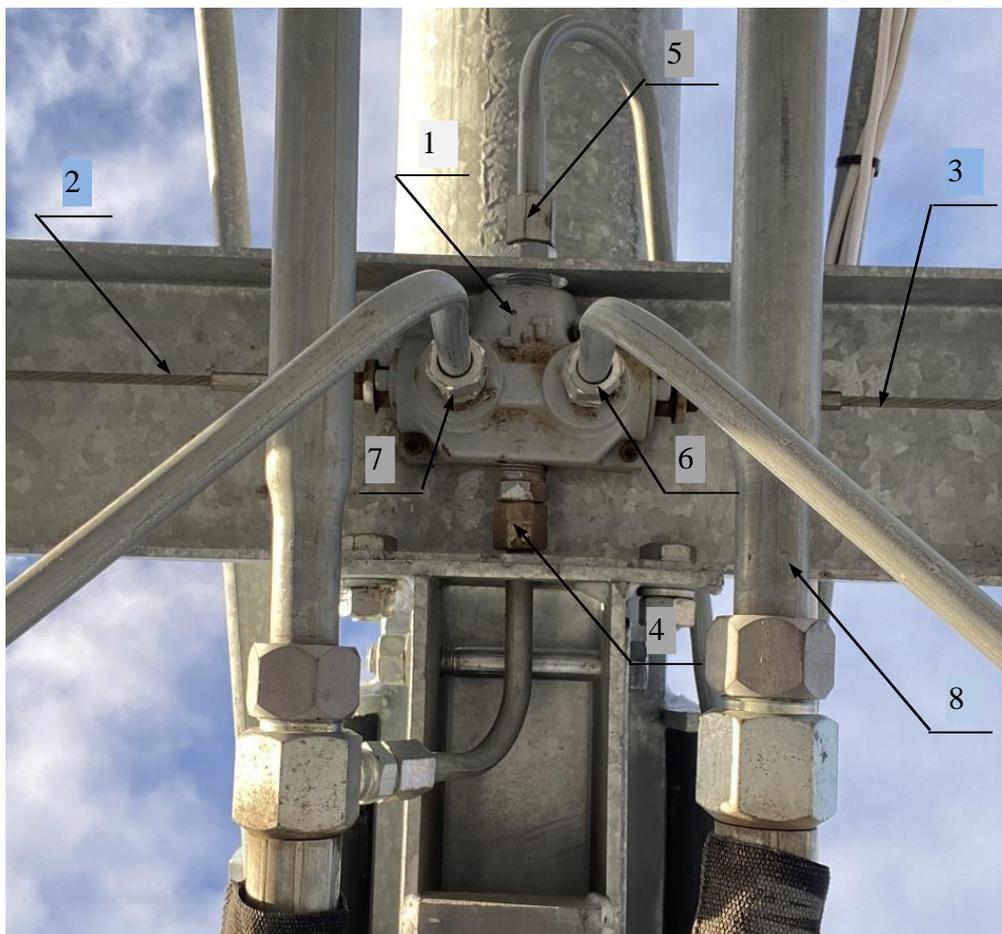


Рисунок 2 – Общий вид узла выравнивания с золотниковым гидрораспределителем

В свою очередь линии А и В по соответствующим маслопроводам, расположенным на металлических конструкциях несущей фермы опорной башни (рис. 3, поз. 1 и поз. 2) соединяются с парой гидравлических орбитальных двигателей Parker серии ТВ (рис. 4, поз. 1).

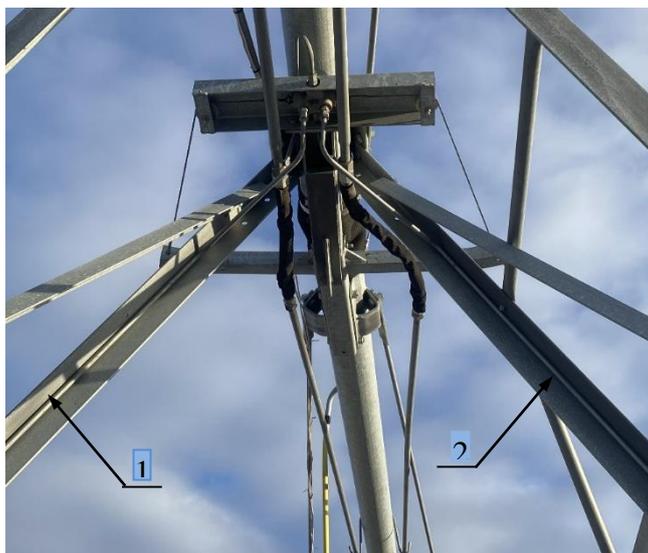


Рисунок 3 – Общий вид маслопроводов несущей фермы опорной башни

Примененные в данном случае двигатели Parker серии ТВ имеют: максимальную непрерывную скорость 380 об/мин и максимальный непрерывный крутящий момент 560 Н·М и передают энергию вращения двум колесам опорной башни через соответствующие планетарные редукторы с передаточным числом 68:1 (рис. 1, поз. 1), обеспечивая тем самым движение башни.



Рисунок 4 – Общий вид колеса опорной башни с гидравлическим двигателем

В целом, примененная схема компоновки дождевальная машины, обеспечивающей ее круговое движение в процессе дождевания является комплексной, включающей в себя металлические несущие конструкции и гидростатический привод с одноименными двигателями, число которых определяется общим количеством колес, двукратно превышающим число опорных тележек.

Для движения гидравлической жидкости в рассмотренной замкнутой гидростатической системе используется, с учетом страны производителя дождевальная машины, используется трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с конструкцией магнитной системы машины и

статорных обмоток инверторного класса изготовленный в соответствии с требованиями со стандартами Национальной ассоциации производителей электрооборудования. Например, при изготовлении статорных обмоток двигателей указанного типа используется специальная проволока, предназначенная для работы при экстремально высоких температурах, которая является следствием тепловых потерь в обмотках, возникающих в процессе работы ШИМ-инвертора частотного преобразователя, генерирующего высокочастотные гармоники. Основное назначение указанных двигателей – работа в качестве электромеханического преобразователя в составе частотно-регулируемого электрического привода.

В исследуемой системе используется инверторный асинхронный двигатель фирмы WEG мощность 15 кВт, с количеством полюсов 4, рабочей частотой 60 Гц, номинальной скоростью 1770 об/мин, скольжением 1,67%, номинальным напряжением 230/460 В, номинальным током 48,2/24,1 А, током холостого хода 19,2/9,60 А, номинальный крутящий момент 80,4 Н·м.

Учитывая промышленную частоту в Российской Федерации равную 50 Гц целесообразно рассчитать кривые производительности указанного типа инверторного двигателя на данную частоту.

Результаты исследования. Кривые производительности двигателя рассчитывались с помощью программного комплекса, адаптированного к требованиям текущего исследования [10]. Результаты расчета адаптированы в виде соответствующих кривых (рис. 5 и рис. 6) для двух значений частот и приложенного к статорным обмоткам напряжения.

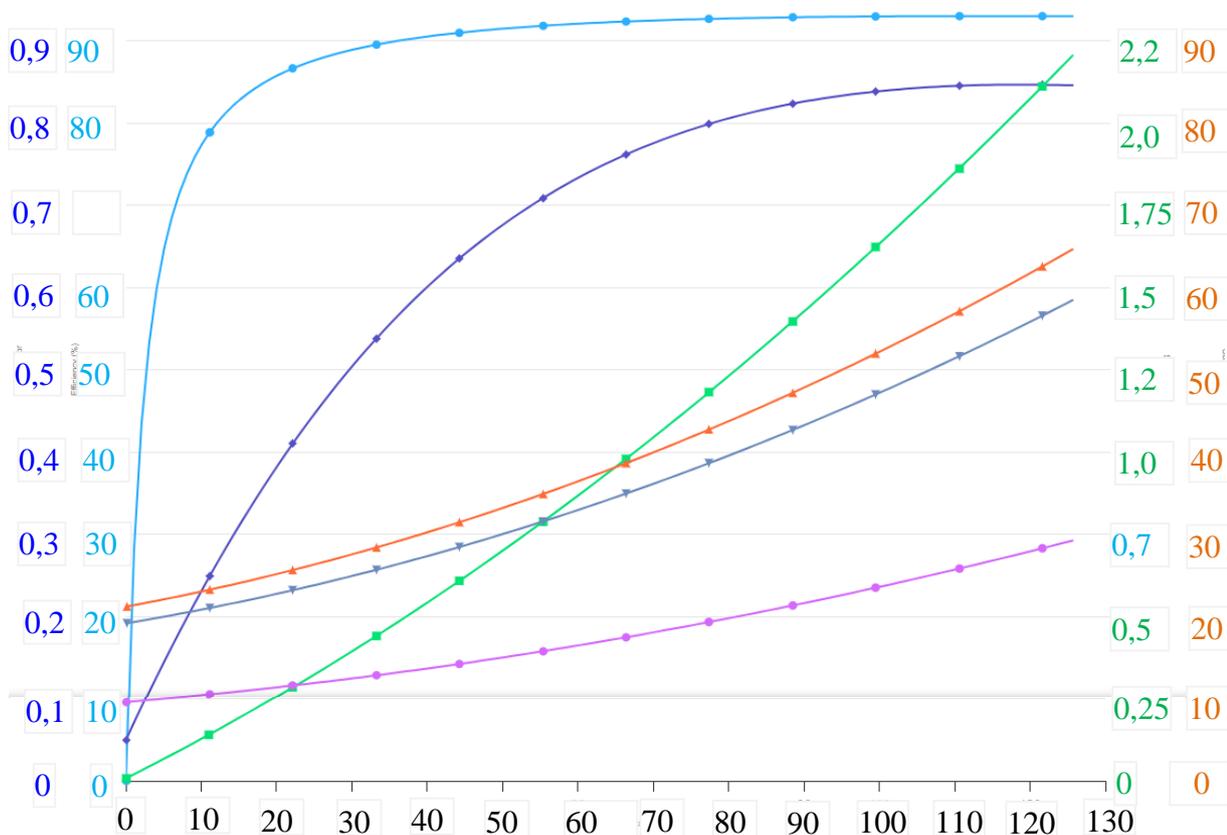


Рисунок 5 – Кривые производительности инверторного двигателя фирмы WEG при частоте 60 Гц и номинальном напряжении 230/460 В

Приведенные на рис. 5 кривые производительности соответствуют следующим электрическим величинам, коэффициенту мощности и к.п.д.: – к.п.д. (%); – коэффициент мощности (б/р); – скольжение (%); – ток фазной обмотки статора при напряжении 460 В, А; – ток фазной обмотки статора при напряжении 230 В, А; – ток фазной обмотки статора при напряжении 208 В, А; – номинальная мощность двигателя (%).

Примечание. Шкала тока фазной обмотки статора (рис. 5) является однотипной для трех значений фазного напряжения: 208 В, 230 В и 460 В.

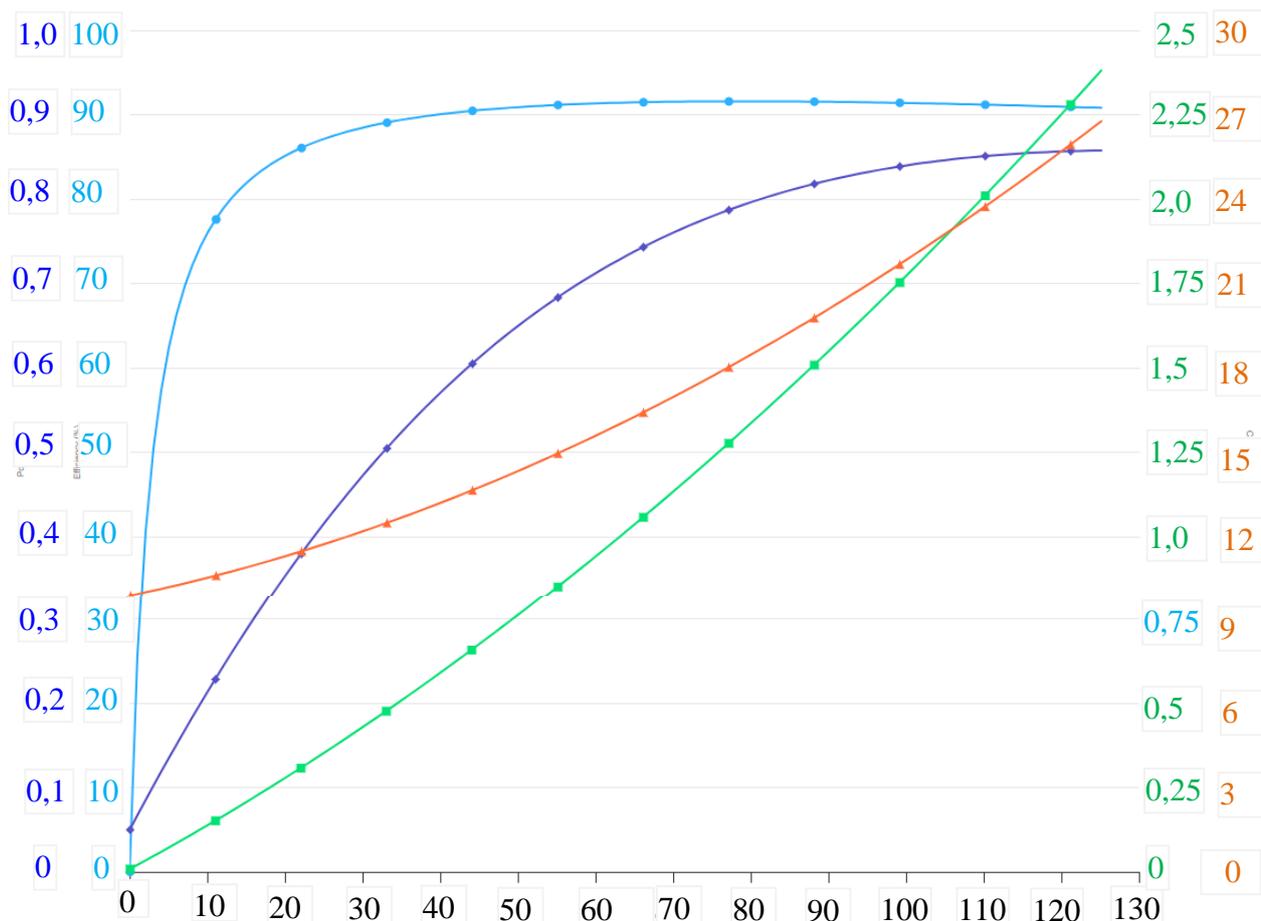


Рисунок 6 – Кривые производительности инверторного двигателя фирмы WEG при частоте 50 Гц и номинальном напряжении 380 В

Приведенные на рис. 6 кривые производительности соответствуют следующим электрическим величинам, коэффициенту мощности и к.п.д.: – к.п.д. (%); – коэффициент мощности (б/р); – скольжение (%); – ток фазной обмотки статора при напряжении 380 В, А; – номинальная мощность двигателя (%).

Заключение. Инверторные двигатели, работающие на частоте 60 Гц, также могут быть подключены к питающей сети с частотой 50 Гц.

1) При подключении двигателя частотой 50 Гц с таким же напряжением к сети частотой 60 Гц показатели производительности двигателя будут удовлетворять следующим характеристикам количественного сравнения:

- полезная мощность останется неизменной;
- номинальный ток останется неизменным;

- пусковой ток уменьшается на 16,8%;
- пусковой момент уменьшается на 16,8;
- номинальная частота вращения увеличивается на 20%.

При частотном регулировании напряжения статора по закону Костенко в сторону уменьшения от частоты 60 Гц к частоте 50 Гц показатели производительности двигателя будут удовлетворять следующим характеристикам количественного сравнения:

- полезная мощность увеличится на 20,1%;
- номинальный ток останется неизменным;
- пусковой ток останется практически неизменным;
- пусковой момент останется практически неизменным;
- номинальная частота вращения увеличивается на 20%.

Список источников

1. Журавлева, Л.А. «Дождеватели широкозахватных дождевальных машин»: монография / Л.А. Журавлева, И.А. Попков, М.С. Магомедов, Хеирбеик Бассел // Москва: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022г. – 140 с.
2. AG Chernykh Use of centrifugal pumps with canned asynchronous motors in sprinkler irrigation systems in a finely dispersed mode of operation // IOP Conf. Ser.: Earth and Environmental Science. 1138 (2023) 012004.
3. Цугленок, Н.В. Оптимизация диаметра трубопровода дождевальной машины кругового действия по критерию минимума энергопотребления / Н.В. Цугленок, С.М. Бакиров, О.В. Логачёва // Агроинженерия. 2021. № 4(104). С. 66-71.
4. C. Bautista Capetillo, O. Robles., et al 2014. A particle tracking velocimetry technique for drop characterization in agricultural sprinklers. Irrigation Science. 2019. Vol. 32. 437-447.
5. Scheierling, S. et al. Water Productivity in Agriculture: Looking for Water in the Agricultural Productivity and Efficiency Literature. Water Economics and Policy (WEP). 2016. Vol 2(3). 1-33.
6. Соловьев, Д.А. Обоснование показателя эффективности энергоснабжения дождевальной машины кругового действия / Д.А. Соловьев, С.М. Бакиров, Г.Н. Камышова, С.С. Елисеев // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (87). С. 158–163.
7. Бакиров, С.М. Разработка устройства определения угла поворота секции дождевальной машины /С.М. Бакиров // Агроинженерия, 2020. № 4(98). 55-60.
8. Журавлева, Л.А. Моделирование движения воды во вращающихся разбрызгивателях широкозахватных оросительных машин / Л.А. Журавлева, И.А. Попков, М.С. Магомедов // Инженерия окружающей среды. 2022. №3. С. 48-53.
9. Черных, А.Г. Энергетические характеристики асинхронного двигателя гидропривода опорных тележек дождевальной машины / А.Г. Черных // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы XIV Национальной конференции с международным участием / Под ред. С.М. Бакирова – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2023.

10. Свидетельство №2011610170 Российская Федерация. Расчет тиристорного частотного преобразователя для управления экранированным асинхронным двигателем / А.Г. Черных, А.Г. Иванов, А.В. Бондаренко, заявитель и патентообладатель Иркутская государственная сельскохозяйственная академия (RU); заявл. 22.10.2010; опубл. 11.01.2011, Реестр программ для ЭВМ.

© Черных А.Г., 2025

Научная статья
УДК 631.22:628.9

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Татьяна Александровна Широбокова¹, Сергей Мударисович Бакиров²,
Людмила Анатольевна Шувалова³, Сергей Владимирович Домнышев⁴

^{1,3}Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет» г. Ижевск, Россия

^{2,4}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹9048336842@mail.ru

²s.m.bakirov@mail.ru

³shuvalova_la@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается оценка эффективности применения разработанных осветительных устройств при выращивании свиней. Приводится конструкция разработанной осветительной установки для освещения помещений в животноводческих помещениях. Представлены результаты проведенных опытов в производственных условиях. Определенно, что применение осветительной установки на основе светодиодов позволит повысить продуктивность животных при экономии ресурсов электроэнергии.

Ключевые слова: освещение, продуктивность животных, светодиоды, свиньи, производственные условия.

Для цитирования: Широбокова, Т.А. Оценка эффективности осветительных устройств при выращивании свиней / Т.А. Широбокова, С.М. Бакиров, Л.А. Шувалова, С.В. Домнышев // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF LIGHTING DEVICES
WHEN RAISING PIGS**

Tatyana Aleksandrovna Shirobokova¹, Sergey Mudarisovich Bakirov², Lyudmila Anatolyevna Shuvalova³, Sergey Vladimirovich Domnyshev⁴

^{1,3}Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State Agrarian University", Izhevsk, Russia

^{2,4}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹9048336842@mail.ru

²s.m.bakirov@mail.ru

³shuvalova_la@mail.ru

Abstract. The article considers the evaluation of the effectiveness of the developed lighting devices in pig farming. The design of the developed lighting system for lighting rooms in livestock facilities is given. The results of experiments conducted in industrial conditions are presented. It is certain that the use of an LED-based lighting system will increase the productivity of animals while saving energy resources.

Keywords: lighting, animal productivity, LEDs, pigs, production conditions.

For citation: Shirobokova, T.A. Evaluation of the efficiency of lighting devices in pig farming / T.A. Shirobokova, S.M. Bakirov, L.A. Shuvalova, S.V. Domnyshev // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. В последние годы наблюдается массовый переход к энергоэффективному оборудованию в животноводческих и производственных помещениях агропромышленного комплекса с целью экономии электроэнергии. Создание оптимальных условий освещения с минимальным энергопотреблением является актуальной задачей технологического светодиодного освещения при выращивании и содержании всех видов животных. Согласно исследованиям многих авторов грамотно организованная система освещения позволяет влиять на возраст полового созревания, увеличить продуктивность, повысить сохранность и выживаемость молодняка [1-4].

В настоящее время разрабатываются и выпускаются множество модификации осветительных приборов общепромышленного назначения, установка которых в животноводческих помещениях не позволяет обеспечить качество освещения на рабочей поверхности по разным причинам: не обеспечивается норма освещенности и равномерность освещения [5, 6]. Среди специалистов и ученых нет единого и однозначного мнения в оценке эффективности применения различных источников света, которые существенно отличаются энергетическими, светотехническими и габаритными параметрами. Поэтому *целью работы* является оценка эффективности применения разработанной осветительной установки на основе светодиодов при выращивании животных.

Основная часть. Одним из примеров энергосберегающего прибора является светодиодный осветительный прибор на основе светодиодов [7],

обеспечивающий увеличение концентрации светового потока и освещенности на горизонтальной рабочей поверхности (рис. 1). Особенностью устройства является то, что на профиле 2 установлены под углом отражатели света 6, выполненные из пластика покрытого хромированной пленкой. Угол между профилем и отражателем может меняться, обеспечивая заданный уровень интенсивности и равномерности освещения продольных горизонтальных зон рабочей поверхности помещения.

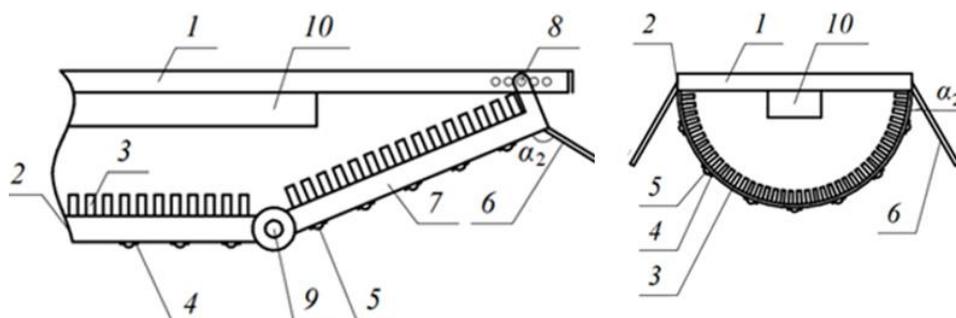


Рисунок 1 – Осветительный прибор на основе светодиодов с повышенной концентрацией светового потока конструкция осветительного прибора в продольной оси: 1 – основание, 2 – профиль в форме полуцилиндра, 3 – теплоотводящие ребра; 4 – монтажные платы; 5 – светодиод; 6 – отражатель; 7 – основание; 8 – штифт; 9 – шарнир; 10 – блок питания

Для определения эффективности применения разработанного осветительного прибора были проведены экспериментальные исследования в производственных условиях, с целью определения положительного влияния светодиодного освещения на свиней. Было сформировано две группы ремонтных свинок, по 3 головы в каждой, в возрасте 4 месяцев по принципу пар-аналогов (рис. 2). Все животные были клинически здоровы. Для освещения в контрольной группе использовали люминесцентные светильники типа ЛСП 2x36, а в опытной – разработанный светодиодный светильник мощностью 10 Вт.



Рисунок 2 – Проведение экспериментов в производственных условиях

Условия содержания и кормления подопытных животных были аналогичными и соответствовали зоотехническим нормам [5]. Согласно общепринятой методике, было проведено контрольное кормление, которое показало, что среднесуточный прирост живой массы за период исследования в контрольной группе составил $515,6 \pm 5,75$, а в опытной $549,3 \pm 4,75$ (табл.).

Таблица – Основные показатели продуктивности свиней

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
Живая масса, кг		
4 месяца	$42,3 \pm 0,79$	$43,2 \pm 0,94$
6 месяцев	$74,06 \pm 1,10$	$76,43 \pm 1,20$
8 месяцев	$104,1 \pm 1,4$	$109,12 \pm 1,3$
Среднесуточный прирост живой массы, г	$515,6 \pm 5,75$	$549,3 \pm 4,75$
Расход корма на 1 кг прироста живой массы, корм.ед	5,61	5,32

За время исследования были определены показатели роста живой массы животных, так в начале эксперимента живая масса молодняка свиней в контрольной и опытной группах была соответственно $42,3 \pm 0,79$ и $43,2 \pm 0,94$ кг. К 6-месячному возрасту живая масса свинок контрольной группы стала $74,06 \pm 1,10$ кг, а у опытных свинок этот показатель был $76,43 \pm 1,20$ кг, что на 2,43 % выше. Среднесуточный прирост живой массы в контрольной группе в среднем составил $515,6 \pm 5,75$ г, а в опытной группе – $549,3 \pm 4,75$ г.

Заключение. Таким образом, можно сделать вывод, что применение разработанного светодиодного светильника в производственных условиях способствует увеличению поедания корма на 5,4 % и повышению продуктивных качеств ремонтного молодняка свиней, позволит эффективно использовать оптическое излучение путем сокращения потребления электрической энергии при неизменном качестве освещения.

Список источников

1. Саморукова, Т.А. Продуктивность и убойные качества свиней в период выращивания и откорма в зависимости от уровней и источников освещения: специальность 06.02.04 "Ветеринарная хирургия": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Т.А. Саморукова // Улан-Удэ, 2007. – 19 с. – EDNNJLKDN.
2. Бакиров, С.М. Расчет параметров светодиодного освещения птичника при напольном содержании / С.М. Бакиров, Т.А. Широбокова, И.Г. Пospelова, П.В. Дородов // Сельский механизатор. – 2024. – № 3. – С. 10-11. – DOI 10.47336/0131-7393-2024-3-10-11-24. – EDN CWWNIU.
3. Расчет конструктивных параметров светодиодного осветительного прибора с улучшенными техническими характеристиками для ферм КРС / С.М. Бакиров, П.В. Дородов, И.И. Иксанов [и др.] // Агропромышленный комплекс в ногу со временем: Сборник трудов Международной научно-

практической конференции, Тюмень, 15 ноября 2023 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – С. 388-392. – EDN XGUQQY.

4. Темников, Д.А. Влияние светодиодного освещения на продуктивность свиней / Д.А. Темников, О.В. Чепуштанова // Технологии производства и переработки продукции свиноводства и птицеводства: Сборник тезисов, подготовленный в рамках круглого стола, Екатеринбург, 29 апреля 2022 года. – Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2022. – С.66-67. – EDN PGXAYU.

5. Мишанов, А.П. Цифровой светодиодный светильник с регулируемым спектром / А.П. Мишанов, Е.Н. Ракутько, С.А. Ракутько // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1 (66). – С. 125-134.

6. Optimization of power and economic indexes of a farm for the maintenance of cattle / G.N. Samarin, A.N. Vasilyev, A.S. Dorokhov [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 1072. – P. 679-689. – DOI 10.1007/978-3-030-33585-4_66. – EDN YUVVTW.

7. Патент на полезную модель № 203834 U1 Российская Федерация, МПК F21S 8/00, F21V 7/00. Светодиодный осветительный прибор: № 2020134176: заявл. 16.10.2020: опубл. 22.04.2021 / Т.А. Широбокова, И.Г. Пospelова, И.И. Иксанов [и др.].

© Широбокова Т.А., Бакиров С.М., Шувалова Л.А., Домнышев С.В., 2025

Научная статья
УДК 62-519

АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ФИТОТРОННО-ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА УНПК «АГРОЦЕНТР»

Игорь Николаевич Шишигин¹, Сергей Мударисович Бакиров², Данила Николаевич Лукашев³

¹ПАО «Россети Волга», г. Саратов, Россия

^{2,3,4}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹office@rossetivolga.ru

²s.m.bakirov@mail.ru

³lukashov.d.n.808@gmail.com

Аннотация. В работе представлены экспериментальные данные измерения энергопотребления фитотронно-тепличного комплекса в течение календарного месяца. Представлен теоретический расчет энергопотребления по данным суточной занятости оборудования. Установлено, что теоретический расчет и данные измерений по счетчику отличаются на 15-20% из-за учета потерь

на подведение электроэнергии. Для снижения потерь и потребления энергии предложены мероприятия по рациональному использованию оборудования.

Ключевые слова: энергоэффективность тепличного комплекса, потери электроэнергии, энергосбережение, счетчик электрической энергии.

Для цитирования: Шишигин, И.Н. Анализ энергопотребления фитотронно-тепличного комплекса УНПК «Агроцентр» / И.Н. Шишигин, С.М. Бакиров, Д.Н. Лукашев // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION OF THE PHYTOTRON-GREENHOUSE COMPLEX OF THE UNPK "AGROCENTER"

Igor Nikolaevich Shishigin¹, Sergey Mudarisovich Bakirov², Danila Nikolaevich Lukashev³

¹PJSC «Rosseti Volga», Saratov, Russia

^{2,3,4}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

¹office@rossetivolga.ru

²s.m.bakirov@mail.ru

³lukashov.d.n.808@gmail.com

Annotation. The paper presents experimental data on measuring the energy consumption of the phytotron-greenhouse complex during a calendar month. A theoretical calculation of energy consumption based on the daily equipment occupancy data is presented. It was found that the theoretical calculation and the measurement data from the meter differ by 15-20% due to taking into account the losses during the supply of electricity. To reduce losses and energy consumption, measures for the rational use of equipment are proposed.

Keywords: energy efficiency of the greenhouse complex, electricity losses, energy saving, electricity meter.

For citation: Shishigin, I.N. Analysis of energy consumption of the phytotron-greenhouse complex of the UNPK "Agrocenter" / I.N. Shishigin, S.M. Bakirov, D.N. Lukashev // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Учет электрической энергии является строго дисциплинированным мероприятием, которое используется при анализе функционирования оборудования у потребителя и для расчета затрат на поставку электроэнергии. Пост учета электрической энергии располагается на границе балансовой принадлежности, как правило, на шинах распределительных

устройств 0,4 кВ трансформаторных подстанций (РУ-0,4 кВ ТП), вводно-распределительных устройствах потребителей (ВРУ).

Технический и коммерческий учет по методике определения расхода энергии ничем не отличаются [1-3]. В обоих случаях используют счетчик электрической энергии и другие измерительные устройства и принадлежности, которые сертифицированы государственными органами, например, трансформаторы тока и напряжения [4]. Коммерческий учет электрической энергии определен тарифом, который утверждается региональным правительством для разных потребителей. Причем режимы потребления электрической энергии (дневной, вечерний максимум; активная и реактивная мощность и т.п.) определяют структуру затрат при использовании многотарифного договора поставки с энергоснабжающей организацией.

В учебно-научно-производственном комплексе «Агроцентр» ведутся исследования в фитотронно-тепличном комплексе (ФТК) с использованием различных систем досветки растений в круглосуточном режиме. Повышенное потребление электроэнергии в 2,5 раза связано с варьированием режимов освещения и облучения. Анализ этих режимов и разработка рационального использования электроэнергии позволит сократить затраты на электроэнергию без вреда проведения экспериментов. Поэтому целью данной работы является проведение анализа потребления электроэнергии в ФТК.

Материалы и методы. Для проведения анализа использованы данные счетчиков электрической энергии типа Меркурий 236 ART-03 PQRS с модемом для передачи данных на портал энергоснабжающей организации СПГЭС (ИНН 6454074036), а также методы расчета потребления электроэнергии.

Результаты исследований. Косвенный метод расчета потребления электрической энергии, когда нужно узнать приблизительное потребление электроэнергии считают за месяц или год путем перемножения установленной мощности электроприемника, продолжительности времени его работы в сутки и на количество суток. Однако такой расчет очень грубый и не учитывает коэффициент загрузки электрооборудования как в переходных процессах, так и в течение суток (табл. 1).

Таблица 1 – Сводные данные потребления косвенного расчета по установленной мощности

лаборатория энтомафаги	наименование	мощность единицы, кВт	кол-во	потребляемая мощность, кВт/час	часов работы в сутки, час	потребле ние в сутки, кВт	потребление в месяц, кВт
	теплогенератор электрический	6	1	6	24	144	4320
	итого			6		144	4320
фильтрационная узв							
	насос кислородного конуса	2,2	1	2,2	24	52,8	1584
	насос кислородного конуса	2,2	1	2,2	24	52,8	1584

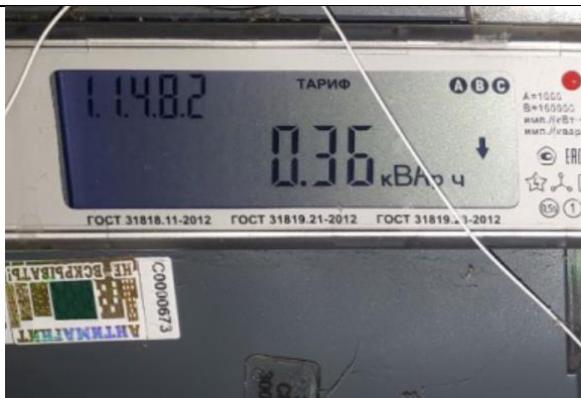
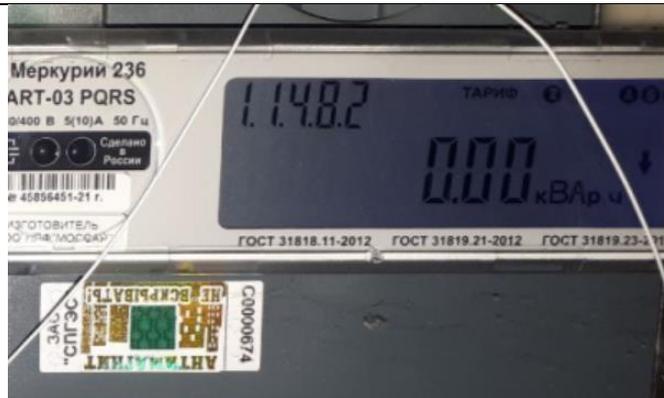
	насос озонатора	0,75	1	0,75	24	18	540
	насос мех. фильтра	0,75	1	0,75	24	18	540
	редуктор мех. фильтра	0,75	1	0,75	24	18	540
	компрессор воздушный	3	1	3	24	72	2160
	оксигенатор	0,5	1	0,5	24	12	360
	итого			10,15		243,6	7308
Высотка, оранжерея							
	теплогенератор электрический	15	1	15	24	360	10800
	лампы освещения	0,6	3	1,8	2	3,6	108
	итого			16,8		363,6	10908
шр-1	итого			32,95		751,2	22536

Для детального учета потребления электроэнергии принят пост учета в трансформаторной подстанции ТП № 1588 с многотарифным счетчиком. Данные сняты с промежутком в 1 месяц, а именно 24 декабря 2024 г. и 24 января 2025 г. и сведены в табл. 2.

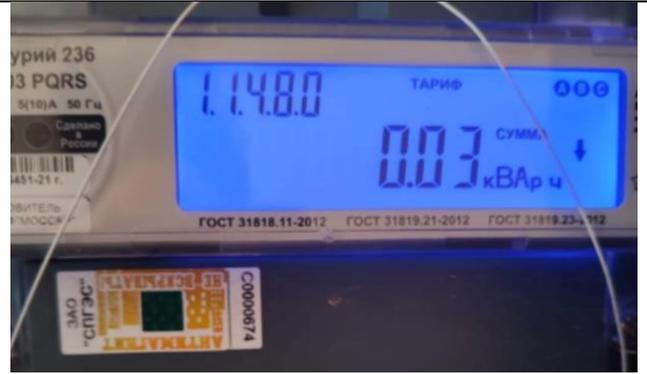
Таблица 2 – Данные счетчика потребления электроэнергии ФТК

Данные 24.12.2024	Данные 24.01.2025
	
	

Данные 24.12.2024



Данные 24.01.2025



Данные 24.12.2024	Данные 24.01.2025

В таблице представлены данные фактического, мгновенного и расчетного за период потребления OBIS-код в левой верхней части экрана показывает группу программы расчета данных. Например, 1.1.4.8.1 – Накопленная реактивная обратная энергия за предыдущий год по сумме тарифов [5].

Заключение. Таким образом, анализ энергопотребления ФТК в УНПК «Агроцентр» показывает, что фактическое потребление по многофункциональному счетчику в несколько раз ниже косвенного расчета. Использование многотарифного счетчика позволяет скорректировать договор поставки электроэнергии с поставщиком и переводом на многотарифный расчет затрат на электроэнергию.

Список литературы

1. Matsumoto, S. Household energy consumption / S. Matsumoto, K. Mizobuchi, S. Managi // Environmental Economics and Policy Studies. – 2022. – Т. 24. – С. 1-5.
2. Чиркова, И.Г. Региональные особенности организации энергопотребления в сельском хозяйстве России в рамках соглашений ВТО / И.Г. Чиркова // Никоновские чтения. – 2003. – №. 8. – С. 234-235.
3. Стребков, Д.С. Показатели потребления топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве и энергоёмкости сельхозпроизводства, их прогноз на период до 2030 года / Д.С. Стребков, Д.А. Тихомиров, А.В. Тихомиров // Техника и технологии в животноводстве. – 2018. – №. 4 (32). – С. 4-12.
4. Закарюкин, В.П. Моделирование измерительных трансформаторов тока и напряжения / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков, Н.Г. Кодолов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – №. 1 (41). – С. 145-153.
5. Руководство по эксплуатации АВЛГ.411152.034 РЭ счетчик электрической энергии статический трехфазный «MERCURY 236». – Москва. 2019 г. – 43 с.

© Шишигин И.Н., Бакиров С.М., Лукашев Д.Н., 2025

Научная статья
УДК 621.317.08

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4; 6; 10 кВ

Игорь Николаевич Шишигин¹, Александр Александрович Павликов²,
Сергей Мударисович Бакиров³, Сергей Александрович Свиридонов⁴

¹ПАО «Россети Волга», г. Саратов, Россия

^{2,3,4}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

¹office@rossetivolga.ru

²Aleksandrpavlikov7@yandex.ru

³s.m.bakirov@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы расчета несимметрии в трехфазных электрических сетях, проводится расчет коэффициентов несимметрии нулевой и обратной последовательности, дается оценка существующих методов расчета и отмечаются недостатки каждого из методов. Также в работе рассматриваются устройства контроля и мониторинга несимметрии и указываются недостатки данных устройств.

Ключевые слова: электрические сети, несимметрия, несимметричные режимы работы, симметрирующие устройства, коэффициент несимметрии нулевой последовательности, коэффициент несимметрии обратной последовательности.

Для цитирования: Шишигин, И.Н. Анализ методов расчета несимметричных режимов работы сетей напряжением 0,4; 6; 10 кВ / И.Н. Шишигин, А.А. Павликов, С.М. Бакиров, С.А. Свиридонов // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATION OF ASYMMETRICAL OPERATION MODES OF NETWORKS WITH VOLTAGE OF 0.4; 6; 10 kV

Igor Nikolaevich Shishigin¹, Alexander Alexandrovich Pavlikov²,
Sergey Mudarisovich Bakirov³, Sergey Alexandrovich Sviridonov⁴

¹PAO Rosseti Volga, Saratov, Russia

^{2,3,4}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

¹office@rossetivolga.ru

²Aleksandrpavlikov7@yandex.ru

³s.m.bakirov@mail.ru

Annotation. The article discusses modern methods for calculating asymmetry in three-phase electrical networks, calculates the zero and negative sequence asymmetry coefficients, evaluates existing calculation methods and notes the shortcomings of each method. The work also considers asymmetry control and monitoring devices and indicates the shortcomings of these devices.

Keywords: electrical networks, asymmetry, asymmetric operating modes, baluns, zero sequence asymmetry coefficient, negative sequence asymmetry coefficient.

For citation: Shishigin, I.N. Analysis of methods for calculation of asymmetrical operation modes of networks with voltage of 0.4; 6; 10 kV / I.N. Shishigin, A.A. Pavlikov, S.M. Bakirov, S.A. Sviridonov // Problems and prospects of development of energy, robotics and electrical technologies: proceedings of the National Scientific and Practical Conference with international participation / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Введение. Электрическая энергия характеризуется рядом параметров для оценки качества ее поставки потребителям. Все показатели качества электрической энергии можно разделить на индивидуальные, например, отклонение напряжения от номинального, и комплексные, формируемые совокупностью воздействий, например, несимметричная нагрузка, которая приводит к отклонению коэффициента несимметрии от допустимого значения.

Несимметрия в электрических сетях может привести к большому количеству негативных последствий в работе подстанционного оборудования, таким как перегрев отдельных частей, снижение эксплуатационных характеристик отдельных узлов и деталей, и как следствие уменьшение его срока службы. Работа оборудования при несимметричном режиме также влечет за собой значительные потери вследствие снижения коэффициента полезного действия. Несимметрия токов и напряжений в электрических сетях возникает из-за неравномерного распределения нагрузки [6].

Материалы и методы. Существует распространенная проблема несимметрии токов и напряжений, что напрямую связано с использованием в электрических сетях однофазной нагрузки. Расчет несимметрии проводится с применением метода симметричных составляющих: на основании принципа наложения, применимого к линейным цепям, заданный несимметричный режим работы схемы в методе симметричных составляющих представляют как результат наложения трех симметричных режимов (рис. 1) [5].

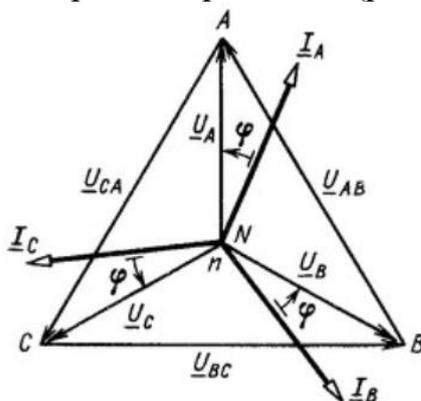


Рисунок 1 – Векторная диаграмма симметричного режима работы трехфазной сети

Однако в реальных условиях эксплуатации сети и подстанции, снабжающие электрической энергией однофазных потребителей, подвержены влиянию несимметрии токов, приводящие в дальнейшем к несимметрии напряжений. В большинстве случаев эти режимы в разных источниках [1-6] оцениваются как краткосрочные, непродолжительные и т.п. В нормативных документах и научных источниках приводятся различные методы расчета коэффициентов несимметрии по нулевой и обратной последовательностям, а также технические средства фильтрации несимметричных режимов. Однако несмотря на многочисленные исследования и изобилие устройств фильтрации их количество и продолжительность действия способствуют резкому снижению эксплуатационной надежности трансформаторов 10/6/0,4 кВ. Целью данной работы является обобщить существующие методы и технические средства контроля несимметричных режимов работы и выделить общие характеристики для дальнейшего совершенствования.

Результаты исследования. Компенсация несимметрии в электрических сетях требует внедрения в технологический процесс разного рода технических средств, которые позволяют уменьшить большую разницу токов и напряжений между фазами. Одним из способов компенсации несимметрии в электрических сетях является применение симметрирующих устройств, суть которых заключается в равномерном распределении нагрузок по фазам электрической сети. Данные устройства способствуют снижению уровня износа оборудования и повышению уровня надежности.

Одними из таких устройств компенсации несимметрии являются активные фильтры (рис. 2), которые используют современные технологии для управления токами в реальном времени. Модернизированные активные фильтры способны корректировать асинхронные режимы работы, повышая стабильность и защищенность систем. Недостатком использования активных фильтров можно назвать их стоимость и сложность обслуживания, которые ограничивают их применение.



Рисунок 2 – Активный фильтр гармоник АФГ

Распространенным методом компенсации несимметрии является использование конденсаторных шунтирующих устройств. Конденсаторные

установки помогают регулировать реактивную мощность и поддерживать необходимый уровень напряжения, что особенно актуально для трехфазных систем. К недостаткам подобных устройств можно отнести высокую стоимость установки.

Современным способом контроля и снижения несимметрии является использование компьютерных программ, предназначенных для мониторинга состояния электрических сетей [1]. Использование подобных программ крайне важно в контексте контроля показателей качества электрической энергии, прописанных в ГОСТ 23144-2013.

Одним из основных показателей качества электрической энергии является коэффициент несимметрии обратной и нулевой последовательностей, определяемые по выражениям:

$$k_{0U} = \frac{U_0}{U_{\text{ном.ф}}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$k_{2U} = \frac{U_2}{U_{\text{ном.мф}}} \cdot 100 \quad (2)$$

где U_0 и U_2 – расчетное (действующее) значение напряжений нулевой и обратной последовательностей соответственно, В; $U_{\text{ном.ф}}$ и $U_{\text{ном.мф}}$ – номинальное значение фазного и линейного напряжения, В.

Действующее значение напряжения обратной последовательности U_2 , утратившем силу ГОСТ 13109-97 [4], определяется по выражению:

$$U_2 = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot \left[\left(\sqrt{3}U_{BA} - \sqrt{4U_{CB}^2 - \left(\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}} + U_{BA} \right)^2} \right)^2 + \left(\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}} \right)^2 \right]} \quad (3)$$

Действующее значение напряжения по нулевой последовательности определяется по формуле:

$$U_0 = \frac{1}{6} \sqrt{\left[\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}} - 3 \frac{U_B^2 - U_A^2}{U_{BA}} \right]^2 + \left[\sqrt{4U_{CB}^2 - \left(\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}} + U_{BA} \right)^2} - 3 \sqrt{4U_B^2 - \left(\frac{U_B^2 - U_A^2}{U_{BA}} + U_{BA} \right)^2} \right]^2} \quad (4)$$

где U_{BA} , U_{CB} , U_{AC} – действующие значения линейных напряжений основной частоты, В; U_A , U_B – действующие значения фазных напряжений основной частоты.

В работах [2, 3] приводятся другие выражения для определения действующих значений напряжения нулевой и обратной последовательности соответственно:

$$U_0 = \frac{1}{3} \sqrt{3(U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) - (U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2)} \quad (5)$$

$$U_2 = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2 - \sqrt{3 \cdot U_{AB}^2 \cdot U_{BC}^2 - (U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2)^2}} \quad (6)$$

Представленные методы расчета отличаются друг от друга. Выполним проверку представленных методов на конкретном примере. Проведем расчет коэффициентов несимметрии нулевой и обратной последовательности по данным:

$$\begin{aligned}
U_{BA} &= U_{AB} = 0,41 \text{ кВ}; \\
U_{CB} &= U_{BC} = 0,38 \text{ кВ}; \\
U_{AC} &= U_{CA} = 0,39 \text{ кВ}; \\
U_A &= 0,22 \text{ кВ}; \\
U_B &= 0,27 \text{ кВ}; \\
U_C &= 0,24 \text{ кВ}.
\end{aligned}$$

Подставив данные в выражения (3) и (4) получим:

$$U_2 = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot \left[\left(\sqrt{3} \cdot 0,41 - \sqrt{4 \cdot 0,38} - \left(\frac{0,38^2 - 0,39^2}{0,41} + 0,41 \right)^2 \right)^2 + \left(\frac{0,38^2 - 0,39^2}{0,41} \right)^2 \right]} = 0,109 \text{ кВ}$$

$$U_0 = \frac{1}{6} \sqrt{\left[\frac{0,38^2 - 0,39^2}{0,41} - 3 \frac{0,27^2 - 0,22^2}{0,41} \right]^2 + \left[\sqrt{4 \cdot 0,38^2 - \left(\frac{0,38^2 - 0,39^2}{0,41} + 0,41 \right)^2} - 3 \sqrt{4 \cdot 0,27^2 - \left(\frac{0,27^2 - 0,22^2}{0,41} + 0,41 \right)^2} \right]^2} = 0,104 \text{ кВ}$$

Рассчитаем коэффициенты несимметрии нулевой и обратной последовательности соответственно:

$$k_{0U1} = \frac{0,104}{0,38} \cdot 100 = 27,4;$$

$$k_{2U1} = \frac{0,109}{0,38} \cdot 100 = 28,6.$$

Подставим данные примера в выражения (5) и (6) получим:

$$U_0 = \frac{1}{3} \sqrt{3(0,22^2 + 0,27^2 + 0,24^2) - (0,41^2 + 0,38^2 + 0,39^2)} = 0,09$$

$$U_2 = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{0,41^2 + 0,38^2 + 0,39^2 - \sqrt{3 \cdot 0,41^2 \cdot 0,38^2 - (0,41^2 + 0,38^2 + 0,39^2)^2}} = 0,203$$

$$k_{0U2} = \frac{0,09}{0,38} \cdot 100 = 23,0;$$

$$k_{2U2} = \frac{0,203}{0,38} \cdot 100 = 49,7.$$

В обоих примерах решения по конкретным данным наблюдается превышение нормативных значений коэффициентов несимметрии напряжения нулевой и обратной последовательности (выше 2%, 4%). Из этого следует, что требуется вести контроль и мониторинг этих показателей для проведения мероприятий, направленных на снижение несимметрии фаз электрической сети.

Данные методы расчета не действуют на территории РФ. Однако существенные отклонения (табл.) в методиках расчета показывают несовершенство расчета коэффициентов несимметрии.

Таблица – Сравнение результатов расчета коэффициентов несимметрии

Показатель	Метод расчета 1	Метод расчета 2	Отклонение
k_{0U}	27,4	23,0	16,1%
k_{2U}	28,6	49,7	42,5%

При решении реальных задач, описанных выше необходимо производить извлечение квадратных корней, что может привести к усложнению в работе средств измерения. Еще одним весомым недостатком данных формул является

то, что при с их помощью возможно определить только модуль определяемых величин. В случае, когда требуется производить настройки симметрирующего устройства необходимо располагать данными о значении векторов искомых величин. Эти факторы могут весьма ограничить использование данных формул при решении задач управления несимметричных режимов.

Также стоит отметить, что данные формулы являются приближенными, и с их помощью можно проводить расчеты при достаточно небольших значениях несимметрии. Замеры показателей напряжения также должны проводиться систематически, так как перераспределение нагрузок по результатам одних измерений может способствовать возникновению несимметрии уже при новых наблюдениях.

Заключение. Анализ методов расчета коэффициента несимметрии показал, что используемые выражения при определении коэффициентов несимметрии нулевой и обратной последовательности несовершенны и имеют существенное отличие итоговых результатов. В связи с этим эти методы расчета не используются в действующем ГОСТ по показателям качества электрической энергии. В научной литературе авторы предлагают индивидуальные, унифицированные способы расчета коэффициентов несимметрии. Однако подобный расчет коэффициентов по конкретным данным также приводит к разным значениям. Из этого следует, что в расчетах несимметрии следует учитывать векторные составляющие фаз токов и напряжений.

Список источников

1. Руди, Д.Ю. Методы снижения несимметрии напряжения в электрических сетях 0,4-10 кВ / Д.Ю. Руди, А.И. Антонов, Т.В. Гоненко, В.И. Клеутин, А.А. Руппель, Е.Ю. Руппель // Омский научный вестник. – 2018. – №2 (158).

2. Юнис, К. Контроль симметричных составляющих несимметричных напряжений в системах электроснабжения 6-10 кВ: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Юнис Камаль // Москва, 1991. – 15 с.

3. Авторское свидетельство № 1599813 А1 СССР, МПК G01R 29/16. Измеритель несимметрии напряжений в трехфазной сети: № 4454901: заявл. 16.05.1988: опубл. 15.10.1990 / В.Я. Майер, Л.Л. Зения, Петровская; заявитель Запорожский машиностроительный институт им. В.Я. Чубаря. – 5 с.

4. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва: Стандартинформ, 1998. – С. 35.

5. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов // Изд. 6-е, перераб. и доп. Учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов. М., «Высш. школа», 1973. – 752 с.

6. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники, ч. 1, Линейные электрические цепи, 2-е издание, переработанное и дополненное / Г.И. Атабеков // М. – Л., Издательство «Энергия», 1964. – 312 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Абдразаков Ф.К., Джумагалиев А.Г.</i> ЗА РОБОТИЗИРОВАННЫМИ ТЕПЛИЦАМИ – БУДУЩЕЕ!	3
<i>Абдразаков Ф.К., Рукавишников А.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕТРЯНЫХ МЕЛЬНИЦ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРОШЕНИЯ В АГРАРНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ	9
<i>Акимова Е.С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОТИВОТОЧНОГО НАТРИЙ- КАТИОНИРОВАНИЯ В КОТЕЛЬНЫХ	15
<i>Апасеева В.К., Ищенко А.П.</i> РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОДЫ В СТОЯЧИХ ВОДОЕМАХ	19
<i>Бакиров С.М., Абрамова В.С., Барсегян Т.В., Шишкин А.А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ПЕЛЛЕТ В ПЕЧИ	24
<i>Бакиров С.М., Елисеев С.С., Курятников И.Ю.</i> ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА СЕКЦИИ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ	33
<i>Балтаева С.А.</i> РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ	37
<i>Батыров С.А., Мерзлов С.П.</i> РАЗРАБОТКА ВОЗДУШНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА	41
<i>Бахтеев С.В., Свиридонов С.А., Попов М.В.</i> СПОСОБ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ СИЛИКАГЕЛЯ СИЛОВЫХ МАСЛОПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	45
<i>Бутузова С.Н., Никитина А.М.</i> АВТОНОМНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬ ДЛЯ ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА	49
<i>Васильев В.В., Афоничев Д.Н.</i> РОБОТИЗИРОВАННАЯ ТЕПЛИЦА ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ	53

<i>Верзилин А.А., Иванкина Ю.В., Кузнецов И.А., Богомолова А.А., Россошанский С.Д.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЦЕЛЯХ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	61
<i>Вишинёв К.Ф., Кафиев И.Р.</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА ЭНЕРГИЕЙ СВЧ НАГРЕВА	64
<i>Волгин А.В., Моисеев А.П., Колпаков А.В., Колобанов З.П., Марьин К.Э.</i>	
ИМПУЛЬСНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МАШИНЫ В ОПЕРАЦИЯХ И ТЕХНОЛОГИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	68
<i>Гнилицкая С.А., Верзилин А.А.</i>	
СПОСОБЫ БОРЬБЫ С КОРРОЗИЕЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ	73
<i>Горбунов А.С., Каримов Р.Д., Клименко А.Ю., Ахметшин А.Т.</i>	
АНАЛИЗ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ	76
<i>Горбунов А.С., Каримов Р.Д., Клименко А.Ю., Ахметшин А.Т.</i>	
АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МНОГОПУЛЬСНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ	82
<i>Горбунов А.С., Каримов Р.Д., Клименко А.Ю., Ахметшин А.Т.</i>	
АНАЛИЗ СХЕМ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ	90
<i>Горбунов А.С., Каримов Р.Д., Клименко А.Ю., Ахметшин А.Т.</i>	
АНАЛИЗ СХЕМ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С СИНУСОИДАЛЬНЫМ ПОТРЕБЛЯЕМЫМ ТОКОМ	96
<i>Гуськов Е.П.</i>	
ВЫБОР ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИСХОДЯ ИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	101
<i>Дарманян А.П., Филонов М.А., Чомов С.А.</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СУШКИ ПШЕНИЦЫ В СУШИЛКЕ КИПЯЩЕГО СЛОЯ С ЗАКРУЧЕННЫМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА	105
<i>Дергунов М.И., Кузьяев А.А., Рыцарев В.И.</i>	
АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ	111
<i>Ефимов Д.Н.</i>	
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ	115

<i>Ищенко Е.С., Ищенко А.П.</i> ЗАВИСИМОСТЬ ЕМКОСТИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ ОТ СОСТОЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	120
<i>Ищенко Е.С., Ищенко А.П.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ЗА СЧЕТ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ	125
<i>Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Уразбахтин М.Н.</i> АЛГОРИТМ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПОМЕЩЕНИИ	131
<i>Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Щеткин И.Н.</i> УПРАВЛЕНИЕ РЕВЕРСИВНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРОГРАММИРУЕМЫМ ЛОГИЧЕСКИМ КОНТРОЛЛЕРОМ	136
<i>Косолапова Е.А., Бахтеев С.В., Абрамова В.С.</i> АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ	141
<i>Кравченко Р.А., Тарола А.А., Зудина Т.В., Пестова Е.В.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В БУТЫЛКЕ	146
<i>Кривенко В.М., Чернова Е.Н.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИКИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ЛЭП	151
<i>Кузнецова А.Н.</i> АНАЛИЗ СПОСОБОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЕЛЬНЫХ	154
<i>Лазаренко А.С.</i> РАЦИОНАЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	158
<i>Левинский В.Н., Гусейнов Р.Т., Афонькина В.А., Царёв И.Б.</i> К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	163
<i>Летучий А.А., Бакиров С.М., Ильин В.С.</i> АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОГОДОЗАВИСИМЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	169

<i>Лошкарев И.Ю., Ильин С.О.</i> МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ПРИ СОЗДАНИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПАРОЛЕЙ	176
<i>Лошкарев И.Ю., Булгаков В.Г.</i> СОСТАВЛЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ НЕЙРОСЕТЕЙ	189
<i>Лошкарев И.Ю., Булгаков В.Г.</i> РАССМОТРЕНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ НЕЙРОСЕТИ	194
<i>Лягина Л.А., Гуринов И.А.</i> КЛАССИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКИ	201
<i>Лягина Л.А., Гуринов И.А.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ	206
<i>Мерзлов С.П., Верзилин А.А., Шематурин А.И.</i> АНАЛИЗ СПОСОБОВ И УСТРОЙСТВ ИМУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ	209
<i>Насибуллин А.Т., Акбулатова К.И.</i> ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПОДСТАНЦИЙ. ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ	214
<i>Наумов Д.В.</i> АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕХОДА С ПАРОВОЙ КОТЕЛЬНОЙ НА ВОДОГРЕЙНУЮ В ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	217
<i>Николаев А.А., Буланов М.В., Матушкин Н.Р., Кудимов В.Д.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИРИСТОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА ФОРМУ НАПРЯЖЕНИЯ В ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ 10 кВ	221
<i>Овчинникова А.В., Попов И.Н.</i> АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОДОГРЕВА НЕФТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ПО ТРУБОПРОВОДАМ	227
<i>Олейник В.А., Насибуллин А.Т.</i> КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	233
<i>Панин Н.Е.</i> ПРОЕКТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТ ЭНЕРГО-ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ТЕПЛИЦ	236

<i>Погоньшев В.А., Погоньшева Д.А.</i> ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ	242
<i>Пономарчук О.В., Козловская Н.И.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ	247
<i>Прищепов М.А., Рутковский И.Г.</i> РАСЧЕТ НЕПРОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ-ДАТЧИКОВ С МНОГОЗОННОЙ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМОЙ	250
<i>Рашидханов А.Т., Серeda Н.В., Рашидханова Э.О.</i> ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	259
<i>Редкозубов В.И., Бахтеев С.В., Иванкина Ю.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТА ПЕЛЬТЬЕ В МЕХАНИЗМЕ ДВИЖЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ТРЕКЕРА	262
<i>Садыкова Л.А., Бакиров С.М., Саидов Д.М.</i> ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ ТЕХНИКИ НА ЭЛЕКТРОТЯГЕ ДЛЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В ХОЗЯЙСТВЕ	266
<i>Саранцева О.В.</i> АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАТРИЙ-КАТИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ ПАО «Т ПЛЮС» Г. САРАТОВ	271
<i>Синягин М.И., Левин М.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ	275
<i>Спиридонов К.А.</i> АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛООВОГО НАСОСА И ВЫБОР ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ	280
<i>Солямов Р.И., Прокофьев Е.О., Бирюков К.С.</i> ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ В РАЗВИТИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ	286
<i>Солямов Р.И., Моисеев А.П., Прокофьев Е.О., Бирюков К.С.</i> ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ	288

<i>Сохинов Д.Ю., Сыч С.В., Тарола А.А., Пестова Е.В.</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ СОРТИРОВКИ ФРУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ	294
<i>Сохинов Д.Ю., Сыч С.В., Тарола А.А., Зудина Т.В.</i> РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СОРТИРОВКИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ И СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	300
<i>Терехова А.А., Дмитриевский Б.С., Эктов С.Э.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	306
<i>Угаров Г.Г., Бакиров С.М., Бахтеев С.В., Чернова Е.Н.</i> ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В XXI ВЕКЕ	311
<i>Усталкова А.А., Чурляева О.Н., Спиченок А.В.</i> ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АГРЕГАТА ДЛЯ КОШЕНИЯ ТРАВЫ	318
<i>Цуканов И.Д., Садыкова Л.А., Бакиров С.М., Долгов Н.В.</i> АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	323
<i>Чернова Е.Н., Белохвостова А.Д.</i> ОЗОНИРОВАНИЕ ПЛОДОВООЩНОЙ ПРОДУКЦИИ – НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ПОВЫШЕНИИ СРОКОВ ИХ СОХРАННОСТИ	330
<i>Черных А.Г.</i> КРИВЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНВЕРТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОРШНЕВОГО НАСОСА В СИСТЕМЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ПРИВОДА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ СИСТЕМЫ T-L	335
<i>Широбокова Т.А., Бакиров С.М., Шувалова Л.А., Домнышев С.В.</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ	343
<i>Шишигин И.Н., Бакиров С.М., Лукашев Д.Н.</i> АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ФИТОТРОННО-ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА УНПК «АГРОЦЕНТР»	347
<i>Шишигин И.Н., Павликов А.А., Бакиров С.М., Свиридонов С.А.</i> АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4; 6; 10 кВ	353

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭНЕРГЕТИКИ, РОБОТОТЕХНИКИ
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ**

**Материалы Национальной научно-практической конференции
с международным участием**

ISBN 978-5-907716-90-2



9 785907 716902 >

Подписано в печать 05.03.2025 г.
Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Объем 16,0 печ. л. Тираж 100 экз. Заказ 00000.

Отпечатано с готового оригинал-макета
Типография «Техно-Декор»
Саратов, ул. Московская, 160
тел.: (845-2) 77-08-48

