

**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»**

**Институт инженерии и робототехники**

**Кафедра «Электрооборудование, энергоснабжение  
и роботизация»**



**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ЭНЕРГЕТИКИ АПК**

**Материалы III Национальной  
научно-практической конференции  
с международным участием  
имени Г.П. Ерошенко**

**Саратов, 2025 г.**

УДК 621:631.9

ББК 31:40.7

А 42

Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025. – 490 с. (16,3 Мб).

ISBN 978-5-7011-0887-3

В сборнике представлены материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко, организованной кафедрой «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация» ФГБОУ ВО Вавиловский университет и проходившей на базе института инженерии и робототехники в апреле 2025 года. В работах *научного блока*: 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, роботизированные и цифровые системы в АПК. В работах *образовательного блока*: современные тенденции в образовании электротехнических специальностей; роль цифровых технологий и симуляторов в подготовке студентов; инновационные методы и технологии в преподавании электротехнических дисциплин; практико-ориентированное обучение и взаимодействие с работодателями; проблемы и перспективы развития электротехнического образования. 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., директор института инженерии и робототехники, ФГБОУ ВО Вавиловский университет;

*Угаров Г.Г.*, 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;

*Шерязов 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» Российского биотехнологического университета (РОСБИОТЕХ);

*Садыкова Л.А.*, к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Техника и технологии» Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета;

*Моисеев А.П.*, к.т.н., доцент кафедры «Электрооборудование, энергоснабжение и роботизация», ФГБОУ ВО Вавиловский университет.

## ГЕННАДИЙ ПЕТРОВИЧ ЕРОШЕНКО: УНИКАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОБУЧЕНИЮ И НАСТАВНИЧЕСТВУ

Ольга Геннадиевна Овчарова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российская государственная специализированная академия искусств, г. Москва, Россия.

<sup>1</sup>[ovcharovao@ya.ru](mailto:ovcharovao@ya.ru), <http://orcid.org/0000-0002-2918-33IX>

**Аннотация.** Рассматриваются педагогические методики профессора Ерошенко Г.П., познавательная и аксиологическая составляющая которых позволяет считать их наставничеством жизни.

**Ключевые слова:** Ерошенко Геннадий Петрович, обучение, наставничество, методика алгоритмов, инструменты психологии.

**Для цитирования:** Овчарова, О.Г. Геннадий Петрович Ерошенко: уникальный подход к обучению и наставничеству / О.Г. Овчарова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавилонский университет, 2025.

Original article

## GENNADY PETROVICH YEROSHENKO: A UNIQUE APPROACH TO LEARNING AND MENTORING

Olga Gennadievna Ovcharova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Specialized Academy of Arts, Moscow, Russian Federation.

<sup>1</sup>[ovcharovao@ya.ru](mailto:ovcharovao@ya.ru), <http://orcid.org/0000-0002-2918-33IX>

**Annotation.** The pedagogical methods of Professor G.P. Eroshenko are considered, the cognitive and axiological component of which allows them to be considered mentoring of life.

**Keywords:** Eroshenko Gennady Petrovich, training, mentoring, methodology of algorithms, tools of psychology.

**For citation:** Ovcharova, O.G. Gennady Petrovich Yeroshenko: a unique approach to learning and mentoring / O.G. Ovcharova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

Ключевой задачей педагогов высшей школы выступает подготовка высококлассных специалистов, обеспечивающих развитие отрасли своей профессиональной деятельности и государства в целом. Вместе с тем, высочайшим педагогическим талантом следует считать научение не только

необходимым в той или иной сфере труда знаниям, умением и навыкам, но «обучение жизни» (по А.С. Макаренко). Каждому специалисту придется работать не в области абстракций. И дабы реализовать свои специальные умения, знания, навыки ему необходимо встроиться в окружающий его мир, культуру, понять и воспринять законы их деятельности. Без этого высшее профессиональное образование оказывается бесполезным. Иными словами, знания и умения, полученные в вузе должны коррелировать со знаниями и умениями ориентироваться в различных жизненно важных ситуациях.

Подобным педагогическим мастерством обладал Геннадий Петрович Ерошенко (1941-2019) – доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники РФ, длительное время возглавлявший кафедру эксплуатации энергооборудования и электрических машин Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова. При этом, аграрный университет был фактически для Геннадия Петровича «вторым домом», а, именно, единственным местом его учебы и работы на протяжении всей жизни. И также, на протяжении всей жизни, его основные занятия – наука и преподавание были неразрывно связаны. Непрерывно совершенствуя себя, профессор передавал все полученные знания и опыт своим ученикам, которых стремился научить не только профессиональным процессам, но переложению нюансов сложного занятия на специфику восприятия и переживания различных, прежде всего, возможных нестандартных жизненных ситуаций.

Наиболее отчетливо подход Г.П. Ерошенко к обучению и наставничеству отражен в его книге «Как стать кандидатом и доктором наук. Методика и психология работы над диссертацией», изданной в Саратове в 1996 году. 10 глав книги – «Наука», «Диссертация», «Соискатель», «Научный руководитель», «Ежедневный труд», «Техническое творчество», «Эксперимент», «Забота о здоровье», «Автореферат», «Защита диссертации» объединены единым мировоззренческим лейтмотивом: «В технике известен принцип соответствия сложности системы и квалификации оператора: чем сложнее система, тем выше уровень квалификации оператора. Требования к оператору многократно повышаются, когда система находится в неустановившемся, переходном режиме. В этих случаях непригодны типовые решения и управление системой строится как процесс исследования и научного прогнозирования будущего состояния. Практика реализации названного принципа в энергетике, авиации и других областях техники подтвердила высокую эффективность такого подхода» [1, с. 2–3]. Таким образом, в работе, написанной в переходный период для нашей страны, предложен метод выхода из масштабного социального кризиса при помощи обращения к развитию науки. И, вместе с тем, тот же метод применим каждым в случае необходимости принятия того или иного жизненно важного решения – принятия сложного, а потому требующего взвешенного, устойчивого, аналитического подхода.

Все рекомендации в книге посвящены формированию научной культуры – «обезболенного преодоления кризиса» [1, с. 3]. Равно как социального/глобального, так и личного плана/локального. Материалы по формированию научной культуры представлены через две многосоставные, но,



предлагающие конкретные и эффективные пути достижения цели, методики. Это «методика алгоритмов» и инструменты психологии.

Первая из них, «методика алгоритмов», включает:

- алгоритм выполнения организационных дел;
- алгоритм выполнения рутинных дел;
- алгоритм поиска литературы;
- алгоритм принятия решений ЦОЗАР (обоснование цели – Ц; выделение объекта – О; постановка задачи – З; обоснование альтернативных решений – А; принятие окончательного решения – Р);
- морфологический анализ;
- обобщенный алгоритм поиска новых технических решений.

При внимательном прочтении и осмыслении ставится понятно, что все алгоритмы равно хороши как для написания диссертации, так и для организации процесса принятия решения частного характера.

Сам Геннадий Петрович так определял алгоритм принятия решения в условиях нестандартной ситуации частного характера:

«Простейший алгоритм:

1. Цель – это желаемый результат: а) четко сформулировать как оценить достижение результата: единица измерения (документ, слова, дела, вещи и т.п.) и время (сейчас – сегодня, потом – когда), б) сколько можно отступить по единицам измерения и времени;

2. Объект – от кого зависит результат: по месту, по должности; по подчиненности; по связям; цепочки связей;

3. Задача – найти наилучшие действия (воздействия) на объект, чтобы получить результат: а) законные возможности (что, где, когда), б) человеческие и эмоциональные (что, где, когда), в) другие; г) гарантии достижения результата» [2].

Таким образом, Г.П. Ерошенко предлагал уникальный и универсальный алгоритм достижения поставленной сложной цели, вне зависимости от ее характера – научного либо нет.

С вышеперечисленными алгоритмами непосредственно коррелирует рекомендательный подход к их решению – через инструменты психологии. Предлагая соискателю брать за основу слова И. Лафатера «Хочешь быть умным, научись разумно спрашивать, внимательно слушать, спокойно отвечать и переставать говорить, когда нечего больше сказать» [1, с. 19], профессор Ерошенко советует реализовывать следующие психологические инструменты – искусственные приспособления, направленные на овладение собственными психологическими процессами (по Л.С. Выготскому):

- тесты по методике английских специалистов по управлению;
- тест здоровья;
- тест на угрозу инфаркта;
- аутогенную тренировку;
- тест на стресс;
- главные заповеди аспиранта и восемнадцать правил делового человека.

Опять-таки каждый из данных инструментов психологии применим в частной практике/жизни человека и при перманентном и верном использовании,

все инструменты повысят качество жизни, так как будут способствовать решению тех или иных проблем. К примеру, такие заповеди аспиранта как «Здоровье, успех и счастье – главные цели моей жизни»; «Саморазвитие и карьера – главные способы успевать за быстро текущей жизнью. Я всегда помню о безнадёжном положении человека, отставшего от своего поезда»; «Я выполняю дела систематизированно, по рациональным алгоритмам и постоянно анализирую свои действия. Теперь я знаю свои сильные и слабые стороны и критически их оцениваю»; «Я всегда помню: чтобы чему-то научиться, надо от чего-то отучиться» [1, с. 42-43] в настоящее время являются основными в любых психологических тренингах по саморазвитию и т.п. В данном контексте следует отметить, что при написании книги, в 90-х годах прошлого столетия обращение к психологическим методикам при подготовке специалистов не было обычным делом и Геннадий Петрович, предлагая аспирантам и докторантам столь обширный и глубокий психологический подход, опережает намного свое время, обозначает контуры педагогики следующих десятилетий.

Таким образом, уникальные педагогические подходы Геннадия Петровича Ерошенко к обучению представляют собой и уникальные программы наставлений жизни, пронизанные мудростью. И экстраполяция эта обоснована и важна, так как самое, на первый взгляд, легкое оказывается порой самым сложным, если нам вовремя не подскажут правильные дорогу и настроение – куда и как идти.

#### **Список источников**

1. Ерошенко Г.П. «Как стать кандидатом и доктором наук. Методика и психология работы над диссертацией». Саратов, 1996. – 96 с.
2. Из собственноручных записей Г.П. Ерошенко, хранящихся в архиве семьи.

© Овчарова О.Г., 2025

Научная статья  
УДК 631.5

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РОБОТИЗАЦИИ ТЕПЛИЧНЫХ ХОЗЯЙСТВ**

**Фярид Кинжаевич Абдразаков<sup>1</sup>, Ануар Гиниятович Джумагалиев<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[abdrazakov.fk@mail.ru](mailto:abdrazakov.fk@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>

<sup>2</sup>[anuardg@mail.ru](mailto:anuardg@mail.ru)

**Аннотация.** Робототехнические системы в современных тепличных комплексах играют важную роль в повышении эффективности и экологичности агропромышленного производства. Они позволяют автоматизировать трудоемкие операции, такие как сбор урожая, уход за растениями и мониторинг состояния окружающей среды внутри теплицы. Внедрение таких систем снижает зависимость

от ручного труда, улучшает качество продукции и оптимизирует использование ресурсов.

Универсальная многофункциональная робототехническая система включает в себя три уровня управления:

1. Нижний уровень – управление отдельными роботами и их функциями.
2. Средний уровень – координация действий группы роботов и обеспечение взаимодействия между ними.
3. Верхний уровень – стратегическое планирование и анализ данных, поступающих от роботов и сенсоров.

Эти уровни обеспечивают гибкость и адаптивность системы к различным условиям эксплуатации, позволяя эффективно решать широкий спектр задач, связанных с выращиванием растений в теплицах.

Функциональность роботов в такой системе охватывает различные аспекты технологического процесса: от мониторинга состояния растений до сбора урожая и транспортировки продукции. Это делает систему не только эффективной, но и экономически выгодной, поскольку она позволяет сократить затраты на рабочую силу и повысить производительность.

Использование передовых технологий в управлении и анализе данных также способствует улучшению качества принимаемых решений и оптимизации производственных процессов. В результате, внедрение робототехнических систем в тепличные комплексы становится важным шагом на пути к устойчивому развитию сельского хозяйства и повышению его конкурентоспособности на мировом рынке.

**Ключевые слова:** робототехническая система, теплица, система управления, технологический робот, транспортный робот, система технического зрения.

**Для цитирования:** Абдразаков, Ф.К. Перспективы роботизации тепличных хозяйств / Ф.К. Абдразаков, А.Г. Джумагалиев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## PROSPECTS OF ROBOTIZATION OF GREENHOUSE

**Fyarid Kinzhayevich Abdrazakov<sup>1</sup>, Anuar Giniyatovich Dzhumagaliev<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[abdrazakov.fk@mail.ru](mailto:abdrazakov.fk@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3247-5257>

<sup>2</sup>[anuardg@mail.ru](mailto:anuardg@mail.ru)

**Annotation.** Robotic systems in modern greenhouse complexes play an important role in improving the efficiency and environmental friendliness of agro-industrial production. They allow you to automate time-consuming operations such as harvesting, plant care, and monitoring the environment inside the greenhouse. The implementation of such systems reduces dependence on manual labor, improves

product quality and optimizes resource usage. The universal multifunctional robotic system includes three levels of control:

1. The lower level is the management of individual robots and their functions;
2. The middle level is the coordination of the actions of a group of robots and ensuring interaction between them;
3. The top level is strategic planning and analysis of data coming from robots and sensors. These levels provide flexibility and adaptability of the system to various operating conditions, allowing you to effectively solve a wide range of tasks related to growing plants in greenhouses. Functionality.

**Keywords:** robotic system, greenhouse, control system, technological robot, transport robot, vision system.

**For citation:** Abdrazakov, F.K. Prospects of robotization of greenhouses. / F.K. Abdrazakov, A.G. Dzhumagaliev // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В современном агропроизводстве существует необходимость повышения качества и объемов производимой продукции, сокращения использования человеческого труда на вредных, тяжелых и оперативных работах. Это связано с общественными и экономическими условиями, а также технологическими требованиями. Использование робототехнических устройств является одним из способов решения этих проблем. Существующие овощные тепличные хозяйства уже обладают высоким уровнем автоматизации технологических операций, таких как обеспечение микроклимата, полив растений и внесение удобрений. Однако некоторые ответственные и трудоемкие работы, такие как уборка урожая, подкручивание и обвивание стеблей по мере роста растений, борьба с болезнями и вредителями, продолжают выполняться вручную, часто с привлечением сезонных рабочих.

Для улучшения ситуации предлагается использовать робототехнические системы в тепличном производстве овощных культур. Такие системы могут включать в себя различные устройства, способные выполнять широкий спектр задач, начиная от уборки урожая и заканчивая борьбой с вредителями. Применение этих систем позволит значительно снизить потребность в человеческом труде, улучшить качество продукции и увеличить объемы производства.

Таким образом, внедрение робототехники в сельское хозяйство является перспективным направлением развития отрасли, способствующим повышению ее эффективности и устойчивости.

Ловушки, используемые для борьбы с вредителями в теплицах, представляют собой специальные голубые или желтые листы с клеевым покрытием. Эти ловушки меняют свое местоположение по мере роста растений, чтобы оставаться эффективными против вредителей. Регулярное визуальное наблюдение за этими ловушками необходимо для своевременного выявления и устранения вредных насекомых. В зависимости от степени заражения, могут быть предприняты

различные меры, включая локальное применение специальных растворов или обработку всей теплицы.

Перед началом уборки урожая также проводится визуальная оценка зрелости плодов. Это помогает определить оптимальное время для сбора урожая, обеспечивая высокое качество продукции [1].

Примеры агропромышленных тепличных комплексов с независимым автономным технологическим циклом: устройство SW 6010-машина в режиме реального времени использует технологии искусственного интеллекта для оценки зрелости овощей. GRoW – израильский робот для сбора и упаковки томатов. Робот распылитель-Walzmatic AGRO JET 300R Li [2-3]. Статья рассматривает применение робототехнических систем в контексте современных тепличных комплексов, ориентированных на производство овощей. Теплицы такого типа оборудованы центральной проходной частью и рядом технологических проходов, оснащенных стандартными рельсовыми путями. По обе стороны от этих проходов располагаются ряды сельскохозяйственных культур. Такая организация пространства обеспечивает эффективное перемещение роботизированных систем вдоль рядов растений, что позволяет выполнять разнообразные технологические операции, такие как полив, подкормка, обрезка, сбор урожая и другие [6].

Таблица – Характеристики теплицы по производству томатов (пример)

|                                 |       |                |               |
|---------------------------------|-------|----------------|---------------|
| Число поперечных рядов          | 108   | Размер ловушек | 40×25         |
| Число продольных рядов          | 2     | Размер томатов | 3,5-7         |
| Протяженность рельсов           | 42 м  | Вес томатов    | 80-150 г      |
| Ширина центрального прохода     | 3 м   | Размер коробки | 50×40×13,5 см |
| Ширина технологического прохода | 0,5 м |                |               |

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

**Материалы и методы.** Внедрение передовых технологий в тепличные комплексы – ключ к повышению рентабельности и снижению издержек. Комплексный проект направлен на оптимизацию всех аспектов производства овощей, начиная от микроклимата и заканчивая упаковкой готовой продукции. В частности, планируется усовершенствовать системы управления климатом, автоматизировать процессы полива и внесения удобрений, а также внедрить роботизированные решения для ухода за растениями. Критически важным является сбор и анализ данных для принятия обоснованных решений, а также оптимизация логистики и упаковки для минимизации потерь. Не менее важным является снижение энергопотребления и повышение ресурсоэффективности, а также обеспечение безопасности и надежности всего производственного процесса. Одним из ключевых элементов модернизации станет роботизированная система, состоящая из двух взаимосвязанных групп мобильных устройств, управляемых централизованной системой. Первая группа – технологические роботы – непосредственно занимается выполнением агротехнических операций. Они осуществляют полив, вносят удобрения, борются с вредителями и болезнями, подвязывают растения, оценивают зрелость плодов и собирают урожай. Эти роботы оснащены

специализированными инструментами и датчиками, такими как форсунки для распыления, датчики влажности почвы и камеры для визуальной оценки состояния растений, что позволяет им выполнять задачи с высокой точностью. Вторая группа – транспортные роботы – отвечает за логистику внутри теплицы. Они перевозят удобрения и другие материалы к местам использования, транспортируют собранный урожай к местам хранения или переработки, а также перемещают технологических роботов между рабочими зонами. Эти роботы передвигаются по заданным маршрутам или следуют указаниям центральной системы управления и оснащены грузоподъемниками и манипуляторами для безопасной транспортировки грузов. Оба типа роботов взаимодействуют с системой управления верхнего уровня, которая координирует их работу и принимает решения на основе данных, поступающих от датчиков, камер и самих роботов. Эта система анализирует информацию о состоянии растений и окружающей среды, планирует маршруты, распределяет задачи и автоматически корректирует планы в случае непредвиденных обстоятельств, таких как изменение погодных условий или обнаружение заболеваний. Интеграция технологических и транспортных роботов в единую систему значительно повышает эффективность работы теплицы. Технологические роботы могут сосредоточиться на выполнении специализированных задач, а транспортные роботы обеспечивают быструю и эффективную логистику.

**Результаты исследования.** На основе проведенных исследований была сформирована структура многофункциональной робототехнической системы для теплиц, которая интегрируется в природно-техногенные системы инновационных технологий растениеводства. Основные выводы: Многофункциональность системы: Разработанная система способна выполнять широкий спектр задач, таких как полив, удобрение, сбор урожая, мониторинг состояния растений и борьба с вредителями. Это позволяет значительно сократить ручной труд и повысить эффективность производства. Интеграция с инновационными технологиями: Система успешно вписывается в современные подходы к растениеводству, включая точное земледелие и экологически чистое производство. Это обеспечивает соответствие требованиям устойчивого развития и повышение конкурентоспособности продукции. Автоматизация и оптимизация процессов: Внедрение робототехнических систем позволяет автоматизировать многие трудоемкие и монотонные операции, улучшая точность и скорость выполнения задач. Это способствует сокращению затрат и увеличению прибыли. Адаптирована к различным условиям: Модульная структура системы делает ее гибкой и настраиваемой под конкретные нужды каждого тепличного комплекса. Это особенно важно для разнообразия агрокультур и условий выращивания. Повышение качества продукции: Благодаря точному управлению микроклиматом и своевременному уходу за растениями, достигается стабильность и высокое качество продукции, что увеличивает ее конкурентоспособность на рынке. Экологическая устойчивость: Снижение использования химических препаратов и рациональное потребление ресурсов способствуют сохранению окружающей среды и соответствию стандартам устойчивого развития. Перспективы развития: Дальнейшее развитие системы предполагает интеграцию с искусственным

интеллектом и большими данными для повышения точности и эффективности управления. Это открывает новые горизонты для агропромышленной отрасли.

**Заключение.** Таким образом, разработанная робототехническая система представляет собой важное достижение в области автоматизации тепличных хозяйств, способствующее повышению экономической эффективности, экологической устойчивости и качества продукции.

### Список источников

1. Скворцов, Е.А. Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям / Е.А. Скворцов, Е.Г. Скворцова, И.С. Санду, Г.А. Иовлев // Экономика региона. – Екатеринбург: Изд-во Института экономики Уральского отделения РАН. – 2018. – Т. 14. – № 3. – С. 1014-1028.
2. <https://www.designitives.com/2013/06/agrobot-strawberry-harvester.html>
3. [https://robotrends.ru/pub/2307/grow-\\_izrailskiy-robot-dlya-sbora-i-upakovki-tomato](https://robotrends.ru/pub/2307/grow-_izrailskiy-robot-dlya-sbora-i-upakovki-tomato)
4. [https://www.walzmatic.com/products/agro\\_jet\\_300r/](https://www.walzmatic.com/products/agro_jet_300r/)
5. <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/30767-khozyain-teplitsy/>

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

Научная статья  
УДК 631.21

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА ПРОВЕРКИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Муслим Аликович Абзалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[muslim47464@gmail.com](mailto:muslim47464@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье представлена методика проведения экспериментальной проверки датчиков и методов измерения влажности почвы в контролируемых лабораторных условиях. Описаны этапы подготовки образцов почвы, калибровки эталонного оборудования, процедуры проведения измерений и анализа полученных данных. Предложенная методика позволяет оценить точность, стабильность и другие ключевые характеристики датчиков влажности почвы, а также сравнить различные методы измерения влажности.

**Ключевые слова:** влажность почвы, мониторинг влажности, емкостной датчик.

**Для цитирования:** Абзалов, М.А. Методика проверки измерения влажности почвы в лабораторных условиях / М.А. Абзалов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-

практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **EXPERIMENTAL PROCEDURE FOR CHECKING SOIL MOISTURE MEASUREMENT IN LABORATORY CONDITIONS**

**Muslim Alikovich Abzalov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering. N.I. Vavilov, Saratov, Russia.

<sup>1</sup>[muslim47464@gmail.com](mailto:muslim47464@gmail.com)

**Annotation.** This article presents a methodology for conducting experimental testing of sensors and methods for measuring soil moisture in controlled laboratory conditions. The stages of soil sample preparation, calibration of reference equipment, measurement procedures, and analysis of the obtained data are described. The proposed methodology allows one to evaluate the accuracy, stability, and other key characteristics of soil moisture sensors, as well as compare different methods for measuring moisture.

**Key words:** soil moisture, moisture monitoring, capacitive sensor.

**For citation:** Abzalov, M.A. Methodology for testing soil moisture measurements in laboratory conditions / M.A. Abzalov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Влажность почвы является критически важным параметром, влияющим на рост и развитие растений, микробиологическую активность и многие другие почвенные процессы. Точное измерение влажности почвы необходимо для оптимизации ирригации, мониторинга засух и проведения научных исследований. Существует множество методов и датчиков для измерения влажности почвы, основанных на различных физических принципах. Для выбора наиболее подходящего метода и оценки точности датчиков необходима их экспериментальная проверка в лабораторных условиях [1, 2].

**Материалы и методы.** Эффективный мониторинг влажности почвы требует использования надежных и точных измерительных приборов. Емкостные датчики влажности почвы получили широкое распространение благодаря своим точным измерениям, простоте использования и относительно невысокой стоимости. Однако, для обеспечения достоверности результатов, необходимо проводить калибровку и экспериментальную проверку их точности. Целью данной работы является разработка и реализация методики экспериментальной проверки измерения влажности почвы емкостным прибором в лабораторных условиях, с использованием термостатно-весового метода в качестве эталона и RLC-метра для прецизионного измерения электрической емкости.



Отбор образцов почвы должен быть репрезентативным для исследуемого типа почвы. Отбираются образцы с различных глубин и участков поля (рис. 1).



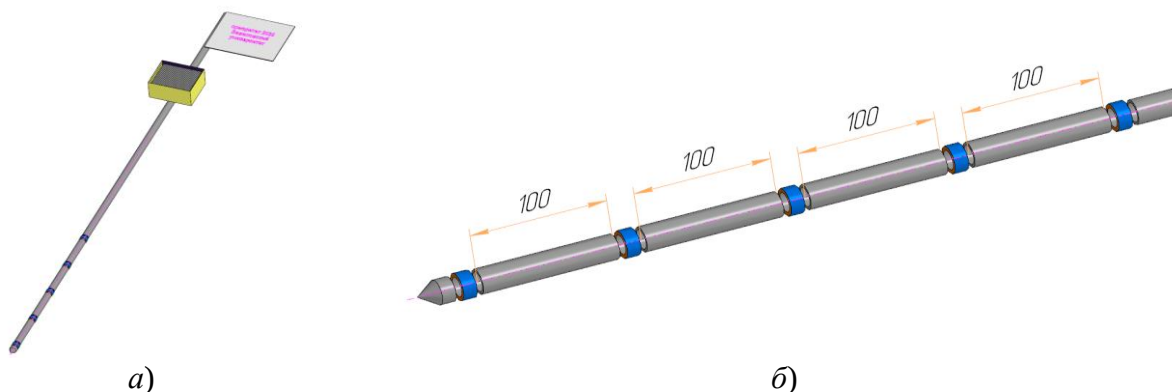
Рисунок 1 – Отбор образцов почвы

Также важно зафиксировать информацию о месте отбора, типе почвы и её физико-химических свойствах.

Собранные образцы высушиваются в сушильном шкафу при температуре  $105^{\circ}\text{C}$  до достижения постоянной массы (рис. 2). Разница между начальной и конечной массой определяет массу воды, содержащейся в образце. Влажность почвы выражается в процентах как отношение массы воды к массе абсолютно сухой почвы (массовая влажность) или к объему почвы (объемная влажность).

Выделим ряд особенностей контроля и регулирования влажности почвы: глубина корневого фронта растений нуждается в постоянном объеме влажности на разных слоях; значение влажности в почве изменяется по слоям в зависимости от действующих факторов на почву и ее физико-механические свойства микроскопической структуры; скорость изменения (уменьшения или увеличения) влажности обеспечена взаимодействием корневой системы растения с почвой. В данном представлении вопрос изменения влажности и выявление закономерностей изменения влажности в конкретных почвогрунтах остается не раскрыт [3, 4].

Примем форму датчика такой, чтобы пять сенсоров располагались друг от друга на расстоянии 10 см друг от друга (рис. 2). В качестве первичного преобразователя используем медные пластины. Один преобразователь – сенсор состоит из двух пластин, расположенных на расстоянии 0,5 мм друг от друга, формы которых указаны на рис. 3.



а)

б)

Рисунок 2 – 3D-модель датчика послойного контроля влажности  
а) общий вид датчика; б) расположение сенсоров каждые 100 мм в части заглубления

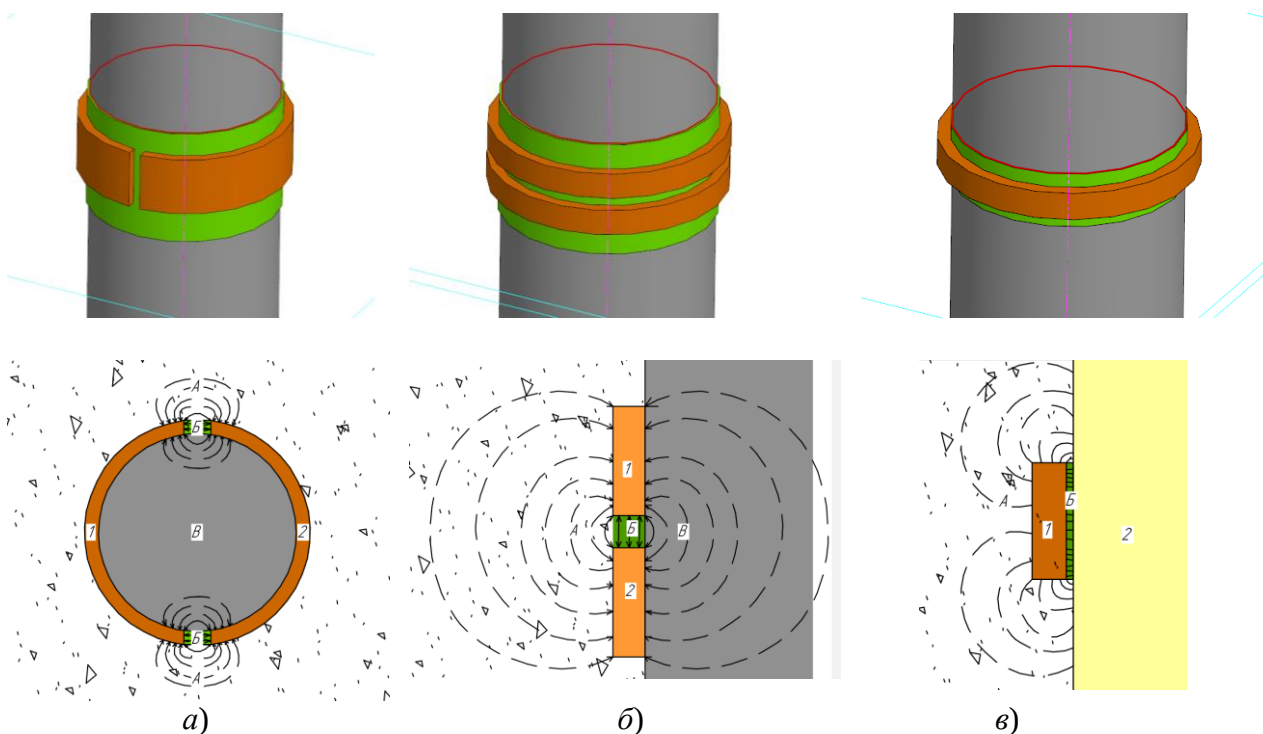


Рисунок 3 – Возможные формы первичных преобразователей – сенсоров, используемых как обкладки конденсаторов в цепи измерения емкости и вид взаимодействия обкладок:  
 а) – два изолированных полукольца; б) – два изолированных кольца; в) – одно кольцо и стойка (1, 2 – обкладки конденсатора; А, Б и В – среды с различной диэлектрической проницаемостью соответственно почвы, диэлектрика между обкладками и стойки

Для проведения лабораторных исследований нами разработан первичный преобразователь, состоящий из двух медных колец диаметром 28 мм с толщиной стенки 0,8 мм. Данная конструкция сборная (рис. 4).



Рисунок 4 – Лабораторная установка для измерения влажности почвы

**Результаты исследования.** Пробы грунта высушиваем в сушильном шкафу при температуре 105°C (рис. 5). В зависимости от влажности почвы длительность сушки составляет 6-7 часов, для получения постоянного веса почвы возможно увеличение – до 8-9 и более часов.



Рисунок 5 – Сушильный шкаф с пробами почвы

Затем абсолютно сухую почву остужаем 10-15 минут и взвешиваем. Результаты записываем в журнал.

Расчёт влажности почвы проводится по формуле:

$$W = \frac{M_B \times 100}{M_n},$$

где  $W$  – влажность почвы;  $M_B$  – масса воды, испарившейся из пробы почвы во время высушивания, г;  $M_n$  – масса пробы почвы после высушивания, г.

После сушки в сухую почву устанавливаем лабораторный датчик контроля влажности почвы, дозированно увлажняем образцы и проводим измерения электрической емкости почвы при помощи высокоточного RLC-измерителя и осциллографа (рис. 6). Данные записываем в журнал учета.



Рисунок 6 – Измерение емкости почвы

**Заключение.** Представленная методика позволяет провести всестороннюю экспериментальную проверку точности измерения влажности почвы емкостным



прибором в лабораторных условиях. Использование термостатно-весового метода в качестве эталона обеспечивает высокую достоверность результатов. Полученные данные позволяют оценить пригодность емкостного прибора для конкретных типов почв и диапазонов влажности, а также определить необходимость калибровки и внесения поправок. Использование RLC-метра расширяет возможности контроля и калибровки, повышая точность и надежность измерений.

#### Список источников

1. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина // М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
2. Глобус, А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических моделей / А.М. Глобус // Л., 1987. – 427 с.
3. Глобус, А.М. Физика почв в агрофизическом институте и в мире: итоги и взгляд в будущее / А.М. Глобус // Агрофизика XXI века. СПб., 2002. – С. 12-16.
4. Гриневский, С.О. Схематизация строения и параметров зоны аэрации для моделирования инфильтрационного питания подземных вод / С.О. Гриневский // Вестник Моск. ун-та. Сер. Геология. 2010. № 6. – С. 56-67.
5. Макарычев, С.В. Особенности теплофизического состояния пахотных выщелоченных черноземов Приобья / С.В. Макарычев // Почвоведение. 2007. № 8. С. 949–953.
6. Панфилов, В.П. Физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи / В.П. Панфилов // Новосибирск: Наука, 1973. 258 с.

© Абзалов М.А., 2025

Научная статья  
УДК 681.515

#### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МЯСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ HSV

Исса Али<sup>1</sup>, Дмитрий Юрьевич Сохинов<sup>2</sup>, Виталий Александрович Каргин<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия  
<sup>1</sup>[ali.issa.rus@gmail.com](mailto:ali.issa.rus@gmail.com)  
<sup>2</sup>[sohinovdju@mgupp.ru](mailto:sohinovdju@mgupp.ru), <https://orcid.org/0009-0000-0030-8580?lang=ru>  
<sup>3</sup>[yakargin@mail.ru](mailto:yakargin@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3683-0041>

**Аннотация.** В работе представлена методология автоматизированного определения процентного содержания жира и постного мяса на поверхности образцов мясной продукции с применением цветовой сегментации в цветовом пространстве HSV. Рассматриваются этапы обработки изображений: захват и преобразование цветового пространства, сегментация, уточнение масок с

помощью морфологических операций, расчёт площадей и визуализация результатов через веб-интерфейс. Проведен анализ точности, устойчивости к изменениям освещения и вычислительной эффективности метода на различных образцах мяса. Предложенный подход демонстрирует потенциал для внедрения в автоматизированные системы контроля качества мясной продукции на предприятиях пищевой промышленности.

**Ключевые слова:** компьютерное зрение, цветовая сегментация, HSV, обработка изображений, OpenCV, Flask, автоматизация контроля качества.

**Для цитирования:** Исса, Али. Автоматизированная оценка качества мяса с использованием цветовой сегментации в пространстве HSV / Исса Али, Д.Ю. Сохинов, В.А. Каргин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **AUTOMATED MEAT QUALITY ASSESSMENT USING COLOR SEGMENTATION IN HSV SPACE**

**Issa Ali<sup>1</sup>, Dmitry Yu. Sokhinov<sup>2</sup>, Vitaly A. Kargin<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

<sup>1</sup>[ali.issa.rus@gmail.com](mailto:ali.issa.rus@gmail.com)

<sup>2</sup>[sohinovdju@mgupp.ru](mailto:sohinovdju@mgupp.ru), <https://orcid.org/0009-0000-0030-8580?lang=ru>

<sup>3</sup>[vakargin@mail.ru](mailto:vakargin@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3683-0041>

**Annotation.** The paper presents a methodology for the automated determination of the percentage of fat and lean meat on the surface of meat product samples using color segmentation in the HSV color space. The stages of image processing are considered: capture and transformation of color space, segmentation, refinement of masks using morphological operations, area calculation and visualization of results via a web interface. The accuracy, resistance to changes in lighting, and computational efficiency of the method on various meat samples are analyzed. The proposed approach demonstrates the potential for implementation in automated quality control systems for meat products in the food industry.

**Keywords:** computer vision, color segmentation, HSV, image processing, OpenCV, Flask, automation of quality control.

**For citation:** Issa, Ali. Automated meat quality assessment using color segmentation in hsv space / Issa Ali, D.Y. Sokhinov, V.A. Kargin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Оценка содержания жира и постного мяса является важнейшим аспектом контроля качества мясной продукции, влияющим на её потребительские свойства и стоимость. Традиционные методы, основанные на

визуальном осмотре и простых алгоритмах обработки изображений, таких как пороговая фильтрация и преобразования цветового пространства, обладают рядом ограничений. Они чувствительны к условиям освещения, плохо справляются с вариативностью текстуры и имеют трудности при различении жира и постного мяса в случае нечетких границ. Современные исследования предлагают более продвинутые подходы, включая гиперспектральную визуализацию и методы машинного обучения, которые обеспечивают более высокую точность и автоматизацию, однако зачастую требуют значительной ручной настройки и не всегда адаптируются к различным условиям съёмки [1-4].

В связи с этим целью настоящей работы является разработка эффективного и устойчивого метода автоматического определения процентного содержания жира и постного мяса на поверхности образцов с использованием цветовой сегментации в пространстве HSV, что позволяет повысить точность и скорость анализа при минимальных вычислительных ресурсах. Такой метод может быть легко интегрирован в производственные линии и использоваться для оперативного контроля качества.

**Материалы и методы.** Изображения образцов мяса получались с помощью стандартной цифровой камеры при различных условиях освещения. Для загрузки и обработки изображений был реализован веб-интерфейс на базе Python и фреймворка Flask, позволяющий пользователям загружать файлы в форматах PNG, JPEG и JPG [5-8]. После сохранения изображения преобразовывались из цветового пространства BGR, используемого большинством камер, в цветовое пространство HSV с помощью библиотеки OpenCV [9]:

```
img = cv2.imread(image_path)
hsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
```

Такое преобразование позволило отделить цветовые компоненты, что существенно повысило устойчивость последующего анализа к изменениям освещения.

Сегментация жира и постного мяса осуществлялась путём выделения цветовых диапазонов, характерных для соответствующих областей в пространстве HSV. Постное мясо было выделено на основе двух диапазонов оттенков красного цвета, что связано с особенностями цветового круга и вариациями оттенков в разных образцах (оттенок: 0-10 и 160-180; насыщенность: 50-255; яркость: 50-255):

```
lower_red1 = np.array([0, 50, 50])
upper_red1 = np.array([10, 255, 255])
lower_red2 = np.array([160, 50, 50])
upper_red2 = np.array([180, 255, 255])
red_mask1 = cv2.inRange(hsv, lower_red1, upper_red1)
red_mask2 = cv2.inRange(hsv, lower_red2, upper_red2)
red_mask = cv2.bitwise_or(red_mask1, red_mask2)
```

Результат сегментации постного мяса показан на рис. 1.

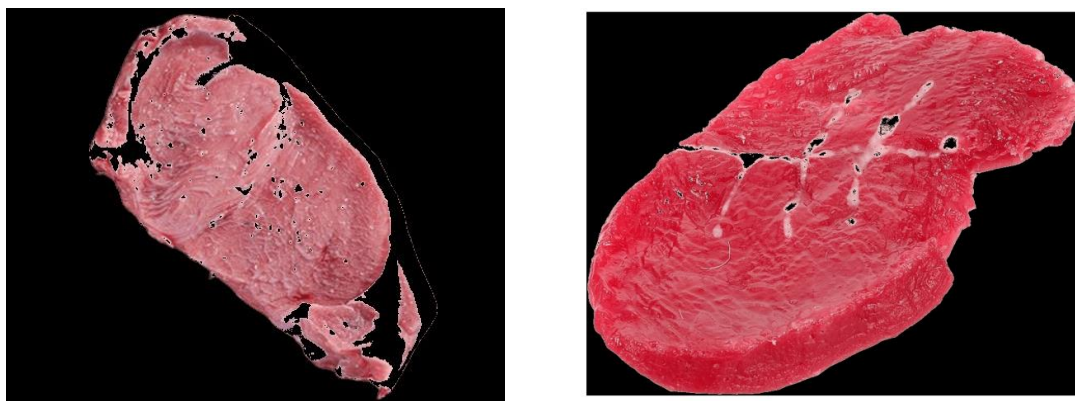


Рисунок 1 – Результат сегментации постного мяса

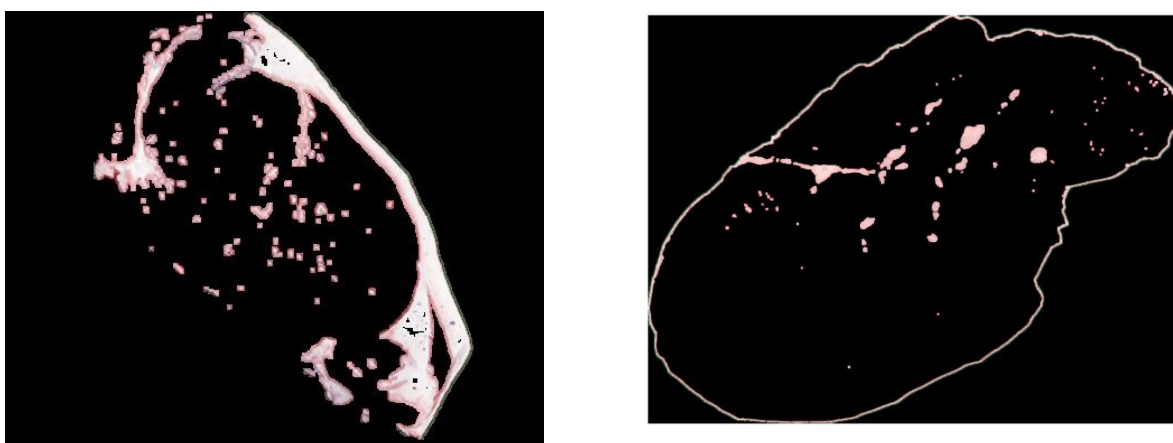


Рисунок 2 – Результат сегментации жира

Для жира, который визуальнo представлен светлыми или белыми участками, использовались диапазоны с низкой насыщенностью и высокой яркостью, что позволяло эффективно отделять жир от постного мяса и фона (оттенки: 0-20 и 160-180; насыщенность: 0-50; яркость: 180-255):

```
lower_white1 = np.array([0, 0, 180])
upper_white1 = np.array([20, 50, 255])
lower_white2 = np.array([160, 0, 180])
upper_white2 = np.array([180, 50, 255])
white_mask1 = cv2.inRange(hsv, lower_white1, upper_white1)
white_mask2 = cv2.inRange(hsv, lower_white2, upper_white2)
fat_mask = cv2.bitwise_or(white_mask1, white_mask2)
```

Результат сегментации жира показан на рис. 2.

После создания бинарных масок соответствующих областей применялись морфологические операции закрытия и дилатации с ядром размером  $5 \times 5$  пикселей для удаления шумов и заполнения мелких дефектов, что повышало точность и непрерывность сегментированных областей.

Маски создавались с помощью функции `cv2.inRange()` и объединялись с помощью логических операций.

Для вычисления процентного содержания жира и постного мяса подсчитывалось количество пикселей в соответствующих масках. Общая площадь мясного образца определялась суммой пикселей маски постного мяса, а площадь жира – количеством пикселей в маске жира. Процентные значения

рассчитывались как отношение площади каждой из областей к общей площади, что позволяло получать количественные показатели, необходимые для контроля качества продукции:

```
total_area = np.count_nonzero(red_mask)
fat_area = np.count_nonzero(fat_mask)
lean_meat_area = total_area - fat_area
lean_meat_percentage = (lean_meat_area / total_area) * 100
```

Для удобства пользователя и повышения информативности на исходные изображения накладывались контуры жировых областей и текстовые аннотации с вычисленными процентными значениями.

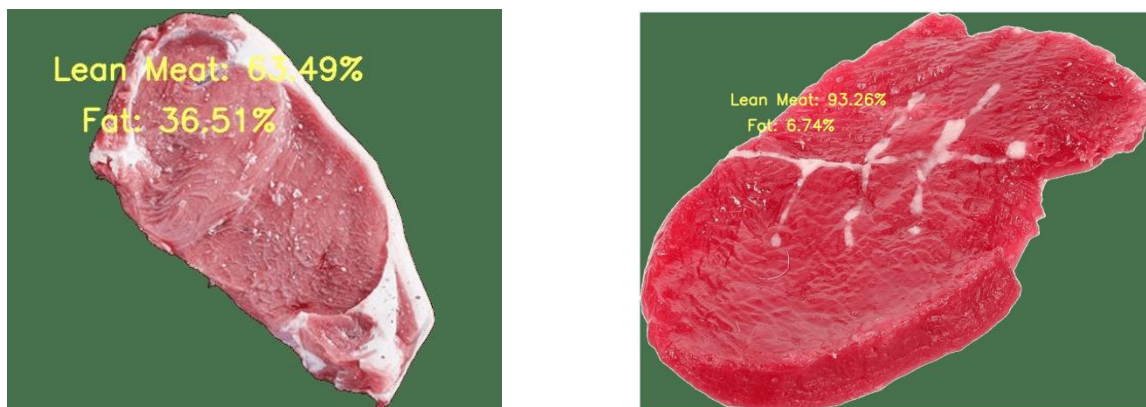


Рисунок 3 – Отображение результатов в режиме реального времени

Веб-интерфейс обеспечивал отображение результатов в режиме реального времени и возможность скачивания обработанных изображений для дальнейшего анализа (рис. 3).

**Результаты исследования.** Предложенный метод был протестирован на различных образцах говядины, свинины и баранины, показав высокую точность сегментации жира и постного мяса. Использование двух диапазонов оттенков красного цвета обеспечило надёжное выделение постного мяса с учётом вариаций цветовых характеристик, а применение морфологических операций позволило устранить шумы и добиться чётких контуров сегментированных областей. Метод сохранял устойчивость при изменении условий освещения, что подтверждает его пригодность для использования в производственных условиях с переменными световыми параметрами.

Вычислительная эффективность метода оказалась достаточно высокой: среднее время обработки одного изображения не превышало 500 миллисекунд на стандартном компьютерном оборудовании, что делает данный подход применимым для систем реального времени и автоматизированных линий переработки мяса. Простота и лёгкость реализации позволяют масштабировать метод для обработки больших объёмов данных и внедрять его на устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами.

Визуальная обратная связь, реализованная через наложение контуров и процентных значений на исходные изображения, обеспечивает интуитивно понятное представление результатов для операторов и специалистов по



контролю качества. Это способствует ускорению принятия решений и повышению точности оценки.

**Заключение.** В настоящей работе разработан и апробирован метод автоматического определения процентного содержания жира и постного мяса на поверхности мясных образцов с использованием цветовой сегментации в пространстве HSV. Предложенный подход характеризуется высокой точностью, устойчивостью к изменениям освещения и вычислительной эффективностью, что делает его перспективным инструментом для внедрения в автоматизированные системы контроля качества мясной продукции. Метод обеспечивает быструю и надёжную оценку, способствуя оптимизации производственных процессов и повышению качества продукции.

### Список источников

1. Ahmed, M.R.; Reed, D.D., Jr.; Young, J.M.; Eshkabilov, S.; Berg, E.P.; Sun, X. Beef Quality Grade Classification Based on Intramuscular Fat Content Using Hyperspectral Imaging Technology. Appl. Sci. 2021, 11, 4588. <https://doi.org/10.3390/app11104588>
2. Федосьин, Р.Л. Структура информационной системы контроля качества мяса в холодильной цепи / Р.Л. Федосьин, В.А. Каргин, Е.А. Назойкин, И.Э. Свиридов // В сборнике: 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. Курск, 2023. С. 310-314.
3. Каргин, В.А. Рекомендации по реализации интеллектуальной системы определения качества колбасных изделий / В.А. Каргин, Р.А. Кравченко, И.В. Кротов, Е.Р. Резенов // В сборнике: Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием. Под общей редакцией С.М. Бакирова. Саратов, 2023. С. 119-127.
4. Sánchez CN, Orvañanos-Guerrero MT, Domínguez-Soberanes J, Álvarez-Cisneros YM. Analysis of beef quality according to color changes using computer vision and white-box machine learning techniques. Heliyon. 2023 Jul;9(7): e17976. doi: 10.1016/j. heliyon. 2023. e17976. PMID: 37519729; PMCID: PMC10375562.
5. Прохоренок, Н.А. Python 3. Самое необходимое / Н.А. Прохоренок, В.А. Дронов // – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2019. – 608 с.
6. Молодяков, С.А. Применение функций OpenCV в компьютерном зрении (60 примеров на Python) / С.А. Молодяков // СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2022. – 296 с.
7. Thampi A. et al. Towards real time assessment of intramuscular fat content in meat using optical fiber-based optical coherence tomography //Meat Science. – 2021. – Т. 181. – С. 108411.
8. Благовещенский, И.Г. Теоретические основы использования системы технического зрения в системе автоматического управления технологическими процессами / И.Г. Благовещенский, А.К. Троицкий // Материалы первой

международной научно- практической конференции – выставки «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». – М.: Издательский комплекс МГУПП, 2012. – С. 165-172.

9. Сохинов, Д. Ю. Рекомендации по подготовке dataset для машинного обучения / Д.Ю. Сохинов, Р.А. Кравченко, О.В. Логачева // 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.

© Исса Али, Сохинов Д.Ю., Каргин В.А., 2025

Научная статья

УДК 681.515

## **ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ**

**Исса Али<sup>1</sup>, Дмитрий Юрьевич Сохинов<sup>2</sup>, Виталий Александрович Каргин<sup>3</sup>**  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»,  
г. Москва, Россия

<sup>1</sup>[ali.issa.rus@gmail.com](mailto:ali.issa.rus@gmail.com)

<sup>2</sup>[sohinovdju@mgupp.ru](mailto:sohinovdju@mgupp.ru), <https://orcid.org/0009-0000-0030-8580?lang=ru>

<sup>3</sup>[vakargin@mail.ru](mailto:vakargin@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3683-0041>

**Аннотация.** В статье рассматривается современный подход к объективной оценке качества мяса с использованием методов компьютерного зрения и глубокого обучения. Обоснована актуальность внедрения автоматизированных систем оценки качества, позволяющих получать оперативные и точные результаты без повреждения образцов. Представлен обзор методов анализа цифровых изображений, измерения физических параметров и прогнозирования органолептических характеристик мяса. Основное внимание уделено разработке модели на базе предварительно обученной сверточной нейронной сети VGG-16 с применением технологии трансферного обучения. Описаны этапы подготовки данных, архитектура модели, методы обучения и оценки её эффективности. Полученные результаты демонстрируют высокую точность классификации свежего и испорченного мяса, подтверждая перспективность использования компьютерного зрения и нейросетевых технологий в мясной промышленности. Обсуждаются возможности дальнейшего развития и интеграции таких систем для повышения качества продукции и оптимизации производственных процессов.

**Ключевые слова:** Компьютерное зрение, оценка качества мяса, искусственные нейронные сети, трансферное обучение, сверточная нейронная

сеть, VGG-16, цифровое изображение, машинное обучение, автоматизация оценки качества

**Для цитирования:** Исса Али. Интеграция систем технического зрения и глубокого обучения для повышения точности оценки качества мясной продукции / Али Исса, Д.Ю. Сохинов, В.А. Каргин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## INTEGRATION OF TECHNICAL VISION AND DEEP LEARNING SYSTEMS TO IMPROVE THE ACCURACY OF MEAT PRODUCT QUALITY ASSESSMENT

Issa Ali<sup>1</sup>, Dmitry Yu. Sokhinov<sup>2</sup>, Vitaly A. Kargin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

<sup>1</sup>[ali.issa.rus@gmail.com](mailto:ali.issa.rus@gmail.com)

<sup>2</sup>[sokhinovdju@mgupp.ru](mailto:sokhinovdju@mgupp.ru), <https://orcid.org/0009-0000-0030-8580?lang=ru>

<sup>3</sup>[vakargin@mail.ru](mailto:vakargin@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3683-0041>

**Annotation.** The article discusses a modern approach to the objective assessment of meat quality using computer vision and deep learning methods. The relevance of the introduction of automated quality assessment systems, which allow obtaining prompt and accurate results without damaging samples, is substantiated. An overview of methods for analyzing digital images, measuring physical parameters, and predicting organoleptic characteristics of meat is presented. The main attention is paid to the development of a model based on a pre-trained convolutional neural network VGG-16 using transfer learning technology. The stages of data preparation, the architecture of the model, methods of training and evaluation of its effectiveness are described. The results obtained demonstrate the high accuracy of classification of fresh and spoiled meat, confirming the prospects of using computer vision and neural network technologies in the meat industry. The possibilities of further development and integration of such systems to improve product quality and optimize production processes are discussed.

**Keywords:** computer vision, meat quality assessment, artificial neural networks, transfer learning, convolutional neural network, VGG-16, digital image, machine learning, automation of quality assessment.

**For citation:** Issa Ali. Integration of technical vision and deep learning systems to improve the accuracy of meat product quality assessment / Ali Issa, D.Y. Sokhinov, V.A. Kargin // Actual problems of agricultural Energy: proceedings of the III National Scientific and Practical Conference with International participation named after G.P. Eroshenko / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Объективная и быстрая оценка качества мяса приобретает все большую значимость в условиях роста требований потребителей к

сенсорным характеристикам мясной продукции. Традиционные методы оценки качества, включая органолептические, химические и инструментальные, часто являются трудоемкими, длительными, деструктивными и подвержены субъективным ошибкам. В этом контексте системы компьютерного зрения (СКЗ) представляют собой эффективную альтернативу, позволяя получать объективные и оперативные результаты без повреждения образцов и использования химических реагентов, что также снижает негативное воздействие на окружающую среду.

СКЗ широко применяются для автоматизированного контроля качества на этапах переработки мяса, используя различные устройства захвата изображений – цифровые камеры, ультразвуковые сканеры, компьютерные томографы и другие. Они обеспечивают получение информации как о внешних, так и о внутренних характеристиках продукции. В статье представлен обзор основных этапов анализа изображений, рассмотрены ключевые атрибуты цифровых изображений, а также описан инновационный подход к оценке качества мяса на основе трансферного обучения с использованием сверточной нейронной сети VGG-16.

**Материалы и методы.** Анализ цифровых изображений является центральным элементом систем компьютерного зрения. Он включает обработку изображений, распознавание и сегментацию объектов, измерение их геометрических параметров, а также оценку качественных характеристик. В мясной промышленности цифровые изображения применяются для измерения объема, площади поверхности мясных продуктов, оценки их качества и определения химического состава. Источниками изображений могут быть как макроскопические, так и микроскопические методы, включая цифровые камеры, ультразвуковую визуализацию и др. [1-3].

Использование 3D- и 2D-систем компьютерного зрения позволяет точно измерять объем и площадь поверхности мясных изделий, что важно для контроля качества и определения стоимости продукции. Анализ термической усадки, основанный на сравнении площади поверхности до и после термообработки, оказывает влияние на оптимизацию процессов теплообмена и микробиологической безопасности продукции.

Цвет мяса является одним из ключевых индикаторов качества и может быть количественно охарактеризован с помощью цифровых изображений и специализированного программного обеспечения. Анализ текстуры и мраморности с использованием методов компьютерного зрения позволяет прогнозировать органолептические свойства, такие как нежность и сочность, что подтверждается исследованиями с применением машинного обучения и статистических моделей.

Определение содержания белка, жира и влаги является важным этапом оценки качества. Традиционные химические методы, такие как экстракционные методики, являются трудоемкими и деструктивными. Спектроскопические методы в сочетании с СКЗ позволяют безразрушительно оценивать химический состав мяса, используя

корреляцию между визуальными признаками (например, мраморностью) и содержанием жира.

Современные методы машинного обучения, включая нейронные сети и регрессионные модели, применяются для прогнозирования органолептических свойств мяса на основе анализа цифровых изображений и спектральных данных. Достигается высокая точность предсказаний мягкости, сочности и других параметров, что способствует автоматизации и стандартизации оценки качества.

Для реализации модели использовалась платформа Kaggle, предоставляющая доступ к наборам данных и вычислительным ресурсам. В качестве базовой архитектуры применена сверточная нейронная сеть VGG-16 [4], предварительно обученная на большом наборе изображений ImageNet, что позволило эффективно использовать трансферное обучение.

Для предварительной обработки данных использован класс ImageDataGenerator из TensorFlow [5, 6], который позволяет осуществить нормализацию изображений и применить технику аугментации, в том числе, вращение, масштабирование, отражение), что повысило обобщающую способность модели:

```
train_datagen = ImageDataGenerator(
    rescale=1./255, # Normalize pixel values to [0,1]
    rotation_range=20,
    width_shift_range=0.2,
    height_shift_range=0.2,
    shear_range=0.2,
    zoom_range=0.2,
    horizontal_flip=True
)
```

```
test_datagen = ImageDataGenerator(rescale=1./255)
```

Набор данных разделён на обучающую и тестовую выборки с помощью функции `train_test_split` из библиотеки `scikit-learn` [7]:

```
# Set the path to the dataset folder
dataset_dir = Path("../input")

# Split the dataset into training and test sets
train_data_dir = os.path.join(dataset_dir, 'meat-quality-assessment-based-on-deep-learning')
train_images = []
train_labels = []
for label in ['Fresh', 'Spoiled']:
    label_dir = os.path.join(train_data_dir, label)
    images = os.listdir(label_dir)
    train_images += [os.path.join(label_dir, image) for image in images]
    train_labels += [label] * len(images)

train_images, test_images, train_labels, test_labels = train_test_split(
    train_images, train_labels, test_size=0.2, random_state=42)
```

Предварительно обученная модель VGG-16 загружается без верхних классификационных слоев. Здесь добавляются новые слои: Flatten, два полносвязных слоя Dense с функцией активации ReLU, Dropout для предотвращения переобучения и выходной слой с активацией sigmoid для бинарной классификации (свежесть/порча):

```
# Create a new model with the VGG16 base
model = keras.Sequential([
    base_model,
    Flatten(),
    Dense(256, activation='relu'),
    Dropout(0.5),
    Dense(1, activation='sigmoid')
])
```

Модель компилируется с оптимизатором Adam, функцией потерь бинарной кросс-энтропии и метрикой точности. В процессе обучения применялись обратные вызовы для оптимизации процесса [8]:

```
# Compile the model
model.compile(optimizer=Adam(learning_rate=0.001),
              loss='binary_crossentropy',
              metrics=['accuracy'])

# Define callbacks
early_stopping = EarlyStopping(monitor='val_loss', patience=5,
                               restore_best_weights=True)
checkpoint = ModelCheckpoint('best_model.h5', monitor='val_loss',
                             save_best_only=True)
reduce_lr = ReduceLROnPlateau(monitor='val_loss', factor=0.2, patience=3,
                               min_lr=0.0001)

# Train the model
epochs = 20
history = model.fit(
    train_generator,
    steps_per_epoch=train_generator.samples // batch_size,
    epochs=epochs,
    validation_data=test_generator,
    validation_steps=test_generator.samples // batch_size,
    callbacks=[early_stopping, checkpoint, reduce_lr]
)
```

После обучения модель оценивается на тестовом наборе данных с использованием метода evaluate, который предоставляет потери и точность на тесте (Model Loss, Model Accuracy). Кроме того, выбираются несколько тестовых изображений, и делаются предсказания с использованием обученной модели. Предсказанные метки сравниваются с пороговым значением 0,5, чтобы определить, является ли мясо "свежим" или "порченным". Выводятся истинные метки, предсказанные метки и соответствующие изображения:



```

# Evaluate the model on the test dataset
test_loss, test_accuracy = model.evaluate(test_generator, verbose=2)
print('Test loss:', test_loss)
print('Test accuracy:', test_accuracy)

# Make predictions on a few test images
num_test_images = 5

test_images, test_labels = next(test_generator)
predictions = model.predict(test_images)
predicted_labels = ['Fresh' if pred >= 0.5 else 'Spoiled' for pred in
predictions]

for i in range(num_test_images):
    true_label = 'Fresh' if test_labels[i] == 1 else 'Spoiled'
    predicted_label = predicted_labels[i]

    print('True label:', true_label)
    print('Predicted label:', predicted_label)

    plt.imshow(test_images[i])
    plt.axis('off')
    plt.show()

```

**Результаты исследования.** Точность обучения и валидации являются ключевыми показателями эффективности модели (рис. 1). Высокая точность на обучающем наборе свидетельствует о способности модели изучать закономерности, а сопоставимая точность на валидационном наборе указывает на отсутствие переобучения и хорошую обобщающую способность [9-11].

Потери модели на этапах обучения и валидации были низкими и близкими друг к другу, что подтверждает стабильность и надежность модели (рис. 2). Графики точности и потерь демонстрируют устойчивую динамику улучшения качества классификации.



Рисунок 1 – Точность модели VGG-16

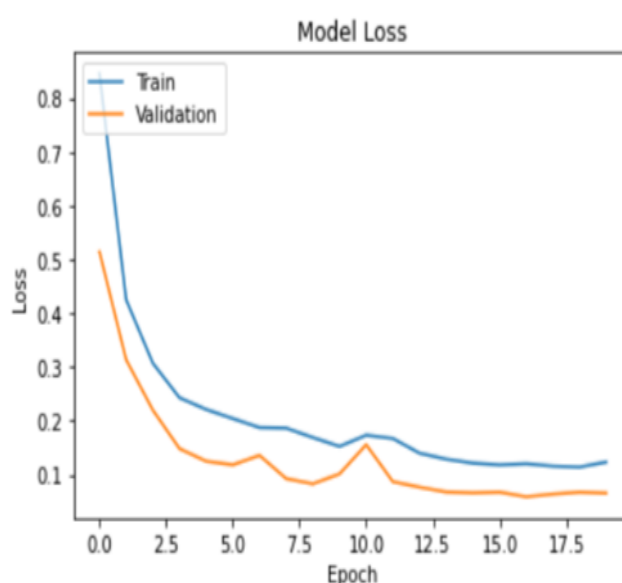


Рисунок 2 – Потери модели VGG-16

Модель VGG-16 с применением трансферного обучения достигла высокой точности классификации свежего и испорченного мяса, что подтверждает эффективность предложенного подхода и его потенциал для автоматизации контроля качества в мясной промышленности. Результат работы модели представлен на рис. 3.

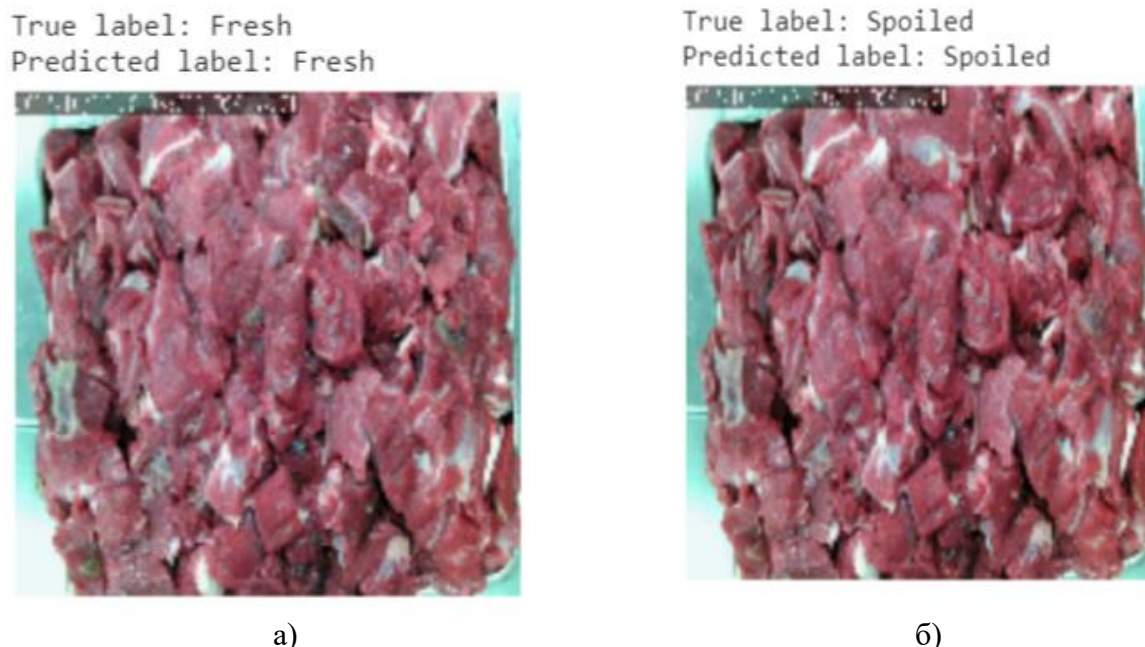


Рисунок 3 – Результаты работы модели VGG-16: свежее мясо (а), испорченное (б)

**Заключение.** Использование трансферного обучения на базе сверточной нейронной сети VGG-16 показало высокую эффективность в задаче классификации качества мяса по изображениям. Модель продемонстрировала низкие значения потерь и высокую точность как на обучающей, так и на тестовой выборках, что свидетельствует о ее способности к обобщению и применимости в реальных условиях. Автоматизация оценки качества мяса с помощью систем компьютерного зрения и нейросетевых технологий позволяет повысить оперативность, точность и объективность контроля, что ведет к снижению брака и экономическому эффекту для предприятий. При этом важно учитывать, что такие системы служат дополнением к традиционной оценке и не могут полностью заменить экспертную экспертизу.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение функционала моделей, интеграцию с другими методами спектроскопии и разработку комплексных систем, обеспечивающих всесторонний контроль качества мясной продукции.

#### **Список источников**

1. Федосьин, Р.Л. Структура информационной системы контроля качества мяса в холодильной цепи / Р.Л. Федосьин, В.А. Каргин, Е.А. Назойкин, И.Э. Свиридов // В сборнике: 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. Курск, 2023. – С. 310-314.

2. Каргин, В.А. Рекомендации по реализации интеллектуальной системы определения качества колбасных изделий / В.А. Каргин, Р.А. Кравченко, И.В. Кротов, Е.Р. Резенов // В сборнике: Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы XIV Национальной научно-практической конференции с международным участием. Под общей редакцией С.М. Бакирова. Саратов, 2023. С. 119-127.

3. Благовещенский, И.Г. Теоретические основы использования системы технического зрения в системе автоматического управления технологическими процессами / И.Г. Благовещенский, А.К. Троицкий // Материалы первой международной научно-практической конференции – выставки «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». – М.: Издательский комплекс МГУПП, 2012. С. 165-172.

4. Муаль, М.Н.Б. Использование предобученной нейросети (VGG16) для решения задачи переноса стиля изображения / М.Н.Б. Муаль // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2022. Т. 18, № 2. С. 241-248. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.18.202202.241-248>.

5. Vidnerova P. Evolving Keras Architectures for Sensor Data Analysis / P. Vidnerova, R. Neruda // Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems. pp. 109–112. ACSIS, Vol. 11. DOI: 10.15439/2017F241.

6. Сохинов, Д.Ю. Рекомендации по подготовке dataset для машинного обучения / Д.Ю. Сохинов, Р.А. Кравченко, О.В. Логачева // 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.

7. Багаев, И.И. Анализ понятий нейронная сеть и сверточная нейронная сеть, обучение сверточной нейросети при помощи модуля TensorFlow / И.И. Багаев // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2020. Т. 8. № 1. С. 15-22. EDN: IZBILN. DOI: 10.18503/2306-2053-2020-8-1-15-22.

8. Homma Yuya & Moro Seiichiro Recognition of Landing Target of UAV by Vision Using Machine Learning / Journal of Signal Processing. 2019. 23(4). 193-196. DOI: 10.2299/jsp.23.193.

9. Шолле Франсуа. Глубокое обучение на Python. – СПб.: Питер, 2018. – 400 с.: ил. – (Серия «Библиотека программиста»).

10. Ростовцев, В.С. Искусственные нейронные сети / В.С. Ростовцев // – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 216 с.

11. Шакла Нивант. Машинное обучение и TensorFlow. – СПб.: Питер, 2019. – 336 с.: ил. – (Серия «Библиотека программиста»).

## ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА УНИВЕРСИТЕТА

Николай Анатольевич Антонов<sup>1</sup>, Юлия Сергеевна Валеева<sup>2</sup>, Александра Владимировна Варганова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова,  
г. Магнитогорск, Россия

<sup>1</sup>[homert43@mail.ru](mailto:homert43@mail.ru)

<sup>2</sup>[yuliya.valeeva.03.03@mail.ru](mailto:yuliya.valeeva.03.03@mail.ru)

<sup>3</sup>[Aleksandra-khlamova@yandex.ru](mailto:Aleksandra-khlamova@yandex.ru)

**Аннотация.** В данной статье рассматривается возможность внедрения установок малой генерации (газопоршневой электростанции) на территории действующего объекта электроснабжения. Для обоснования целесообразности внедрения собственной генерации приведены возможные варианты перспективной установки ГПУ, отличающиеся числом и мощностью источников.

**Ключевые слова:** малая генерация, распределенная генерация, электроэнергетика, альтернативные источники энергии.

**Для цитирования:** Антонов, Н.А. Оценка целесообразности внедрения источников малой генерации в условиях научно-образовательного центра университета / Н.А. Антонов, Ю.С. Валеева, А.В. Варганова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF INTRODUCING LOW-POWER SOURCES IN THE CONDITIONS OF THE UNIVERSITY'S SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL CENTER

Nikolay Anatolyevich Antonov<sup>1</sup>, Yulia Sergeevna Valeeva<sup>2</sup>, Alexandra Vladimirovna Varganova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov, Magnitogorsk,  
Russia

<sup>1</sup>[homert43@mail.ru](mailto:homert43@mail.ru)

<sup>2</sup>[yuliya.valeeva.03.03@mail.ru](mailto:yuliya.valeeva.03.03@mail.ru)

<sup>3</sup>[Aleksandra-khlamova@yandex.ru](mailto:Aleksandra-khlamova@yandex.ru)

**Annotation.** This article discusses the possibility of introducing small-scale generation units (gas-piston power plants) on the territory of an existing power supply

facility. To justify the feasibility of introducing its own generation, possible options for a promising small-scale power generation installation are presented, differing in the number and power of sources.

**Keywords:** small-scale generation, distributed generation, electric power industry, alternative energy sources.

**For citation:** Antonov, N.A. Assessment of the feasibility of introducing low-power sources in the conditions of the university's scientific and educational center / N.A. Antonov, Yu.S. Valeeva, A.V. Varganova // Actual problems of agro-industrial energy: materials of the III National Scientific and Practical Conference with International participation named after G.P. Eroshenko / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Одной из наиболее актуальных проблем российской энергетической отрасли является вопрос децентрализации источников энергии. Объединенная энергосистема, сформировавшаяся в России в 30-х годах прошлого столетия, обладает рядом существенных преимуществ, к которым можно отнести: централизованное управление, взаимопомощь систем в случае аварийных ситуаций, уменьшение суммарного резерва мощности и снижение пиковых нагрузок в периоды сезонных изменений. Однако, несмотря на эти достоинства, объединенная энергосистема обладает рядом существенных недостатков.

К ним можно отнести: высокую стоимость единичных крупных электростанций, высокие эксплуатационные затраты на обслуживание электростанций и электрических сетей, необходимость обеспечения постоянной частоты и контроль за синхронизацией генераторов. Кроме того, значительная нагрузка ложится на диспетчерское управление, что требует от операторов системы высокой квалификации и способности к быстрому реагированию на возникающие проблемы. Также можно отметить возможность монополизации рынка электроэнергии, что приводит к контролю цен и невозможности развития малого бизнеса в сфере энергетики.

**Материалы и методы.** В настоящее время все больший интерес представляет распределенная генерация [1, 2]. Понятие «распределенная генерация» чаще всего подразумевает установки малой мощности до 1,5 МВт, устанавливаемые в непосредственной близости от источников потребления. В качестве источников малой генерации применяются газопоршневые, газотурбинные установки, а также возобновляемые источники энергии (ветровые, солнечные и гидроустановки). Газопоршневые установки работают по принципу дизельного двигателя автомобилей, имеют достаточно высокий КПД, но затраты в эксплуатации. Газотурбинные электростанции имеют КПД ниже, чем у газопоршневых электростанций, но он может быть увеличен за счет когенерации – совместной выработки тепла и электричества. Использование возобновляемых источников энергии ограничивается территориальными особенностями, что снижет область их применения на территории РФ.

**Результаты исследования.** Для обоснования целесообразности внедрения устройств малой генерации в системе городского электроснабжения

необходимо рассчитать стоимость затрат на электроэнергию при внедрении газопоршневой установки мощностью 500, 1000 и 2000 кВт на объект, в котором основную нагрузку представляют бассейн и печь, суммарной мощностью около 2,1 МВт. Исходные данные для расчета сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

| Максимальная нагрузка, МВт | Средняя потребляемая мощность $P_{ср}$ , МВт | Тариф на электроэнергию $\beta_{э/э1}$ , руб./кВт·ч | Годовое потребление тепла $Q_{потр}$ , Гкал | Тариф на тепло $\beta_{тепло}$ , руб./Гкал | Тариф на ПГ $\beta_{пг}$ , руб./м <sup>3</sup> |
|----------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 2,1                        | 0,435                                        | 5                                                   | 2778,216                                    | 1265,5                                     | 6,618                                          |

На первом этапе составим алгоритм расчета суммарных затрат на тепло и электроэнергию для существующей схемы без использования ГПУ. Для этого определим количество потребляемой энергии в год из сети по выражению:

$$W_{потр1} = P_{ср} \cdot 8760 = 3810,6 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Далее определяем стоимость электроэнергии, потребляемой за год:

$$З_{W1} = W_{потр1} \cdot \beta_{э/э1} = 3810,6 \cdot 5 = 19,053 \text{ млн.руб.}$$

Определим годовые затраты на тепло:

$$З_{тепло} = Q_{потр} \cdot \beta_{тепло} = 2778,216 \cdot 1265,5 \cdot 1,2 = 4,219 \text{ млн.руб.}$$

Суммарные затраты на тепло и электроэнергию будут определяться по выражению:

$$З_1 = З_{тепло} + З_{W1} = 4,219 + 19,053 = 23,273 \text{ млн.руб.}$$

Для оценки экономической эффективности использования ГПУ приведем расчет для трех случаев: при установке ГПУ общей мощностью 500, 1000 и 2000 кВт с учетом продажи некоторой доли мощности в сеть.

Вариант 1. Вводятся в эксплуатацию две установки мощностью по 250 кВт. В таком случае прием электроэнергии из сети составит  $P_{потр2} = 1000$  МВт.

Тариф на электроэнергию после внедрения ГПУ будет определяться исходя из затрат на газ по выражению [3]:

$$B_{газ} = \frac{B_{газ} \cdot C1 \text{ м}^3}{P_{ГПУ}},$$

где  $B_{газ}$  – расход газа,  $\frac{\text{нм}^3}{\text{ч}}$ ;  $C1 \text{ м}^3 / \text{нм}^3 \cdot \text{ч}$  – стоимость 1 м<sup>3</sup> газа (с учётом НДС и доставки), руб;  $P_{ГПУ}$  – мощность ГПУ, кВт.

Расход газа принимается равным  $B_{газ} = 140 \text{ нм}^3 / \text{ч}$  согласно техническим характеристикам газопоршневой электростанции марки АГ-500С-Т400- 3П ТМЗ [4].

$$B_{газ} = \beta_{э/э2} = \frac{140 \cdot 6,618}{500} = 1,85 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость электроэнергии с учетом собственной генерации и потребления из сети

$$W_2 = P_{ГПУ} \cdot \beta_{э/э2} \cdot 8760 + P_{потр2} \cdot 5,$$

$$W_2 = 0,5 \cdot 1,85 \cdot 8760 + 1000 \cdot 5 = 13,103 \text{ млн.руб.}$$



Затраты на тепло не учитываются, так как предполагается, что выработка тепла будет происходить совместно с выработкой электроэнергии.

Капитальные вложения будут определяться из условия, что 1 кВт стоит 57 000 рублей:

$$K_2 = 57\,000 \cdot 500 = 28,5 \text{ млн.руб.}$$

Суммарные затраты на тепло и электроэнергию будут определяться по выражению:

$$Z_2 = W_2 = 13,103 \text{ млн.руб.}$$

Рассчитаем прибыль с продажи 10% мощности в сеть:

$$P_2 = \frac{P_{\text{ГПУ}} \cdot 0,1 \cdot 8760}{1000000} = \frac{500 \cdot 0,1 \cdot 8760}{1000000} = 0,438 \text{ млн.руб}$$

Эффект в год определится по выражению:

$$\Xi = Z_1 - Z_2 + P_2 = 23,273 - 13,103 + 0,438 = 10,608 \text{ млн.руб.}$$

Тогда срок окупаемости составит:

$$\text{Токуп.} = \frac{K_2}{\Xi} = \frac{28,5}{10,608} = 2,7 \text{ лет.}$$

Для вариантов 2 и 3 расчет ведется аналогично. Полученные результаты сведем в табл. 2.

Таблица 2 – Технико-экономическое сопоставление вариантов

| Показатели                                                                       | Варианты              |                               |                               |                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                                  | Существующая<br>схема | Вариант 1<br>ГПУ 2×250<br>кВт | Вариант 2<br>ГПУ 2×500<br>кВт | Вариант 3<br>ГПУ<br>2×1000<br>кВт |
| Прием из сети э/э в год, МВтч                                                    | 3810,6                | 1000                          | 500                           | 0                                 |
| Затраты на э/э, млн. руб.                                                        | 19,053                | 13,103                        | 11,172                        | 14,016                            |
| Потребление тепла в год, Гкал                                                    | 2778,216              | совместно с э/э               |                               |                                   |
| Затраты на тепло, млн. руб.                                                      | 4,219                 |                               |                               |                                   |
| Капитальные вложения,<br>млн.руб. 1кВт = 600 евро –<br>средняя цена для мини-ТЭЦ | -                     | 28,5                          | 57                            | 114                               |
| Суммарные затраты тепло+э/э,<br>млн.руб                                          | 23,273                | 13,103                        | 11,172                        | 14,016                            |
| Продажа мощности в сеть<br>(10%, 40%, 20%), млн.руб.                             | -                     | 0,438                         | 3,504                         | 3,504                             |
| Эффект в год, млн.руб.                                                           | -                     | 10,608                        | 15,605                        | 12,761                            |
| Срок окупаемости, лет                                                            | -                     | 2,7                           | 3,6                           | 4,5                               |

**Заключение.** Разработанная в данной статье методика поможет приблизительно оценить целесообразность применения установки малой генерации в условиях реально действующего объекта. Однако, стоит учитывать, что некоторые значения приводились приближенно, а также расчет окупаемости не учитывал эксплуатационных затрат.

Тем не менее, результаты исследования показали, что при использовании установок малой генерации суммарные затраты на тепло и электроэнергию значительно уменьшаются. Вместе с тем срок окупаемости установок в каждом

случае не превышает 5 лет, что удовлетворяет требованиям современных инвестиционных проектов. Из этого можно сделать вывод, что применение установок распределенной генерации является перспективным и выгодным решением.

### Список источников

1. Варганова, А.В. Алгоритм поиска оптимальной точки подключения к внешним источникам электроэнергии в системах электроснабжения с распределенной генерацией / А.В. Варганова, В.И. Новоселов // Электротехнические системы и комплексы. – 2022. – № 2(55). – С. 71-76. – DOI 10.18503/2311-8318-2022-2(55)-71-76. – EDN QQNNHD.

2. Ерошенко, С.А. Оптимизация местоположения и мощности малой генерации в распределительных сетях / С.А. Ерошенко, А.А. Карпенко, С.Е. Кокин, А.В. Паздерин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. №1-2. С.82-89. EDN: PCYOSB

3. Кретов, Д.А. Разработка методики расчета срока окупаемости собственного источника питания промышленного предприятия на основе газопоршневой установки / Д.А. Кретов, В.Д. Костюков // Фундаментальные исследования. – 2019. – № 8. – С. 42-46. – EDN BNXFNХ.

4. Газопоршневая электростанция 500 кВт (ЭГП 500) АГП 500, ГПУ 500 на ТМЗ 8435, в составе двух установок ГПУ 2\*250 кВт с синхронизацией (0,5 МВт).

©Антонов Н.А., Валеева Ю.С., Варганова А.В., 2025

Научная статья

УДК 634.1-13; 621.313.282

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ УСТРОЙСТВА СЪЁМА ПЛОДОВ

**Сергей Николаевич Антонов<sup>1</sup>, Линара Энверовна Мазина<sup>2</sup>, Вячеслав Владимирович Морин<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет, г. Ставрополь, Россия

<sup>3</sup>ПАО «Сбербанк России», г. Ставрополь, Россия

<sup>1</sup>[antonov\\_serg@mail.ru](mailto:antonov_serg@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8931-269X>

<sup>2</sup>[mazinowal@mail.ru](mailto:mazinowal@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-7999-2497>

<sup>3</sup>[moris.vyacheslav@yandex.ru](mailto:moris.vyacheslav@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье приводится компьютерное моделирование магнитной системы линейного электродвигателя для улучшения тяговых характеристик для электропривода устройства съёма плодов путем разработки новых конструкций магнитных систем. В результате получили оптимальную конструкцию ЛЭД, где в начале рабочего хода якоря тяговая сила равна 165 Н, а

при перемещении якоря в крайнее положение это усилие равно 529 Н (повышение усилия на 120% при перемещении якоря).

**Ключевые слова:** линейный электродвигатель, магнитная система, тяговая характеристика, рациональные геометрические соотношения магнитной системы, вибрационный сбор плодов, садоводство, электротехнологии

**Для цитирования:** Антонов, С.Н. Компьютерное моделирование магнитной системы линейного электродвигателя устройства съёма плодов / С.Н. Антонов, Л.Э. Мазина, В.В. Морин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## COMPUTER SIMULATION OF THE MAGNETIC SYSTEM IN A LINEAR ELECTRIC MOTOR FOR FRUIT HARVESTING EQUIPMENT

Sergey Nikolaevich Antonov<sup>1</sup>, Linara Enverovna Mazinova<sup>2</sup>, Vyacheslav Vladimirovich Morin<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

<sup>3</sup>PJSC Sberbank of Russia, Stavropol, Russia

<sup>1</sup>[antonov\\_serg@mail.ru](mailto:antonov_serg@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8931-269X>

<sup>2</sup>[mazinowal@mail.ru](mailto:mazinowal@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-7999-2497>

<sup>3</sup>[moris.vyacheslav@yandex.ru](mailto:moris.vyacheslav@yandex.ru)

**Annotation.** The article presents computer modeling of the magnetic system of a linear electric motor aimed at improving traction characteristics for the electromechanical drive of a fruit harvesting device through the development of novel magnetic system designs. As a result, an optimal linear electric motor (LEM) configuration was obtained, in which the traction force at the initial stage of the armature stroke is 165 N, while at the end of the stroke, this force reaches 529 N (representing a 120% increase in force during armature displacement).

**Keywords:** linear electric motor, magnetic system, traction characteristic, optimal geometric ratios of the magnetic system, vibrational fruit harvesting, horticulture, electrotechnologies.

**For citation:** Antonov, S.N. Computer simulation of the magnetic system in a linear electric motor for fruit harvesting equipment / S.N. Antonov, L.E. Mazinova, V.V. Morin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Санкционные ограничения актуализировали необходимость создания инновационных инструментов для механизированного сбора яблок в российских садоводческих хозяйствах. Основной акцент делается на разработке новых типов плодосборников – электрических вибрационных устройств с адаптивными режимами работы. Особое внимание уделяется

совершенствованию технических характеристик инструментов: повышению энергоэффективности, снижению травмирующего воздействия на плоды и ветки, а также обеспечению эргономичности оператору. Разрабатываемые решения учитывают специфику российских садовых хозяйств, включая климатические особенности и сортовое разнообразие плодовых культур. Внедрение таких технологичных инструментов позволит существенно повысить производительность труда в садоводстве при сохранении качества продукции. Учёными ранее был проведен анализ зарубежных методов и технических средств уборки яблок, который позволил определить перспективное направление для детального исследования – двухфазную технологию сбора плодов, предназначенных для технической переработки в сырьевых садах [1]. Изучив ранние исследования по решению комплексной научно-технической задачи, связанной с разработкой и оптимизацией силовых электромагнитных приводов для соответствующих устройств в АПК [2] был предложен линейный электродвигатель (ЛЭД) как привод для устройства съёма плодов. В работах [3, 4] было установлено, что эффективность энергопреобразования в ЛЭД зависит от режимных и конструктивных параметров. Функционирование магнитного потока даёт возможность ЛЭД обеспечить рассчитанную силу тяговых характеристик для срыва плода [5] при конструктивных параметрах, соответствующей насыщению магнитной системы двигателя.

Для получения необходимых тяговых характеристик необходимо провести компьютерное моделирование магнитной системы ЛЭД.

Цель статьи – определение оптимальной конструкции ЛЭД с максимальными тяговыми характеристиками для устройства съёма плодов.

**Материалы и методы.** Для реализации поставленной цели необходимо провести компьютерное моделирование магнитной системы для предложенной конструкции ЛЭД в составе конструкции садового устройства для съёма плодов (рис. 1).

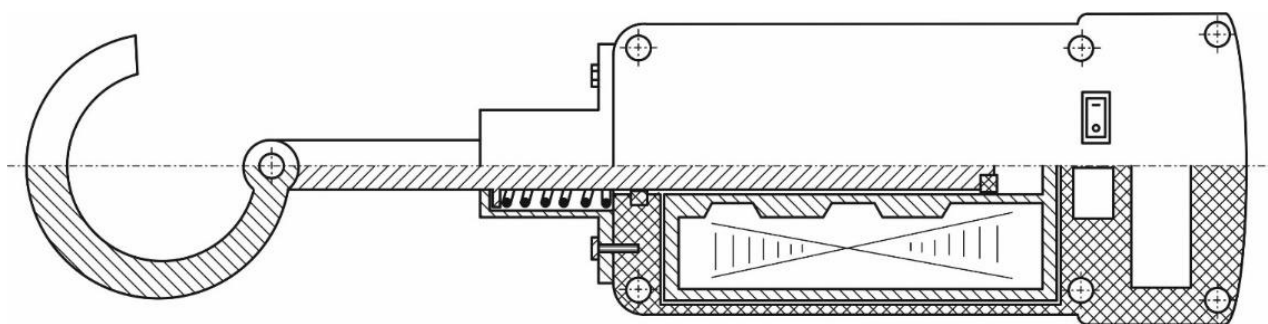


Рисунок 1 – Конструкция садового устройства для съёма плодов на основе линейного электропривода

Чтобы увеличить тяговые характеристики ЛЭД, предлагается оптимизировать конструктивные параметры статора и якоря для большего перераспределения магнитного потока в рабочие зазоры. В программном комплексе ElCut Professional использована двумерная магнитостатическая задача с помощью которой рассчитаны магнитные поля, основной характеристикой которых является магнитная индукция, представляющая собой

векторную величину. Для эффективной работы инструмента нам нужно получить максимальное усилие по перемещению якоря. Одним из параметров для определения рациональной конструкции является изменение сочетание магнитных и немагнитных вставок якоря (рис. 2).

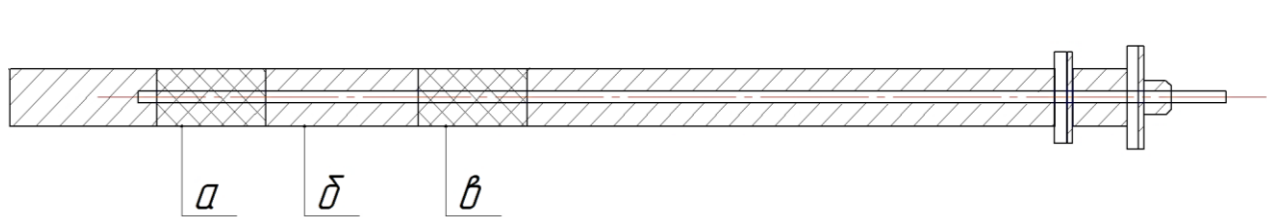


Рисунок 2 – Сочетание магнитных и немагнитных вставок якоря:  
а, в) немагнитные вставки; б) магнитная вставка

Изменение ширины магнитных и немагнитных вставок варьировалось в пределах длины хода якоря. Оптимальными значениями для немагнитных вставок были приняты 20-25 мм, для улучшение тяговых характеристик в начальный момент хода якоря. Длина немагнитной вставки варьировалась 18-23-28 мм, для улучшение тяговых характеристик при каждом шаге якоря.

Вторым конструктивным параметром для компьютерного моделирования было изменение сочетания сужения и нормальной толщины сердечника статора (рис. 3).

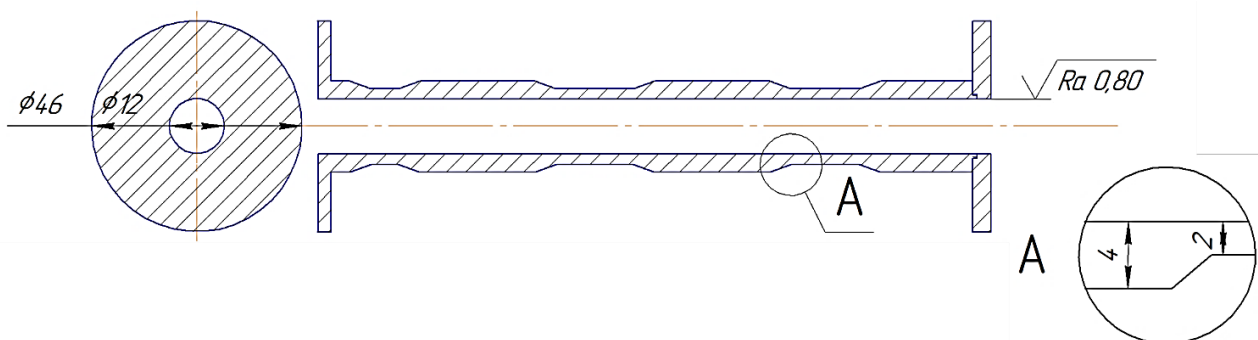


Рисунок 3 – Сочетание сужения и нормальной толщины сердечника статора

Параметры сочетания определены как соотношение сторон: 4-1; 4-2; 3-1; 3-2. Для большего перераспределения магнитной индукции в местах расположения немагнитных вставок якоря.

**Результаты исследования.** Расчет магнитной системы в программном комплексе ElCut Professional сводится к определению магнитного потенциала в узлах элементной сетки, густота, которой влияет на прецизионность решения задачи. В работе были получены и сравнены между собой 16 конструкций ЛЭД для устройства съёма плодов. На рисунке показаны два вида одной конструкции в разный момент решения задачи. Фрагмент «А» (верхняя часть) – это изображение густоты магнитного потенциала в узлах элементной сетки, а «Б» – последующее решение задачи с изображением магнитных полей (рис. 4).

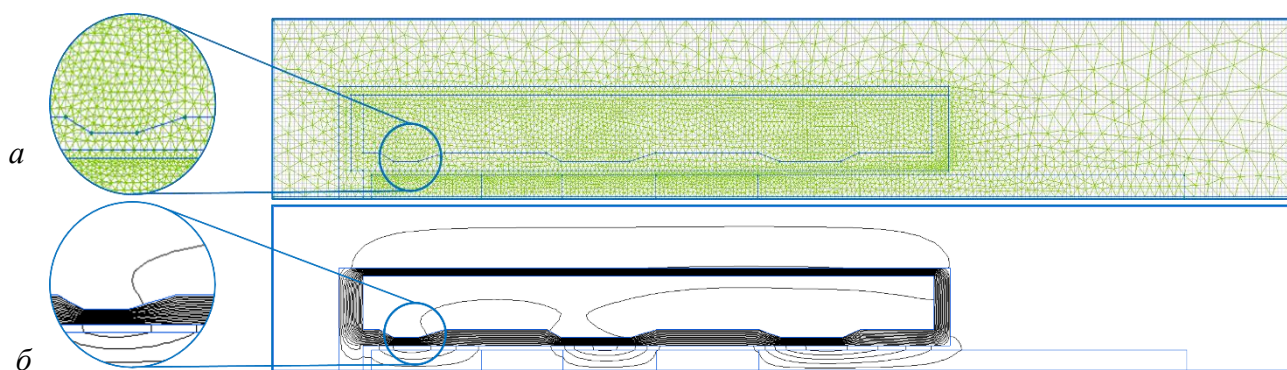


Рисунок 4 – Конструкция ЛЭД для расчет магнитной системы в программном комплексе ElCut Professional: а) конструкция с узлами элементной сетки, б) конструкция с распределением магнитной индукцией

По результатам компьютерного моделирования магнитной системы в программе ElCut Professional получены зависимости влияния этих параметров на значение силы тяги якоря (табл.).

Таблица – Силы тяги якоря при изменении сочетаний магнитных и немагнитных вставок и сочетание сужения и нормальной толщины сердечника статора (верхнее значение в начале рабочего хода якоря; нижнее значение при перемещении в крайнее положение якоря)

| Сочетание сужения и нормальной<br>толщины сердечника статора |              | 1                | 2                | 3                | 4                |
|--------------------------------------------------------------|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                                              |              | 4 – 1            | 4 – 2            | 3 – 1            | 3 – 2            |
| Сочетание магнитных<br>и немагнитных вставок                 |              | 165.03<br>523.94 | 28.775<br>80.769 | 168.23<br>522.25 | 32.866<br>82.2   |
|                                                              |              | 123.53<br>429.56 | 20.576<br>68.034 | 127.17<br>430.31 | 21.47<br>68.296  |
| 3                                                            | 20 – 23 – 25 | 165.38<br>529.8  | 31.64<br>79.983  | 167.69<br>527.39 | 32.112<br>81.181 |
|                                                              |              | 123.22<br>433.9  | 20.396<br>67.114 | 126.52<br>433.96 | 24.062<br>68.922 |

Анализ тяговых характеристик по полученным данным показал 4 оптимальных конструкций ЛЭД для устройства съёма плодов (выделены в таблице цветным контуром). Изучая полученные результаты выбрана, одна конструкция для детального разбора по ходу движения якоря (выделена в таблице синим контуром). По полученным значениям была построена поверхностная диаграмма изменения силы тяги якоря в оптимизированной конструкции ЛЭД (рис. 5).



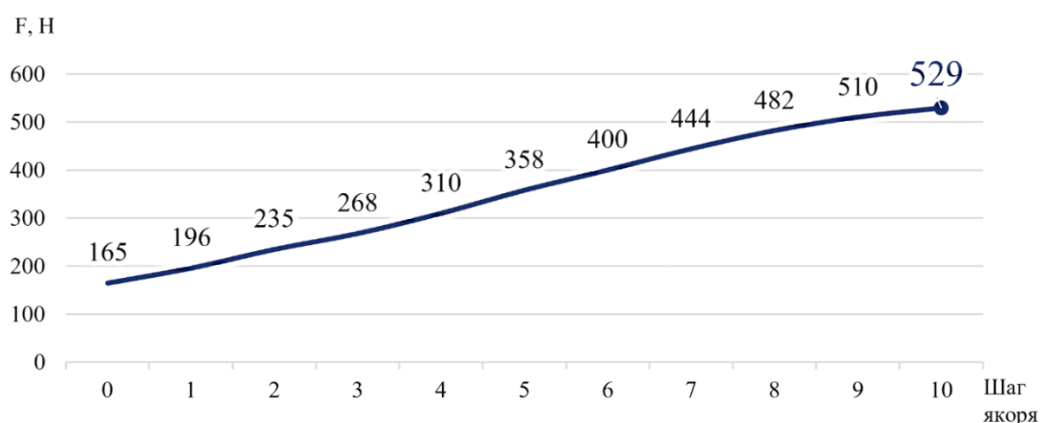


Рисунок 5 – График зависимости изменения силы тяги якоря в сочетании магнитных и немагнитных вставок и сочетание сужения и нормальной толщины сердечника статора

**Заключение.** Определена рациональная конструкция магнитной системы ЛЭД для устройства съема плодов. В ходе компьютерного моделирования магнитной системы определены оптимальные соотношения магнитных и немагнитных элементов якоря в сочетании с сужением и нормальной толщиной статора в магнитной системе ЛЭД, при которых развивается наибольшее усилие силы тяги якоря. Так же для рациональной конструкции были получены числовые значения силы тяги якоря в начале рабочего хода (165 Н) и при перемещении в крайнее положение (529 Н). Построен график зависимости тяговых усилий при перемещении якоря, где визуально виден рост силы на каждом шагу якоря. Таким образом, использование ЛЭД для привода устройства съёма плодов позволяет увеличить силу захватывающего полотна.

### Список источников

1. Хамурзаев, С.М. Механизация уборки яблок перспективных сортов яблони / С.М. Хамурзаев, И.И. Лабазанов. – Известия чеченского государственного университета им. А.А. Кадырова, 2023. – с. 12-17.
2. Каргин, В.А. Повышение эффективности технических средств для процессов и технологий АПК использованием машин с линейным электромагнитным приводом : дис. ... д-р. тех. наук. : 05.20.02 / Каргин Виталий Александрович; Саратовский ГАУ – Саратов, 2020. – 375 с.
3. Мазинова, Л.Э. Математическое моделирование магнитной системы линейного электродвигателя устройства для сбора плодов и ягод на основе линейного электропривода / Л.Э. Мазинова, С.Н. Антонов. – Современные исследования как ответ на вызовы нового времени, 2023. – с. 121-125.
4. Мазинова, Л.Э. Оптимизация конструкции линейного электродвигателя для устройства сбора плодов и ягод / Л.Э. Мазинова, С.Н. Антонов. – Молодая наука аграрного дона: традиции, опыт, инновации, №7. 2023. – с. 34-38.
5. Апажев, А.К. Исследование режимов работы плодуборочных машин / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев. – Известия кабардино-балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова, №1 (27). 2020. – С. 75-79.

## РАЗРАБОТКА КОРПУСА ДЛЯ УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА ВОДЫ

Валерия Константиновна Апасеева<sup>1</sup>, Антон Павлович Ищенко<sup>2</sup>, Александр Иванович Шематурин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Финансово-технологический колледж ФГБОУ ВО Вавиловский университет, г. Саратов, Россия

<sup>2,3</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[leraapaseeva@mail.ru](mailto:leraapaseeva@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-4588-7824>

<sup>2</sup>[Familienname@yandex.ru](mailto:Familienname@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3188-8199>

<sup>3</sup>[lyboi222@mail.ru](mailto:lyboi222@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4421-576X>

**Аннотация.** В статье представлена теоретическая разработка конструкции корпуса устройства для мониторинга качества воды. Рассматриваются функциональные и эксплуатационные требования к корпусу, обоснование выбора материалов, особенности проектирования герметичной конструкции, а также предлагается концептуальная модель устройства. Работа ориентирована на создание основы для последующей реализации опытного образца.

**Ключевые слова:** мониторинг воды, корпус устройства, герметизация, конструирование, водозащитная оболочка.

**Для цитирования:** Апасеева, В.К. Разработка корпуса для устройства мониторинга воды / В.К. Апасеева, А.П. Ищенко, А.И. Шематурин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## DEVELOPMENT OF A CASING FOR A WATER MONITORING DEVICE

Valeria Konstantinovna Apaseeva<sup>1</sup>, Anton Pavlovich Ishchenko<sup>2</sup>, Alexandr Ivanovich Shematurin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>College of Finance and Technology Saratov State Agrarian University N. I. Vavilova, Saratov, Russia

<sup>2,3</sup>Saratov State Agrarian University N. I. Vavilova, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[leraapaseeva@mail.ru](mailto:leraapaseeva@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-4588-7824>

<sup>2</sup>[Familienname@yandex.ru](mailto:Familienname@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3188-8199>

<sup>3</sup>[lyboi222@mail.ru](mailto:lyboi222@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4421-576X>

**Annotation.** The article presents a theoretical development of the design of a housing for a water quality monitoring device. Functional and operational requirements for the housing are discussed, along with the rationale for material selection, features

of designing a sealed structure, and a conceptual model of the device is proposed. The work is aimed at creating a foundation for subsequent implementation of a prototype.

**Keywords:** water monitoring, device housing, sealing, design, water protection

**For citation:** Apaseeva, V.K. Development of a housing for a water monitoring device / V.K. Apaseeva, A.P. Ishchenko, A.I. Shematurin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Контроль качества воды является важной задачей в сфере охраны окружающей среды, особенно в условиях урбанизации и промышленного воздействия на водные ресурсы. С развитием технологий интернета стало возможным создание компактных, энергоэффективных устройств, предназначенных для постоянного мониторинга параметров воды, таких как температура, уровень pH, электропроводность и другие [1, 2].

Ключевым элементом надёжной работы подобных устройств является грамотно спроектированный корпус. Он должен защищать внутренние компоненты от влаги, пыли, перепадов температур и ультрафиолетового излучения, особенно при длительной эксплуатации на открытом воздухе. При этом важно учитывать особенности размещения устройства – на берегу, вблизи водоёма или на плавающей платформе, без полного погружения в воду [3].

Данная работа направлена на теоретическую разработку корпуса устройства для мониторинга воды, с акцентом на защиту от внешней среды и удобство монтажа.

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

**Результаты исследования.** Разработка корпуса для устройства мониторинга воды представляет собой важный этап в проектировании экологических и инженерных систем наблюдения. Современные задачи охраны окружающей среды, особенно в контексте глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия на водные объекты, требуют оперативного и точного контроля водных ресурсов. Одним из эффективных инструментов такого контроля становятся автоматизированные устройства, способные собирать данные о физических и химических параметрах воды в реальном времени. Однако эффективность и долговечность подобных устройств напрямую зависят от надёжности их конструкции, а в особенности – от грамотно спроектированного корпуса.

Корпус выполняет сразу несколько ключевых функций: он защищает электронику и датчики от неблагоприятных внешних воздействий, обеспечивает механическую устойчивость устройства, а также влияет на удобство монтажа, транспортировки и технического обслуживания. При проектировании корпуса необходимо учитывать множество факторов: климатические условия региона, тип и характеристики водоёма, характер размещения устройства, а также предполагаемая продолжительность эксплуатации.

Одним из важнейших требований к корпусу является его устойчивость к влаге и пыли. Даже если устройство не предполагает полного погружения в воду, оно всё равно может подвергаться воздействию дождя, брызг, конденсата и высокой влажности. Поэтому корпус должен соответствовать определённому классу защиты, как минимум IP65, а в идеале — иметь специальные вентиляционные мембраны, предотвращающие накопление конденсата, но не пропускающие воду внутрь. Кроме того, необходимо обеспечить стойкость к ультрафиолетовому излучению, особенно если устройство будет находиться под открытым небом длительное время. Это особенно важно при использовании полимерных материалов, таких как поликарбонат или ABS-пластик, которые со временем могут терять прочностные характеристики под действием солнечного света.

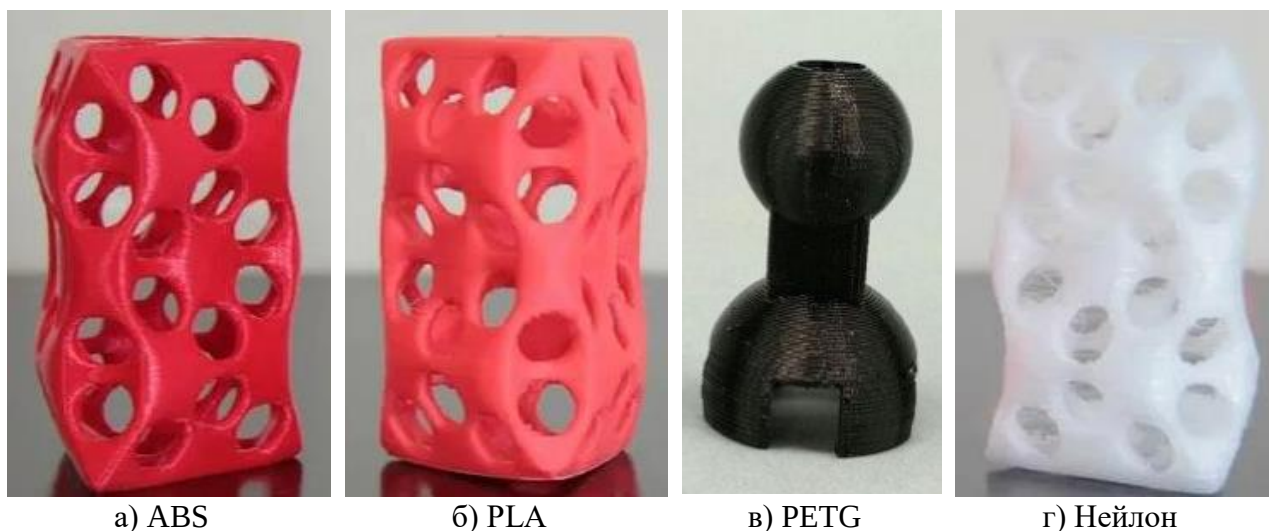


Рисунок 1 – Качество печати разным пластиком

Подходящие материалы для корпуса:

- Поликарбонат (PC): Высокая прочность, устойчивость к ультрафиолетовому излучению, прозрачность (можно использовать для окон или крышек). Хорошо выдерживает температурные колебания.
- ABS-пластик: Лёгкий, прочный, термостойкий. Применяется в корпусах электроники. Может потребовать дополнительной защиты от УФ-излучения.
- Полиамид (нейлон): Обладает хорошей механической прочностью и влагостойкостью. Подходит для деталей, подвергающихся нагрузке.
- Алюминий: Лёгкий металл с высокой теплопроводностью, устойчив к коррозии (при наличии анодирования). Используется для корпусов с дополнительной защитой и пассивным охлаждением.

Из перечисленных материалов по цене и качеству нам больше всего подходят пластики для использования на 3D принтере [4, 5]. Примерный внешний вид корпуса может получиться в зависимости от модели пластика ABS, PLA или PETG, нейлон. Внешний вид печати на этих пластиках показано на рис. 1.

Также существенную роль играют вопросы теплового режима. Электронные компоненты и сенсоры могут быть чувствительны к перегреву, особенно в условиях прямого солнечного облучения. В конструкции корпуса

следует предусмотреть пассивные элементы охлаждения – например, вентиляционные отверстия, теплоотводящие вставки или светоотражающее покрытие. Если устройство будет использоваться в регионах с суровым климатом, важно также обеспечить термозащиту при низких температурах, возможно – с использованием теплоизоляционных материалов или встроенного обогрева.

Особое внимание следует уделить размещению сенсоров. Для корректной работы датчиков требуется, чтобы определённые элементы корпуса были открыты для контакта с воздухом или каплями воды – при этом нужно предотвратить попадание воды внутрь. Это можно реализовать с помощью специальных кожухов, герметичных вводов или сетчатых защит. Конструкция должна также предусматривать лёгкий доступ к сенсорам и элементам питания для обслуживания или замены без необходимости полного демонтажа устройства.

Исходя из перечисленных требований к конструкции корпуса, нами было выполнено моделирование плавучего корпуса в САПР Компас 3Д. На рис. 2 показана модель первого прототипа нашего устройства.

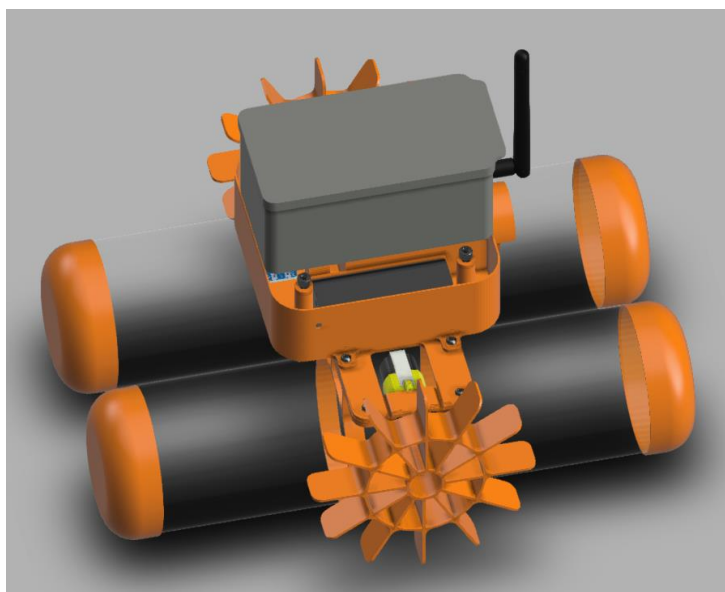


Рисунок 2 – Экспериментальная конструкция устройства

**Заключение.** Разработка корпуса для устройства мониторинга воды является важным этапом создания надёжной и долговечной измерительной системы, способной эффективно функционировать в условиях окружающей среды. Грамотно спроектированный корпус обеспечивает защиту электронных компонентов от влаги, пыли, перепадов температур и ультрафиолетового излучения, а также способствует удобству монтажа, эксплуатации и обслуживания устройства. В рамках данной работы были рассмотрены основные требования к конструкции корпуса, обоснован выбор материалов и предложены инженерные решения, ориентированные на использование устройства в наземных и прибрежных условиях без его полного погружения в воду.

Теоретическая модель корпуса может служить основой для последующего прототипирования и экспериментальной оценки характеристик. В дальнейшем

планируется изготовление физического прототипа корпуса и проведение испытаний в реальных условиях эксплуатации

### Список источников

1. Pires, I.M. Validation Techniques for Sensor Data in Mobile Health Applications / I.M. Pires, N. M. Garcia, N. Pombo, F. Flórez-Revuelta, and N. D. Rodríguez // Journal of Sensors, vol. 2016, pp. 1-9, 2016, doi: 10.1155/2016/2839372. <https://www.hindawi.com/journals/js/2016/2839372/>.
2. Karlsruhe Institute of Technology. «Smart buoy for measuring water pollutants» ScienceDaily. ScienceDaily, 8 September 2016. – URL: [www.sciencedaily.com/releases/2016/09/160908084035.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2016/09/160908084035.htm)
3. Буйковый многопараметрический монитор MPF-3099: официальный сайт. – 2025. – URL: <https://www.boquinstrument.com/buoy-multi-parameters-monitor-mpf-3099.html>
4. Коваленко, Р.В. Современные полимерные материалы и технологии 3D печати / Р.В. Коваленко // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-polimernye-materialy-i-tehnologii-3d-pechati>
5. 3D Printer Geeks, «Is pla water resistant?» 3dPrinterGeeks.com, 04-Oct-2019. [Online]. – URL: <https://3dprintergeeks.com/pla-water-resistant/>.

© Апасеева В.А., Ищенко А.П., Шематурин А.И., 2025

Научная статья  
УДК 631.21

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИММИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

**Виктория Сергеевна Афанасьева<sup>1</sup>, Николай Сергеевич Баракин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГКОУ Ставропольское президентское кадетское училище

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина

<sup>1</sup>[e-mail: avs\\_25@mail.ru](mailto:avs_25@mail.ru).

<sup>2</sup>[barakin85@mail.ru](mailto:barakin85@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0000-5086-2360>.

**Аннотация.** Статья описывает процесс создания имитационной модели для расчёта мощности солнечных панелей и размера емкости аккумуляторов в автономных солнечных энергосистемах. Модель учитывает необходимость сохранения энергетического баланса в соответствии с заданными рабочими параметрами. После внедрения солнечной энергосистемы такое моделирование помогает анализировать её генерацию мощности, в частности, при переменных нагрузках – установка УДС-3.

**Ключевые слова:** Солнечная электростанция, переменная нагрузка, установка УДС-3, совместная работа.



**Для цитирования:** Афанасьева, В.С. Результаты имитационного моделирования солнечной электростанции / В.С. Афанасьева, Н. С. Баракин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **SIMULATION RESULTS OF A SOLAR POWER PLANT**

**Victoria Sergeevna Afanasyeva<sup>1</sup>, Nikolai Sergeevich Barakin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>FGKOU Stavropol Presidential Cadet School

<sup>2</sup>Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin

<sup>1</sup>[e-mail: avs\\_25@mail.ru](mailto:avs_25@mail.ru).

<sup>2</sup>[barakin85@mail.ru](mailto:barakin85@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0000-5086-2360>.

**Annotation.** The article describes the process of creating a simulation model for calculating the power of solar panels and the size of battery capacity in autonomous solar power systems. The model takes into account the need to maintain the energy balance in accordance with the specified operating parameters. After the introduction of a solar power system, such modeling helps to analyze its power generation, in particular, under variable loads – the UDS-3 installation.

**Keywords:** Solar power plant, variable load, UDS-3 installation, joint work.

**For citation:** Afanasyeva, V.S. Results of Simulation modeling of a Solar power plant / V.S. Afanasyeva, N. S. Barakin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Несмотря на высокую стоимость источников энергии на базе солнечных фотоэлементов находят широкое применение в агропромышленном секторе. Использование солнечных электростанций позволяет осуществлять электроснабжения удаленных объектов сельского хозяйства, а также решить проблему дефицита мощности в случае необходимости её увеличения. Применение автономных источников на традиционном топливе решает проблему электроснабжения таких объектов, однако требуется регулярный подвоз топлива для их работы, а срок эксплуатации их ограничивается низким моторесурсом. С учетом вышеперечисленных факторов применения солнечных электростанций становится экономически эффективным решением. Также возможно рассмотреть техническое решение с комбинированным электроснабжением от солнечной электростанции и других генерирующих установок. Проектирование солнечных электростанций осложняется учетом многих факторов (помимо экономических) – таких как поступления солнечной радиации, характеристик аккумуляторных батарей с учетом переменной нагрузки. Необходимо рассматривать совместную работу фотопанелей ФЭП солнечной электростанции, аккумуляторов и инвертора на переменную нагрузку с учетом погодных условий (поступление солнечной

радиации в течении времени работы) [3]. Производителем солнечных электростанций представляется упрощенный расчет для выбора электростанции в виде онлайн калькуляторов, однако, он не учитывает изменяющиеся электрические характеристики элементов и переходные процессы в электрической схеме.

**Материалы и методы.** На сегодняшний день прикладные программы такие как SimInTech позволяют создавать имитационные компьютерные модели солнечных электростанций в виде математических блоков схемы. Так блок, описывающий работу фотопанели описывается следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \beta = \frac{\frac{I_{sc}}{I_{sc} + I_{mp}} + \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)}{2U_{mp} - U_{oc}}; R_s = \frac{U_{oc} - U_{mp} + \frac{1}{\beta} \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)}{I_{mp}}; \\ I_s = \frac{I_{sc}}{\exp(\beta U_{oc}) - 1}; V_{tr} = \frac{kT_r}{q}; N = \frac{1}{\beta V_{tr}}. \end{cases} \quad (1)$$

где  $R_s$  – последовательное сопротивление фотоэлемента;  $I_{sc}$  – ток короткого замыкания;  $P_{mp}$  – максимальная мощность солнечной панели;  $I_{mp}$  – ток при максимальной мощности;  $U_{mp}$  – напряжение при максимальной мощности;  $U_{oc}$  – напряжение холостого хода,  $I_s$  – ток насыщения;  $V_{tr} = kT/q$  – тепловой потенциал,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура;  $q$  – заряд электрона.

При этом есть возможность создавать функцию изменения интенсивности излучения в течении суток виде функции сигнала поступающего на блок ФЭП. В работе [1, 2] подробно рассматривалась система электроснабжения предприятий АПК с использованием ВИЭ. В данной работе эта компьютерная модель (рис. 1) модернизирована, где в качестве переменной нагрузки рассматривается установки УДС-3 [1].

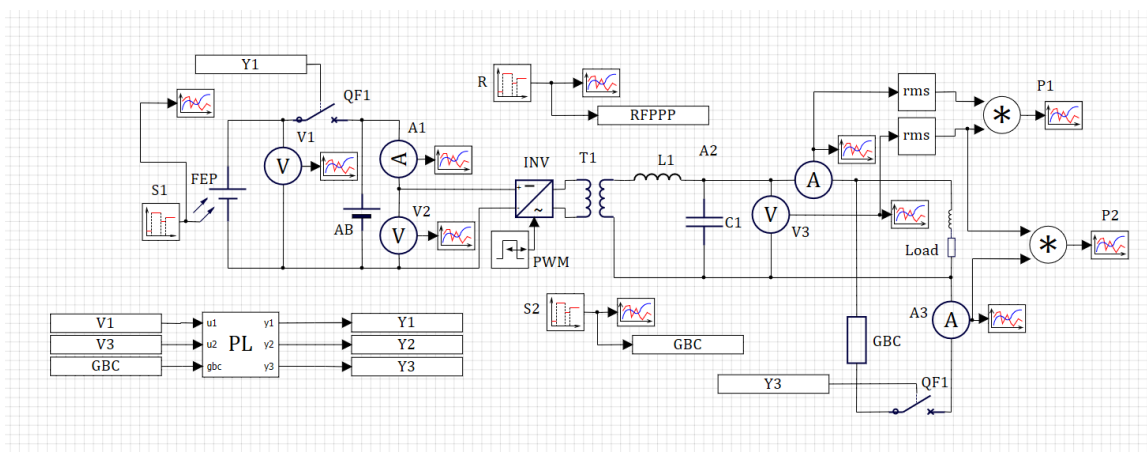


Рисунок 1 – Имитационная компьютерная модель солнечной электростанции работающей на переменную нагрузку УДС-3

Добавлен блок программирования PL для регулирования напряжения – позиционный регулятор. Для технологических нужд необходим нагрев воды – добавлена нагрузка в виде нагревателя GBC, график нагрузки нагревателя определяется функцией блока S2.

**Результаты исследования.** При моделировании рассматривается совместная работа фотопанели мощностью 9 кВт (FEP), аккумуляторов емкостью 600 Ач (AB) и инвертора (INV) на переменную нагрузку (установка УДС-3 и нагреватель). Напряжение номинальное солнечной электростанции 48 В, инвертор и LC фильтр преобразует напряжение в переменное 220 В. Измерительные блоки амперметры A1-3 и вольтметры V1-3 позволяют определить электрические параметры установки, блоками RMS и блоком «умножитель» вычисляется потребляемая и генерируемая мощность. Максимальное потребление появляется в момент включения доильных аппаратов – мощность 5 кВт (сопротивление нагрузки 9 Ом), в течении суток возможно включение другого электрооборудования – системы освещения, электроинструмент и нагревательные установки. (рис. 2). Выходное напряжение при изменении нагрузки варьируется от 218 до 224 В. (рис. 3). ИКМ позволяет рассмотреть изменение генерируемой мощности солнечной электростанции (рис. 4) – генерируемая мощность не превышает 5,3 кВт и зависит от интенсивности поступления солнечного излучения (функция задана в блоке S1 согласно погодным условиям августа г. Краснодара).

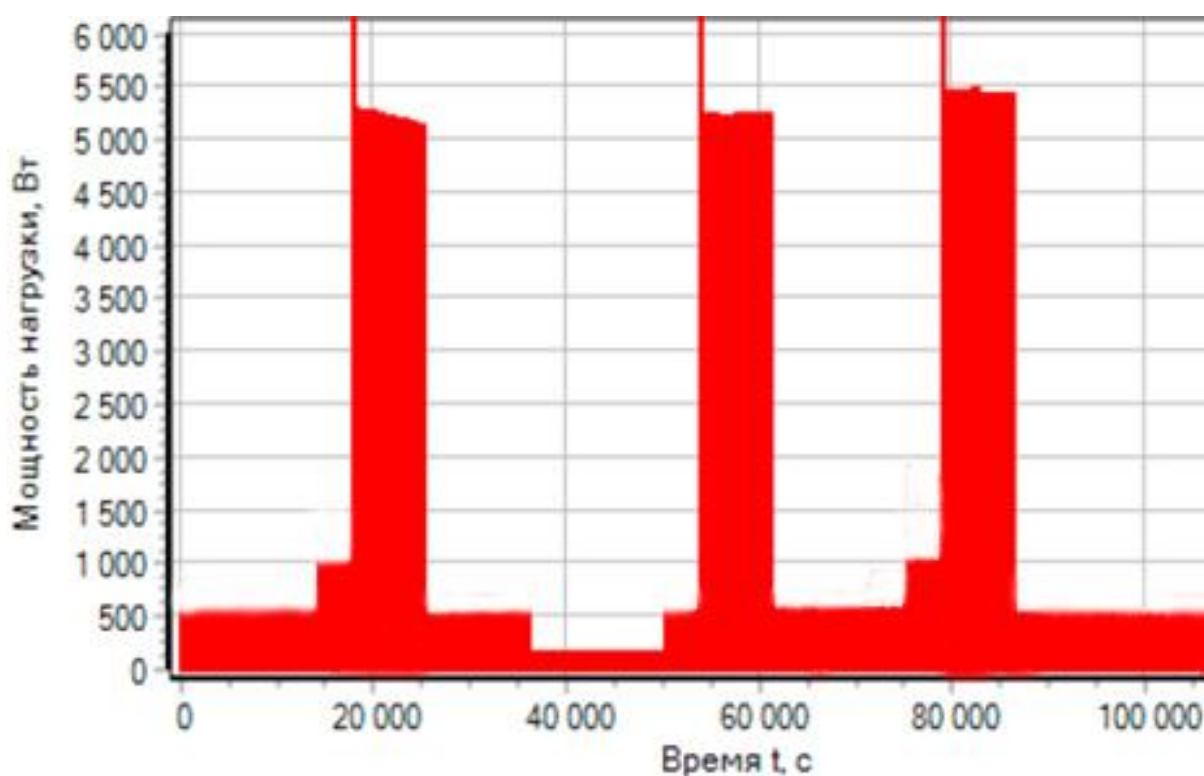


Рисунок 2 – Результат имитационного моделирования солнечной электростанции – график электрической нагрузки УДС-3

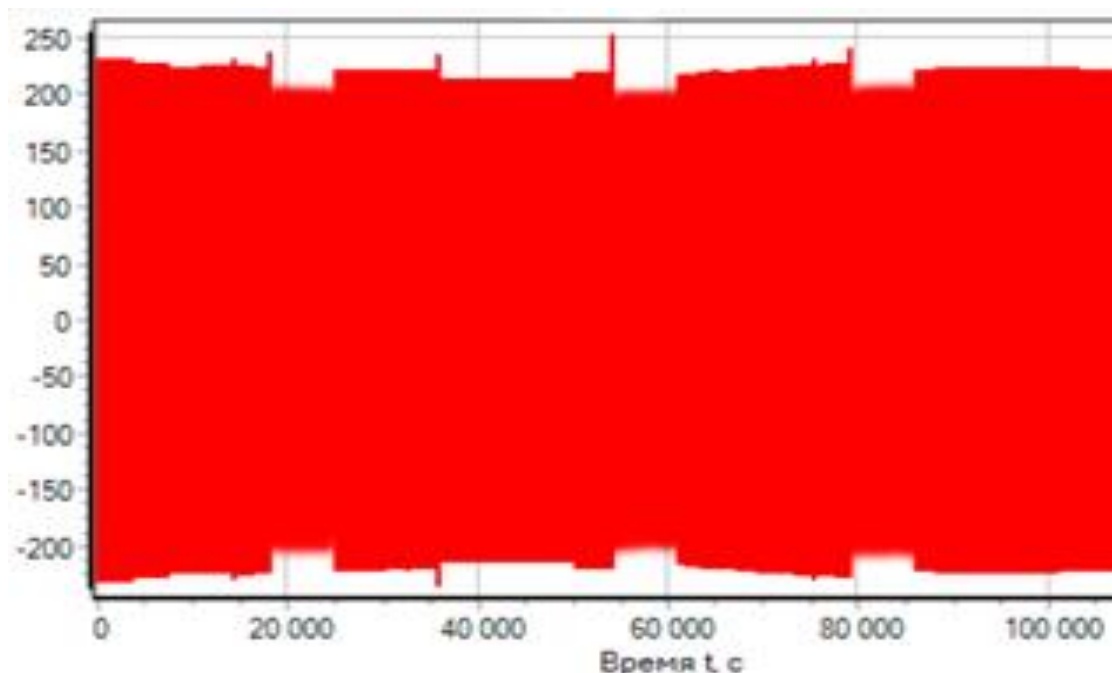


Рисунок 3 – Результат имитационного моделирования солнечной электростанции – график напряжения на электрической нагрузке УДС-3

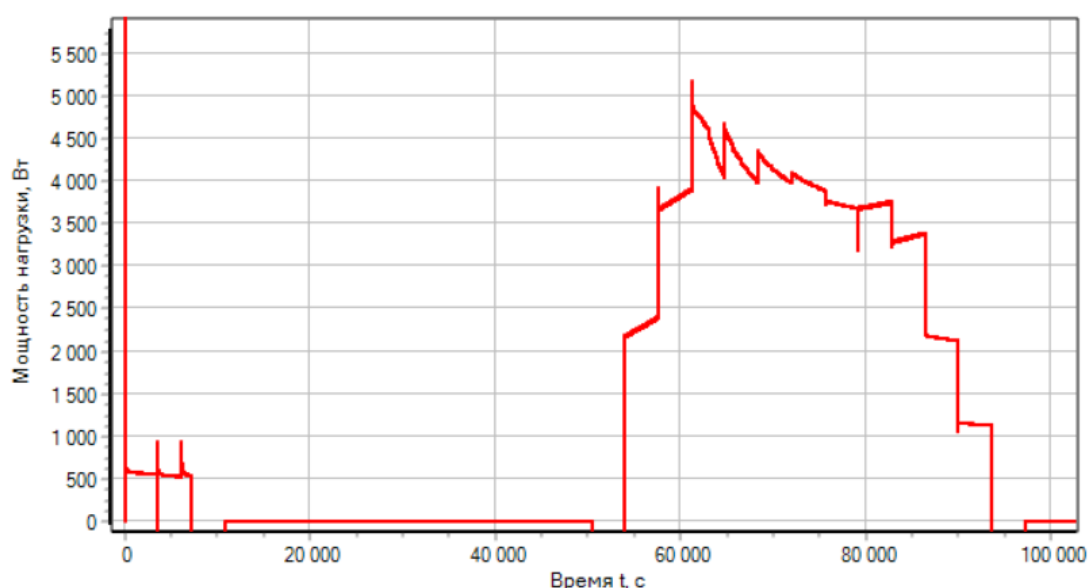


Рисунок 4 – Результат имитационного моделирования солнечной электростанции – график изменения генерирующей мощности ФЭП

Из рис. 4 также видно, что генерируемая мощность от ФЭП расходуется не только на нагрузку, но и на заряд аккумуляторов, которые покрывают дефицит мощности в темное время суток.

**Заключение.** Модернизированная компьютерная модель солнечной электростанции для электроснабжения установки УДС-3 позволяет имитировать совместную работу фотопанели мощностью 9 кВт, аккумуляторов емкостью 600 Ач и инвертора на переменную нагрузку (установка УДС-3 и нагреватель). Генерируемая мощность ФЭП не превышает 5,3 кВт. Напряжение на нагрузке не превышает 224 В и не падает ниже 218 В за счет смоделированного позиционного регулятора.

### Список источников

1. Афанасьева, В. С. Моделирование солнечной электростанции в программе SIMINTECH / В.С. Афанасьева, Н.С. Баракин // 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. 29-34.
2. Баракин, Н. С. Моделирование ветроэнергетической установки в программе SimInTech / Н.С. Баракин, С.В. Оськин, Д.А. Овсянников, Д.А. Таранов // Сельский механизатор. – 2023. – № 5. – С. 35-37. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-5-35-36-37.
3. Колосов, Р.В. Моделирование солнечных батарей / Р.В. Колосов // Интеллектуальная электротехника. – 2019. – № 2. – С. 85-93.

© Афанасьева В.С., Баракин Н. С., 2025

Научная статья  
УДК 620.91:631

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**Динара Еркиновна Аханова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,  
г.Уральск, Казахстан,

<sup>1</sup>[clever\\_-92@mail.ru](mailto:clever_-92@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9134-6001>

**Аннотация.** В условиях роста цен на энергоносители и необходимости повышения энергоэффективности сельскохозяйственного производства особую актуальность приобретает использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В статье рассматриваются возможности и перспективы внедрения солнечной, ветровой и биогазовой энергетики в агропромышленном комплексе. Приведён анализ экономической эффективности ВИЭ по сравнению с традиционными источниками энергии. Раскрыты преимущества внедрения ВИЭ в сельском хозяйстве, включая снижение эксплуатационных затрат, энергонезависимость удалённых хозяйств, снижение углеродного следа. Представлены примеры успешной реализации проектов в Республике Казахстан и за рубежом. Проведён анализ барьеров, сдерживающих внедрение возобновляемых источников, таких как высокие первоначальные затраты, недостаток инфраструктуры и нехватка квалифицированных кадров. Также описаны современные технологии ВИЭ и уровень их интеграции в аграрные процессы. Подчёркивается значение государственной поддержки, международного сотрудничества и инновационного подхода в трансформации энергетической системы АПК. Приведены рекомендации по стимулированию инвестиций, обучению специалистов и модернизации инфраструктуры. Статья

предлагает комплексный подход к переходу аграрного сектора на устойчивую энергетику, включая разработку региональных программ и учет климатических и социально-экономических особенностей. Сделан акцент на важности внедрения цифровых решений и смарт-управления в агроэнергетике для повышения эффективности.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, агроэнергетика, солнечные панели, ветроэнергетика, биогазовые установки, энергоэффективность, АПК, устойчивое развитие.

**Для цитирования:** Аханова, Д.Е. Использование возобновляемых источников энергии на сельскохозяйственных предприятиях / Д.Е. Аханова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN AGRICULTURAL ENTERPRISES

**Dinara Yerkinova Akhanova<sup>1</sup>,**

<sup>1</sup>West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Kazakhstan,

<sup>1</sup>[clever\\_-92@mail.ru](mailto:clever_-92@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9134-6001>

**Annotation.** In the context of rising energy prices and the need to improve the energy efficiency of agricultural production, the use of renewable energy sources (RES) is becoming particularly relevant. The article discusses the possibilities and prospects for the introduction of solar, wind and biogas energy in the agro-industrial complex. The analysis of the economic efficiency of renewable energy sources in comparison with traditional energy sources is presented. The advantages of introducing renewable energy in agriculture are revealed, including reduced operating costs, energy independence of remote farms, and reduction of the carbon footprint. Examples of successful implementation of projects in the Republic of Kazakhstan and abroad are presented. The analysis of barriers hindering the introduction of renewable sources, such as high initial costs, lack of infrastructure and lack of qualified personnel, is carried out. Modern renewable energy technologies and the level of their integration into agricultural processes are also described. The importance of state support, international cooperation and an innovative approach in the transformation of the agro-industrial complex energy system is emphasized. Recommendations on investment promotion, training of specialists and modernization of infrastructure are given. The article offers a comprehensive approach to the transition of the agricultural sector to sustainable energy, including the development of regional programs and consideration of climatic and socio-economic characteristics. The emphasis is placed on the importance of implementing digital solutions and smart management in the agro-energy sector to increase efficiency.

**Keywords:** renewable energy sources, agroenergy, solar panels, wind power, biogas plants, energy efficiency, agriculture, sustainable development.



**For citation:** Akhanova, D.E. The Use of Renewable Energy sources in Agricultural Enterprises / D.E. Akhanova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современное сельское хозяйство сталкивается с рядом вызовов, среди которых особенно остро стоит вопрос обеспечения энергетической безопасности и повышения энергоэффективности аграрного производства. Традиционные источники энергии, такие как уголь, нефть и природный газ, не только истощаются, но и оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду. В условиях глобального потепления и ужесточения экологических стандартов всё больше стран стремятся перейти к использованию чистых и устойчивых источников энергии. В этом контексте сельскохозяйственный сектор, особенно в странах с высокими ресурсами возобновляемой энергии, таких как Казахстан, имеет уникальные возможности для внедрения инновационных энергетических решений.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ), включая солнечную, ветровую, гидроэнергетику и биомассу, обладают большим потенциалом для удовлетворения энергетических потребностей сельхозпредприятий. Их применение позволяет снизить зависимость от централизованных систем электроснабжения, особенно в отдалённых и труднодоступных регионах, повысить устойчивость производства к внешним экономическим и климатическим рискам, а также значительно сократить углеродный след аграрного производства [1].

Актуальность темы обусловлена не только экологическими, но и экономическими факторами: по мере удешевления технологий ВИЭ возрастает их доступность для среднего и малого агробизнеса. Более того, государственная поддержка в виде субсидий, налоговых льгот и инвестиционных программ способствует ускоренному распространению альтернативной энергетики в аграрном секторе. Однако, несмотря на очевидные преимущества, темпы внедрения ВИЭ в сельском хозяйстве остаются низкими. Это связано с рядом барьеров, включая отсутствие инфраструктуры, недостаточную осведомлённость фермеров, высокие начальные инвестиции и нехватку специалистов.

Основная цель статьи – исследовать потенциал и направления использования возобновляемых источников энергии на сельхозпредприятиях Казахстана, выявить ключевые проблемы и барьеры внедрения ВИЭ, а также разработать рекомендации по расширению их использования. Анализ проводится с использованием системного и междисциплинарного подхода, охватывающего как технологические, так и социально-экономические аспекты. Практическая значимость исследования заключается в определении эффективных моделей интеграции ВИЭ в агропромышленный комплекс с учётом климатических, экономических и инфраструктурных условий регионов.

**Материалы и методы исследования.** Методологическая основа настоящего исследования строится на комплексном междисциплинарном подходе, сочетающем качественные и количественные методы анализа. В рамках исследования применялись следующие основные методы:

1. Анализ нормативно-правовой базы – исследование государственных стратегий, программ и регламентирующих документов, касающихся энергетической политики в аграрном секторе, включая законы Республики Казахстан, регулирующие вопросы использования ВИЭ.

2. Статистический анализ – обработка данных Агентства по стратегическому планированию, Комитета по статистике РК, а также международных организаций (IRENA, FAO) по объемам и структуре энергопотребления в сельском хозяйстве.

3. Контент-анализ научных и отраслевых публикаций – изучение отечественной и зарубежной научной литературы, посвящённой вопросам внедрения ВИЭ в сельскохозяйственном производстве, техническим характеристикам оборудования, экономической эффективности и экологическим аспектам.

4. Экспертные интервью – проведение опроса среди специалистов в области агроэнергетики, руководителей сельхозпредприятий и инженеров по эксплуатации солнечных и биогазовых установок. Полученные экспертные мнения позволили объективно оценить состояние отрасли и выявить наиболее острые проблемы.

5. Метод кейс-стади (анализ кейсов) – рассмотрение конкретных примеров внедрения ВИЭ на сельхозпредприятиях Казахстана и сопредельных стран. Были проанализированы проекты солнечных электростанций в Южно-Казахстанской области, использование биогазовых установок на животноводческих фермах, а также применение ветровых генераторов в степных регионах.

6. SWOT-анализ – для оценки сильных и слабых сторон, а также возможностей и угроз, связанных с реализацией проектов ВИЭ в сельском хозяйстве.

7. Картографический метод – визуализация регионального распределения потенциала ВИЭ (солнечной и ветровой активности) с использованием ГИС-технологий для определения приоритетных зон внедрения.

Использование данных методов позволило провести комплексный анализ текущего состояния, перспектив и барьеров на пути развития возобновляемой энергетики в аграрной отрасли, выявить региональные особенности и сформулировать рекомендации по масштабированию успешных практик.

**Основные результаты.** Результаты исследования показали, что наибольший потенциал для использования возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве Казахстана имеют солнечная и биогазовая энергетика. Солнечные установки особенно эффективны в южных и западных регионах страны, где среднегодовая инсоляция составляет свыше 2500 часов. Биогазовые установки нашли успешное применение на животноводческих фермах, позволяя утилизировать отходы и одновременно получать тепло и электроэнергию.

В табл. 1 представлены данные по числу проектов ВИЭ, реализованных на сельхозпредприятиях Казахстана в 2020-2024 годах.

Таблица – Динамика внедрения проектов ВИЭ в сельском хозяйстве Казахстана

| Год  | Солнечные установки | Биогазовые комплексы | Ветровые установки |
|------|---------------------|----------------------|--------------------|
| 2020 | 18                  | 6                    | 3                  |
| 2021 | 26                  | 9                    | 4                  |
| 2022 | 33                  | 12                   | 5                  |
| 2023 | 41                  | 15                   | 6                  |
| 2024 | 48                  | 19                   | 7                  |

На рис. 1 представлена диаграмма, отражающая рост доли ВИЭ в энергобалансе сельхозпредприятий Казахстана.

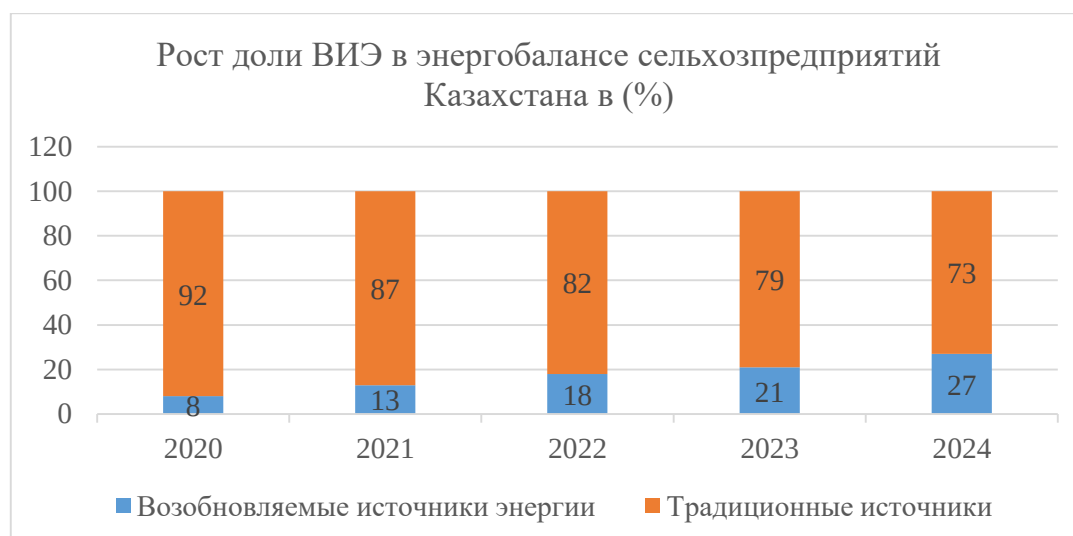


Рисунок 1 – Рост доли ВИЭ в энергобалансе сельхозпредприятий Казахстана (в %)

Диаграмма на рис. 1 иллюстрирует положительную динамику роста доли возобновляемых источников энергии в структуре энергопотребления сельхозпредприятий Казахстана за период с 2020 по 2024 год. Если в 2020 году доля ВИЭ составляла лишь около 8%, то к 2024 году этот показатель увеличился до 27%. Особенно заметен скачок между 2022 и 2023 годами, что связано с реализацией ряда программ государственной поддержки и участием в международных климатических инициативах. Доля традиционных источников энергии, соответственно, снизилась с 92% в 2020 году до 73% в 2024 году, что свидетельствует о медленном, но устойчивом переходе аграрного сектора на более экологичные технологии [2].

Рост числа объектов ВИЭ свидетельствует о позитивной динамике в сфере агроэнергетики. При этом наиболее быстро развивающимся направлением остаётся солнечная энергетика – благодаря простоте установки, снижению стоимости панелей и масштабируемости проектов.

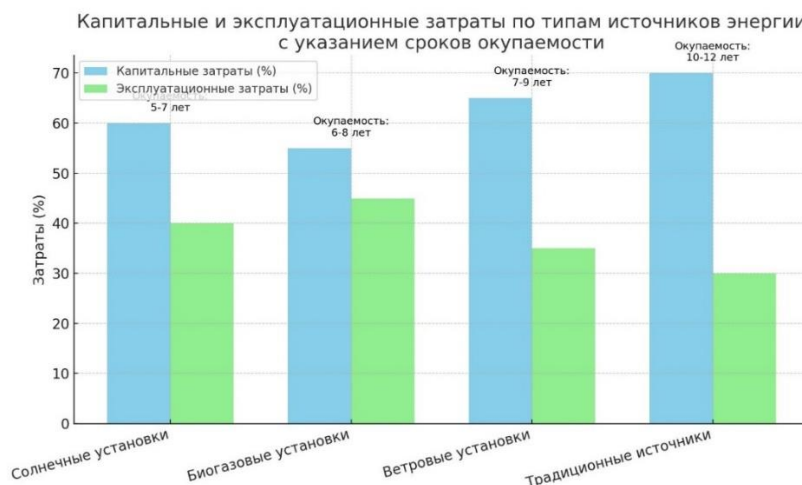


Рисунок 2 – Экономическая эффективность ВИЭ по сравнению с традиционными источниками энергии

Диаграмма демонстрирует сравнительный анализ экономической эффективности различных видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ), применяемых в сельском хозяйстве Казахстана. Показатели отражают уровень капитальных и эксплуатационных затрат, а также срок окупаемости каждого типа установки [3].

- *Солнечные установки* обеспечивают в среднем до 45% экономии затрат на электроэнергию по сравнению с традиционными источниками. Их капитальные затраты составляют 60%, а эксплуатационные – 40%, при этом срок окупаемости варьируется от 5 до 7 лет. Особенно высокую эффективность они демонстрируют в южных и западных регионах страны, где уровень солнечной инсоляции наиболее высокий. Системы отличаются низкими расходами на обслуживание и быстрым возвратом инвестиций.

- *Биогазовые установки* обеспечивают около 38% экономии, при капитальных затратах 55% и эксплуатационных 45%, со сроком окупаемости 6-8 лет. Они наиболее эффективны на животноводческих фермах, так как помимо генерации электроэнергии способствуют утилизации органических отходов, улучшая экологическую ситуацию и снижая расходы на производство удобрений.

- *Ветровые установки* дают возможность достичь до 32% экономии затрат. Капитальные вложения в них составляют 65%, эксплуатационные расходы – 35%, а срок окупаемости – от 7 до 9 лет. Их эффективность зависит от географических и климатических условий: наибольшая производительность наблюдается в степных районах и на возвышенных участках.

- *Традиционные источники энергии*, в свою очередь, характеризуются наиболее высокими капитальными затратами (70%) при сравнительно низких эксплуатационных расходах (30%), однако срок их окупаемости значительно дольше – от 10 до 12 лет.

Таким образом, возобновляемые источники энергии демонстрируют более высокую экономическую эффективность и привлекательные сроки окупаемости по сравнению с традиционными энергетическими системами, что делает их особенно перспективными для развития сельского хозяйства в Казахстане. Из диаграммы

видно, что солнечная энергетика является наиболее выгодной формой ВИЭ для сельхозпредприятий Казахстана, с точки зрения соотношения затрат и экономии. Однако в зависимости от типа хозяйства и региона, биогаз и ветер также могут быть высокоэффективными и экологически оправданными решениями.

Полученные данные свидетельствуют о растущем интересе сельскохозяйственных предприятий Казахстана к внедрению ВИЭ, особенно солнечных панелей и биогазовых установок. Причинами этого являются высокая солнечная активность в южных регионах, доступность органических отходов для производства биогаза, а также государственная поддержка и международное финансирование проектов в области зелёной энергетики [4].

Однако существует ряд препятствий, замедляющих масштабное распространение ВИЭ: высокая стоимость оборудования, недостаток квалифицированных специалистов, сложность технического обслуживания, а также отсутствие стабильного рынка для сбыта избыточной энергии. Кроме того, не все регионы обладают равным потенциалом по использованию ВИЭ – в северных областях солнечная энергия используется менее эффективно, что требует дополнительных инвестиций в аккумуляторы или гибридные решения.

В обсуждении следует также отметить, что важным условием для устойчивого внедрения ВИЭ является не только экономическая рентабельность, но и развитие локальной инфраструктуры, профессионального образования и информационной поддержки фермеров [5].

**Заключение.** Возобновляемые источники энергии представляют собой перспективное направление устойчивого развития аграрного сектора Казахстана. Несмотря на существующие трудности, возможности внедрения ВИЭ на сельхозпредприятиях весьма значительны. Снижение зависимости от ископаемого топлива, экологические преимущества и потенциальная экономия на энергоносителях делают такие технологии актуальными и необходимыми.

Для расширения применения ВИЭ в сельском хозяйстве необходимы:

- Усиление государственной поддержки и субсидий;
- Создание образовательных и консультационных программ;
- Повышение информированности фермеров;
- Развитие инфраструктуры и сервисных центров;
- Поощрение частных инвестиций в агроэнергетические проекты [6].

Выводы.

1. ВИЭ имеют высокий потенциал для аграрного сектора Казахстана.
2. Солнечные и биогазовые установки наиболее применимы с экономической точки зрения.
3. Основными барьерами остаются высокие первоначальные вложения и кадровый дефицит.
4. Необходим комплексный подход – от госпрограмм до локальных инициатив.

#### **Список источников**

1. Асанов, А.Е. Развитие возобновляемых источников энергии в аграрном секторе Казахстана / А.Е. Асанов, С.К. Нуртаева // Вестник аграрной науки. – 2022. – №4. – С. 45-52.

2. Министерство энергетики Республики Казахстан. Национальный доклад об использовании ВИЭ в Казахстане за 2023 год. – Астана, 2024. – 64 с.

3. Ермекбаева, Л.Т. Экономическая эффективность внедрения солнечных электростанций на агропредприятиях / Л.Т. Ермекбаева // Экономика и статистика. – 2023. – №2. – С. 37-43.

4. Жумабаев, М.А. Использование биогаза в агропромышленном комплексе / М.А. Жумабаев, Т.К. Сапаргалиев // Энергетика Казахстана. – 2023. – №5. – С. 26-32.

5. Момбекова, Г.Ж. Инновационные подходы к энергетическому обеспечению сельского хозяйства / Г.Ж. Момбекова // Аграрная экономика. – 2022. – №6. – С. 59-66.

6. Сатпаев, К.Б. Потенциал и ограничения использования ВИЭ в отдалённых районах Казахстана / К.Б. Сатпаев // Энергетическая стратегия. – 2022. – №3. – С. 14-21.

© Аханова Д.Е., 2025

Научная статья

УДК 635.134

## **ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ С СОЛНЕЧНЫМИ И АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ**

**Сергей Михайлович Бакиров<sup>1</sup>, Сергей Сергеевич Елисеев<sup>2</sup>, Игорь Юрьевич Курятников<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[s.m.bakirov@mail.ru](mailto:s.m.bakirov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9392-7627>.

<sup>2</sup>[S10Z@ya.ru](mailto:S10Z@ya.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2399-8806>.

<sup>3</sup>[goga.kuryatnikov@bk.ru](mailto:goga.kuryatnikov@bk.ru), <https://orcid.org/0009-0004-9429-3568>.

**Аннотация.** В работе приводится обоснование энергопотребления автономной системы электроснабжения дождевальной машины кругового действия с солнечными и аккумуляторными батареями на основе анализа солнечной активности Саратовской области в поливной период (с мая по август); структурная схема электроснабжения электрифицированной дождевальной машины кругового действия; среднее значение энергетической экспозиции в районах Саратовской области в периоде измерений с марта по сентябрь; схема дождевальной машины с солнечными и аккумуляторными батареями; посекционное энергопотребление дождевальной машины, состоящей из 6 секций.

**Ключевые слова:** дождевальная машина, солнечная батарея, аккумуляторная батарея, система электроснабжения, вентильно-индукторный двигатель.



**Для цитирования:** Бакиров, С.М. Обоснование энергопотребления электрифицированной дождевальной машины кругового действия с солнечными и аккумуляторными батареями / С.М. Бакиров, С.С. Елисеев, И.Ю. Курятников // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## JUSTIFICATION OF ENERGY CONSUMPTION OF AN ELECTRIFIED CIRCULAR IRRIGATOR WITH SOLAR AND BATTERY BATTERIES

<sup>1,2,3</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[s.m.bakirov@mail.ru](mailto:s.m.bakirov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9392-7627>.

<sup>2</sup>[S10Z@ya.ru](mailto:S10Z@ya.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2399-8806>.

<sup>3</sup>[goga.kuryatnikov@bk.ru](mailto:goga.kuryatnikov@bk.ru), <https://orcid.org/0009-0004-9429-3568>.

**Annotation.** The paper provides a rationale for the energy consumption of an autonomous power supply system for a circular sprinkler with solar and battery batteries based on an analysis of solar activity in the Saratov region during the irrigation period (from May to August); block diagram of the power supply of an electrified circular sprinkler; the average value of energy exposure in the regions of the Saratov region during the measurement period from March to September; diagram of a sprinkler with solar and battery batteries; sectional energy consumption of a sprinkler consisting of 6 sections.

**Key words:** sprinkler, solar battery, battery, power supply system, switched reluctance motor.

**For citation:** Bakirov, S.M. Justification of energy consumption of an electrified pivot irrigation machine with solar and storage batteries / S.M. Bakirov, S.S. Eliseev, I.Yu. Kuryatnikov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Орошение сельскохозяйственных культур в зонах рискованного земледелия обеспечивает 2–6-кратное увеличение урожайности и возможность выращивания растений с повышенными требованиями к агрономическим условиям. Для орошения используют различные способы, в регионе Нижнего Поволжья наиболее распространенными являются дождевальные машины (ДМ), среди которых 78,9% дождевальных машин кругового действия (ДМКД), из них 67% электрифицированные [1, 2].

Одна из особенностей эксплуатации электрифицированных ДМКД является их удаленность до 40 км от централизованных энергосистем. Электроснабжение электрифицированных ДМ кругового действия происходит от централизованной сети или от автономных источников электроэнергии в виде дизель – генераторных установок или аккумуляторных батарей (АБ).

Основным электроприемником дождевальных машин являются асинхронные двигатели (АД) типа UMC PowerSaver, которыми снабжены такие машины как Bauer (Австрия), «КАСКАД» (Россия), Zimmatic (США), RKD (Испания) [3, 4, 7].

Быстрыми темпами развиваются современные электромеханические системы, которые комплектуют вентильно-индукторными электродвигателями (ВИД), принцип действия которых основан на квазидвижущемся электромагнитном поле.

Коэффициент полезного действия таких двигателей на 1,5-2,5% выше, чем АД. ВИД отличается высокой энергоэффективностью и при нагрузке потребляется столько энергии сколько необходимо для выполнения работы без дополнительных потерь в системе электропривода с асинхронным двигателем, что подтверждают работы современных ученых [5, 8, 9]. Также ВИД широко используется в системах с источником постоянного тока с солнечными и аккумуляторными батареями.

Уровень разработанности автономных систем электроснабжения с солнечными и аккумуляторными батареями позволяет допустить использование данной системы совместно с вентильно-индукторным двигателем в качестве источника электроснабжения дождевальной машины кругового действия [11, 12]. Однако требуется оценить и обосновать количество энергии, требуемой для перемещения дождевальной машины. Поэтому целью работы является обоснование энергопотребления дождевальной машины на перемещение, оснащенной солнечными и аккумуляторными батареями и вентильно-индукторным приводом.

**Материалы и методы исследований.** Теоретические исследования проведены на основе законов электротехники, эксплуатации электрооборудования с применением основных методов научного познания: анализ, системный подход, наблюдение, сравнение, измерение и обобщение.

**Результаты исследования.** Применение солнечных батарей в качестве источника электроснабжения аккумуляторных батарей и электропривода секции дождевальной машины возможно лишь на территориях с высокой энергетической экспозицией. С учетом научных достижений в области солнечной энергетики [6, 10, 13] необходимо определить количество электрической энергии, вырабатываемой солнечной батареей, в диапазоне широт от 49°52' до 52°42' с.ш. в поливной период с марта по сентябрь.

Средние значения удельной энергетической экспозиции представлены на рис. 1.

Согласно рис. 1, на 51° с.ш. (г. Саратов, г. Воронеж, г. Курск) средняя энергетическая экспозиция достигает 582 Вт/м<sup>2</sup>. При таком значении энергетической экспозиции солнечная батарея площадью 1 м<sup>2</sup> и КПД 20 % имеет пиковую мощность 150 Вт. Получая 150 Вт электрической мощности с 1 м<sup>2</sup>, использование СБ площадью 4 м<sup>2</sup> с максимальной мощностью 600 Вт приемлемо для обеспечения рабочего цикла электропривода секции ДМ с вентильно-индукторным двигателем.

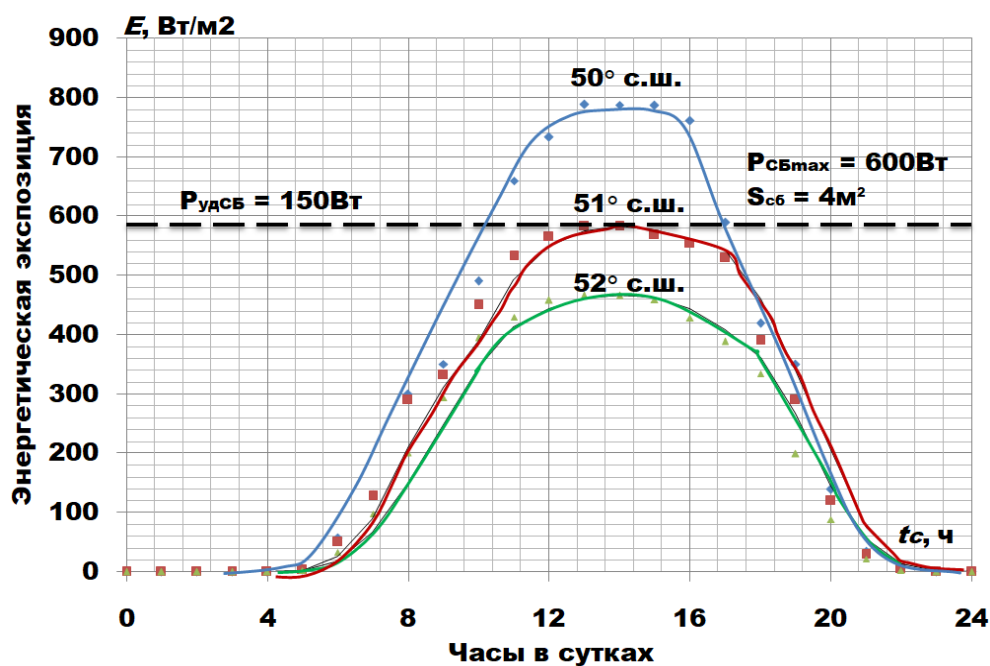


Рисунок 1 – Средние значения энергетической экспозиции в период март – сентябрь

Принимая во внимание идентичность секций дождевальной машины, обозначим основные узлы дождевальной машины (рис. 2).

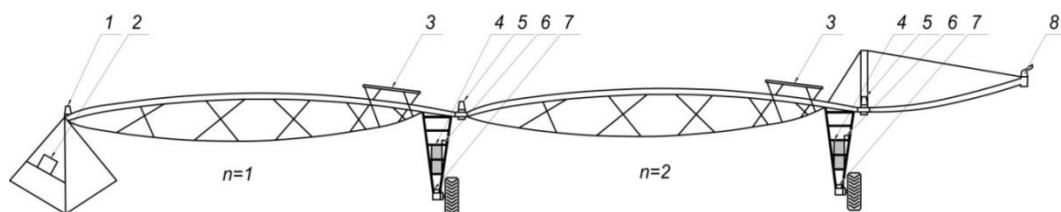


Рисунок 2 – Схема электроснабжения ДМКД с САБ:

$n$  – количество секций,  $n = 2 \dots 10$ ; 1 – неподвижная опора; 2 – щит управления; 3 – САБ; 4 – АБ; 5 – ПСЛ; 6 – контроллер; 7 – электродвигатель; 8 – дальнеструйный водомет

Особенностью схемы электроснабжения ДМКД с САБ в том, что солнечные и аккумуляторные батареи устанавливают рядом с электроприводом на опорной тележке. Так исключаются потери электроэнергии при передаче и стоимость ресурса близка к нулю [7, 8, 12]. ВИД опорных тележек ДМ оснащен контроллером управления и может легко работать в паре с нестабильным источником постоянного тока, таким, как САБ. К тому же, преимуществом использования ВИД является возможность плавного пуска и регулирование мощности под изменяющуюся нагрузку.

Перемещение ДМ происходит посекционно в повторно-кратковременном («старт-стоповом») режиме. Каждая секция машины проходит различный путь, к примеру, первая от неподвижной опоры секция проходит вдвое меньший путь, чем последующая, однако, скорость перемещения у секций одинакова. Соответственно время полного оборота у каждой секции различно. Для перемещения секций применяется электродвигатель, который является основным приемником электроэнергии секции. Движение секций ДМ представлено на рис. 3.

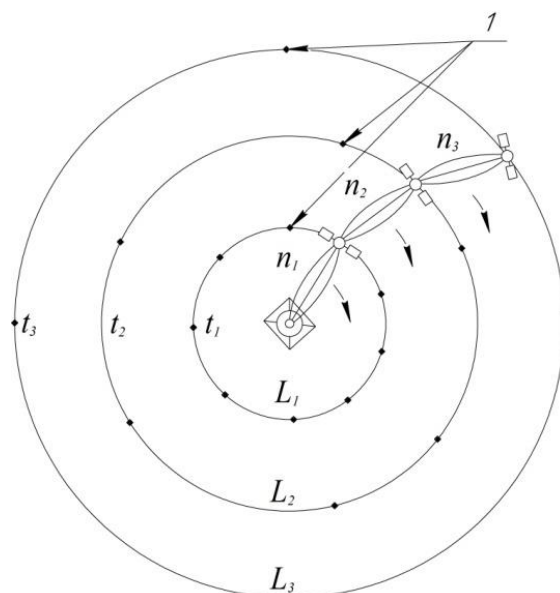


Рисунок 3 – Движение секций дождевальной машины кругового действия: 1 – остановки движения секций;  $n_{1-3}$  – секции с порядковыми номерами 1,2,3;  $L_{1-3}$  – расстояние, которое проходит соответствующая секция;  $t_{1-3}$  – продолжительность движения  $n$ -й секции

Первая секция  $n_1$  преодолевает расстояние  $L_1$  за время  $t_1$ . Так как длина каждой секции одинакова, то вторая секция  $n_2$  преодолевает вдвое больший путь. Учитывая, что расстояние, которое проходит каждая последующая секция, начиная с секции с порядковым номером  $n_1$ , увеличивается, то продолжительность движения секций также увеличивается.

Тогда энергопотребление секций дождевальной машины кругового действия будет равно

$$W_{пссе} = P_{ДВсек} \cdot t_{ДВсек}, \quad (1)$$

где  $P_{ДВсек}$  – мощность электродвигателя тележки секции, Вт;  $t_{ДВсек}$  – продолжительность движения  $n$ -й секции, ч.

С учетом того, что 5 секций, начиная от неподвижной опоры, работают в повторно-кратковременном режиме включения и задающая движение машины 6 секция работает в продолжительном режиме, расстояние, преодолеваемое каждой секцией различно, продолжительность движения каждой секции отличается, то энергопотребление дождевальной машины кругового действия составит сумму потребления энергии каждой секции в отдельности

$$W_{ДМКД} = P_{ДВсек1} \cdot t_{ДВсек1} + P_{ДВсек2} \cdot t_{ДВсек2} + P_{ДВсекn} \cdot t_{ДВсекn}. \quad (2)$$

При установке солнечных батарей (СБ) в конструкцию ДМ следует учитывать особенности эксплуатации составных частей машины и процесса дождевания. Необходимо установить СБ так, чтобы энергетическая облученность ее поверхности была максимальной. Также важно обеспечить надёжное крепление СБ, отсутствие вибрации при действии потоков ветра и учесть возможность безопасного доступа для обслуживания СБ. Установка на верхней части водопроводящего трубопровода ДМ обеспечивает прямое воздействие солнечного излучения по всей площади СБ. Приобретаемая парусность ДМ от установки СБ решается путем равномерного распределения батарей и уменьшения их ширины.

При установке аккумуляторных батарей (АКБ) необходимо учесть особенности эксплуатации элементов ДМ и безопасность эксплуатации АКБ. Местом установки аккумуляторной батареи может быть рама опорной тележки секции ДМ.

На рис. 4 показан внешний вид секции ДМ с параметрами основных элементов. Мощность вентильно-индукторного электродвигателя выбрана идентичной мощности АД, установленного в классической системе электроснабжения ДМ. Емкость аккумуляторных батарей выбрана для обеспечения 10 – часовой работы вентильно-индукторного двигателя.

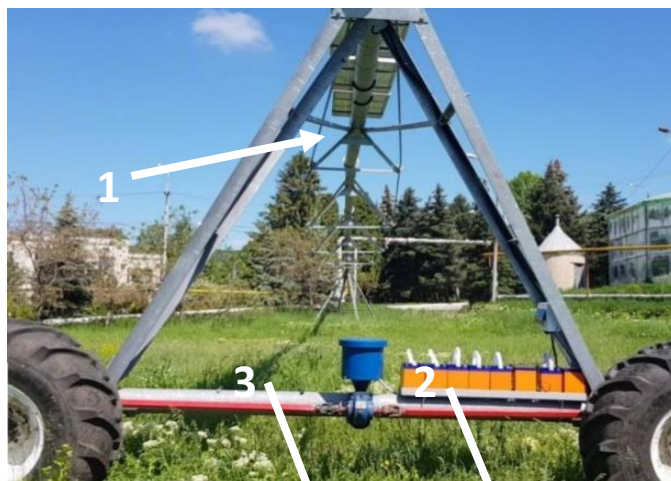


Рисунок 4 – Общий вид испытуемой полноформатной секции ДМ с СМ и АКБ: 1 – солнечные модули SilaSolar  $P_{\text{общ}} = 600$  Вт; 2 – аккумуляторные батареи марки Delta GEL 12-55  $C_H = 110$  А·ч; 3 – вентильно-индукторный электродвигатель (мотор-редуктор)  $P_H = 500$  Вт  
Сведем потребление каждой секции ДМ, состоящей из 6 секций, в табл. 1.

Таблица 1 – Посекционное энергопотребление ДМ, состоящей из 6 секций

| № секции | Режим работы | $l_{\text{сек}}, \text{ м}$ | $u_{\text{сек}}, \text{ м/ч}$ | $S, \text{ м}$ | $t_{\text{об}}, \text{ ч}$ | $W_{\text{по}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}$<br>(при мощности ВИД $P_{\text{ИДВ}} = 550$ Вт) |
|----------|--------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | ПВ           | 65,25                       | 226                           | 410            | 1,81                       | 0,99                                                                                        |
| 2        |              |                             |                               | 820            | 3,62                       | 1,9                                                                                         |
| 3        |              |                             |                               | 1230           | 5,44                       | 2,9                                                                                         |
| 4        |              |                             |                               | 1640           | 7,25                       | 3,9                                                                                         |
| 5        |              |                             |                               | 2050           | 9,07                       | 4,9                                                                                         |
| 6        | Д            |                             |                               | 2460           | 10,8                       | 10,8                                                                                        |

*Примечание.* Скорость перемещения секции определена частотой вращения электродвигателя  $n_{\text{дв}}, n_{\text{дв}} = 1750 \dots 2000 \text{ мин}^{-1}$ ;  $i$  – передаточное число,  $i = 2000$ ;  $l_{\text{сек}}$  – длина секции, м;  $u_{\text{сек}}$  – скорость движения секций, м/ч;  $S$  – расстояние, проходимое секцией за время полного оборота, м;  $t_{\text{об}}$  – продолжительность движения за один оборот секции, ч;  $W_{\text{об}}$  – энергопотребление секции за оборот, кВт·ч. ПВ – режим повторного включения ЭД, Д – длительный режим работы

Исходя из таблицы, наименее энергоемкая при работе электропривода является секция с порядковым номером 1, энергия полного оборота которой  $W_{по} = 0,99$  кВт·ч при времени полного оборота  $t_{об} = 1$  час 50 минут. Самая энергоемкая крайняя от неподвижной опоры, она имеет длительный режим эксплуатации, её энергопотребление за 1 полный оборот 10,8 кВт·ч.

Энергопотребление электропривода секций дождевальной машины не должно нарушаться во время эксплуатации машины. Однако, мощность на выводах солнечной батареи – величина непостоянная, недостаток энергии от солнечной батареи компенсируется с аккумуляторных батарей. В связи с этим для непрерывного электроснабжения электропривода секций энергия к электроприводу поступает в нескольких режимах: от СБ, что возможно в дневной период суток; от АБ, что необходимо в ночной период суток; от СБ и АБ совместно, что происходит в периоды относительно высокой облачности.

Условно обозначим секции дождевальной машины порядковыми номерами, начиная от неподвижной опоры, – 1, 2, 3, 4, 5, 6. Тогда на секциях с порядковыми номерами 4, 5, 6 будут расположены 8 аккумуляторов и солнечные батареи площадью  $4 \text{ м}^2$  (рис. 5), а на секциях с порядковыми номерами 1, 2, 3 – 4 аккумулятора и солнечные батареи площадью  $2 \text{ м}^2$  (рис. 6).

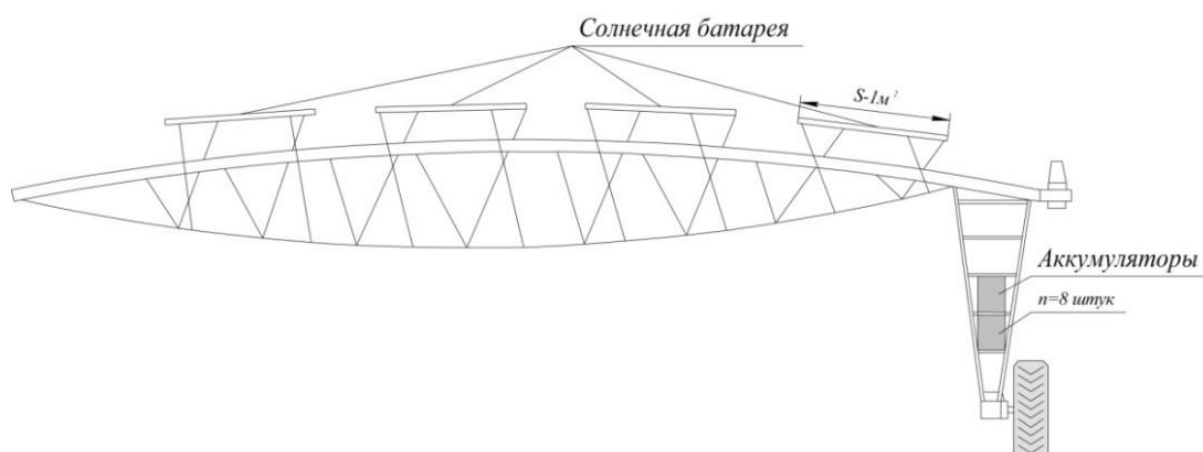


Рисунок 5 – Внешний вид секции дождевальной машины с использованием САБ крайних секций ( $n_{АБ} = 8$ ,  $S_{СБ} = 4 \text{ м}^2$ )

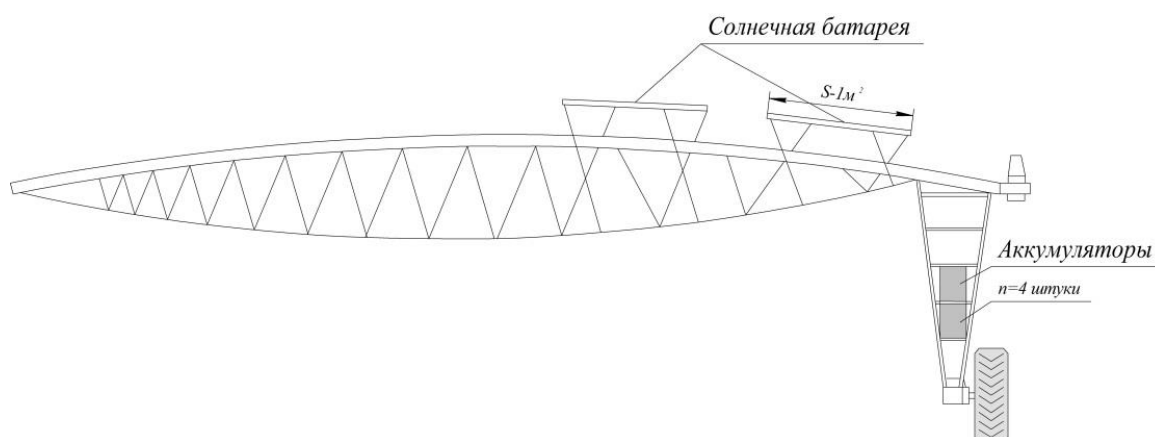


Рисунок 6 – Внешний вид секции дождевальной машины с использованием САБ первых секций ( $n_{АБ} = 4$ ,  $S_{СБ} = 2 \text{ м}^2$ )



Сведем параметры источника с солнечной и аккумуляторной батареями в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры источника с солнечной и аккумуляторной батареями ДМ, состоящей из 6 секций

| № секции | Режим работы | $W_{ПО}$ , кВт·ч   | Аккумуляторные батареи |                | Солнечные батареи         |               |
|----------|--------------|--------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------|
|          |              | $P_{ндв} - 550$ Вт | $n_{АБ}$ , шт          | $C_{АБ}$ , А·ч | $S_{СБ}$ , м <sup>2</sup> | $P_{СБ}$ , Вт |
| 1        | ПВ           | 0,99               | 4                      | 110            | 2                         | 300           |
| 2        |              | 1,9                |                        |                |                           |               |
| 3        |              | 2,9                |                        |                |                           |               |
| 4        |              | 3,9                |                        |                |                           |               |
| 5        |              | 4,9                |                        |                |                           |               |
| 6        | Д            | 10,8               | 8                      | 220            | 4                         | 600           |

Солнечные и аккумуляторные батареи соединяются смешанно для обеспечения параметров электропривода.

**Заключение.** Таким образом, предложено использование автономной системы электроснабжения дождевальной машины кругового действия с солнечными и аккумуляторными батареями совместно с вентильно-индукторными электродвигателями на основе анализа солнечной активности в поливной период и степени разработанности солнечных батарей.

Установлено, что использование вентильно-индукторного электродвигателя с контроллером управления имеет упрощенную схему подключения и может работать в паре с нестабильным источником постоянного тока, таким, как САБ, а также имеет высокую энергетическую эффективность с КПД на 2% выше, чем у асинхронных электродвигателей.

Установлено, что энергопотребление секций дождевальной машины существенно отличается в зависимости от номера секции. Наименьшее энергопотребление имеет первая секция 0,99 кВт·ч по сравнению шестой секцией – 10,8 кВт·ч (при одинаковой длине секции 65 метров). На основании данного обоснования, установлены выходные технические параметры комплектования 6-тисекционной дождевальной машины солнечными и аккумуляторными батареями.

### Список источников

1. Лебедев, Б. М. Дождевальные машины. Теория и конструкции : учебник для вузов / Б.М. Лебедев. – М. : Машиностроение, 1965. – 255 с
2. Мажугин, Е.И. Мелиоративные машины : учебное пособие : в 2 ч. / Е.И. Мажугин, А.Л. Казаков. – Горки : БГСХА, 2018. – Ч. 2. – 172 с.
3. ГОСТ 17513–72. Электропривод колесных машин тяговый. Термины и определения. – М. : Межгосударственный стандарт, 1972. – 2 с.

4. Ерошенко, Г.П. Значение диагностики в процессе эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве / Г.П. Ерошенко, С.М. Бакиров, И.Ю. Лошкарёв // Актуальные проблемы энергетики АПК : матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов : КУБик, 2012. – С. 84–85.
5. Соловьёв, Д.А. Разработка электрической схемы логического управления движением секций дождевальной машины, исключающей одновременный запуск электродвигателей / Д.А. Соловьёв, С.М. Бакиров, Г.Н. Камышова // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2020. – № 3(55). – С. 119-126. – DOI 10.31563/1684-7628-2020-55-3-119-126. – EDN BBEEHY.
6. Бакиров, С.М. Разработка устройства определения угла поворота секции дождевальной машины / С.М. Бакиров // Агроинженерия. – 2020. – № 4(98). – С. 55-60. – DOI 10.26897/2687-1149-2020-4-55-60. – EDN JNQQYQ.
7. Ерошенко, Г.П. Адаптация эксплуатации электрооборудования к особенностям сельскохозяйственного производства: [монография] / Г.П. Ерошенко, С.М. Бакиров. – Саратов : ИЦ «Наука», 2011. – 132 с.
8. Бычков, М.Г. Элементы теории вентильно-индукторного электропривода / М.Г. Бычков // Электричество. – 1997. – № 8. – С. 35-44.
9. Ваганов, М.А. Магнитная индукция в воздушном зазоре вентильного двигателя / М.А. Ваганов, А.А. Гарчук // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – № 8. – С. 68-74.
10. Ерошенко, Г.П. Оценка применения солнечных модулей в качестве источника электроснабжения мобильных сельскохозяйственных электрифицированных машин / Г.П. Ерошенко, С.М. Бакиров, С.С. Елисеев // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 1 (29). – С. 70-73.
11. Бакиров, С.М. Обоснование мощности подъемно-транспортного электрифицированного агрегата / С.М. Бакиров, С.С. Елисеев // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 5. – С. 61-62.
12. Бакиров, С.М. Оценка повышения энергетической эффективности дождевальной машины с аккумуляторным источником питания / С.М. Бакиров, С.С. Елисеев, Е.В. Рыжова // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 1(42). – С. 29-33. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-1-29-33. – EDN GJHZM.
13. Бакиров, С.М. Обоснование внепланового технического обслуживания солнечных батарей, используемых в качестве источника питания дождевальных машин / С.М. Бакиров, С.С. Елисеев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67, № 1(38). – С. 16-21. – DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-1-16-21. – EDN WCKKYW.

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

## ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ РАЗРАБОТОК СПОСОБОВ ПОДЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРОВ И ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ БПЛА

Сергей Сергеевич Бардашов<sup>1</sup>, Илья Алексеевич Земсков<sup>2</sup>, Оксана Николаевна Чурляева<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>3</sup>[oksana.churlyayeva@mail.ru](mailto:oksana.churlyayeva@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-7472-0465>

**Аннотация.** Быстрое внедрение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) во все сферы человеческой жизнедеятельности требует решения проблемы с их автономностью. Время полета различных типов БПЛА варьируется от десяти минут до двух часов, что не позволяет им в полной мере выполнять поставленные задачи. Одним из перспективных решений является создание зарядных станций для подзарядки летательных аппаратов. В статье приведен обзор существующих зарубежных разработок в области создания зарядных станций для БПЛА.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты (БПЛА), зарядная станция, подзарядка летательных аппаратов, автономность, дальность полета

**Для цитирования:** Бардашов, С.С. Обзор зарубежных разработок способов подзарядки аккумуляторов и зарядных станций для БПЛА / С.С. Бардашов, И.А. Земсков, О.Н. Чурляева // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## AN OVERVIEW OF FOREIGN DEVELOPMENTS IN WAYS TO RECHARGE BATTERIES AND CHARGING STATIONS FOR UAVS

Sergey Sergeyevich Bardashov<sup>1</sup>, Ilya Alekseevich Zemskov<sup>2</sup>, Oksana Nikolaevna Churlyayeva<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>3</sup>[oksana.churlyayeva@mail.ru](mailto:oksana.churlyayeva@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-7472-0465>

**Annotation.** The rapid introduction of unmanned aerial vehicles (UAVs) into all spheres of human life requires solving the problem of their autonomy. The flight time of various types of UAVs varies from ten minutes to two hours, which does not allow them to fully perform their tasks. One of the promising solutions is the creation of charging stations for recharging aircraft. The article provides an overview of existing foreign developments in the field of creating charging stations for UAVs.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles (UAVs), charging station, aircraft charging, autonomy, flight range

**For citation:** Bardashov, A.A. An overview of foreign developments in ways to recharge batteries and charging stations for UAVs / S.S. Bardashov, I.A. Zemskov, O.N. Churlyayeva // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** По мере развития технологий спрос на беспилотные авиационные системы только растет, т.к. они могут выполнять сложные миссии и обеспечивать продуктивное использование ресурсов. Для того, чтобы внедрить беспилотные летательные аппараты (БПЛА) во все сферы человеческой жизнедеятельности, необходимо решить проблему с автономностью дронов [1, 2, 10].

**Материалы и методы.** Время полета различных типов БПЛА варьируется от десяти минут до двух часов, что не позволяет в полной мере выполнить поставленные задачи. Одним из перспективных решений является создание зарядных станций для подзарядки летательных аппаратов.

На сегодняшний день ученые всего мира предлагают разные виды зарядных станций для подзарядки БПЛА, ведь дроны делают огромный вклад в развитие методов мониторинга различных объектов. Хотя многие беспилотные летательные аппараты способны находиться в воздухе достаточно долгое время, это не избавляет их от необходимости заряжать аккумуляторы. Наиболее популярные и технически обоснованные разработки зарядных станций представлены в настоящей статье.

**Результаты исследования.** 1. *Зарядная станция Dronebox with unlimited power courtesy solar and fuel cell panels.* Проект, связанный с развитием независимости БПЛА от точки старта, разработан компанией «H3 Dynamics» в Сингапуре и называется «Dronebox – UAV with unlimited power courtesy solar and fuel cell panels». В переводе на русский язык – зарядная станция на базе солнечной энергии для БПЛА неограниченной мощности с бортовым топливным элементом, которая представлена на рис. 1.

По заявлению компании «H3 Dynamics» разработанный ими квадрокоптер выдерживает до 10 часов непрерывной работы за счет бортового топливного элемента. При этом может быть оснащен камерой высокой четкости, тепловизионной камерой с хранилищем данных и мультиспектральную камеру для осмотра сельскохозяйственных полей.

Dronebox – беспилотный летательный аппарат, который имеет собственную зарядную станцию и базу коммуникаций, которые специально разработаны для мониторинга в режиме реального времени в отдаленных районах. Дрон оснащен камерами, датчиками и другим современным оборудованием для того, чтобы не зависеть только от подключения GPS. Это позволяет квадрокоптеру в полной мере выполнить поставленные задачи и вернуться обратно в свой зарядный «короб» с точностью приземления.

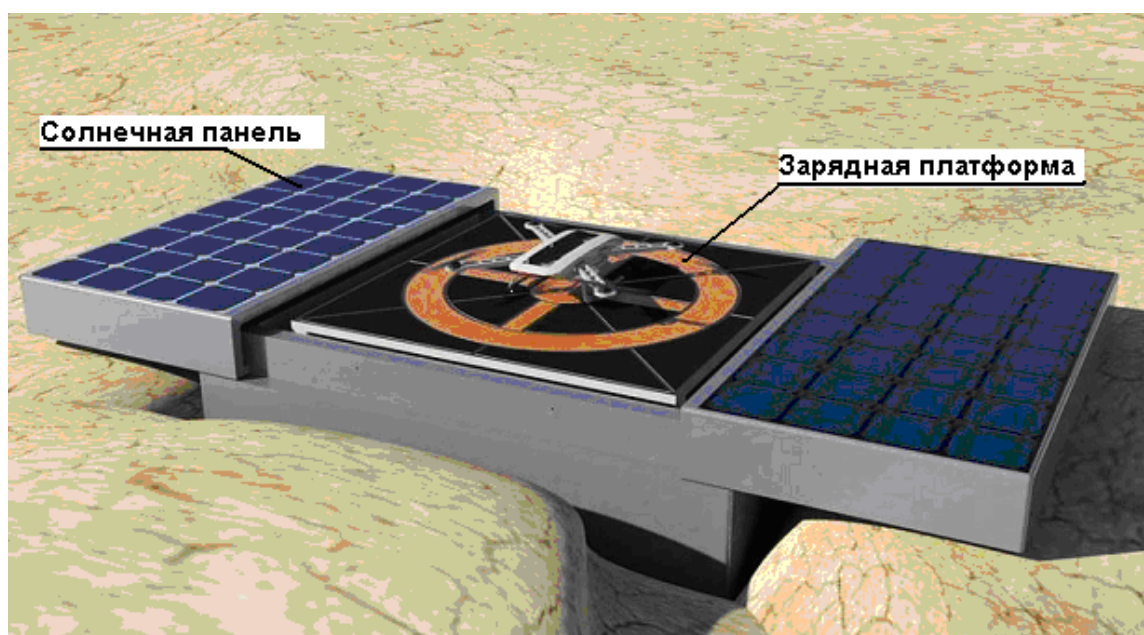


Рисунок 1 – БПЛА с собственной зарядной станцией

Когда БПЛА автоматически приземляется на базу, начинается быстрое зарядное соединение для «дозаправки». Необходимая мощность может быть получена от солнечных панелей и от проводной сети [3, 4, 6].

Задачи для дрона могут планироваться для регулярных полетов и наблюдения за объектами или автоматически отправляться по тревоге. Данные, собранные БПЛА, загружаются, обрабатываются и передаются через беспроводной интернет.

Несмотря на преимущества данной установки, разрабатываются и выводятся на рынок новые системы обнаружения, локализации и отключения БПЛА. Связанно это с обеспечением безопасности закрытых воздушных пространств, национальных инфраструктур и других критических зон от попадания в запретный радиус действия вражеских беспилотных летательных аппаратов. Системы отслеживания могут различать сигналы самого квадрокоптера, а также сигналы управления оператора за счет использования широкого спектра радиочастотных передач. После обнаружения цели система нарушает радиосвязь между БПЛА и оператором, а также обрывает данные GPS [5, 7, 9].

2. *Зарядная панель Skyport Outdoor Chasrging Pad.* Одной из современных разработок Соединенных Штатов Америки (США) в области самостоятельной работы БПЛА является «Skyport Outdoor Chasrging Pad» – зарядная панель наружной установки от компании «Skysense Inc». Данный комплекс – универсальная зарядная станция, совместимая с квадрокоптерами от ведущих брендов. Необходимо установить комплект дооснащения в виде электродов на шасси дрона и подключить их положительный и отрицательный выводы к аккумуляторной батарее.

Зарядная панель состоит из прочной проводимой платформы из нержавеющей стали и установлена на поверхности земли (рис. 2). После приземления БПЛА на поверхность платформы, панель автоматически активируется для подзарядки аккумулятора.



Рисунок 2 – «Outdoor Chasrging Pad» – зарядная панель наружной установки

Выпускаются три модели Skyport: DP110 с габаритами 110×110×120 см и массой 150 кг; DP170: 160×160×170 см, 200 кг; DP210: 210×210×220 см, 250 кг с потребляемой мощностью от 144 Вт.

3. *Квадрокоптер Quadcopter with wireless power.* Более ранней разработкой США является «Quadcopter with wireless power» – квадрокоптер с беспроводной передачей мощности (рис. 3). Инициаторами проекта являются ученые лаборатории NIMBUS в университете штата Небраска. Идея заключается в использовании сильно связанного магнитного резонанса для обеспечения беспроводной передачи мощности.

Процесс передачи достаточно прост: две катушки проводов, настроенные на резонанс на той же частоте. Одна из катушек находится на корпусе квадрокоптера и является приемником электрической энергии, а другая на передаточном устройстве. Путем пропускания тока через катушку передатчика создается колебательное магнитное поле, которое захватывается приемной катушкой, эффективно передавая мощность (рис. 3).

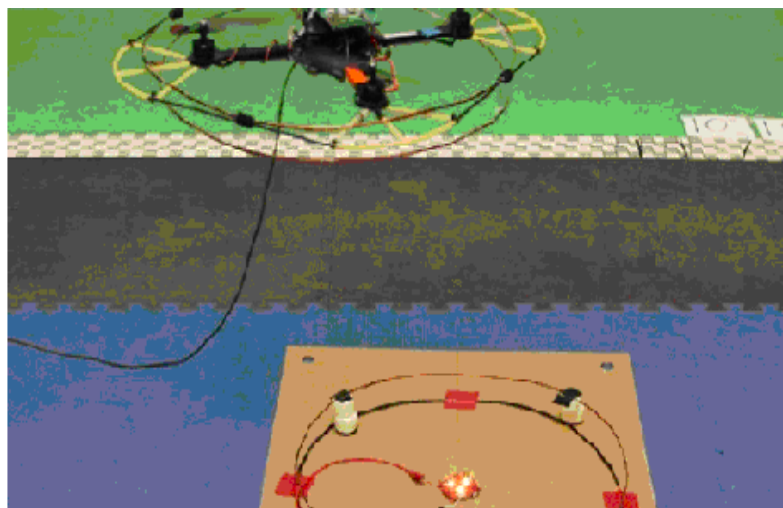
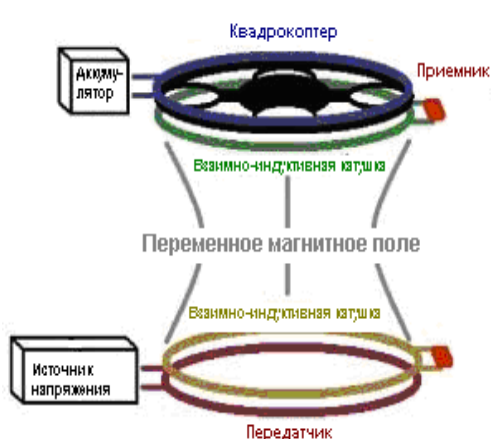


Рисунок 3 – Передача электроэнергии с помощью взаимно-индуктивных катушек



При диаметре катушек в 20 см система может передавать 5,5 Вт с коэффициентом полезного действия (КПД) = 35 %. Недостатком такого метода является то, что квадрокоптер должен быть перпендикулярен передаточному устройству для эффективной передачи мощности, а значит иметь систему позиционирования с минимальной погрешностью.

4. *Базовая станция AeRod.* AeRod – базовая станция из композитных материалов, к которой крепится квадрокоптер в нескольких метрах от земли с помощью вертикальной штанги (рис. 4).

К устройству подведено электропитание, которое проходит через преобразователь и зарядное устройство и заряжает аккумулятор беспилотника. Внутри базовой станции находится камера системы наведение и видеопередатчик, передающий картинку на аппарат, для корректировки курса полета БПЛА. Также внутри базовой станции находятся створки фиксации якоря аппарата, через эти створки организован электрический контакт между базовой станцией и «якорем» квадрокоптера.

На самом квадрокоптере установлен вертикальный «якорь», через который проходит заряд аккумулятора). Также установлены метки для системы наведения.

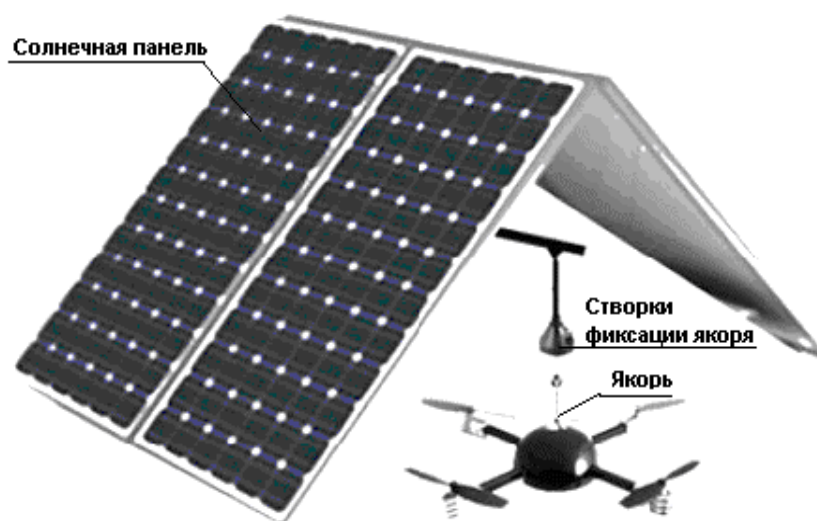


Рисунок 4 – Базовая станция AeRod

Беспилотник подлетает, и находясь на высоте 50 м над базовой станцией, дает сигнал о своем приближении, и станция открывает створки для захода аппарата. БПЛА подлетает под станцию и используя точную систему наведения, влетает в станцию, створки закрываются и фиксируют аппарат. В таком варианте не возникает проблем с отражающимися ветровыми потоками, что исключает неточную посадку. Также такая система лишена проблем, связанных с очисткой от осадков и пыли [8, 9, 10].

**Заключение.** Таким образом при проведении обзора было установлено что, для эффективного осуществления своих функций наземная зарядная станция должна отвечать ряду требований:

- иметь независимый автономный источник энергии;

- иметь возможность обслуживать разные типы квадрокоптеров;
- иметь систему автоматической связи с диспетчером, для контроля основных параметров своей работы;
- быть хорошо видна на местности;
- иметь систему световой сигнализации в ночное время;
- работать при низких температурах и повышенной влажности.

### **Список источников**

1. Solar Powered UAVs [Online] / NASA Tech Briefs, March 01, 2013. Available at: <http://www.techbriefs.com/component/content/article/15992>.
2. Laser Power for UAVs [Online] / Nugent T.J., Kare J.T., A White Paper of LaserMotive, 2010. Available at: <http://lasermotive.com/wp-content/uploads/2010/04/Wireless-Power-forUAVsMarch2010.pdf>
3. The HoverMast from Sky Sapience [Online] / Sky Sapience, 2013. Available at: <http://skysapience.com>.
4. Фетисов, В.С. Подзарядка электрических беспилотных летательных аппаратов: обзор существующих разработок и перспективных решений / В.С. Фетисов, М.И. Тагиров, А.И. Мухаметзянова // Авиакосмическое приборостроение. – 2013. – № 11. – С. 7 – 26.
5. Kemper P., Suzuki K., Morrison J. UAV Consumable Replenishment: Design Concepts for Automated Service Stations. Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2011. Vol. 61. № 1. Pp. 369...397. Available at: [http://www.researchgate.net/publication/220062239\\_UAV\\_Consumable\\_Replenishment\\_Design\\_Concepts\\_for\\_Automated\\_Service\\_Stations](http://www.researchgate.net/publication/220062239_UAV_Consumable_Replenishment_Design_Concepts_for_Automated_Service_Stations).
6. <http://news.mit.edu/2014/charging-solution-delivery-drones-take-after-ourfeatheredfriends>.
7. [http://zoom.cnews.ru/rnd/news/line/sistema\\_besprovodnoy\\_peredachi\\_energii\\_podzarya\\_dila\\_bpla](http://zoom.cnews.ru/rnd/news/line/sistema_besprovodnoy_peredachi_energii_podzarya_dila_bpla).
8. Чурляева, О.Н. Мониторинг воздушных линий электропередач с помощью беспилотных летательных аппаратов. Разработка автономной наземной станции для подзарядки квадрокоптеров / О.Н. Чурляева, К.Д. Чурляева, С.Ф. Степанов // Актуальные проблемы энергетики АПК. материалы VII международной научно-практической конференции. Под общей редакцией Трушкина В.А., 2016. С. 251-252.
9. Чурляева, О.Н. Обзор технических средств заряда аккумуляторов беспилотных летательных аппаратов / О.Н. Чурляева, К.Д. Чурляева // Актуальные проблемы энергетики АПК. материалы VIII международной научно-практической конференции. 2017. С. 287-292.
10. Трушкин, В.А. Система воздушного мониторинга линий электропередачи беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) с применением кластерно-сотовых автономных зарядных станций / В.А. Трушкин, О.Н. Чурляева, С.В. Шлюпиков, С.Ф. Степанов // Известия Международной академии аграрного образования. 2022. № 62. С. 47-54.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ И BIG DATA ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ПОНИЗИТЕЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ 110/35/10 КВ

Екатерина Анатольевна Басуматорова<sup>1</sup>, Альбина Мунировна Хамитова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»,  
г. Тюмень, Россия

<sup>1</sup>[basumatorovaea.21@mti.gausz.ru](mailto:basumatorovaea.21@mti.gausz.ru)

<sup>2</sup>[hamitova.am@edu.gausz.ru](mailto:hamitova.am@edu.gausz.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные подходы к повышению надёжности и эффективности эксплуатации понижительных подстанций напряжением 110/35/10 кВ на основе внедрения технологий предиктивной диагностики и анализа больших данных (big data). Особое внимание уделено цифровым системам мониторинга, использованию методов машинного обучения для предсказания отказов оборудования, а также интеграции данных из различных источников с целью оптимизации обслуживания и предупреждения аварийных ситуаций.

**Ключевые слова:** предиктивная диагностика, big data, понижительная подстанция, цифровизация, анализ состояния оборудования, энергетика

**Для цитирования:** Басуматорова, Е.А. Применение технологий предиктивной диагностики и BIG DATA для анализа работы понижительной подстанции 110/35/10 кВ / Е.А. Басуматорова, А.М. Хамитова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## THE USE OF PREDICTIVE DIAGNOSTICS AND BIG DATA TECHNOLOGIES FOR ANALYZING THE OPERATION OF A 110/35/10 KV STEP-DOWN SUBSTATION

Ekaterina Anatolyevna Basumatorova<sup>1</sup>, Albina Munirovna Khamitova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «State Agrarian University of the Northern Urals», Tyumen, Russia

<sup>1</sup>[basumatorovaea.21@mti.gausz.ru](mailto:basumatorovaea.21@mti.gausz.ru)

<sup>2</sup>[hamitova.am@edu.gausz.ru](mailto:hamitova.am@edu.gausz.ru)

**Abstract.** The article discusses modern approaches to improving the reliability and efficiency of operation of 110/35/10 kV step-down substations based on the introduction of predictive diagnostics and big data analysis technologies. Special attention is paid to digital monitoring systems, the use of machine learning methods to

predict equipment failures, as well as the integration of data from various sources in order to optimize maintenance and prevent emergencies.

**Keywords:** predictive diagnostics, big data, step-down substation, digitalization, equipment condition analysis, energy

**For citation:** Basumatorova, E.A. Application of Predictive Diagnostics and BIG DATA Technologies for Analyzing the Operation of a 110/35/10 kV Step-down Substation / E.A. Basumatorova, A.M. Khamitova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современная энергетика находится в стадии активной цифровой трансформации. Понижительные подстанции (ПП) 110/35/10 кВ играют важную роль в распределении электроэнергии и обеспечении её надёжной подачи потребителям. Эффективное управление техническим состоянием оборудования таких подстанций является ключевым условием предотвращения аварий и снижения затрат на техническое обслуживание [1, 2, 7].

Один из наиболее перспективных подходов к управлению состоянием энергетического оборудования – внедрение систем предиктивной диагностики, основанных на анализе больших данных. Эти технологии позволяют выявлять потенциальные неисправности до их проявления, что обеспечивает планирование ремонтов, минимизацию простоев и повышение эксплуатационной надёжности всей системы.

**Материалы и методы.** Теоретические основы предиктивной диагностики. Предиктивная диагностика предполагает использование статистических моделей, алгоритмов машинного обучения и инструментов обработки big data для прогнозирования вероятности выхода оборудования из строя. В энергетике это позволяет перейти от планово-предупредительного подхода к интеллектуальному техническому обслуживанию (ITM – Intelligent Technical Maintenance).

Ключевым элементом является формирование цифрового двойника оборудования – математической модели, способной имитировать его поведение на основе поступающих данных. При этом, используя исторические данные и данные в реальном времени, алгоритмы выявляют тренды деградации и рассчитывают вероятность отказа [3, 4, 6].

Основные элементы предиктивной системы:

- Сбор данных: температура, вибрации, токи, напряжения, частота отказов;
- Обработка данных: фильтрация, нормализация, агрегация;
- Анализ: использование нейросетей, регрессионных моделей, деревьев решений;
- Прогноз: определение вероятности отказа в заданном временном горизонте.

Кроме того, внедрение систем предиктивной диагностики позволяет реализовать концепцию «умной подстанции», в которой процессы наблюдения, диагностики и управления происходят в автоматическом режиме.

### *Системы сбора и анализа данных на понизительных подстанциях*

Интеграция цифровых технологий на ПП начинается с установки интеллектуальных устройств сбора данных. Это может включать:

- Трансформаторы тока и напряжения с цифровым выходом;
- Устройства регистрации аварийных событий (УРАС);
- Многофункциональные микропроцессорные терминалы;
- Системы контроля частичных разрядов;
- Датчики вибрации, температуры, влажности.

Собранные данные передаются в SCADA-систему, где осуществляется их первичная обработка. Далее информация может поступать в облачные хранилища или edge-устройства для последующего анализа.

Особенности big data в энергетике:

- Высокая скорость поступления данных (real-time monitoring);
- Неоднородность источников (сигналы с РЗА, датчики, внешние источники);
- Большие объёмы информации, требующие автоматизированной фильтрации и интерпретации;
- Необходимость масштабируемой и отказоустойчивой инфраструктуры (облачные решения, edge-компьютинг).

### *Анализ и прогноз состояния оборудования*

Анализ состояния оборудования основан на выявлении трендов и аномалий, отклоняющихся от нормы. Например:

- Повышение температуры масла трансформатора указывает на возможный перегрев обмоток;
  - Частые отключения выключателей могут свидетельствовать о снижении ресурса механических частей;
  - Рост уровня частичных разрядов указывает на деградацию изоляции.
- Методы анализа:
- Спектральный анализ вибраций и тока для оценки механических неисправностей;
  - Анализ временных рядов с использованием ARIMA-моделей и рекуррентных нейросетей (RNN);
  - Построение профилей "здоровья" оборудования (Health Index);
  - Интеграция с цифровыми паспортами, содержащими всю историю эксплуатации и ремонтов.

Такая диагностика не только позволяет своевременно обнаружить неисправности, но и планировать замену оборудования, основываясь на реальных данных, а не формальных сроках службы.

**Результаты исследования.** Примеры внедрения предиктивной диагностики на ПП 110/35/10 кв: на подстанциях крупных промышленных объектов и в сетевых компаниях внедряются цифровые модули анализа состояния трансформаторов, выключателей, кабельных линий. Например, в рамках пилотных проектов на объектах ПАО «Россети» и ПАО «ФСК ЕЭС» удалось снизить количество аварийных отключений на 30% за счёт своевременного выявления потенциальных неисправностей.

Кроме того, на подстанциях, обслуживающих энергоёмкие производства, предиктивные системы позволили сократить расходы на аварийные ремонты до

40%, за счёт точечного планирования регламентных работ. Интеграция платформ предиктивной аналитики с ERP-системами обеспечивает сквозную цифровизацию производственных и технических процессов[1, 3].

Экономическая эффективность внедрения предиктивной диагностики подтверждается снижением затрат на техническое обслуживание, уменьшением простоев, увеличением срока службы оборудования. Средняя окупаемость проектов по внедрению подобных решений составляет от 2 до 4 лет.

Перспективными направлениями развития являются:

- Применение нейросетей с глубоким обучением для прогнозирования отказов;
- Автоматическая генерация предписаний по обслуживанию;
- Разработка национальных стандартов в области предиктивной диагностики;
- Использование блокчейн-технологий для хранения и верификации технических данных оборудования.

**Заключение.** Технологии предиктивной диагностики и анализа big data являются важнейшими элементами цифровой трансформации энергетической инфраструктуры. Их внедрение на понизительных подстанциях 110/35/10 кВ позволяет значительно повысить надёжность и эффективность эксплуатации, сократить издержки на обслуживание и предотвратить аварийные отключения.

Совершенствование технологий, развитие искусственного интеллекта и облачных платформ в ближайшие годы выведет диагностику энергетического оборудования на новый уровень, делая её неотъемлемой частью интеллектуальных энергосистем будущего.

#### **Список источников**

1. Михайлов, А.Г. Цифровая трансформация в электроэнергетике / А.Г. Михайлов // – М.: Энергоатомиздат, 2021.
2. Воропай, Н.И. Умные сети и цифровые подстанции / Н.И. Воропай // Энергетические системы и технологии. – 2022.
3. ИЕС 61850. Стандарт МЭК для цифровых подстанций. Международная электротехническая комиссия.
4. Аналитика больших данных в электроэнергетике / Ю. Чжан и др. // Вестник IEEE Smart Grid, 2020.
5. Блинов, С.В. Предиктивная аналитика в энергосетях / С.В. Блинов, И.Н. Петров // – СПб.: Питер, 2022.
6. Чернов, А.А. Автоматизация диагностики на энергетических объектах / А.А. Чернов, Е.В. Новиков // – Новосибирск: НГТУ, 2021.
7. Применение машинного обучения в предиктивной диагностике энергосистем / А. Яссин и др. // Энергетические отчёты, 2023.

© Басуматорова Е.А., Хамитова А.М., 2025



## О ВОЗМОЖНОСТИ УСТРОЙСТВА ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ГРЕБЁНКИ В ТЕПЛОВОМ ПУНКТЕ ЖИЛОГО ДОМА

Алия Фаридовна Бикмуллина<sup>1</sup>, Анна Сергеевна Ларионова<sup>2</sup>, Гузель Мневеровна Ахмерова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г.Казань, Россия

<sup>1</sup>[bikmyllinaaliya01@gmail.com](mailto:bikmyllinaaliya01@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0002-1198-9451>

<sup>2</sup>[anna.larionova04@mail.ru](mailto:anna.larionova04@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-0783-8412>

<sup>3</sup>[akhmerovaag@mail.ru](mailto:akhmerovaag@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4030-8264>

**Аннотация.** В статье поднимается вопрос устройства прямоугольной гребёнки в тепловом пункте жилого дома. В данной статье приведены предложения по замене коллекторов круглого сечения на прямоугольные для сохранения свободного пространства. В статье представлены решения по реконструкции индивидуального теплового пункта и разработаны условия применения данной системы для объекта в г. Казани.

**Ключевые слова:** распределительная гребёнка, коллектор, отопление, тепловой пункт.

**Для цитирования:** Бикмуллина, А.Ф. О возможности устройства прямоугольной гребёнки в тепловом пункте жилого дома / А.Ф. Бикмуллина, А.С. Ларионова, Г.М. Ахмерова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## ABOUT THE POSSIBILITY OF INSTALLING A RECTANGULAR COMB IN THE HEATING POINT OF A RESIDENTIAL BUILDING

Aliya Faridovna Bikmullina<sup>1</sup>, Anna Sergeevna Larionova<sup>2</sup>, Guzel Mneverovna Akhmerova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

<sup>1</sup>[bikmyllinaaliya01@gmail.com](mailto:bikmyllinaaliya01@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0002-1198-9451>

<sup>2</sup>[anna.larionova04@mail.ru](mailto:anna.larionova04@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-0783-8412>

<sup>3</sup>[akhmerovaag@mail.ru](mailto:akhmerovaag@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4030-8264>

**Annotation.** The article raises the issue of installing a rectangular comb in the heating point of an apartment building. This article contains proposals for replacing round collectors with rectangular ones to preserve free space. The article presents solutions for the reconstruction of an individual heating point and develops the conditions for the use of this system based on the facility in Kazan.

**Keywords:** distribution comb, collector, heating, heat point.

**For citation:** Bikmullina, A.F. On the possibility of installing a rectangular comb in the heating point of a residential building / A.F. Bikmullina, A.S. Larionova, G.M. Akhmerova // Actual problems of agro-industrial energy: materials of the III National Scientific and Practical Conference with International participation named after G.P. Eroshenko / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В тепловых пунктах присоединение теплопотребляющих систем осуществляется через камеру выравнивания давления – гребёнку, площадь сечения которой должна быть не менее суммы площадей присоединяемых патрубков. Присоединение патрубков к гребёнке должно осуществляться в одном направлении вверх. Нижняя врезка отводящих и подводящих трубопроводов в коллектор не рекомендуется [1].

**Материалы и методы.** Стандартные коллекторы имеют вид, представленный на рис. 1, а. В этом варианте на обвод трубопроводами, присоединёнными к нижней и верхней гребёнке, тратится значительная площадь помещения теплового пункта. Поэтому для более компактного размещения трубопроводов и теплотехнического оборудования в ТП предлагается использовать распределительные гребенки из труб квадратного или прямоугольного сечения без обвода присоединяемых патрубков, а пропуская патрубки, присоединяемые к нижней гребёнке, напрямую через верхнюю гребёнку (рис. 1, б) [2].

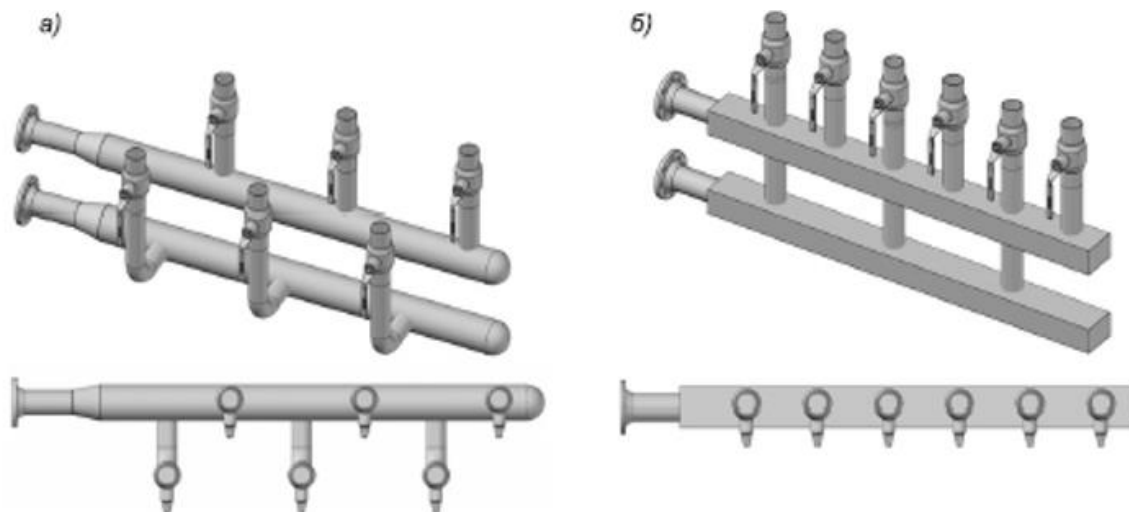


Рисунок 1 – Общий вид распределительной гребёнки в тепловом пункте

а – стандартный вариант присоединения патрубков к круглой трубе;

б – исследуемый вариант присоединения патрубков к трубе прямоугольного сечения

В статье [2] исследователи в ходе проведённого анализа выявили, что применение гребенок прямоугольного сечения с эквивалентным диаметром менее 100 мм не рекомендуется, т.к. по длине гребёнки наблюдается значительное падение давления, и гребёнка перестает выполнять свою функцию – быть камерой постоянного давления. Также резко понижается температура воды в подающих патрубках, что может привести к «недотопу» в

телопотребляющих системах [3-5]. Применение гребёнок прямоугольного сечения целесообразно при эквивалентном диаметре более 100 мм. Причём чем больше эквивалентный диаметр гребенки, тем меньше влияние проходящих патрубков через подающую гребёнку как на гидравлику, так и на изменение температур.

**Результаты исследования.** Рассмотрим применение прямоугольной гребёнки на примере 23-х этажного жилого дома.

Исходные данные:

- нагрузка на отопление жилья: 519,761 кВт;
- нагрузка на отопление коммерции: 55,68 кВт;
- общая нагрузка на отопление: 575,68 кВт.

Диаметр гребёнки подбирается согласно СП510.1325800.2022 п.8.4.18: не менее суммы площадей поперечных сечений, отводящих/подводящих трубопроводов. Согласно расчётам, стандартная гребёнка круглого сечения равна 125 мм. Диаметр отводящего патрубка для жилья принят 100 мм, диаметр патрубка для коммерции 50 мм. Подбор диаметров патрубков проводился с учётом допустимой скорости до 1 м/с и потерями давления до 80 Па/м.

Для подбора гребёнки квадратного сечения определим сечение с учётом допустимой скорости до 1 м/с. При заданной нагрузке сечение  $F = 0,00549 \text{ м}^2$ . Принята гребёнка размерами 150×150 мм, для возможности врезки патрубков Ду100 мм и Ду50 мм.

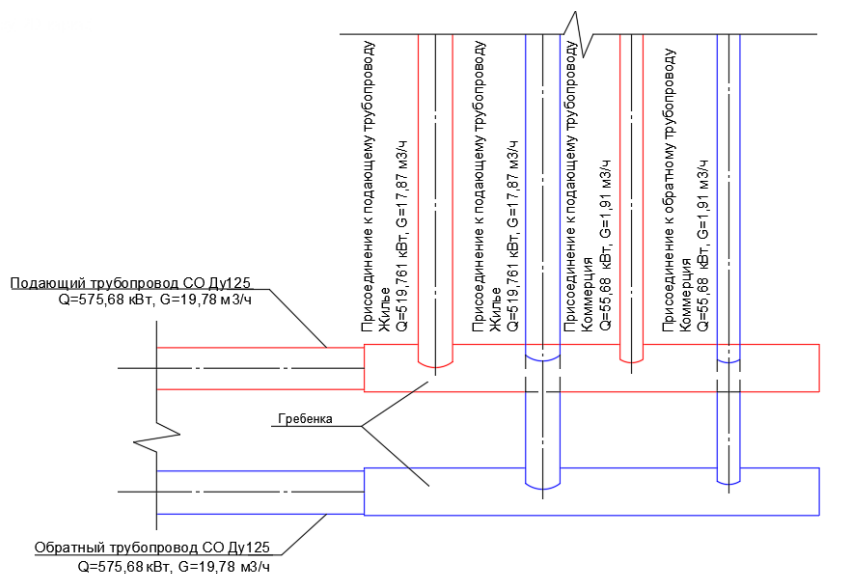


Рисунок 2 – Схема гребёнки квадратного сечения с подключением патрубков

Необходимо определить скорость и сопротивление в гребенке при прохождении патрубка через распределительную гребенку.

Определим площадь сечения с учётом патрубка с наружным диаметром 108 мм.

$$S_{\text{сеч}} = 0,15 * 0,15 - \frac{\pi * 0,108^2}{4} = 0,013 \text{ м}^2$$

Скорость при этом равна  $v = 0,39 \text{ м/с}$ , потери давления  $P = 401 \text{ Па/м}$ . Следовательно необходимо увеличить сечение гребёнки для уменьшения

сопротивления до 80 Па/м.

Подберём гребёнку сечением 200×200 мм.

Площадь сечения в этом случае равна  $S_{сеч} = 0,031 \text{ м}^2$ . Скорость  $v = 0,177 \text{ м/с}$ , потери давления  $P = 38 \text{ Па/м}$ .

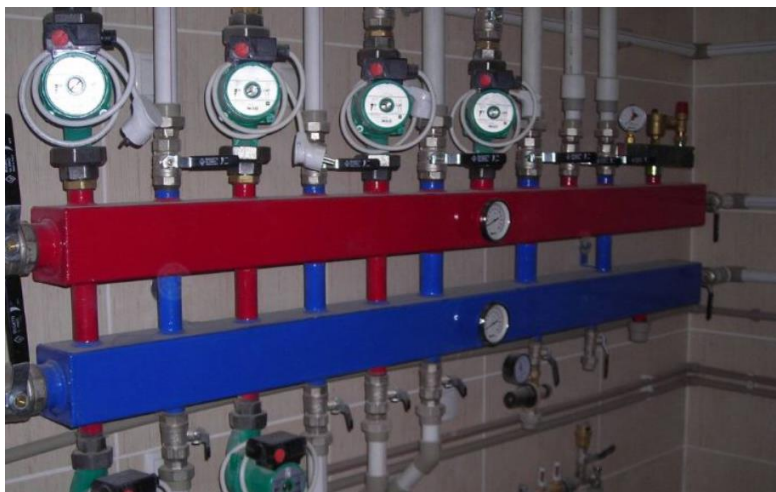


Рисунок 3 – Применение гребёнки квадратного сечения [6]

**Заключение.** Таким образом, распределительная гребёнка может иметь квадратное сечение размерами 200×200 мм. Системы такого типа имеют ряд преимуществ, такие как: компактность и удобство монтажа, прочность конструкции за счёт углов повышающих жёсткость, экономия материала и интеграция с другими элементами. Однако важно понимать, что это специфичная система, требующая дополнительных расчётов на гидравлическую устойчивость. Также система имеет риск засорения и коррозии из-за застоя теплоносителя, что требует грамотной эксплуатации.

#### Список источников

1. СП 510.1325800.2022 Тепловые пункты и системы внутреннего теплоснабжения.

2. Рохлецова, Т.Л. Возможности применения распределительных гребёнок теплоснабжения из труб прямоугольного сечения в ЦТП и ИТП / Т.Л. Рохлецова, Л.А. Кияница, Д.В. Рогов // – (Санитарная техника) Известия вузов. Строительство. – 2014. – № 3. – С. 61-65.

3. Ларионова, А.С. Проблемы систем централизованного теплоснабжения на современном этапе / А.С. Ларионова, А.Р. Сибгатов, К.Р. Алмакаев, Г.М. Ахмерова // Современное промышленное и гражданское строительство. 2024. – Т. 20. – № 2. – С. 83-92.

4. Akhmerova G. Upgrading the hot water supply system as a way to save energy / G. Akhmerova, A. Zalyalova, R. Badrutdinov, E. Khaziakhmetova, R. Maksudov // В сборнике: E3S Web of Conferences Volume 274 (2021). 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021). France, 2021. С. 8010.

5. Каленова, Е.С. Анализ тенденций изменения температурных графиков для систем теплоснабжения / Е.С. Каленова, Е.В. Дресвянникова, Г.М. Ахмерова // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования

- 2021. Сборник докладов Второй Национальной научной конференции. Москва, – 2022. – С. 1046-1051.

6. Распределительная гребёнка (коллектор): назначение, принцип действия, правила подключения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://santexworld.ru/stati/raspredelitel'naya-grebenka-kollektor-naznachenie-princip-dejstviya-pravila-podklyucheniya>

© Бикмуллина А.Ф., Ларионова А.С., Ахмерова Г.М., 2025

Научная статья  
УДК 712; 621.31

## РОЛЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

**Анастасия Александровна Богомолова<sup>1</sup>, Юлия Вадимовна Панина<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[akayfmann@gmail.com](mailto:akayfmann@gmail.com)

<sup>2</sup>[juliana.pv@yandex.ru](mailto:juliana.pv@yandex.ru)

**Аннотация.** В данной статье рассматривается роль электрооборудования как ключевого элемента современной ландшафтной архитектуры. Обсуждается классификация электротехнических систем, применяемых в благоустройстве территории, включая освещение, автоматизированные системы, силовые компоненты и специализированные устройства. Описываются принципы проектирования, способствующие устойчивому развитию и энергоэффективности. Особое внимание уделяется внедрению технологий «умного города» и экологических технологий. Приводятся примеры реализации с акцентом на функциональность, безопасность и эстетическое восприятие окружающей среды.

**Ключевые слова:** ландшафтная архитектура, электрооборудование, наружное освещение, автоматизация, умный город, энергоэффективность.

**Для цитирования:** Богомолова, А.А. Роль электрооборудования в ландшафтной архитектуре / А.А. Богомолова, Ю.В. Панина // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## THE ROLE OF ELECTRICAL EQUIPMENT IN LANDSCAPE ARCHITECTURE

**Anastasia Alexandrovna Bogomolova<sup>1</sup>, Yulia Vadimovna Panina<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Saratov State University of genetics, biotechnology and engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[akayfmann@gmail.com](mailto:akayfmann@gmail.com)

<sup>2</sup>[juliana.pv@yandex.ru](mailto:juliana.pv@yandex.ru)

**Annotation.** This article examines the role of electrical equipment as a key element of modern landscape architecture. The classification of electrical engineering systems used in landscaping, including lighting, automated systems, power components, and specialized devices, is discussed. Design principles that promote sustainable development and energy efficiency are described. Special attention is paid to the introduction of smart city technologies and environmental technologies. Examples of implementation are given with an emphasis on functionality, safety and aesthetic perception of the environment.

**Keywords:** landscape architecture, electrical equipment, outdoor lighting, automation, smart city, energy efficiency.

**For citation:** Bogomolova, A.A. The Role of Electrical equipment in Landscape Architecture / A.A. Bogomolova, Yu.V. Panina // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современная ландшафтная архитектура расширяет свои горизонты, выходя за рамки простого озеленения и малых архитектурных форм. Она включает в себя сложные инженерные решения, где электрооборудование занимает центральное место. Эти инженерные системы не только помогают создать комфортную, безопасную и выразительную городскую среду, но и обеспечивают функциональность общественных пространств в любое время суток. Кроме того, они позволяют реализовать инновационные подходы, усиливающие взаимодействие пользователей с окружающей средой.

**Результаты исследования.** Изменения в требованиях к общественным пространствам, а также внедрение концепций устойчивого развития и «умного города» подчеркивают необходимость интеграции энергоэффективных, многофункциональных и интеллектуальных инженерных систем. Электрооборудование выступает не только как практический элемент, но и как важное средство выражения в архитектурной композиции. Применение световых решений и связанных с ними систем становится фундаментом для нового типа восприятия пространства – динамичного, интерактивного и адаптивного.

Функциональные возможности электрооборудования в ландшафтной архитектуре:

Электрооборудование в ландшафтной архитектуре решает множество задач:

- **Освещение:** включает архитектурное, функциональное (подсветка дорожек и бассейнов) и декоративное (подсветка растений и фонтанов). Современные LED-технологии позволяют создавать впечатляющие световые композиции с минимальным расходом энергии [1].

- **Системы автоматического полива:** обеспечивают эффективный и экономичный полив растений, принимая во внимание климатические условия и требования различных видов флоры. Эти системы используют датчики влажности почвы, автоматизированное управление и функции дистанционного контроля.



- Системы управления микроклиматом: включают отопление, вентиляцию и кондиционирование для создания комфортного климата в определенных ландшафтных зонах, таких как беседки или зимние сады.

- Звуковое оформление: интеграция звуковых систем создает атмосферу активности или спокойствия в различных частях ландшафта.

- Системы безопасности: освещение с датчиками движения, системы видеонаблюдения и сигнализации обеспечивают безопасность на территории.

Таблица – Классификация электрооборудования

| Категория              | Подкатегории                                               | Функциональное назначение                                          |
|------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Осветительные системы  | Функциональное, декоративное, архитектурное, интерактивное | Повышение видимости, создание атмосферы, визуальное акцентирование |
| Силовое оборудование   | Электрощиты, УЗО, кабели, заземление                       | Подача и распределение электроэнергии                              |
| Автоматизация          | Контроллеры, сценарии, IoT-управление                      | Эффективность и дистанционное управление                           |
| Специальные устройства | Зарядные станции, видеонаблюдение, Wi-Fi терминалы         | Дополнительный комфорт и безопасность                              |

Освещение представляет собой неотъемлемую составляющую ландшафтного проектирования, выполняя функции безопасности, ориентации, создания эстетической атмосферы и подчеркивания архитектурного образа. К основным типам освещения относятся:

- Функциональное освещение: обеспечивает видимость на пешеходных и транспортных путях, повысив безопасность.

- Декоративное освещение: создает акценты и формирует композиционную выразительность объектов.

- Архитектурная подсветка: активно применяется в общественных и исторических зонах для подчеркивания элементов фасадов, арок и скульптур.

- Интерактивное освещение: востребовано в зонах активного отдыха и культурных объектах. Реализуется через светочувствительные системы, реагирующие на движение, звук и погодные условия.

Современные осветительные решения включают регулировку цветовой температуры, интенсивности и направления светового потока, а также возможность программирования сценариев освещения в зависимости от времени суток или событий. На сегодняшний день светодиодные светильники находят все большее применение, позволяющие более точно регулировать параметры света, необходимые для оптимального протекания процесса фотосинтеза [2].

Электроснабжение объектов ландшафтной архитектуры требует надежности и отказоустойчивости. В этом контексте используются:

- Подземные кабельные линии с многослойной изоляцией, устойчивые к влаге и агрессивным условиям.

- Компактные распределительные шкафы, устанавливаемые в павильонах, опорах освещения или скрыто в малых архитектурных формах.

- Автоматизированные системы переключения на резервное питание в случае аварийных отключений.

- Электросчетчики с возможностью дистанционного считывания показаний для эффективного контроля энергопотребления.

Инфраструктура электроснабжения всё чаще интегрируется с системами энергоэффективности, включая использование аккумуляторов, возобновляемых источников энергии и адаптивные алгоритмы управления.

Интеллектуальные системы управления играют ключевую роль в оптимизации ресурсов и обеспечении высокого уровня комфорта. Основные элементы таких систем включают:

- Контроллеры освещения: с поддержкой сценарного управления и адаптацией к погодным условиям.

- Датчики движения и освещенности: автоматически активируют свет только в присутствии активности.

- Сенсорные панели и мобильные приложения: позволяют пользователям управлять освещением, звуковым оформлением и другими функциями пространства [5].

- Интеграция с городскими цифровыми платформами: даёт возможность централизованного управления целыми районами или парками в режиме реального времени.

В современных благоустроенных пространствах существуют дополнительные инженерные элементы:

- Зарядные станции: предназначены для электромобилей, электровелосипедов и мобильных устройств.

- Сенсорные навигационные киоски: функционируют на основе альтернативных источников энергии и предлагают информацию о местности.

- Умные скамейки: оснащены подсветкой, функциями зарядки и доступом к Wi-Fi.

- Станции мониторинга: отслеживают качество воздуха, уровень влажности и шум, встроенные в элементы благоустройства [3].

Основные принципы проектирования электрооборудования в ландшафтной архитектуре включают:

- Технологическая совместимость: все компоненты должны соответствовать действующим техническим регламентам и быть совместимыми для интеграции в единую систему.

- Эстетическая интеграция: важно уменьшить визуальное влияние оборудования на ландшафт.

- Функциональная гибкость: возможность адаптации и перепрограммирования инженерных систем в зависимости от предъявляемых задач.

- Устойчивость и безопасность: защита от вандализма, негативных погодных условий и обеспечение электробезопасности.

- Экологическая эффективность: снижение потребления энергии, уменьшение углеродного следа и использование вторичных материалов.

**Результаты исследования.** Архитектурно-ландшафтные аспекты применения электрооборудования:

### *1. Эстетическая интеграция*

Одним из ключевых направлений становится скрытая или художественно оправданная интеграция электрооборудования в окружающую среду. Это может включать использование встроенных светильников, стилизованных опор, а также маскировку электрощитов под архитектурные формы, что способствует гармонии между естественной и искусственной средой.

### *2. Энергоэффективность и устойчивость*

Наблюдается растущий интерес к автономным источникам энергии, таким как солнечные панели и гибридные системы, работающие на основе аккумуляторов и датчиков присутствия. Эта инициатива особенно актуальна для природных парков и удалённых объектов, где доступ к традиционным источникам электроэнергии может быть ограничен [4].

### *3. Экологические аспекты*

Экологичность является одним из важнейших критериев при выборе электрооборудования. Приоритет должен отдаваться энергоэффективным решениям, например, светодиодам (LED), которые имеют низкое потребление энергии и длинный срок службы. Использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечные батареи, может значительно уменьшить экологический след. Правильный выбор материалов и технологий также поможет минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Соблюдение всех норм электробезопасности является обязательным. Важно использовать оборудование с защитой от влаги и перегрузок, а также обеспечивать надлежащую изоляцию проводов и кабелей. Проектирование электрооборудования должно соответствовать нормам по электробезопасности, требованиям защиты от атмосферных воздействий (IP-стандарты), а также учитывать экологические и охранные нормы.

Развитие цифровых технологий оказывает значительное влияние на проектирование ландшафтных пространств. Среди наиболее заметных тенденций можно выделить:

- Световые экосистемы: осветительные устройства, которые взаимодействуют друг с другом и с поведением людей, создавая уникальные световые сценарии.

- Системы сбора данных: интеграция погодных станций, датчиков движения и шумомеров в городские платформы для эффективного управления ресурсами.

- Карбон-нейтральные технологии: применение солнечных панелей, микротурбин, комбинированных аккумуляторов и систем накопления энергии для снижения углеродного следа.

- Гибридные системы освещения: сочетание естественного и искусственного света, использование отражающих поверхностей и направленных светильников для улучшения качества освещения.

Эти технологии способствуют созданию адаптивной, устойчивой и высокотехнологичной городской среды, которая может эффективно реагировать на изменения и потребности горожан.

Примеры реализации современных технологий:

- Парк «Зарядье» (Москва).

В этом парке внедрена комплексная система освещения и управления микроклиматом. Используются адаптивные светильники, которые могут регулировать яркость и цветовую температуру света, а также интеллектуальные управляющие системы, которые подстраивают освещение в зависимости от плотности движения посетителей.

- High Line (Нью-Йорк).

В этом проекте реализована концепция «интерактивного освещения». Светильники меняют свою интенсивность и цвет в зависимости от времени суток и количества людей. Освещение синхронизировано с аудиовизуальными инсталляциями и различными сезонными мероприятиями, создавая уникальные атмосферные условия.

- Superkilen Park (Копенгаген).

Этот парк активно использует мультимедийные компоненты, такие как световые панели, интеграцию с городским Wi-Fi и сенсорные станции. Световые линии здесь выполняют двойную функцию: служат для навигации и становятся символом культурной идентичности территории.

**Заключение.** Электрооборудование стало ключевым элементом современного проектирования ландшафтных пространств, обеспечивая функциональность, безопасность и удобство, а также формируя эмоциональный и эстетический аспект. В условиях роста городов и динамичной цифровизации инфраструктуры электротехнические решения играют основополагающую роль в создании адаптивных и умных общественных пространств. Их разработка требует междисциплинарного подхода, который сочетает инженерный анализ и архитектурное мышление.

В будущем ожидается более глубокая интеграция с информационными технологиями, активное использование нейросетей и автоматизированных систем прогнозирования для управления городской средой. Это открывает новые горизонты для ландшафтной архитектуры и требует переосмысления ролей инженеров и архитекторов в процессе формирования городской среды.

#### **Список источников**

1. Маслов, А.В. Ландшафтная архитектура: принципы и технологии / А.В. Маслов // М.: Архитектура-С, – 2019.

2. Верзилин, А.А. Применение светодиодных светильников для досвечивания полевых культур в фитотроне / А.А. Верзилин, И.Н. Попов, С.П. Мерзлов, С.В. Домнышев // 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. 73-77.

3. Бычков, А.М. Введение в проектирование наружного освещения / А.М. Бычков // – СПб: Профобразование, – 2018.

4. Сидорова, И.А. Энергоэффективные технологии в ландшафтной архитектуре / И.А. Сидорова // Архитектура и строительство России, – 2020.

5. ГОСТ Р 55706-2013. Установки наружного освещения. Общие требования.

© Богомолова А.А., Панина Ю.В., 2025

Научная статья

УДК 621.355, 629.34

## МЕТОД БЫСТРОЙ ОЦЕНКИ ЁМКОСТИ АККУМУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПЕДАНСА

Алексей Николаевич Борзенков<sup>1</sup>, Сергей Александрович Внуков<sup>2</sup>, Борис Витальевич Малозёмов<sup>3</sup>, Ильхам Хамматович Халиков<sup>4</sup>, Николай Иванович Щуров<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, Россия

<sup>1</sup>[a\\_h.79@mail.ru](mailto:a_h.79@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1342-9239>

<sup>2</sup>[abakan.1998@mail.ru](mailto:abakan.1998@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-6219-519X>

<sup>3</sup>[mbv5@mail.ru](mailto:mbv5@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8686-9556>

<sup>4</sup>[ilhamkhalikov@yandex.ru](mailto:ilhamkhalikov@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0005-1525-6863>

<sup>5</sup>[nischurov@mail.ru](mailto:nischurov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5459-9544>

**Аннотация.** В статье приводится точная оценка уровня заряда аккумуляторной батареи (State-of-charge, SOC), позволяющая оценить её текущее состояние. Результатом управления состоянием аккумулятора является оптимизация его работы и продление срока службы. На срок службы аккумулятора влияет количество циклов заряда/разряда. В данной работе приводится описание комплексного подхода измерения импеданса с помощью кулоновского метода. Методология измерения импеданса предназначена для оценки SOC аккумулятора, применяемого в электромобилях, в реальных эксплуатационных условиях. Оценка параметра SOC выполняется с применением начальных условий (напряжение, ёмкость аккумулятора). Оригинальность работы заключается в применении эффективного метода оценки параметра SOC аккумулятора в режиме реального времени на основе кулоновского метода, который наиболее точно оценивает параметр SOC. Проверка данного метода выполняется с применением электрической схемы в реальных условиях эксплуатации. С помощью программно-аппаратного комплекса (лабораторного стенда) проведены измерения импеданса для двух типов аккумуляторов – литий-ионных (Li-Ion) и свинцово-кислотных (Lead-Acid), для подтверждения эффективности использования данного метода.

**Ключевые слова:** аккумуляторный электромобиль (BEV), кулоновский метод, состояние заряда аккумулятора (SOC), литий-ионный аккумулятор

(Li-Ion), свинцово-кислотный аккумулятор (Lead-Acid), литий-полимерный аккумулятор (Li-Pol), никель-металлогидридный аккумулятор (Ni-MH).

**Для цитирования:** Борзенков, А.Н. Метод быстрой оценки ёмкости аккумулятора электромобиля с помощью измерения импеданса / А.Н. Борзенков, С.А. Внуков, Б.В. Малозёмов, И.Х. Халиков, Н.И. Щуров // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## METHOD FOR RAPID EVALUATION OF ELECTRIC VEHICLE BATTERY CAPACITY BY IMPEDANCE MEASUREMENT

**Aleksei Nikolaevich Borzenkov<sup>1</sup>, Sergei Aleksandrovich Vnukov<sup>2</sup>, Boris Vitalevich Malozemov<sup>3</sup>, Ilkham Khammatovich Khalikov<sup>4</sup>, Nikolai Ivanovich Shchurov<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

<sup>1</sup>[a\\_h.79@mail.ru](mailto:a_h.79@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1342-9239>

<sup>2</sup>[abakan.1998@mail.ru](mailto:abakan.1998@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-6219-519X>

<sup>3</sup>[mbv5@mail.ru](mailto:mbv5@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8686-9556>

<sup>4</sup>[ilhamkhalikov@yandex.ru](mailto:ilhamkhalikov@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0005-1525-6863>

<sup>5</sup>[nischurov@mail.ru](mailto:nischurov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5459-9544>

**Annotation.** The article provides an accurate estimate of the state-of-charge (SOC) battery level, which allows you to assess its current state. The result of managing the state of the battery is to optimize its operation and extend its service life. Battery life is affected by the number of charge/discharge cycles. This paper describes an integrated approach to impedance measurement using the Coulomb method. The impedance measurement methodology is designed to estimate the SOC of a battery used in electric vehicles under real-world operating conditions. The SOC parameter is evaluated using initial conditions (voltage, battery capacity). The originality of the work lies in the use of an effective method for estimating the battery SOC parameter in real time based on the Coulomb method, which most accurately estimates the SOC parameter. Verification of this method is carried out using an electrical circuit in real operating conditions. Using a software and hardware complex (laboratory bench), impedance measurements were carried out for two types of batteries – lithium-ion (Li-Ion) and lead-acid (Lead-Acid), to confirm the effectiveness of using this method.

**Keywords:** battery electric vehicle (BEV), coulomb method, battery charge state (SOC), lithium-ion battery (Li-Ion), lead-acid battery (Lead-Acid), lithium-polymer battery (Li-Pol), nickel-metal-hydride battery (Ni-MH).

**For citation:** Borzenkov, A.N. Method for rapid evaluation of electric vehicle battery capacity by impedance measurement / A.N. Borzenkov, S.A. Vnukov, B.V. Malozemov, I. Kh. Khalikov, N.I. Shchurov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.



**Введение.** В настоящее время в мире существуют проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды и истощением запасов ископаемого топлива. Эти факторы способствуют развитию различных классов электромобилей: подключаемые электромобили (PEV), состоящие из электромобилей и гибридных электромобилей (EV/HEV) [1].

В статье отражены исследования характеристик как Lead-Acid аккумуляторов, так и Li-Ion. Технология Lead-Acid аккумуляторов является относительно самой дешёвой среди доступных используемых аккумуляторных технологий, как достаточно развитая. Эта технология имеет приемлемую надёжность и достаточно высокий КПД (70-90 %). Тем не менее, у Lead-Acid аккумулятора низкая удельная энергоёмкость, короткий срок службы, относительно низкая производительность при низких и высоких температурах. На данный момент широко используются Li-Ion или Li-Pol аккумуляторы в следующих областях: электромобилях и энергетических системах космических самолётов, благодаря их относительно высокой плотности энергии, а также длительному сроку службы, по сравнению с аккумуляторами других технологий на основе Lead-Acid или Ni-MH. Кроме того, стандартные Li-Ion аккумуляторы относительно дешёвые и позволяют накапливать более чем в два раза большее количество энергии, чем стандартные Ni-MH. Следовательно, как Li-Ion, так и Li-Pol аккумуляторы можно рассматривать, как альтернативу другим аккумуляторам для гибридных транспортных средств [2].

**Материалы и методы.** Для определения характеристик Lead-Acid аккумулятора авторами разработан испытательный стенд на основе схемы, изображённой на рис. 1. Используемый Lead-Acid аккумулятор модели Power Fit S300 имеет следующие характеристики:  $U = 12$  В,  $C = 12$  А·ч при  $20$  °С,  $R_{\text{внут}} = 4,03$  мОм. Используемые Li-Ion аккумуляторы имеют следующие характеристики: 2 ячейки по 3,6 В каждая, итого 7,2 В (1200 мА·ч) [3].

Как представлено на рис. 1, испытательный стенд состоит из аккумулятора, специально спроектированного контроллера с испытательным сопротивлением для проведения измерений в реальном времени и ноутбука.

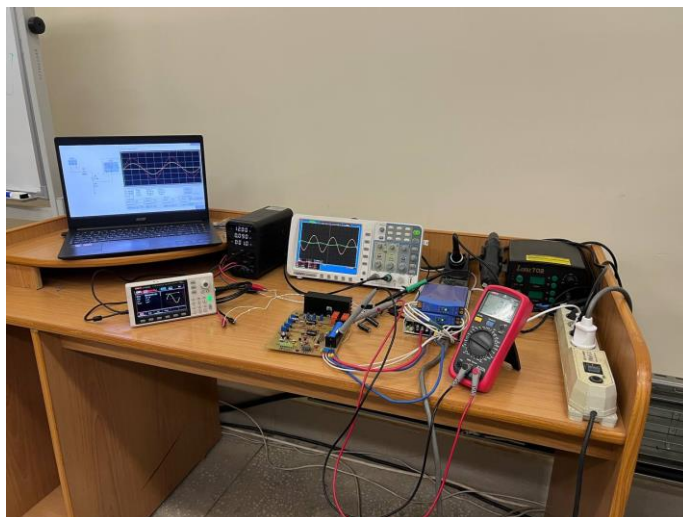


Рисунок 1 – Испытательный стенд для определения характеристик экспериментального аккумулятора

Измерения проводятся в автоматическом режиме. Данные с АЦП контроллера схемы измерения передаются на ноутбук, где производится обработка данных с помощью специально разработанного программного обеспечения на языке Python. Для упрощения во время экспериментальной проверки было измерено активное сопротивление аккумулятора, а не её импеданс [4].

Так как форма полученных экспериментальных данных имеет экспоненциальный вид, показанный на рис. 2, наиболее подходящие точки для точной оценки SOC должны находиться в начале экспоненциальной кривой. Для определения параметров  $A$  и  $B$  необходимо учитывать SOC = 5 % и SOC = 10 %, таким образом

$$Z(5\%) = A + 1 = 3. \quad (1)$$

$$Z(10\%) = Ae^{-5B} + 1 = 1,19. \quad (2)$$

После произведенных вычислений, параметры  $A$  и  $B$  будут равны 2 и 0,19, соответственно.

**Результаты исследования.** Как можно наблюдать из рис. 2, а, прямолинейная область экспоненциального графика, которая больше 80 % SOC, не позволяет точно оценить исходный SOC для Lead-Acid аккумуляторов. Однако, предполагается, что в данной области аккумулятор достаточно заряжен, чтобы позволить совершить умеренную поездку. Поэтому, данная область не считается критически важной. На рис. 2,а представлены результаты теоретической методологии для Lead-Acid аккумуляторов, которые практически не расходятся с результатами экспериментов. Поскольку авторы стремятся проверить общую применимость предложенного теоретического метода для охвата большего количества типов аккумуляторов, экспериментальная проверка была проведена для Lead-Acid аккумулятора. Согласно рис. 2,б, была проверена предложенная методология измерения импеданса, применительно к Lead-Acid аккумуляторам [5].

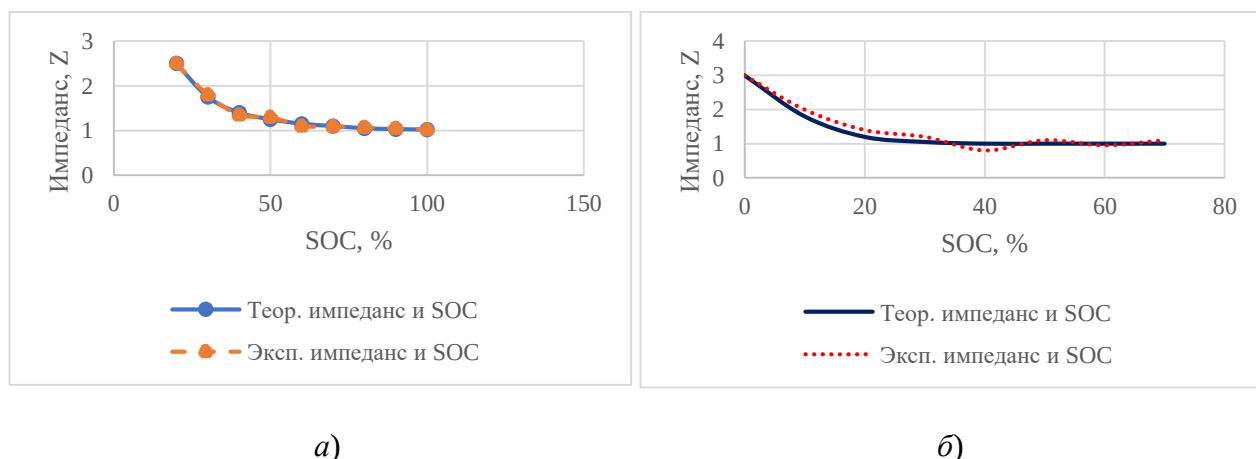


Рисунок 2. – Отношение импеданса аккумулятора для: а – Li-Ion аккумулятора;  
б – Lead-Acid аккумулятора

Сравнение предложенного подхода оценки с помощью импеданса с моделью SOC позволило получить значительные и точные первоначальные оценочные значения SOC Lead-Acid аккумулятора.

**Заключение.** Оценка SOC является важнейшей задачей для безопасности и эффективности электромобилей. В данной работе рассматривается проблема определения фактического SOC аккумулятора на борту транспортного средства. Для реальных электромобилей начальное значение SOC не всегда может быть правильно определено из-за большой ёмкости аккумулятора. Были проведены эксперименты для двух различных типов аккумуляторов (литий-ионного и свинцово-кислотного аккумуляторов). Значительное соответствие между численными и экспериментальными результатами подтверждает применимость и эффективность подхода для достижения адекватного и простого определения SOC. Теоретически и экспериментально подтверждается удобство предложенного подхода, основанного на относительно простых формулах. Рассмотренная методика легко реализуема и актуальна для реальных условий за счёт добавления вспомогательного коммутационного устройства и испытательного сопротивления. Метод оценки SOC аккумулятора на основе EIS обеспечивает высокую точность, что способствует развитию в практическом применении.

Будущее исследование включает в себя теоретическую и экспериментальную проверки усовершенствованной EIS на основе искусственного интеллекта с учётом других неопределённых параметров аккумулятора для BEV, таких как его старение и внешняя температура при эксплуатации.

### Список источников

1. Каневский, Л.С. Деградация литий-ионного аккумулятора и методы борьбы с ней / Л.С. Каневский, В.С. Дубасова // Электрохимия. – 2005. – Том 41. № 1, С. 3-19.
2. Кедринский, И.А. Химические источники тока с литиевым электродом / И.А. Кедринский, В.Е. Дмитриенко, Ю.М. Поваров, И.И. Грудянов // Изд-во Красноярск. ун-та, Красноярск, 1983.
3. Zheng, L. Incremental capacity analysis and differential voltage analysis-based state of charge and capacity estimation for lithium-ion batteries / L. Zheng, J. Zhu, D.D.-C. Lu, G. Wang, T. He // Energy, 2018.
4. Коровин, Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки / Н.В. Коровин. – М. : Изд-во МЭИ, 2005. – 280 с.
5. Стойнов, З.Б. Электрохимический импеданс / З.Б. Стойнов, Б.М. Графов, Б. Савовастойнова, В.В. Ёлкин. – М. : Наука, 1991. – 328 с.

© Борзенков А.Н., Внуков С.А., Малозёмов Б.В., Халиков И.Х., Щуров Н.И., 2025

## УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МАНИПУЛЯТОР

Владимир Викторович Васильев<sup>1</sup>, Дмитрий Николаевич Афоничев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

<sup>1</sup>[vasiliev.vladimir87@mail.ru](mailto:vasiliev.vladimir87@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5763-1650>

<sup>2</sup>[dmafonichev@yandex.ru](mailto:dmafonichev@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9066-6428>

**Аннотация.** Предложен автоматизированный манипулятор для перемещения готовой продукции на линиях фасовки и складах. Указанный манипулятор включает подвижной стол и прижимную пластину, соединенные между собой с помощью пневмоцилиндра и четырех телескопических втулок. С нижней стороны прижимной пластины выполнены сквозные Т-образные пазы, в каждом из которых установлены пары резьбовых втулок с противоположной резьбой, а подшипниковые узлы вмонтированы в торцах Т-образных пазов. Пары резьбовых втулок соединены между собой винтами, которые опираются на подшипниковые узлы, и приводятся во вращательное движение серводвигателями. С нижней стороны Т-образных пазов вставлены Г-образные вертикальные захваты.

**Ключевые слова:** автоматизированный манипулятор, Т-образные пазы, пневмоцилиндр, стол, винт, серводвигатель, вертикальные захваты.

**Для цитирования:** Васильев, В.В. Усовершенствованный автоматизированный манипулятор / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева. – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## ADVANCED AUTOMATED MANIPULATOR

Vladimir Viktorovich Vasiliev<sup>1</sup>, Dmitry Nikolaevich Afonichev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

<sup>1</sup>[vasiliev.vladimir87@mail.ru](mailto:vasiliev.vladimir87@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5763-1650>

<sup>2</sup>[dmafonichev@yandex.ru](mailto:dmafonichev@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9066-6428>

**Annotation.** An automated manipulator is proposed for moving finished products on packing lines and warehouses. The specified manipulator includes a movable table and a pressure plate connected to each other by means of a pneumatic cylinder and four telescopic bushings. Through T-shaped grooves are made on the underside of the pressure plate, in each of which pairs of threaded bushings with opposite threads are installed, and bearing assemblies are mounted at the ends of the T-shaped grooves. The pairs of threaded bushings

are interconnected by screws, which are supported by bearing assemblies, and are driven by servomotors. L-shaped vertical grippers are inserted on the underside of the T-slots.

**Keywords:** automated manipulator, T-slots, pneumatic cylinder, table, screw, servo motor, vertical grippers.

**For citation:** Vasiliev, V.V. Advanced Automated Manipulator / V.V. Vasiliev, D.N. Afonichev // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Роботизация процесса перемещения продукции на линиях фасовки, а также ящиков и коробов с готовой продукцией на складах является частью автоматизации технологического процесса производства [1, 2, 3, 4]. Перемещение продукции роботами на линии фасовки осуществляется, например, между узлом групповой упаковки и укладки групповой упаковки в ящик или короб, когда робот захватывает продукцию на выходе с узла групповой упаковки и укладывает ее в ящик.

На складах роботы используются, например, для снятия короба с транспортера и установки его на поддон или паллет. В обоих случаях применяются роботы-манипуляторы, которые хорошо себя зарекомендовали при выполнении широкого спектра манипуляций с различными объектами, отличающимися друг от друга по форме и размерам [4, 5, 6].

**Материалы и методы.** В настоящее время существует большое разнообразие роботов-манипуляторов, которые используются для перемещения коробов и ящиков с готовой продукцией на складах, когда возникает необходимость перекладки объектов с конвейера на транспортер или с транспортера на поддон или паллет. Изучив подробно один из известных роботов-манипуляторов [7], являющийся по своей сути автоматизированным манипулятором, было выявлено, что он имеет ряд недостатков, которые не позволяют эффективно его использовать, например, на складах роботизированных теплиц [8, 9] для снятия ящиков с выращенными овощами и фруктами с транспортера и укладки их на поддон или паллет. При этом недостатками данного автоматизированного манипулятора являются сложность конструкции и низкая надежность. Выявленных недостатков лишен автоматизированный манипулятор, который представлен на рис. 1 и рис. 2.

**Результаты исследования.** Автоматизированный манипулятор включает [10] подвижной стол 1, с нижней стороны которого вертикально установлены блок управления 2, пневмоцилиндр 3 и четыре телескопические втулки 4. Каждая телескопическая втулка 4 с внутренней стороны соединена с подвижной штангой 5. Свободные концы пневмоцилиндра 3 и подвижных штанг 5 жестко закреплены за прижимную пластину 6 с верхней ее стороны, причем пневмоцилиндр 3 закреплен за прижимную пластину 6 в центре ее пересечения диагоналей, а подвижные штанги 5, равно отнесенные от пневмоцилиндра 3, закреплены по углам прижимной пластины 6.

С нижней стороны прижимной пластины 6 выполнены сквозные Т-образные пазы 7, в каждом из которых установлены пары резьбовых втулок 8 с противоположной резьбой. Пары резьбовых втулок 8 с противоположной резьбой соединены между собой винтами 9, опирающимися на подшипниковые узлы 10, которые вмонтированы в торцах Т-образных пазов 7.

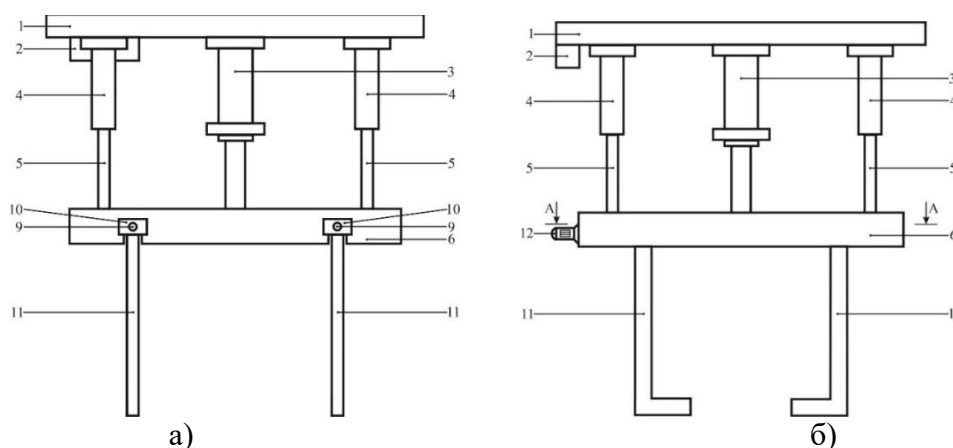


Рисунок 1 – Автоматизированный манипулятор: а – вид сбоку; б – вид спереди

С нижней стороны Т-образных пазов 7 вставлены Г-образные вертикальные захваты 11, каждый из которых длинной вертикальной частью жестко закреплен за резьбовую втулку 8, таким образом, что короткие горизонтальные части Г-образных вертикальных захватов 11 направлены навстречу друг другу. Винты 9 приводятся в движение серводвигателями 12, которые соединены с одним из их свободных концов винтов 9.

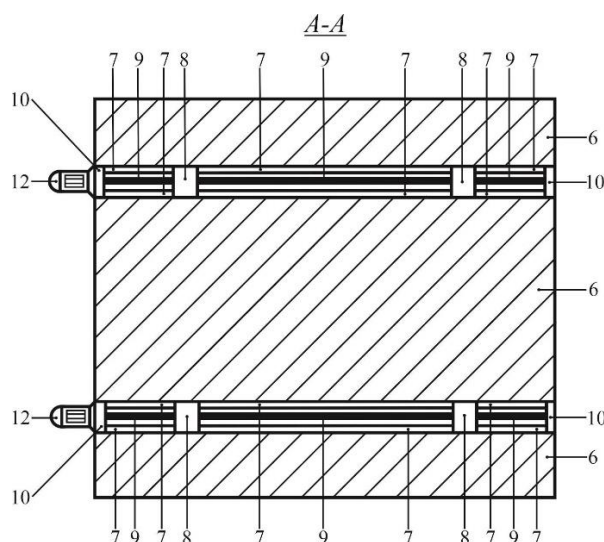


Рисунок 2 – Автоматизированный манипулятор (разрез А–А на рис. 1, б)

Автоматизированный манипулятор в автоматическом режиме работает следующим образом. В соответствии с технологическим процессом автоматизированному манипулятору в блок управления 2, установленный с нижней стороны подвижного стола 1, загружаются данные в виде координат о позиции нахождения объекта (упакованной продукции, изделия) – точки А, например, позиции нахождения объекта на транспортере технологической линии, и данные в виде координат о позиции, в которую необходимо переместить объект – точки В, например, позиции установки объекта на паллет [10]. Также загружаемая информация в блок управления 2 включает данные о параметрах перемещаемого объекта и вариантах установки его на транспортере, паллете и т.д. При поступлении объекта в точку А датчики положения передают в блок управления 2 автоматизированного манипулятора сигнал, подвижной



стол 1 перемещается в точку А и устанавливается над объектом, таким образом, чтобы центр объекта совпадал с точкой пересечения диагоналей прижимной пластины 6. Затем блок управления 2 включает серводвигатели 12, которые начинают вращать винты 9, опирающиеся на подшипниковые узлы 10, по часовой стрелке, в результате этого резьбовые втулки 8 по Т-образным пазам 7 совместно с Г-образными вертикальными захватами 11 начинают движение в противоположные стороны до момента свободного прохода объекта между короткими горизонтальными частями Г-образных вертикальных захватов 11. Блок управления 2 выключает серводвигатели 12 и включает пневмоцилиндр 3, который опускает прижимную пластину 6 до момента свободного захода горизонтальных частей Г-образных вертикальных захватов 11 под нижнюю поверхность объекта. При этом подвижные штанги 5 выдвигаются из телескопических втулок 4 и обеспечивают горизонтальное положение прижимной пластины 6. Блок управления 2 выключает пневмоцилиндр 3 и включает серводвигатели 12, которые начинают вращать винты 9, опирающиеся на подшипниковые узлы 10, против часовой стрелки, а резьбовые втулки 8 по Т-образным пазам 7 совместно с Г-образными вертикальными захватами 11 начинают движение навстречу друг другу, до момента установки Г-образных вертикальных захватов 11 в транспортное положение под объектом. Блок управления 2 выключает серводвигатели 12 и включает пневмоцилиндр 3, который поднимает прижимную пластину 6, объект окончательно устанавливается на пары горизонтальных частей Г-образных вертикальных захватов 11 и поднимается на требуемую транспортную высоту. При этом подвижные штанги 5 втягиваются в телескопические втулки 4 и обеспечивают горизонтальное положение прижимной пластины 6. Блок управления 2 выключает пневмоцилиндр 3 и по заданным координатам подвижной стол 1 и объект, опирающийся на пары горизонтальных частей Г-образных вертикальных захватов 11, перемещается в точку В. Объект наводится над точкой В. Блок управления 2 включает пневмоцилиндр 3, прижимная пластина 6 опускается до момента установки объекта в нужное положение. При этом подвижные штанги 5 выдвигаются из телескопических втулок 4 и обеспечивают горизонтальное положение прижимной пластины 6. Блок управления 2 отключает пневмоцилиндр 3 и включает серводвигатели 12, которые начинают вращать винты 9, опирающиеся на подшипниковые узлы 10, по часовой стрелке. Резьбовые втулки 8 по Т-образным пазам 7 совместно с Г-образными вертикальными захватами 11 начинают движение в противоположные стороны до момента свободного прохода объекта между короткими горизонтальными частями Г-образных вертикальных захватов 11. Освободив короткие горизонтальные части Г-образных вертикальных захватов 11 от объекта блок управления 2 отключает серводвигатели 12 и включает пневмоцилиндр 3. Пневмоцилиндром 3 прижимная пластина 6 поднимается до транспортной высоты. При этом подвижные штанги 5 втягиваются в телескопические втулки 4 и обеспечивают горизонтальное положение прижимной пластины 6. Блок управления 2 выключает пневмоцилиндр 3 и включает серводвигатели 12. Серводвигатели 12 начинают вращать винты 9, опирающиеся на подшипниковые

узлы 10, против часовой стрелки, обеспечивая движение резьбовых втулок 8 по Т-образным пазам 7 совместно с Г-образными вертикальными захватами 11 навстречу друг другу до момента установки Г-образных вертикальных захватов 11 в транспортное положение. Аналогичным способом повторяются все циклы по перемещению объекта из точки А, а точку В.

**Заключение.** Использование предложенного автоматизированного манипулятора позволит перемещать упакованную продукцию, изделия в автоматическом режиме, и сократить простои, связанные с обслуживанием и ремонтом манипулятора.

#### **Список источников**

1. Luo, Z. Robotics, automation, and control in industrial and service settings / Z. Luo // IGI Global; Engineering Science Reference, 2015. – 338 p.
2. Manesis, S. Introduction to industrial automation / S. Manesis, G. Nikolakopoulos // CRC Press, 2018. – 457 p.
3. Stenerson, J. Industrial automation and process control / J. Stenerson // Prentice Hall, 2002. – 420 p.
4. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа / Под общ. ред. Е.П. Попова // М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
5. Lewis, F.L. Robot manipulator control: theory and practice (automation and control engineering) / F.L. Lewis, D.M. Dawson, C.T. Abdallah // CRC Пресс, 2003. – 430 p.
6. Васильев, В.В. Методика расчета параметров гидроцилиндра телескопической стрелы манипулятора лесной отрасли / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев // Resources and Technology. – 2021. – № 4, Т. 18. – С. 61–76. DOI: 10.15393/j2.art.2021.5943
7. Patent 212497803U CN, Int. Cl. B 25 J 15/00. Automatic manipulator convenient to use / Z. Chunxin; applicant and patent holder ACTFIVE SHANGHAI WASHING MACHINE CO LTD. – № 202020875748.7; filed: 22.05.2020; date application 09.02.2021. – 8 p.
8. 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.
9. 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; г. Саратов, декабрь 2024 г. – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025. – С. 53-60.
10. Патент 2826504 РФ, МПК В 25 J 9/12, В 25 J 15/02. Автоматизированный манипулятор / В.В. Васильев, Д.Н. Афоничев // заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2024104446; заявл. 21.02.2024; опубл. 11.09.2024. – Бюл. № 26. – 11 с.

© Васильев В.В., Афоничев Д.Н., 2025

## ЗАМЕНА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ОТОПЛЕНИЯ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Андрей Александрович Верзилин<sup>1</sup>, Максим Павлович Климанёв<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[verzilin-a@mail.ru](mailto:verzilin-a@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0644-246X>

<sup>2</sup>[max2001klim@gmail.com](mailto:max2001klim@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0005-7851-6386>

**Аннотация.** Модернизация тепловой изоляции отопительных систем служит ключевым фактором достижения максимальной энергоэффективности. Высококачественные изоляционные материалы современного поколения позволяют значительно сократить теплопотери при транспортировке теплоносителя. Грамотный монтаж новой теплоизоляции магистральных трубопроводов обеспечивает существенное снижение расходов на отопление помещений. Применение инновационных технологий термоизоляции способствует продлению срока эксплуатации трубопроводной системы и повышению надежности теплоснабжения объектов. Комплексный подход к замене изоляционного покрытия гарантирует стабильное поддержание заданной температуры теплоносителя на всем протяжении магистрали.

Математический анализ теплопотерь проведен для прямых и обратных участков теплосети с учетом различных коэффициентов теплопроводности изоляционных покрытий. Сравнительная оценка эффективности традиционной минераловатной изоляции и современных теплоизоляционных материалов позволила определить потенциал энергосбережения при транспортировке теплоносителя. Расчет экономической целесообразности замены изоляции выполнен на примере тарифной политики ПАО «Т-Плюс» без учета НДС. Полученные результаты демонстрируют положительный экономический эффект от внедрения новых изоляционных материалов в системах теплоснабжения.

**Ключевые слова:** тепловая изоляция, минеральная вата, энергоэффективность, энергосбережение, экономия тепла, трубопроводы, теплоснабжения.

**Для цитирования:** Верзилин, А.А. Замена тепловой изоляции трубопроводов отопления в целях повышения энергоэффективности / А.А. Верзилин, М.П. Климанёв // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## REPLACEMENT OF THERMAL INSULATION OF HEATING PIPELINES IN ORDER TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY

Andrey Alexandrovich Verzilin<sup>1</sup>, Maxim Pavlovich Klimanov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Saratov State Agrarian University N. I. Vavilova. Saratov. Russia

<sup>1</sup>[verzilin-a@mail.ru](mailto:verzilin-a@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0644-246X>

<sup>2</sup>[max2001klim@gmail.com](mailto:max2001klim@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0005-7851-6386>

**Annotation.** Modernization of thermal insulation of heating systems is a key factor in achieving maximum energy efficiency. High-quality insulating materials of the modern generation can significantly reduce heat loss during transportation of the coolant. Proper installation of the new thermal insulation of the main pipelines ensures a significant reduction in the cost of heating the premises. The use of innovative thermal insulation technologies helps to extend the life of the pipeline system and increase the reliability of heat supply facilities. An integrated approach to replacing the insulation coating guarantees stable maintenance of the set temperature of the coolant throughout the pipeline. The mathematical analysis of heat loss was carried out for the direct and reverse sections of the heating network, taking into account the different coefficients of thermal conductivity of insulating coatings.

A comparative assessment of the effectiveness of traditional mineral wool insulation and modern thermal insulation materials allowed us to determine the potential for energy saving during transportation of the coolant. The calculation of the economic feasibility of replacing insulation is based on the example of the tariff policy of PJSC «T-Plus» excluding VAT. The results obtained demonstrate the positive economic effect of the introduction of new insulating materials in heat supply systems.

**Keywords:** thermal insulation, mineral wool, energy efficiency, energy saving, heat saving, pipelines, heat supply.

**For citation:** Verzilin, A.A. Replacement of thermal insulation of heating pipelines in order to increase energy efficiency / A.A. Verzilin. M.P. Klimanov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Энергосбережение при теплоснабжении зданий выступает приоритетным направлением развития современной энергетики. Эффективное функционирование отопительных систем напрямую зависит от качественной теплоизоляции трубопроводных сетей. Применение передовых изоляционных материалов существенно сокращает потери тепловой энергии, повышая производительность всего отопительного комплекса. Коэффициент теплопроводности используемых материалов определяет необходимую толщину теплоизоляционного покрытия, влияя на конструктивные параметры и габариты изолируемых объектов [1, с. 2]

Современная теплоизоляция магистральных трубопроводов нуждается в существенной модернизации из-за применения устаревших материалов. Минеральная вата, стекловолокно и пенопласт характеризуются недостаточной эффективностью, выделением токсичных веществ и быстрой деградацией физических свойств. Масштабная проблема использования изношенной теплоизоляции охватывает тысячи километров российских теплосетей. Локальные теплоснабжающие организации вынуждены проводить регулярные ремонтные работы по замене деградировавших участков.

Минеральная вата зарекомендовала себя надежным теплоизоляционным материалом для защиты трубопроводов от потерь тепловой энергии. Уникальные свойства данного утеплителя позволяют существенно снизить расходы на отопление зданий и сооружений.

Применение качественной изоляции трубопроводов обеспечивает максимальное сохранение тепла при транспортировке теплоносителя. Грамотный подбор теплоизоляционных материалов значительно повышает энергоэффективность систем теплоснабжения.

Современные минераловатные изделия характеризуются низкой теплопроводностью, долговечностью и экологичностью. Монтаж теплоизоляции из минеральной ваты требует минимальных затрат при высокой окупаемости вложений.

Комплексный подход к утеплению инженерных коммуникаций позволяет достичь существенной экономии энергоресурсов. Профессиональная установка теплоизоляции гарантирует надежную защиту трубопроводов от промерзания и коррозии. Практический опыт обследования теплотрасс выявляет наличие изоляционных материалов советского производства начала 1990-х годов. Потери при транспортировке тепловой энергии достигают 15% даже на относительно коротких городских участках. Значительное увеличение тарифов на теплоснабжение включает компенсацию теплопотерь при передаче энергии конечным потребителям.

Необходимость замены устаревшей минеральной ваты современными теплоизоляционными материалами требует детального технико-экономического обоснования с учетом снижения тепловых потерь через изоляционный слой [2, с. 19].

**Материалы и методы.** В городе Саратов производится модернизация теплоизоляционного покрытия магистрального трубопровода отопления расположенной по адресу Московское шоссе, д.14а диаметром 200 миллиметров. Работы затрагивают надземный участок общей протяженностью 150 метров, включающий подающую и возвратную линии. Замена изоляционного материала обеспечит надежную защиту теплосети от температурных потерь.

Минераловатный теплоизоляционный материал с коэффициентом теплопроводности 0,034 Вт/(м°С) производства российской компании ООО «УРСА Евразия» демонстрирует высокую эффективность при использовании на объектах теплоснабжения. Сравнительный анализ традиционных решений и современного утеплителя URSA TERRA выявляет существенную разницу в показателях теплопроводности, что подтверждается детальными расчетами для каждого сегмента трубопроводной системы [3].

Для изолированных трубопроводов наземной прокладки расчет тепловых потерь представляет значительную инженерную задачу. Методика определения теплопотерь включает анализ температурных режимов, учет характеристик изоляционных материалов и влияния внешних факторов среды. Комплексная оценка теплового баланса системы позволяет оптимизировать энергоэффективность трубопроводной сети.

Математическое моделирование процессов теплопередачи требует рассмотрения конвективного теплообмена между поверхностью изоляции и окружающим воздухом. Точность расчетов обеспечивается применением

современных методов численного анализа и экспериментальных данных по теплофизическим свойствам материалов.

Практическое значение определения тепловых потерь заключается в возможности минимизации энергозатрат при эксплуатации трубопроводных систем. Результаты расчетов позволяют выбрать оптимальные параметры теплоизоляционного покрытия и режимы работы оборудования.

Металлические стенки промышленных трубопроводов и оборудования характеризуются теплопроводностью, существенно превосходящей показатели изоляционных материалов. Согласно нормативному документу СП 41-103-2000 «Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов», термическое сопротивление металлической стенки при расчетах можно не учитывать. Расчет теплотерь через изолированные поверхности оборудования и трубопроводов с диаметром до 2 метров производится по специальной формуле, указанной в документе [4, с. 3, формула 17].

$$q_L = \frac{(t_B - t_H)K}{\sum_{i=1}^n R_i^L + R_H^L}, \quad (1)$$

где  $t_B$  – внутренний теплоноситель рассматриваемого оборудования циркулирует при температуре 95°C, что соответствует стандартному температурному режиму отопительной системы с параметрами 95-70°C,  $t_H$  – среднесуточная температура наружного воздуха согласно климатическим данным, представленным в справочной документации [5, с. 2, табл. 3.1], средняя температура воздуха вне помещений за сутки в период отопительного сезона составляет минус 2,2 градуса Цельсия [5, с. 2, табл. 3.1],  $K$  – коэффициент дополнительных потерь  $K$  отражает увеличение теплотерь через теплопроводные элементы изоляционных конструкций. Металлические крепежные детали и опорные конструкции создают мостики теплопередачи, влияющие на эффективность изоляции. Согласно нормативным данным, представленным в табл. 1 источника [4], для трубопроводов диаметром менее 150 мм значение  $K$  составляет 1,2, а при диаметре от 150 мм применяется коэффициент 1,15 [4, табл. 1],  $\sum_{i=1}^n R_i^L$  – полное сопротивление кондуктивной передаче тепла при многослойной цилиндрической изоляции определяется суммированием термических сопротивлений отдельных слоев, измеряемых в метрах-градусах Цельсия на ватт.

Коэффициент теплопроводности материала стенки рассматривается для каждого изолирующего слоя и выражается в ваттах на метр-градус Цельсия. Расчет учитывает специфику однослойных и многослойных конструкций при определении общего термического сопротивления системы [4, стр. 1, формула 7].

$$R_i^L = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda_i} \times \ln \frac{d_h^i}{d_{BH}^i} \quad (2)$$

где  $\lambda_i$  – наружный диаметр каждого отдельного слоя многослойной трубопроводной изоляции обозначается, при этом внутренний диаметр соответствующего слоя маркируется аналогичным индексом,  $d_h^i$  – наружный диаметр слоя наружной изоляции,  $d_{BH}^i$  характеризует линейное термическое сопротивление теплопередачи от внешней поверхности крайнего изоляционного слоя, измеряемое в м·°C/Вт Минераловатные маты со стандартной толщиной



100 миллиметров выступают основным изоляционным материалом,  $R_H^l$  – линейное термическое сопротивление теплоотдаче внешней стенки наружной изоляции,  $\text{м}^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  согласно справочным данным [4, стр. 1, формула 6];

$$R_h^l = \frac{1}{\pi \times d_H^{\text{из}} \times \alpha_H}, \quad (3)$$

где  $d_H^{\text{из}}$  – наружный диаметр изоляции, м,  $\alpha_H$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности изоляции,  $\alpha_H$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности изоляции

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности теплоизоляционного слоя, определенный согласно справочным материалам, составляет  $20 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$  [4, табл. 2].

Согласно справочным климатическим данным для региона продолжительность периода подачи тепла достигает двухсот пяти суток при среднем показателе температуры внешней среды минус два и две десятых градуса по шкале Цельсия [5, раздел 3, п. 3.1, табл. 3.1].

Минеральная изоляция URSA TERRA демонстрирует значительно сниженный коэффициент теплопроводности по сравнению с традиционными изоляционными материалами, что подтверждается детальными расчетами для всех сегментов трубопроводной системы.

**Результаты исследования.** Минеральная вата, применяемая для изоляции трубопроводов с плотностью от 50 до 200 килограммов на кубический метр, характеризуется коэффициентом теплопроводности в диапазоне  $0,048\text{--}0,070 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$ . Продолжительная эксплуатация изоляционного материала приводит к снижению его плотности и ухудшению теплоизоляционных характеристик, вследствие чего расчетный коэффициент теплопроводности был принят равным  $0,060 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$ .

Данные коэффициента теплопроводности: коэффициент теплопроводности старой изоляции =  $0,06 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$

Таблица – Параметры работы трубопровода ДУ200 на 1 метр длины

| Параметры                                                           | Прямой (до замены изоляции) | Обратный (до замены изоляции) | Прямой (после замены изоляции) | Обратный (после замены изоляции) |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| $t_B$                                                               | 95                          | 70                            | 95                             | 70                               |
| $t_H$                                                               | -2,2                        | -2,2                          | -2,2                           | -2,2                             |
| $d_H^{\text{из}}$                                                   | 0,412                       | 0,412                         | 0,412                          | 0,412                            |
| $d_{\text{вн}}^i$                                                   | 0,212                       | 0,212                         | 0,212                          | 0,212                            |
| $K$                                                                 | 1,15                        | 1,15                          | 1,15                           | 1,15                             |
| $L$ , м                                                             | 1                           | 1                             | 1                              | 1                                |
| $\lambda$ , $\text{ккал}/(\text{ч} \cdot \text{м}^{\circ}\text{C})$ | 0,06                        | 0,06                          | 0,34                           | 0,34                             |
| $\alpha_H$ ( $\text{Вт}/\text{мC}$ )                                | 20                          |                               |                                |                                  |
| Отопительный период, сут.                                           | 205                         | 205                           | 205                            | 205                              |

Расчет тепловых потерь 1 м прямого трубопровода ДУ 200 с существующей изоляцией толщиной 100 мм в 1 слой. Определяем линейное термическое сопротивление теплоотдаче внутренней стенки наружной изоляции  $R_H^{\text{н}}$ ,

$$R^H = \frac{1}{\pi \times d_H^{из} \times \alpha_H} = \frac{1}{3,14 \times 0,412 \times 20} 0,039 \text{ м} \times \text{С/Вт}$$

Определяем полное линейное термическое сопротивление кондуктивному переносу теплоты n-слойной цилиндрической изоляции R

$$R = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda} \times \ln \frac{d_H}{d_{ви}} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 0,06} \times \ln \frac{0,412}{0,412} = 1,763 \text{ с} - \frac{\text{мС}}{\text{Вт}}$$

Проведем расчет тепловых потерь 1 м трубопровода ДУ200 с теплоизоляцией:

$$q = \frac{t_B t_H K}{\sum R R_H} = \frac{95 \times 2,2 \times 1,15}{1,763 \times 0,039} = \frac{62,031 \text{ Вт}}{\text{м}}$$

Что за отопительный период составит 0,262 Гкал

Расчет количества теплоизоляционных матов производится с учетом площади материала в одной упаковке, равной 5,76 квадратных метров. Округление результата деления общей площади 99,85 на норму комплектации приводит к необходимости приобретения 18 полных упаковок изоляционного материала [1].

Расчет тепловых потерь 1 м прямого трубопровода ДУ 200 с новой изоляцией толщиной 100 мм в 1 слой.

$$R_H = \frac{1}{\pi \times d_{из} \times \alpha_H} = \frac{1}{3,14 \times} 0,412 \times 20 = \frac{0,039 \text{ мС}}{\text{Вт}},$$

$$R = 3,112 \text{ мС/Вт}, q_L = 30,502 \text{ ккал/ч},$$

$$Q_2 = q_L \times 24 \times \frac{205}{1000000} = 30,502 \times 24 \times \frac{205}{1000000} = 0,150 \text{ Гкал}$$

При этом разница величины тепловых потерь на 75 м прямого трубопровода ДУ200 с новой и старой изоляцией составит: 8400 Гкалл.

Аналогично рассчитаем теплопотери на обратном проводе.

Итого, суммарная экономия на прямом и обратном трубопроводах:

$$\Delta Q = \Delta Q_1 + \Delta Q_2 = 8,4 + 6,3 = 14,7 \text{ Гкал}$$

Объём изоляционного материала для реализации проекта:  $3,14 \cdot 0,212 \cdot 150 = 99,85 \text{ м}^2$ . В одной упаковки изоляции содержится 5,76 м<sup>2</sup> матов, согласно [1]. Необходимое количество упаковок =  $99,85/5,76 = 17,3$ . То есть 18 шт. целых.

Анализ рыночных предложений демонстрирует среднюю стоимость одного рулона без учета налога на добавленную стоимость в размере 1795 рублей, согласно данным трех независимых открытых источников.

Затраты на реализацию проекта:  $18 \cdot 1795 = 32,31 \text{ тыс. руб. без НДС}$

Срок окупаемости проекта:  $32,31 / 18,23 = 1,77 \text{ лет (1 год и 9мес)}$

**Заключение.** Экономическая целесообразность обновления теплоизоляционного слоя находит подтверждение при расчете периода окупаемости. Небольшие участки теплосетей демонстрируют возврат инвестиций за 21 месяц эксплуатации. Масштабная модернизация изоляции в рамках энергосберегающих мероприятий компании-поставщика тепла позволяет достичь максимальной рентабельности благодаря оптовым закупкам материалов по сниженным ценам.

### Список источников

1. Федюхин, А.В. Анализ эффективности применения современных теплоизоляционных материалов для высокотемпературных трубопроводов / А.В. Федюхин, И.Г. Ахметова, С.А. Соловьев // Глобальная энергия. 2022. Т. 28, № 4. – С. 79-89. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.28405>
2. Попова, Н.М. Замена трубопроводов в минераловатной изоляции на предизолированные трубы в пенополимерминеральной изоляции / Н.М. Попова, Д.М. Чудинов, М.А. Долбилова, Е.В. Чуприна // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2023. – № 1 (30). – С. 17-23.
3. Официальный сайт производителя ООО «УРСА Евразия», URL: <https://www.ursa.ru/products/terra/terra-34-rn/>
4. СП 41-103-2000 «Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов», Госстрой России, г. Москва, – 42 с.
5. СП 131.13330.2018. Строительная климатология СНиП 23-01-99\*, (Утв. Приказом Минстрой России 28.11.2018 №763-ПР), г. Москва – 107 с.
6. Утвержденные тарифы ПАО «МОЭК», URL: <https://www.moek.ru/d/textpage/6d/109/tarifnoe-menyu-pao-moehk-na-2019-2023-gg-dlya-sajta-i-bz.pdf?ysclid=lhibx92h1f268564226>
7. Электронный ресурс компании ООО ТСК Дипломат, URL: [https://tskdiplomat.ru/catalog/izolyatsionnye\\_materialy/heat\\_insulation/glass\\_wool/ursaterra\\_34\\_rn\\_100\\_mm\\_1200kh4800\\_tekhnicheskij\\_mat.html](https://tskdiplomat.ru/catalog/izolyatsionnye_materialy/heat_insulation/glass_wool/ursaterra_34_rn_100_mm_1200kh4800_tekhnicheskij_mat.html)
8. Электронный ресурс компании «ТеплоТорг», URL: <https://minvata-spb.ru/uteplitel-ursa-terra-tehnicheskij-mat-100-1200-4800/>.
9. Электронный ресурс компании ООО «Областная Керамика», URL: [https://obl-ceram.ru/catalog/mineral\\_bloks/17362/?ysclid](https://obl-ceram.ru/catalog/mineral_bloks/17362/?ysclid)

© Верзилин А.А., Климанёв М.П., 2025

Научная статья  
УДК 63.21

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛИЦЫ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Дмитрий Максимыч Вислогузов<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>[vis.dmitrii@gmail.com](mailto:vis.dmitrii@gmail.com)

**Аннотация.** Современные тепличные комплексы сталкиваются с высокими энергозатратами из-за необходимости поддержания стабильного микроклимата. В статье рассмотрены ключевые способы повышения энергоэффективности теплиц, включая оптимизацию конструкции,

использование инновационных материалов, систем аккумулирования тепла и автоматизации. Приведены практические рекомендации по снижению энергопотребления без ущерба для урожайности.

**Ключевые слова:** теплица, энергоэффективность, солнечная энергия, теплоизоляция, тепловой аккумулятор, автоматизация, микроклимат.

**Для цитирования:** Вислогузов, Д.М. Энергоэффективные теплицы: современные методы оптимизации энергопотребления / Д.М. Вислогузов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

## ENERGY-EFFICIENT GREENHOUSES: MODERN METHODS FOR OPTIMIZING ENERGY CONSUMPTION

**Dmitry Maksimych Visloguzov<sup>1</sup>**

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

<sup>1</sup>[vis.dmitrii@gmail.com](mailto:vis.dmitrii@gmail.com)

**Annotation.** Modern greenhouse complexes face high energy costs due to the need to maintain a stable microclimate. This article examines key methods for improving greenhouse energy efficiency, including structural optimization, innovative materials, heat storage systems, and automation. Practical recommendations are provided to reduce energy consumption without compromising crop yield.

**Keywords:** greenhouse, energy efficiency, solar energy, thermal insulation, heat accumulator, automation, microclimate.

**For citation:** Visloguzov, D.M. Energy-Efficient Greenhouses: Modern Methods of Optimizing Energy Consumption/ D.M. Visloguzov // Actual problems of agroindustrial energy: materials of the III National Scientific and Practical Conference with International participation named after G.P. Eroshenko / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Тепличное хозяйство – один из наиболее энергоемких сегментов сельского хозяйства. До 70% эксплуатационных затрат приходится на отопление, освещение и вентиляцию. В условиях роста тарифов на энергоносители повышение энергоэффективности теплиц становится критически важным для рентабельности производства [1, 2, 3, 4, 5]. В данной статье рассматриваются современные технические и технологические решения, позволяющие значительно сократить энергопотребление тепличных комплексов.

Наиболее распространённая конструкция теплиц это арочная. Арочная форма обеспечивает лучшую ветроустойчивость и равномерное распределение света. Ориентация с востока на запад максимизирует поступление солнечной радиации в зимний период. Оптимальный угол наклона кровли зависит от географической широты (для средней полосы России 25-35°).

Таблица – Инновационные материалы покрытий

| Материал           | Светопропускание | Теплопотери | Срок службы |
|--------------------|------------------|-------------|-------------|
| Стекло 4 мм        | 90%              | Высокие     | 25+ лет     |
| Поликарбонат 16 мм | 82%              | Средние     | 15 лет      |
| ETFE-пленка        | 95%              | Низкие      | 20+ лет     |

**Материалы и методы.** Перспективные решения:

- Селективные покрытия с IR-отражающим слоем.
- Самоочищающиеся поверхности.
- Фотохромные материалы с регулируемой прозрачностью.

#### 1. Системы аккумулирования тепла

Водяные аккумуляторы тепла представляют собой вертикальные баки объемом от 50 до 200 м<sup>3</sup>, которые обычно располагают вдоль северной стены теплицы. Они позволяют создавать температурный градиент до 15°C между дневным и ночным временем, что способствует поддержанию стабильного микроклимата. Эти системы могут быть интегрированы с капельным поливом, повышая эффективность использования тепла и воды.

Грунтовые теплообменники – еще один способ аккумуляции тепла. Их закладывают на глубину 2-3 м, а протяженность трубопроводов составляет 50-100 м на 1 га тепличного комплекса. Такие системы позволяют экономить до 40% затрат на отопление, используя естественное тепло грунта.

#### 2. Автоматизированные системы управления

Автоматизированные системы управления микроклиматом в теплицах обеспечивают точное поддержание заданных параметров, таких как температура, влажность и уровень CO<sub>2</sub>. Они оптимизируют работу оборудования, снижая энергопотребление на 25-30% за счет рационального использования ресурсов.

#### 3. Альтернативные источники энергии

Солнечные коллекторы, особенно вакуумные трубчатые системы, широко применяются в тепличных хозяйствах. Их рекомендуемая площадь составляет 15-20% от общей площади теплицы. Такие установки окупаются за 3-5 лет, обеспечивая значительную экономию на энергоносителях.

Геотермальные системы, включая тепловые насосы типа «грунт-вода», используют стабильную температуру земли для обогрева теплиц. Теплоноситель в таких системах нагревается до 35-45°C, что делает их эффективным и экологичным решением для поддержания теплового режима.

#### 4. Методика расчета затрат на отопление

Для расчета затрат на отопление в тепличном комплексе УНПК «Агроцентр» ФГБОУ ВО Вавиловский университет была разработана функция `calculate_heating_cost`, которая учитывает следующие параметры:

- Разница между рекомендуемой (20 °C) и прогнозируемой минимальной температурой за день (на основе метеорологических данных).
- Продолжительность отопления (по умолчанию – 24 часа).

Исходные данные:

Метеорологические показатели (температура воздуха и солнечная радиация) взяты из открытых источников за 2018-2021 года. Это позволяет учесть сезонные колебания и минимизировать погрешность расчетов.

## 5. Формула теплопотерь

Основой для вычислений является физическая формула:

$$Q = k \cdot S \cdot \Delta T \cdot t,$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций ( $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ );  $S$  – площадь поверхности теплицы ( $\text{м}^2$ );  $\Delta T$  – разница между внутренней и наружной температурой ( $^\circ\text{C}$ );  $t$  – продолжительность отопления (часы).

Полученное значение переводится в гигакалории ( $1 \text{ Гкал} = 1\,000\,000 \text{ ккал}$ ,  $1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} \approx 0,86 \text{ ккал}$ ), после чего рассчитывается стоимость отопления по действующему тарифу ( $2\,880 \text{ рублей}$ ).

В ходе анализа данных за отопительный сезон были получены следующие результаты: обработано 1086 записей метеорологических наблюдений; средняя ошибка прогноза температуры составила  $0,82^\circ\text{C}$ , что подтверждает высокую точность модели; средняя стоимость отопления при оптимизированном режиме:  $452,53 \text{ руб./день}$ ; средняя экономия по сравнению со стандартным режимом:  $61,01 \text{ руб./день}$ .

**Результаты исследования.** Внедрение энергосберегающих технологий в тепличном комплексе показало значительное снижение эксплуатационных затрат. Применение оптимизированной конструкции, современных материалов и альтернативных источников энергии позволило сократить расходы на отопление и повысить энергоэффективность.

Автоматизированная система управления обеспечила точное поддержание микроклимата с минимальными отклонениями. Использование солнечных коллекторов и геотермальных систем подтвердило свою экономическую целесообразность, демонстрируя устойчивую окупаемость в среднесрочной перспективе.

Методика расчета теплопотерь, основанная на актуальных метеорологических данных, доказала свою надежность и может быть рекомендована для применения в аналогичных проектах.

**Заключение.** Внедрение комплексных энергосберегающих решений позволяет:

1. Снизить энергопотребление на 30-50%.
2. Уменьшить себестоимость продукции на 15-20%.
3. Повысить экологичность производства.

Перспективным направлением является разработка «умных» теплиц с ИИ-управлением и полной энергетической автономией.

## Список источников

1. ГОСТ Р 54851-2011 «Теплицы и парники. Методы расчета энергопотребления».
2. СП 107.13330.2019 «Теплицы и оранжереи».
3. Рекомендации Минсельхоза РФ по энергосбережению в АПК (2023).
4. Кузнецов, Е.Р. «Совершенствование систем теплоснабжения тепличных комплексов» / Е.Р. Кузнецов // Дис. д-ра техн. наук. М., – 2021. – 398 с.
5. «Инновационные материалы в тепличном строительстве» // Агропромиздат, – 2021.

© Вислогузов Д.М., 2025



## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ В СТАЦИОНАРНЫХ УСТАНОВКАХ И ПРОЦЕССАХ (НА ПРИМЕРЕ ОПЕРАЦИИ СВОДООБРУШЕНИЯ)**

**Андрей Валерьевич Волгин<sup>1</sup>, Александр Владимирович Колпаков<sup>2</sup>, Дмитрий Владимирович Кукарский<sup>3</sup>, Кирилл Эдуардович Марьин<sup>4</sup>**  
<sup>1,2,3,4</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

**Аннотация.** В статье представлена схема формирования устойчивых сводов в бункерах, определены зона установки импульсных сводообрушителей на внешней поверхности бункера и величина силы импульсного воздействия, обеспечивающая бесперебойный выход продукта.

**Ключевые слова:** линейный электромагнитный двигатель, сводообрушитель, ударная машина.

**Для цитирования:** Волгин, А.В. Возможности использования электромагнитных импульсных систем в стационарных установках и процессах (на примере операции сводообрушения) / А.В. Волгин, А.В. Колпаков, Д.В. Кукарский, К.Э. Марьин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **THE POSSIBILITIES OF USING ELECTROMAGNETIC PULSE SYSTEMS IN STATIONARY INSTALLATIONS AND PROCESSES (USING THE EXAMPLE OF AN ARCH VAULT DOWN-FALLER)**

**Andrey Valerievich Volgin<sup>1</sup>, Aleksandr Vladimirovich Kolpakov<sup>2</sup>, Dmitriy Vladimirovich Kukarskiy<sup>3</sup>, Kirill Eduardovich Maryn<sup>4</sup>**  
<sup>1,2,3,4</sup>Saratov State Agrarian University N.I. Vavilova, Saratov, Russia

**Annotation.** The article presents a scheme for the formation of stable vaults in a hopper, defines the installation zone of pulsed vault crushers on the outer surface of the hopper and the magnitude of the force pulse effect, ensuring uninterrupted product yield.

**Keywords:** linear electromagnetic motor, down-faller, impact machine.

**For citation:** Voldin, A.V. The possibilities of using electromagnetic pulse systems in stationary installations and processes (using the example of an arch vault down-faller) / A.V. Volgin, A.V. Kolpakov, D.V. Kukarskiy, K.E. Maryn // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Для предотвращения образования или разрушения устойчивых сводов сухих и влажных концентрированных сыпучих материалов в металлических бункерах представляется перспективным использование ударного импульсного воздействия на внешнюю поверхность бункерного устройства [1-3]. По сравнению с вибрацией регулярное превентивное импульсное воздействие требует меньших энергозатрат и не имеет недостатков, присущих вибрационному сводообрушению. Зону установки импульсных сводообрушителей на внешней поверхности бункера и величину силового импульсного воздействия, обеспечивающих бесперебойный выход продукта, можно определить следующим образом.

В работах [1-3] показано, что при истечении сыпучих материалов из бункеров образуются как неустойчивые, так и статически устойчивые своды. Неустойчивые своды появляются при любом виде истечения и в любом сечении бункера, и в процессе движения вышележащих слоев сыпучего тела регулярно разрушаются. Контакты частиц, образующих неустойчивый свод, не лежат на кривые давления от вышележащей нагрузки. Статически устойчивые своды препятствуют истечению сыпучего тела из выпускного отверстия бункера. Контакты составляющих их частиц лежат на кривые давления от вышележащей нагрузки.

**Материалы и методы.** Процесс образования неустойчивых и устойчивых сводов представляется следующим образом (рис. 1).

При движении частиц в сужающемся потоке по линиям скольжения (показаны пунктиром), параллельным образующей поверхности скольжения потока к выпускному сечению бункера, возрастают нормальные составляющие сил, действующие в плоскости контакта частиц и сила трения между ними. Это способствует появлению тормозящих импульсов, препятствующих движению частиц и обуславливающих возникновение из этих частиц неустойчивых и статически устойчивых сводов. По мере уменьшения поперечных сечений потока своды появляются все чаще и становятся устойчивее. При возникновении статически устойчивого свода истечение сыпучего тела из бункера прекращается.

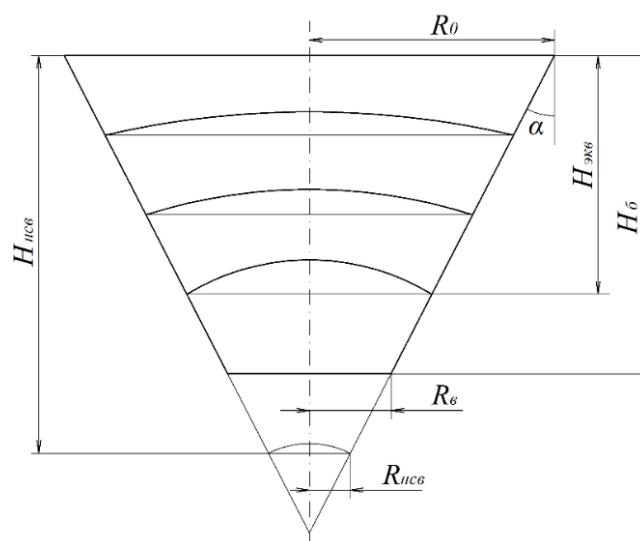


Рисунок 1 – Схема формирования сводов при истечении сыпучего материала

**Результаты исследования.** Усилие вышележащей нагрузки, передаваемое опорой свода поверхности скольжения, определяется силой  $T$ , являющейся касательной к кривой свода в точке опоры и составляющей с горизонталью угол  $\chi$  (рис. 2). Составляющая  $N$  этого усилия, нормальная к поверхности скольжения, прижимает опору свода к последней, а составляющая  $Q$  в плоскости, касательной к поверхности скольжения опоры, сдвигает ее во внешнюю или внутреннюю сторону свода, что обусловлено величиной угла  $\chi$ , определяющего направление силы  $T$  к горизонтали. Сила трения  $F$  препятствует смещению опоры свода по поверхности скольжения. Для равновесия опоры свода необходимо, чтобы выполнялось условие  $Q \leq F$ . Таким образом, максимальная устойчивость опоры свода наблюдается тогда, когда линия действия силы  $T$  проходит через его опору перпендикулярно поверхности скольжения потока сыпучего тела.

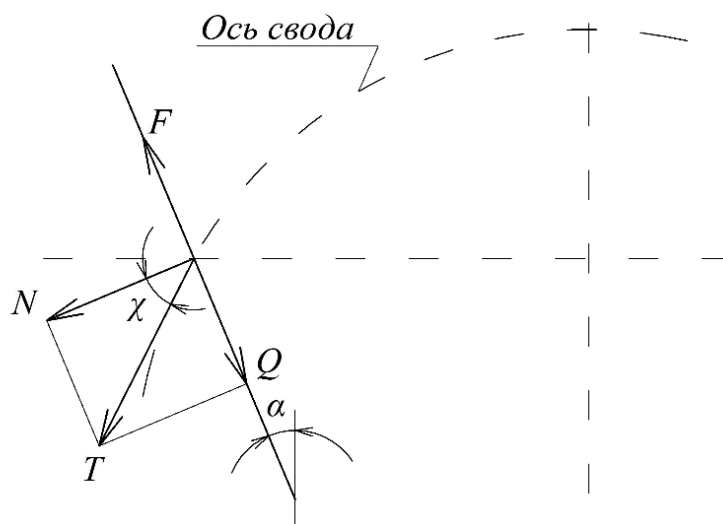


Рисунок 2 – Схема сил, передаваемых опорой свода поверхности скольжения

При установившемся режиме истечения сыпучего тела стохастический процесс образования и разрушения неустойчивых сводов в бункере по всей высоте потока можно заменить процессом периодического возникновения и разрушения эквивалентного неустойчивого свода. Устойчивость такого свода равна средней устойчивости всех возникающих в потоке сыпучего тела неустойчивых сводов.

Высота расположения эквивалентного неустойчивого свода, оказывающего наибольшее горизонтальное давление на стенки емкости, в зависимости от конструктивных параметров бункеров определяется по выражению [1]:

$$H_{экр} = \left[ (R_0 - R_{нсв}) / (R_г - R_{нсв}) \right] / \left[ (R_0 - R_г) \tan \alpha \right] \times \left[ \ln \left( (R_г - R_{нсв}) / (R_0 - R_{нсв}) \right) + (R_0 - R_г) / (R_г - R_{нсв}) \right] \quad (1)$$

где  $R_0$  – радиус верхнего основания конического бункера;  $R_{нсв}$  – наибольший сводообразующий размер выпускного отверстия бункера;  $R_г$  – радиус выпускного отверстия конического бункера или половина ширины щели выпускного отверстия щелевого бункера.

В зоне  $H_{экр}$  предпочтительно оказывать воздействие на стенку бункера или на сыпучий материал, позволяющее, в случае перехода эквивалентного неустойчивого свода в статически устойчивый, восстановить истечение сыпучего материала. Например, исследования [1-3] показывают, что эффективное разрушение устойчивых сводов достигается использованием ударного воздействия, позволяющего получить большие по величине и кратковременные по длительности усилия, создающие максимальные колебания точек очищаемой поверхности. При этом, возникающие напряжения, не должны превышать предела текучести материала стенки бункера.

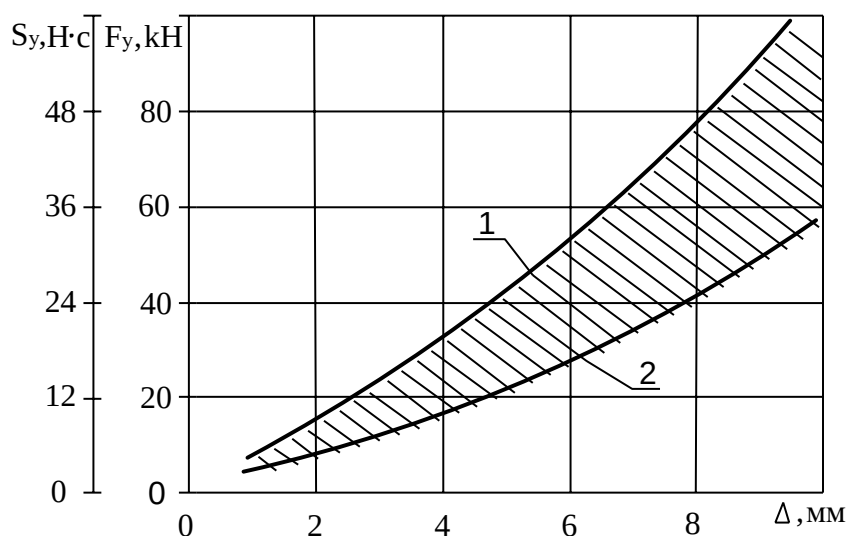


Рисунок 3 – Зависимости максимальных – 1 и минимальных – 2 средних значений силы  $F_y$  и импульса силы  $S_y$  за время ударного воздействия  $\tau$  от толщины стенки очищаемой поверхности

На рис. 3 показаны зависимости максимальных – 1 и минимальных – 2 средних значений силы  $F_y$  и импульса силы  $S_y$  за время ударного воздействия  $\tau$  от толщины стенки очищаемой поверхности. Максимальные средние значения силы и импульса силы соответствуют предельно допустимым, при которых механические напряжения начинают превышать предел текучести материала стенки. При значениях силы  $F_y$  и импульса силы  $S_y$ , меньше чем минимальные, сводообрушение и очистка поверхностей становятся малоэффективными [29].

**Заключение.** Таким образом, правильный выбор зоны приложения и величины силового импульсного воздействия способствует эффективному разрушению устойчивых сводов и улучшает очистку внутренней поверхности бункера от налипшего сыпучего материала.

### Список источников

1. Усанов, К.М. Импульсная система с линейным электромагнитным двигателем для интенсификации разгрузки бункеров / К.М. Усанов, В.А. Каргин, А.В. Волгин // Научное обозрение, № 6, 2012. – С.255-258.
2. Усанов, К.М. Линейные электромагнитные двигатели и приводы в импульсных процессах и технологиях: монография / К.М. Усанов, В.И. Мошкин, В.А. Каргин, А.В. Волгин. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2015. – 202 с.

3. Усанов, К.М. Линейный импульсный электромагнитный привод машин с автономным питанием: монография / К.М. Усанов, В.И. Мошкин, Г.Г. Угаров // – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2006. – 284 с.

© Волгин А.В., Колпаков А.В., Кукарский Д.В., Марьин К.А., 2025

Научная статья  
УДК 621.313

## **ОЦЕНКА ВЫХОДНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СВОДООБРУШИТЕЛЯ**

**Андрей Валерьевич Волгин<sup>1</sup>, Никита Александрович Лалов<sup>2</sup>, Григорий Владимирович Гришин<sup>3</sup>, Игорь Евгеньевич Лобанов<sup>4</sup>, Дмитрий Владимирович Кукарский<sup>5</sup>.**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

**Аннотация.** В статье дана приближенная оценка выходной механической энергии электромагнитного сводообрушителя, обеспечивающая требуемые силовые показатели машины.

**Ключевые слова:** линейный электромагнитный двигатель, сводообрушитель, ударная машина

**Для цитирования:** Волгин, А.В. Оценка выходной механической энергии электромагнитного сводообрушителя / А.В. Волгин, Н.А. Лалов, И.Е. Лобанов, Д.В. Кукарский // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **ESTIMATION OF THE OUTPUT MECHANICAL ENERGY OF AN ELECTROMAGNETIC DOWN-FALLER**

**Andrey Valerievich Volgin<sup>1</sup>, Nikita Aleksandrovich Lalov<sup>2</sup>, Griroriy Vladimirovich Grishin<sup>3</sup>, Igor Evgenievich Lobanov<sup>4</sup>, Dmitriy Vladimirovich Kukarskiy<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Saratov State Agrarian University N.I. Vavilova, Saratov, Russia

**Annotation.** The article provides an approximate estimate of the output mechanical energy of the electromagnetic down-faller, which provides the required power parameters of the machine.

**Keywords:** linear electromagnetic motor, impact machine, down-faller.

**For citation:** Volgin, A.V. Evaluation of the output mechanical energy of an electromagnetic down-faller / A.V. Volgin, N.A. Lalov, I.E. Lobanov, D.V. Kukarskiy // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В технологических процессах переработки, хранения, транспортировки и дозирования различных сыпучих материалов широко используются бункерные устройства. Образование в выпускной зоне бункеров устойчивых сводов, ухудшающих или полностью прекращающих истечение продукта, является характерной особенностью функционирования этих устройств [1-3].

Перспективным направлением в разработке машин для разгрузки бункерных устройств является использование импульсного силового электрического привода, имеющего в основе двигатель с линейной траекторией движения рабочего органа [1-3]. При этом применение импульсного линейного электромагнитного двигателя (ЛЭМД) является предпочтительным за счет простоты конструкции, малых габаритов, надежности в работе, определяемой отсутствием обмоток возбуждения, относительно высоких удельных показателей [1-3].

**Материалы и методы.** Рассмотрим силовое взаимодействие между сводообрушителем и бункером на произвольном импульсном цикле. Для удобства анализа пренебрежем кривизной стенки выпускного конуса, и будем полагать удар плоских поверхностей прямым. Представим часть бункера с мукой, по которой производится удар, массой  $m_2$ , а якорь ЛЭМД сводообрушителя – ударником  $m_1$ , который в течение интервала времени  $0 - t$  разгоняется действием сил  $\sum F_i$  до предударной скорости  $V_1$ . В момент времени  $\tau = t + dt$  между элементами  $m_1$  и  $m_2$  происходит ударное взаимодействие, продолжающееся на промежутке времени  $\tau \rightarrow 0$ .

**Результаты исследования.** Расчетные схемы взаимодействий элементов  $m_1$  и  $m_2$  на интервалах  $0 - t$  и  $\tau$  показаны на рис. 1, а, б.

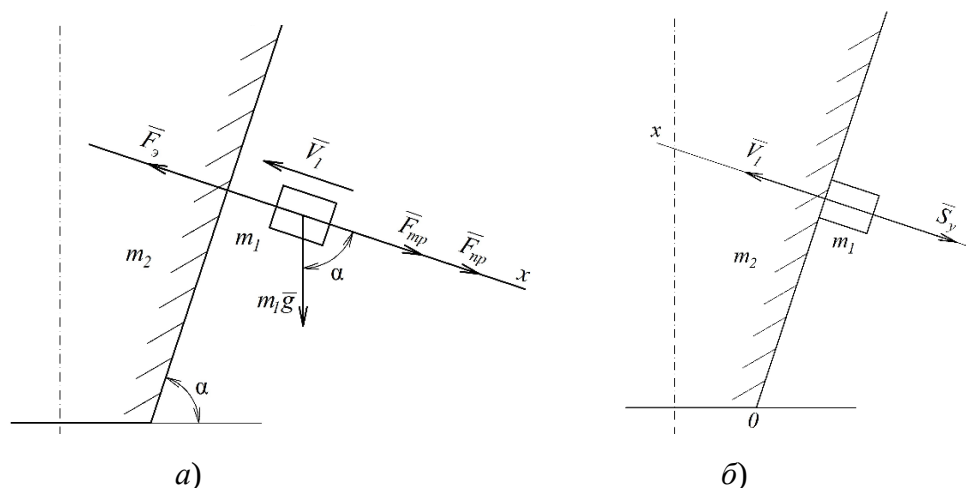


Рисунок 1 – Расчетные схемы сил при ударе элементов «бункер – ударник»: а – для интервала времени  $0 - t$ ; б – для времени удара  $\tau$ .



Баланс действующих на  $m_1$  в предударный момент времени  $t$  сил (рис. 1, а) представим в виде:

$$F_{\odot} = m_1 \frac{d^2 x}{dt^2} + F_{\text{ПР}} + m_1 g \cos \alpha + F_{\text{ТР}}, \quad (1)$$

где  $F_{\odot}$  – электромагнитная сила;  $F_{\text{ПР}}$  – сила возвратной пружины;  $F_{\text{ТР}}$  – сила трения;  $\alpha$  – угол между основанием и образующей выпускного конуса бункера.

Все действующие на ударник в момент времени  $t$  силы (за исключением составляющей  $mg$ ) представляются внутренними силами с суммарной проекцией на ось  $x$ :  $\sum \overline{F_{ix}} = 0$ . Тогда проекция количества движения  $\sum \overline{Q_{m1x}}$  ударника  $m_1$  на ту же ось  $x$ , обусловленного действием этих сил, будет величиной постоянной  $\sum \overline{Q_{m1x}} = \text{const}$  и они не в состоянии повлиять на него.

В момент времени  $\tau$  происходит соударение элементов  $m_1$  и  $m_2$  (рис. 1, б) и за очень короткий промежуток времени  $\tau$  (время удара) скорость ударника  $m_1$  и его количество движения  $\sum \overline{Q_{m1}}$  изменяются на конечную величину  $\sum \overline{Q_{m1}} > 0$ . При этом, в плоскости  $0 - 0$  соударения элементов  $m_1$  и  $m_2$  на интервале  $\tau$  возникает, так называемая, ударная сила  $\overline{F_y}$ . Поскольку  $F_y$  очень велика и за время удара  $\tau$  изменяется в значительных пределах в качестве меры взаимодействия элементов  $m_1$  и  $m_2$  примем ударный импульс [53]:

$$\overline{S_y} = \int_0^{\tau} \overline{F_y} dt = \overline{F_{ycp}} \tau, \text{ который является величиной конечной. Действие на ударник}$$

$m_1$  сил (рис. 1, а), во время удара также сохраняется, однако, полагая эти силы  $\overline{F_i} \ll \overline{F_y}$  неударными [3], пренебрежем их действием на промежутке  $\tau$ .

Поскольку средняя скорость  $V_{cp}$  совместного движения элементов  $m_1$  и  $m_2$  на промежутке  $\tau$  конечна, то их перемещение  $V_{cp} \cdot \tau$  при ударе представляется очень малым, которым так же следует пренебречь и считать  $m_1$  и  $m_2$  во время удара неподвижными.

Результаты краткого анализа взаимодействий по рис. 1, а позволяет сделать обоснованные рекомендации по определению силовых, энергетических и конструктивных параметров импульсных ЛЭМД сводообрушителей; по рис. 1, б – оценить важнейший показатель машины ударного действия – выходную механическую энергию  $A_y$ .

Для приближенной оценки выходной механической энергии  $A_y$  электромагнитного сводообрушителя, обеспечивающей требуемые силовые показатели, воспользуемся теоремой импульсов. Будем считать прямой удар имеющего предударную скорость  $V_1$  якоря с массой  $m_1$  по стенке  $m_2$ , заполненного мукой бункера, неупругим и коэффициент восстановления скорости при ударе  $k_v = 0$ . Полагая массу стенки бункера и присоединенную массу муки  $m_2 \gg m_1$ , пренебрежем приобретаемой ими в результате взаимодействия скоростью  $V_2$  и, считая время взаимодействия  $\tau$  соударяющихся элементов малым, получим:

$$m_2 \overline{V_2} - m_1 \overline{V_1} = -m_1 \overline{V_1} = \overline{F_{ycp}} \tau, \quad (2)$$

где  $F_{ycp}$  – среднее за время  $\tau$  значение силы.

Знак минус означает, что векторы силы импульсного взаимодействия и скорости якоря направлены встречно. Чем меньше время соударения  $\tau$ , тем ближе среднее и амплитудное значения силы  $F_y$  и тем точнее результат, определяемый формулой (2). Принимая во внимание абсолютную величину показателей и умножая обе части уравнения на  $V_l$ , определим энергию  $A_y$ , необходимую для разрушения свода:

$$2 A_y = m_l V_l^2 = F_{ycp} \tau V_l, \quad (3)$$

Анализ показателей, серийно выпускаемых или экспериментальных перспективных образцов электромагнитных ударных машин показывает, что скорость движения якоря у них не превосходит 10 м/с, а в большинстве практических конструкций составляет, в среднем, 5 м/с. Тогда для бункеров с заданными показателями (толщиной стенки) при известном импульсе силы, обеспечивающем устойчивое разрушение свода, с учетом (3) легко определить соответствующий ему диапазон энергий сводаобрушителя:  $A_y = 24 \dots 48$  Дж. В дальнейших рассуждениях будем считать, что создаваемые сводаобрушители с импульсным ЛЭМД должны обеспечивать близкие к этим показатели, в частности, примем для них  $A_y = 25 \dots 50$  Дж.

**Заключение.** Таким образом, правильный выбор зоны приложения и величины силового импульсного воздействия способствует эффективному разрушению устойчивых сводов и улучшает очистку внутренней поверхности бункера от налипшего сыпучего материала.

### Список источников

1. Усанов, К.М. Импульсная система с линейным электромагнитным двигателем для интенсификации разгрузки бункеров / К.М. Усанов, В.А. Каргин, А.В. Волгин // Научное обозрение, № 6, 2012. – С.255-258.
2. Усанов, К.М. Линейные электромагнитные двигатели и приводы в импульсных процессах и технологиях: монография / К.М. Усанов, В.И. Мошкин, В.А. Каргин, А.В. Волгин // Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2015. – 202 с.
3. Усанов, К.М. Линейный импульсный электромагнитный привод машин с автономным питанием: монография / К.М. Усанов, В.И. Мошкин, Г.Г. Угаров // Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2006. – 284 с.

© Волгин А.В., Лалов Н.А., Гришин Г.В., Лобанов И.Е., Кукарский Д.В., 2025

## ОПТИМИЗАЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Алексей Сергеевич Гаврилов<sup>1</sup>, Владислав Евгеньевич Верещагин<sup>2</sup>,  
Владимир Николаевич Овсянников<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

<sup>1</sup>[alekcey3009@gmail.com](mailto:alekcey3009@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0005-5398-7261>

<sup>2</sup>[wereschagin3079@mail.ru](mailto:wereschagin3079@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0009-1677-7037>

<sup>3</sup>[ovsyannikov0512@mail.ru](mailto:ovsyannikov0512@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3028-6073>

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные подходы к оптимизационному проектированию вентильного синхронного реактивного двигателя (ВСРД). Приведены основные принципы выбора параметров конструкции и алгоритмы оптимизации, направленные на повышение эффективности и энергосбережения при эксплуатации электродвигателей. Анализируются методики математического моделирования и численного расчета, позволяющие улучшить эксплуатационные характеристики двигателей.

**Ключевые слова:** вентильный синхронный реактивный двигатель, оптимизационное проектирование, численное моделирование, энергосбережение, электромеханотронная система.

**Для цитирования:** Гаврилов, А.С. Оптимизационное проектирование вентильного синхронного реактивного двигателя / А.С. Гаврилов, В.Н. Овсянников, В.Е. Верещагин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## OPTIMIZATION DESIGN OF A SWITCHED RELUCTANCE SYNCHRONOUS MOTOR

Alexey Sergeevich Gavrillov<sup>1</sup>, Vladislav Evgenievich Vereshchagin<sup>2</sup>,  
Vladimir Nikolaevich Ovsyannikov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Samara State Technical University, Samara, Russia

<sup>1</sup>[alekcey3009@gmail.com](mailto:alekcey3009@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0005-5398-7261>

<sup>2</sup>[wereschagin3079@mail.ru](mailto:wereschagin3079@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0009-1677-7037>

<sup>3</sup>[ovsyannikov0512@mail.ru](mailto:ovsyannikov0512@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3028-6073>

**Abstract.** This article discusses the main approaches to the optimization design of a switched reluctance synchronous motor (SRSМ). The key principles for selecting design parameters and optimization algorithms aimed at improving efficiency and energy saving during motor operation are presented. The methods of mathematical

modeling and numerical analysis that enhance the performance characteristics of the motors are also analyzed.

**Keywords:** switched reluctance synchronous motor, optimization design, numerical modeling, energy saving, electromechatronic system.

**For citation:** Gavrilov, A.S. Optimization Design of a Switched Reluctance Synchronous Motor / A.S. Gavrilov, V.N. Ovsyannikov, V.E. Vereshchagin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Вентильные синхронные реактивные двигатели (ВСРД) представляют собой перспективный класс электрических машин, сочетающих простоту конструкции, высокую эффективность и надёжность.

Эксплуатационные характеристики ВСРД делают их востребованными в промышленной автоматизации, электромобилях, ручном инструменте и бытовой технике. Однако для достижения максимальной производительности требуется тщательная оптимизация конструкции, выбора материалов, теплового анализа и системы управления.

Поэтому основной целью работы является совершенствование методов и подходов к проектированию ВСРД.

**Материалы и методы.** Современные промышленные и транспортные системы требуют применения высокоэффективных и экологически чистых приводных механизмов. [1] ВСРД обладают рядом преимуществ перед традиционными асинхронными и синхронными двигателями:

- Простая конструкция ротора – отсутствие обмоток и постоянных магнитов снижает себестоимость и упрощает производство.
- Высокая надёжность – минимальное количество подвижных и подверженных износу компонентов.
- Высокий КПД – меньшие потери на вихревые токи и отсутствие потерь в роторе.
- Компактность и низкая масса – важный фактор для транспорта и мобильных применений.
- Гибкость управления – возможность точного контроля крутящего момента и скорости.

Однако, несмотря на очевидные преимущества, оптимизация конструкции, выбора материалов и алгоритмов управления остаются актуальными задачами.

В настоящее время отсутствует единый подход к проектированию ВСРД из-за особенностей конструкции электрической машины. Многие коэффициенты выбираются на основании эмпирических данных экспертами или вычисляются в процессе моделирования магнитной системы в специализированных программных комплексах. Поэтому в работе ставятся задачи по разработке алгоритмов и совершенствованию методики проектирования ВСРД для дальнейшего серийного производства. Методика должна учитывать и легко адаптироваться к требованиям области применения проектируемой электрической машины.

В связи с совершенствованием полупроводниковой элементной базы и материалов, позволяющих получать высокие и конкурентные энергетические характеристики поставлена задача комплексного проектирования с учетом современных возможностей микропроцессорной техники.

Принцип работы ВСРД основан на использовании анизотропии магнитной проницаемости ротора. Ротор выполнен из ферромагнитного материала с явно выраженными полюсами, стремящимися занять положение минимального магнитного сопротивления. Вращающееся магнитное поле, создаваемое статором, заставляет ротор следовать за ним [2].

С учетом сказанного, одним из параметров и целью оптимизации является вращающий момент. Поэтому особое внимание авторами статьи уделяется задачам получения необходимого вращающего момента на выходе электродвигателя, который можно представить следующим уравнением:

$$M = \frac{I}{2} \cdot (L_d - L_q) \cdot I^2$$

где  $M$  – электромагнитный момент, ( $L_d$  и  $L_q$ ) – индуктивности вдоль продольной и поперечной осей ротора,  $I$  – ток в обмотках статора.

Разница между индуктивностями  $L_d$  и  $L_q$  определяет способность двигателя создавать крутящий момент, что делает форму ротора и выбор материала критически важными параметрами проектирования [1, 3].

Для достижения указанной цели, в ходе оптимизации конструкции ВСРД, учитываются следующие критерии:

*Максимальный КПД ( $X_1$ )* – минимизируются потери в меди и стали. Для этого используют электротехническую сталь с низкими потерями, уменьшают сопротивление обмоток за счет оптимального сечения проводников, а также уменьшают вихревые токи, улучшая изоляцию сердечника [4].

*Высокий крутящий момент ( $X_2$ )* – достигается путем оптимизации формы ротора, увеличения глубины магнитных ослаблений, подбора угла их расположения, а также выбора оптимального воздушного зазора для минимизации потерь магнитного потока.

*Минимальные электромагнитные потери ( $X_3$ )* – снижаются за счет оптимальной ширины зубцов статора и ротора, минимизации гармоник магнитного поля, а также использования сегментированных роторов для уменьшения вихревых токов.

*Компактность и масса ( $X_4$ )* – уменьшается за счет выбора материалов с высокой удельной прочностью, уменьшения размеров воздушного зазора и оптимизации системы охлаждения для предотвращения перегрева при более высокой плотности тока.

*Оптимальное использование магнитного потока ( $X_5$ )* – достигается путем оптимальной формы магнитопровода, увеличения степени насыщения в рабочих режимах и использования математического моделирования (метод конечных элементов) для нахождения лучших параметров.

*Снижение акустического шума и вибраций ( $X_6$ )* – реализуется путем точного подбора формы и количества пазов статора, симметричного расположения

магнитных ослаблений на роторе и использования демпфирующих конструкций для подавления колебаний.

*Надежность и долговечность ( $X_7$ )* – обеспечиваются использованием термостойких и механически прочных материалов, точным расчетом механических нагрузок на ротор и статор, а также эффективной системой охлаждения для предотвращения перегрева.

**Результаты исследования.** Основными факторами оптимизации ВСРД являются:

*Форма и размер магнитных ослаблений на роторе ( $F_1$ )*

Влияют на формирование магнитного потока и амплитуду крутящего момента. Оптимизируются путем изменения глубины, ширины и угла расположения ослаблений.

*Количество и форма пазов статора ( $F_2$ )*

Определяют характеристики магнитного поля и пульсации момента. Подбираются для уменьшения потерь и снижения шума, например, увеличение количества пазов помогает снизить вибрации.

*Воздушный зазор между ротором и статором ( $F_3$ )*

Чем меньше зазор, тем выше КПД и крутящий момент, но сложнее обеспечить точность изготовления. Оптимальный зазор выбирается в диапазоне

*Материал магнитопровода ( $F_4$ )*

Выбор стали с низкими потерями на гистерезис и вихревые токи (например, электротехническая сталь марки 3408). Использование тонколистовой стали уменьшает потери на вихревые токи.

*Обмотка статора ( $F_5$ )*

Количество витков и сечение провода определяют потери в меди и эффективность работы двигателя. Использование ленточного провода вместо круглого повышает заполнение пазов и снижает сопротивление.

*Система охлаждения ( $F_6$ )*

Уменьшает перегрев, продлевая срок службы двигателя. Может быть воздушной или жидкостной в зависимости от требований к мощности и нагрузке.

*Частота коммутации инвертора ( $F_7$ )*

Влияет на управление двигателем, уровень гармонических потерь и эффективность работы. Подбирается так, чтобы минимизировать потери на переключение и обеспечить плавность работы.

Модель алгоритма оптимизационного проектирования показана на рис. 1, а математическая модель в обобщенном виде

$$Y = X_1 f(F_{1...7}) + X_2 f(F_{1...7}) + \dots + X_{i+1} f(F_{j,j+1})$$

На рис. 1 желаемые эксплуатационные характеристики обозначены буквой  $Z$ .

Алгоритм оптимизационного проектирования с учетом этапов определения коэффициентов, учитывающих геометрию магнитной системы и распределения магнитного поля в воздушном зазоре показан на рис. 2.

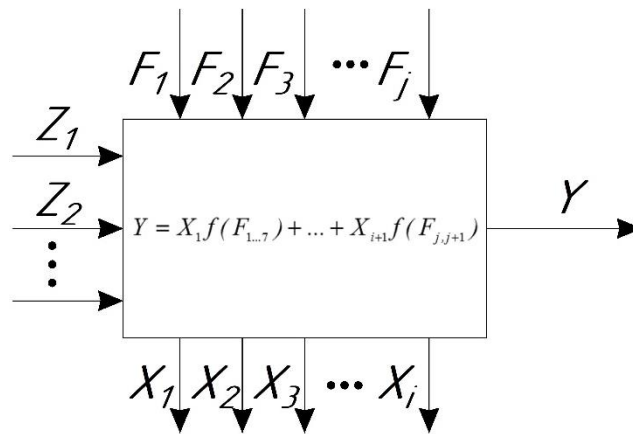


Рисунок 1 – Модель алгоритма оптимизационного проектирования в обобщенном виде

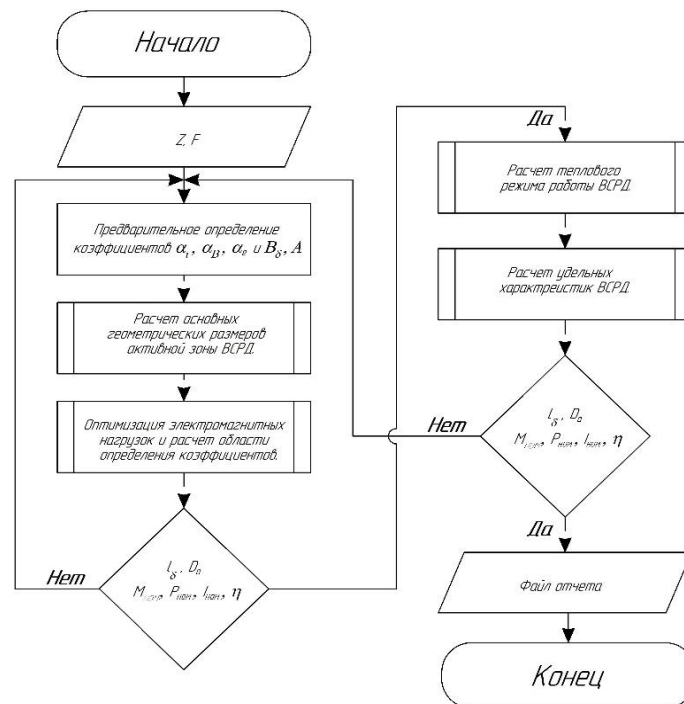


Рисунок 2 – Алгоритм оптимизационного проектирования с учетом этапов определения коэффициентов

В ходе оптимизационного проектирования и разработки алгоритма проектирования установлено, что:

#### *Проектирование обмотки статора*

Количество витков влияет на индуктивность и ЭДС: больше витков – выше напряжение, но выше и сопротивление. Оптимальный баланс подбирается с учетом рабочего тока.

Схема намотки влияет на характеристики двигателя. Однослойные обмотки проще и дешевле, но многослойные лучше распределяют ток и снижают потери. Концентрические обмотки уменьшают гармонические потери, а распределенные обеспечивают равномерное магнитное поле, снижая пульсации момента.

Были применены следующие методы оптимизации:

а) Численное моделирование методом конечных элементов (FEM) заключалось в том, что для снижения пульсаций крутящего момента,



возникающих из-за неравномерного распределения магнитного потока, изменялась форма магнитных участков на роторе, проверяя, при каком расположении минимальны колебания момента. Выполнен анализ влияния воздушного зазора на потери и насыщение магнитного потока.

В результате расчета теплового режима работы под нагрузкой выполнена оценка нагрева активных зон двигателя и выбрана оптимальная форма лобовых частей обмотки для лучшего охлаждения.

Таким образом, при уменьшении ширины магнитных участков на роторе на 20% можно добиться снижения пульсаций момента на 10-15%, что улучшает плавность работы двигателя и снижает электромагнитный шум.

#### *б) Топологическая оптимизация конструкции ВСРД*

Топологическая оптимизация позволила удалить ненужные зоны материала, чтобы снизить массу ротора и уменьшить инерцию, а также нашли форму кривой магнитного поля при которой максимальный крутящий момент достигается при минимальном токе.

Удалось оптимизировать конфигурацию ротора так, чтобы уменьшить потери на вихревые токи.

В результате топологической оптимизации удалось увеличить КПД на крутящий момент.

Ни маловажным аспектом при оптимизационном проектировании является обоснованный выбор материалов. Такой выбор является вторым по важности среди направлений оптимизации, так как оказывает серьезное влияние на эксплуатационные характеристики электрической машины.

При разработке проекта ВСРЭ применены следующие материалы:

*Магнитопровод.* Для сердечников статора и ротора в проекте применялись электротехнические стали марки 3ПН и 6ПН с низкими потерями на гистерезис и вихревые токи: потери на гистерезис составили 1,2 Вт/кг при 50 Гц для стали 3ПН; магнитная проницаемость 5000; толщина листа 0,35 мм (для минимизации потерь на вихревые токи).

Эти стали обеспечили эффективное преобразование энергии и минимальные потери при стандартных рабочих частотах.

В работе рассматривалось применение наноструктурированных сплавов и порошковых композитов. Они позволяют улучшить магнитные характеристики. Например, материалы на основе Fe-Co и Fe-Si обеспечивают высокую насыщенность и низкие потери в высокоскоростном исполнении двигателей, где потери на гистерезис не превышают 0,8 Вт/кг при 50 Гц, а магнитная проницаемость возможна до 10000.

Для ротора предложено применение электротехнической стали с ориентированными зёрнами марки М240. Эта сталь обеспечила низкие потери и высокую эффективность, а также: потери на вихревые токи составили 0,7 Вт/кг при 50 Гц; магнитная проницаемость 6000; насыщение 2,2 Тл.

*Обмотки статора.* Применение меди является стандартом для обмоток из-за высокой проводимости, т.к. удельное сопротивление составляет 0,00000175 Ом·м при 20°C и проводимость составляет около 59,6 МСм/м.

Медь имеет отличные электрические характеристики, что минимизирует электрические потери в обмотках.

Применение указанных активных материалов позволило уменьшить массу статора и ротора, а также улучшить динамические характеристики ВСРД.

*Изоляционные материалы.* В современных высоконагруженных электродвигателях особое внимание уделяется изоляционным материалам. Они должны обеспечивать хорошую электрическую изоляцию, стойкость к высокотемпературным нагрузкам и механическим повреждениям. При разработке методики оптимизационного проектирования ВСРД термостойкость закладывалась на уровне 180-200 °С на основе эпоксидных материалов и стекловолокна.

Следующими этапами является применение методов искусственного интеллекта (ИИ) и нейронных сетей в оптимизационном проектировании ВСРД. Уже в настоящее время современные технологии позволяют применять машинное обучение для автоматизированного проектирования электродвигателей. ИИ-алгоритмы анализируют тысячи возможных конфигураций и выбирают наилучшие параметры конструкции и управления. ИИ позволит автоматизировать подбор факторов и параметров, сократить время разработки и добиться лучших эксплуатационных показателей.

**Заключение.** Многокритериальное оптимизационное проектирование ВСРД – сложная научно-исследовательская и инженерная задача, требующая комплексного подхода. Учет геометрии, выбор материалов, тепловой анализ и разработка системы управления – ключевые аспекты проектирования. Современные методы численного моделирования и искусственного интеллекта позволяют повысить точность проектирования и автоматизировать процесс выбора параметров.

Это открывает новые возможности для промышленности и транспорта, требующих надёжных и энергоэффективных электродвигателей.

#### **Список источников**

1. Басов, Д.П. Методы расчета и проектирования синхронных электродвигателей / Д.П. Басов, В.И. Козлов // Энергоиздат, 2018. – 450 с.
2. Климов, А.С. Электрические машины / А.С. Климов // Энергоатомиздат, 2010. – 640 с.
3. Поспелов, Г.Е. Электромагнитные процессы в вентильных двигателях / Г. Е. Поспелов // Наука, 2015. – 320 с.
4. Справочник инженера-электрика / Под ред. В.А. Веникова. – Энергоатомиздат, 2015. – 550 с.
5. Хандоров, В.В. Тепловые процессы в электрических машинах / В.В. Хандоров. – Высшая школа, 2017. – 398 с.

© Гаврилов А.С., Овсянников В.Н., Верещагин В.Е., 2025

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АКТИВНОСТИ СТУДЕНТОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Айсулу Мендибайкызы Гайнешова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Казахстан

<sup>1</sup>[aisy\\_08@mail.ru](mailto:aisy_08@mail.ru)

**Аннотация:** В статье раскрывается значение цифровых технологий в образовательном процессе. Учитывая новые информационные потребности студентов, появляются инновационные методы визуализации учебного контента.

**Ключевые слова:** цифровые технологии, развитие, личность, образовательный процесс, инновационные инструменты

**Для цитирования:** Гайнешова, А.М. Использование цифровых технологий в активизации учебной деятельности студентов / А.М. Гайнешова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под редакцией С.В. Бахтеева. – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## USE OF MODERN DIGITAL TOOLS TO ENHANCE STUDENT ACTIVITY IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Aysulu Mendybaikyzy Gainezhova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>West Kazakhstan Innovative and Technological University, Uralsk, Kazakhstan

<sup>1</sup>[aisy\\_08@mail.ru](mailto:aisy_08@mail.ru)

**Annotation.** The article reveals the significance of digital technologies in the educational process. Considering the new informational needs of students, innovative methods of visualizing educational content are emerging.

**Key words:** Digital technologies, development, personality, educational process, innovative tools.

**For citation:** Gainezhova, A.M. Use of Digital Technologies in Activating Student Learning Activities / A.M. Gainezhova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В последние годы Казахстан активно внедряет цифровые технологии в сферу образования, направленные на повышение качества

образовательного процесса и расширение возможностей для студентов. Это связано с задачей интеграции страны в глобальное информационное сообщество и созданием конкурентоспособных образовательных стандартов. В Казахстане развитие цифровых технологий в образовании поддерживается на государственном уровне через различные программы и инициативы.

**Материалы и методы.** Одной из таких инициатив является программа «Цифровой Казахстан», целью которой является ускоренное внедрение цифровых технологий в различные сферы экономики и социальной жизни, включая образование. В рамках этой программы активно развиваются различные цифровые инструменты, такие как электронные учебники, онлайн-курсы, платформы для дистанционного обучения и интерактивные образовательные ресурсы. Это позволяет значительно улучшить доступность и качество образования, особенно для студентов в отдалённых регионах страны [1].

Современное общество невозможно представить без информационных и компьютерных технологий. Цифровые инновации трансформировали различные сферы жизни и повлияли на восприятие окружающего мира, особенно молодым поколением. Молодёжь быстрее осваивает технические новшества, глубже понимает их сущность и уверенно применяет на практике. Существенные изменения коснулись и форматов восприятия информации, что требует её визуализации.

Цифровые мультимедийные средства сегодня широко применяются в образовательной среде, способствуя социализации и развитию обучающихся. В условиях активного внедрения цифровых технологий преподаватели сталкиваются с вызовами: необходимо адаптировать содержание дисциплин под новые информационные запросы студентов и использовать современные визуальные инструменты подачи материала [2].

Несмотря на сохранение традиционных форм обучения (учебники, пособия, печатные материалы), современные технологии значительно расширяют возможности педагога. Презентации, видеоматериалы, электронные учебники, интерактивные доски, мультимедийные проекторы – всё это делает процесс обучения более увлекательным и доступным. Такие средства улучшают восприятие учебного материала, делая его более наглядным и понятным.

Цифровые технологии особенно актуальны при обучении дисциплинам, требующим высокой концентрации и логического мышления – таким как математика и информатика. Здесь важна активизация внимания студентов. Для эффективного применения цифровых средств преподаватель должен чётко понимать их роль в формировании познавательной активности студентов.

Согласно теории Т.И. Шамовой, повышение эффективности обучения напрямую связано с активизацией деятельности студентов под руководством преподавателя. Таким образом, обе стороны – и обучающиеся, и педагог – становятся партнёрами в процессе обмена знаниями. Цифровые технологии в этом контексте выступают в роли коммуникационного моста, способствующего развитию диалога и совместной деятельности [3].

**Результаты исследования.** Сегодня преподаватели всё чаще комбинируют традиционные методики с инновационными средствами, что способствует глубокому осмыслению материала, повышает практическую

направленность обучения. Активное вовлечение студентов в образовательный процесс, взаимодействие с преподавателем, формируют способность к самостоятельному решению задач, развитию критического мышления и профессиональной мобильности. Высшие учебные заведения получают уникальную возможность для самооценки и анализа своих образовательных ресурсов в реальных условиях. Цифровизация позволяет испытать и внедрить разнообразные технологические решения, способствующие модернизации образовательного процесса и выявлению стратегических направлений развития.

**Заключение.** Использование цифровых технологий в образовательном процессе играет ключевую роль в активизации учебной деятельности студентов, обеспечивая более эффективное усвоение знаний и развитие необходимых навыков для успешной профессиональной деятельности. В Казахстане цифровизация образования активно поддерживается на государственном уровне и внедряется в рамках различных программ и инициатив, таких как «Цифровой Казахстан» [4]. Это создаёт благоприятные условия для внедрения инновационных образовательных технологий, которые помогают модернизировать процессы обучения и преподавания, а также повысить доступность и качество образования.

#### **Список источников**

1. Шамова, Т.И. Педагогика высшей школы: теория и практика / Т.И. Шамова // М.: Издательство «Высшая школа», 2019.
2. Садыкова, Л.А. Цифровизация образования: перспективы и вызовы для Казахстана / Л.А. Садыкова // Уральск: Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, 2021.
3. Власов, В.Н. Мультимедийные и цифровые технологии в образовательном процессе / В.Н. Власов, Т.И. Гусева // СПб.: Питер, 2020.
4. Кулманов, К.М. Цифровизация образования в Казахстане: современное состояние и перспективы / К.М. Кулманов // Алматы: КазНТУ, 2021.

©Гайнешева А.М., 2025

Научная статья  
УДК 621.316.925

## **ТЕСТИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ IHL**

**Михаил Леонович Гогорян<sup>1</sup>, Анастасия Андреевна Терехова<sup>2</sup>, Семен Эдуардович Эктов<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

<sup>1</sup>[mix.gogorian@yandex.ru](mailto:mix.gogorian@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0000-2939-3360>

<sup>2</sup>[Terehova-95@yandex.ru](mailto:Terehova-95@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0656-5390>

<sup>3</sup>[ektov.sam@yandex.ru](mailto:ektov.sam@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0003-6998-4829>

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы надежности и эффективности релейной защиты в области энергетики. Анализируются и сравниваются две современные платформы для тестирования: RTDS и OPAL-RT.

**Ключевые слова:** Тестирование релейной защиты, платформа OPAL-RT,

**Для цитирования:** Гогорян, М.Л. Тестирование релейной защиты с помощью технологии HIL / М.Л. Гогорян, А.А. Терехова, С.Э. Эктов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## TESTING RELAY PROTECTION USING HIL TECHNOLOGY

**Mikhail Levonovich Gogoryan<sup>1</sup>, Anastasia Andreyevna Terekhova<sup>2</sup>, Semyon Eduardovich Ektov<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Tambov State Technical University, Tambov, Russia

<sup>1</sup>[mix.gogorian@yandex.ru](mailto:mix.gogorian@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0000-2939-3360>

<sup>2</sup>[Terekhova-95@yandex.ru](mailto:Terekhova-95@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0656-5390>

<sup>3</sup>[ektov.sam@yandex.ru](mailto:ektov.sam@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0003-6998-4829>

**Annotation.** The article discusses the issues of reliability and effectiveness of relay protection in the field of energy. Two modern testing platforms are analyzed and compared: RTDS and OPAL-RT.

**Keywords:** Relay protection testing, OPAL-RT platform, Hardware-in-the-Loop.

**For citation:** Gogoryan, M.L. Testing relay protection using HIL technology / M.L. Gogoryan, A.A. Terekhova, S.E. Ektov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Тестирование аппаратного обеспечения в режиме реального времени (Hardware-in-the-Loop,) является более современным и гибким методом тестирования на сегодняшний момент [1]. На рис. изображена схема замкнутого цикла тестирования оборудования.

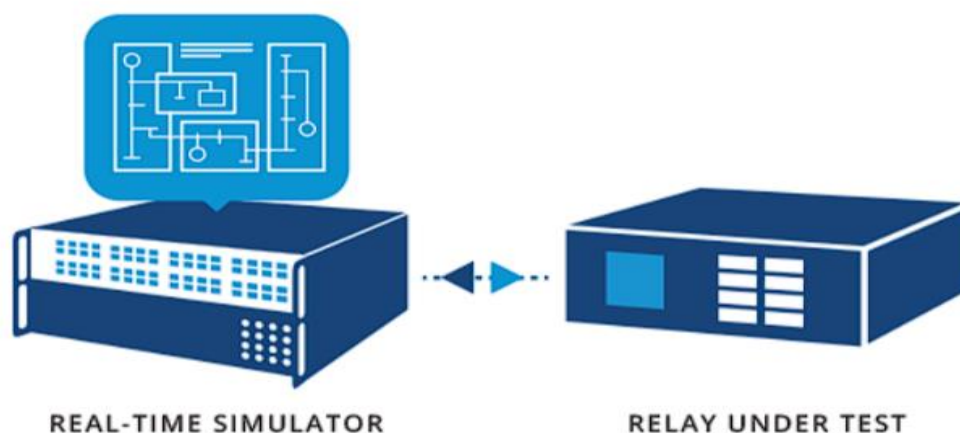


Рисунок – Подход к тестированию аппаратного обеспечения в цикле

**Материалы и методы.** В рамках системы НПЛ модель энергетической системы работает в реальном времени на специальном симуляторе, который соединён с микропроцессорным реле. Цель тестирования НПЛ – выявить и устранить проблемы с продуктом или системой до их использования по назначению, тем самым снизив риск сбоев и обеспечив соответствие требованиям конечных пользователей. При НПЛ-моделировании физический объект заменяется точно эквивалентной компьютерной моделью, работающей в режиме реального времени на симуляторе, соответствующим образом оснащённом входами и выходами, способными взаимодействовать с системами управления и другим оборудованием.

Для тестирования систем релейной защиты электроэнергетических систем используются различные программно-аппаратные комплексы, отличающиеся особенностями режимов работы и другими показателями. Например, такие как

**Результаты исследования.** Платформа-симулятор OPAL-RT предлагает инновационные решения для тестирования релейной защиты в режиме реального времени, что значительно повышает качество и надёжность этих систем. Это позволяет тестировать не только программное обеспечение, но и взаимодействие с реальными компонентами системы, что значительно повышает надёжность результатов. OPAL-RT поддерживает множество стандартов и протоколов, используемых в релейной защите, таких как IEC 61850 и DNP3. Это позволяет интегрировать платформу в существующие системы и облегчает процесс тестирования.

В отличие от платформы OPAL-RT, платформа RTDS более производительна и быстрее обрабатывает данные. Она обеспечивает очень высокую производительность и минимальные задержки благодаря использованию специализированных процессоров и архитектуры. Это делает его идеальным для работы с высокочастотными сигналами и критически важными приложениями, требующими максимальной точности и скорости. Отличительной особенностью комплекса является то, что он генерирует электрические сигналы (токи и напряжения), возникающие в моделируемой электрической системе, в физической форме в виде напряжений амплитудой 10 В. Платформа RTDS – это мощный инструмент для тестирования микропроцессорной релейной защиты, позволяющий инженерам проводить исследования и испытания в условиях, максимально приближенных к реальным. С ее помощью можно значительно повысить надёжность и безопасность электрических систем.

**Заключение.** Тестирование НПЛ представляет собой значительный шаг вперёд в оценке систем релейной защиты на основе микропроцессоров. Сочетая реальное оборудование с имитацией условий, такое тестирование обеспечивает комплексный, безопасный и экономичный подход к обеспечению надёжности и эффективности устройств релейной защиты. По мере развития энергосистем тестирование НПЛ будет играть всё более важную роль в поддержании их целостности и безопасности.



### Список источников

- скаков, У.К. Разработка модели системы адаптации уставок срабатывания для устройств токовых защит / У.К. Исаков, И.В. Брейдо // Труды университета. – 2016. – № 1(62). – С. 112-116.
- ахнович, Д.И. Анализ применения программно-технической среды для тестирования устройств релейной защиты на базе Пак RTDS / Д.И. Шахнович // Бутаковские чтения: Сборник статей IV Всероссийской с международным участием молодёжной конференции, Томск, 10-12 декабря 2024 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. – С. 87-91.
- марова, П.Л. Разработка и тестирование адаптивных систем релейной защиты / П.Л. Умарова, Л.Ф. Мусина // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 9, № 11(152). – С. 69-76. – DOI 10.36871/ek.up.p.r.2024.11.09.010.

© Гогорян М.Л., Терехова А.А., Эктов С.Э., 2025

Научная статья  
УДК 621.314.1

## РАЗРАБОТКА DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ УМНОЙ ТЕПЛИЦЫ

Алексей Дмитриевич Гришин<sup>1</sup>, Денис Рустемович Муллаянов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

<sup>1</sup>[grischin.aleks201086@mail.ru](mailto:grischin.aleks201086@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1429-1358>

<sup>2</sup>[mullayanovdenis2003@gmail.com](mailto:mullayanovdenis2003@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8469-7981>

**Аннотация.** В статье рассмотрен вариант схмотехнического решения (топологии) производства импульсного источника питания класса dc/dc-преобразователь, с возможностью его применения в агрессивной среде эксплуатации, в том числе умных теплицах, пунктах диспетчеризации и автоматизации АПК.

**Ключевые слова:** импульсные источники питания, стабилизация напряжения, электротехническая совместимость (ЭМС), DC/DC преобразователи, автоматизация сельскохозяйственных процессов

**Для цитирования:** Гришин, А.Д. Разработка DC/DC-преобразователя для умной теплицы/ А.Д. Гришин, Д.Р. Муллаянов// Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## DEVELOPMENT OF A DC/DC CONVERTER FOR A SMART GREENHOUSE

Alexey Dmitrievich Grishin<sup>1</sup>, Denis Rustemovich Mullayanov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>St. Petersburg State Agrarian University, Russia.

<sup>1</sup>[grischin.aleks201086@mail.ru](mailto:grischin.aleks201086@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1429-1358>

**Annotation.** The article considers a variant of the circuit design (topology) for the production of a switching power supply of the dc/dc converter class, with the possibility of its use in an aggressive operating environment, including smart greenhouses, dispatching and automation points of the agroindustrial complex.

**Keywords:** switching power supplies, voltage stabilization, electrical compatibility (EMC), DC/DC converters, automation of agricultural processes.

**For citation:** Grishin, A.D. Development of a DC/DC Converter for a Smart Greenhouse / A.D. Grishin, D.R. Mullayanov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В настоящее время роботизация сельскохозяйственных процессов происходит стремительными темпами, внедряются новые системы автоматизации, диспетчеризации и регулируемого управления, контроля и сбора данных. Но одним из самых передовых и наиболее распространенных этапов (доступных широкому кругу пользователей), является умная теплица. В связи с этим большое внимание стало уделяться системам питания и резервирования выходного напряжения, систем питания контроллера и датчиков, что в сельскохозяйственных сетях является большой проблемой, так как зачастую значение напряжения не соответствует нормативным данным (диапазону отклонения напряжения в критерии  $\pm 10\%$ ) [1, 2].

Решение данной проблемы достигается за счет применения основных систем стабилизации и резервирования состояния цепи (линии подключенных устройств), состоящих из устройств AC/DC и DC/DC-преобразователей, а также систем байпаса, что в свою очередь позволяет, в случае критических отклонений и перепадов напряжений, сохранить работоспособное оборудование и не прерывать рабочий цикл устройств.

Несмотря на высокую значимость импульсных источников питания в современном мире, доля специальных (пригодных устройств для агропромышленного комплекса) очень мала, что отражает актуальность исследуемой темы [3, 4].

В связи с этим, основной упор исследований был сделан на разработку устройства, включающее в себя следующие функции: широкий диапазон стабилизации выходного напряжения, наличие встроенного фильтра входных и выходных помех, соблюдение параметров скажности в диапазоне 48-52%, поддержание рабочей тактовой частоты ШИМ-контроллера в рабочем диапазоне 108-112 кГц.

В число основных показателей контроля были включены следующие параметры: работоспособность устройства при резком перепаде температур, диапазон критического отклонения температур от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ , устойчивость к влажности и вибрационным нагрузкам, что позволяет применять устройства в агрессивной среде эксплуатации.

Цель данной работы заключается в проработке основных схем вторичного импульсного источника питания, расчет и оптимизация его выходных параметров, возможность повышения энергоэффективности преобразователя за счет внедрения в схему фильтра электромагнитной совместимости.

**Материалы и методы.** Методика опыта (разработка). Исследования по влиянию входных и выходных помех импульсного источника питания на цепи датчиков и управления проводились на базе лаборатории кафедры «Энергообеспечения предприятий и электротехнологий» в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», с помощью лабораторных стендов, специально спроектированных и разработанных под устройство импульсного источника питания.

В опыте были исследованы основные (фундаментальные) варианты топологических (схемотехнических) решений по проектированию импульсных источников питания, за счет применения Снабберных цепей и внесений корректирующей обвязки в параллельное соединение с токозадающей цепью устройства.

Дополнительно были проведены исследования по применению в разработанном устройстве моточного и планарного трансформатора, а для окончательной разработки цепи стабилизации выходного напряжения был разработан встроенный фильтр электромагнитной совместимости (фильтр ЭМС).



Рисунок – Значение КПД от параметров нагрузки в соотношении к номинальному значению

**Результаты исследования.** В результате разработки и настройки устройства были проведены испытания при различных параметрах нагрузки, рабочих режимах, холостом ходе и режиме короткого замыкания.

Внедрение в топологию ИИП планарного трансформатора позволит интенсифицировать отрасль производства ИИП, повысить КПД модуля, а также сократить потери на выходных параметрах и их погрешность отклонения.

В ходе исследования разработана физическая модуль модуля МВЭП, разработана методика проверки и настройки модуля, а также были проведены

лабораторные испытания модулей вторичного электропитания, еще был разработан корпус для разрабатываемого модуля, и модуль был залит компаундом.

Комплексные экономические, экологические оценки энергетического потенциала технологий производства модулей и их применения, универсальность их применения доказана научными статьями и многими исследованиями. Производство модулей МВЭП могут быть использованы для определения направлений их реализации и коммерциализации:

- в отраслях промышленности, образовательной сфере, АПК, оборонно-промышленном комплексе и ЖКХ для обеспечения стабильной работы электротехнических устройств;

- в сложных системных устройствах и пунктах диспетчеризации данных для обеспечения стабильной работы этих систем и сокращения параметра ошибки.

Оптимальной нагрузкой для импульсного источника питания класса DC/DC-преобразователь, является нагрузка в диапазоне 20-85%, при данном диапазоне КПД является наивысшим (рис.). На рисунке по оси Y представлены значения КП, а по оси X – значение нагрузки в процентах от номинального значения. Так же стоит учитывать максимальные ограничения рабочих параметров устройства, время работы при коротком замыкании до 5 с, максимальная допустимая нагрузка 250% – 10 с, нагрузка до значений 100-150% – 15 мин.

**Заключение.** Изучив изложенный выше материал, можно сделать вывод о том, что в современном мире силовой электроники остается еще множество вопросов для изучения и разработки новых схемотехнических и топологических решений. А также применяя современные микросхемы и компоненты SMD исполнения, можно разработать не только надежный, но и современный импульсные источники питания (ИИП). ИИП с каждым днем находят все большую сферу применения, а из-за их неприхотливости к окружающей среде и возможности использования компаунда могут эксплуатироваться в открытом виде на многих участках производства как с агрессивной средой, так и с высокими показателями защиты.

### **Список источников**

1. Приемы и технологии в контроллерах Microchip // Компоненты и технологии. – 2004. – №7. – С. 112-117.
2. Фетисов, В.С. Самоучитель по автоматизированной разработке печатных плат / В.С. Фетисов // Уфа, –2012, – 193 с.
3. Беззубцева, М.М. Нанотехнологии в энергетике: учебное пособие / М.М. Беззубцева, В.С.Волков // СПб, СПбГАУ, – 2012. – 133 с.
4. Беззубцева, М.М. Электротехнологии и электротехнологические установки в АПК / М.М. Беззубцева // СПб, – СПбГАУ, – 2012. – с. 242.
5. Zverev, I. Untersuchungen energiearmer Prozesse in Stromrichtern: diss. – Verlag.: University of Rostock, 1999. – 193 p. ISBN 3-932633-39-3

Научная статья

УДК 632.3: 631.544.45

## АНАЛИЗ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В КАМЕРАХ ФИТОТРОНА

Евгений Николаевич Гусенников<sup>1</sup>, Сергей Иосифович Юран<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия

<sup>1</sup>[ujhuf99@gmail.com](mailto:ujhuf99@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0003-0723-4221>

<sup>2</sup>[yuran-49@yandex.ru](mailto:yuran-49@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0440-0012>

**Аннотация.** В данной статье приводится анализ воздушных потоков, обусловленных вентиляцией и температурным градиентом в камерах разрабатываемого фитотрона. Приводится обоснование конструкции фитотрона на основе естественных процессов перемещения воздушных потоков и режимов регулирования температуры.

**Ключевые слова:** вентиляция, фитотрон, градиент температур, автоматизированная система.

**Для цитирования:** Гусенников, Е.Н. Анализ воздушных потоков в камерах фитотрона / Е.Н. Гусенников, С.И. Юран // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## ANALYSIS OF AIR FLOWS IN PHYTOTRON CHAMBERS

Evgeny Nikolaevich Gusennikov<sup>1</sup>, Sergey Iosifovich Yuran<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

<sup>1</sup>[ujhuf99@gmail.com](mailto:ujhuf99@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0003-0723-4221>

<sup>2</sup>[yuran-49@yandex.ru](mailto:yuran-49@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0440-0012>

**Annotation.** This article provides an analysis of air flows caused by ventilation and temperature gradient in the chambers of the developed phytotron. The design of the phytotron is substantiated based on natural processes of air flow movement and temperature control modes.

**Keywords:** ventilation, phytotron, temperature gradient, automated system.

**For citation:** Gusennikov, E.N. Air flows in the phytotron chambers / E.N. Gusennikov, S.I. Yuran // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Фитотрон представляет собой специализированную камеру или установку, предназначенную для проведения экспериментов по выращиванию растений в строго контролируемых условиях. Одним из ключевых факторов, влияющих на успешность таких экспериментов, является обеспечение оптимального микроклимата, за счёт вентиляции и температурного режима. Температура влияет на все аспекты физиологии растений, включая фотосинтез, дыхание, транспирацию, поглощение питательных веществ и деление клеток [1]. В свою очередь более высокая температура почвы относительно температуры воздуха благоприятно влияет на развитие рассады [2]. Это происходит вследствие того, что температура также влияет на ферментативную активность и метаболические процессы, участвующие в росте. Поэтому крайне важно контролировать и управлять данными параметрами в соответствии с режимами выращивания растений [3].

**Материалы и методы.** Проведём анализ воздушных потоков в разрабатываемом устройстве «Бытовой фитотрон», изображённом на рис. 1 [4, 5].

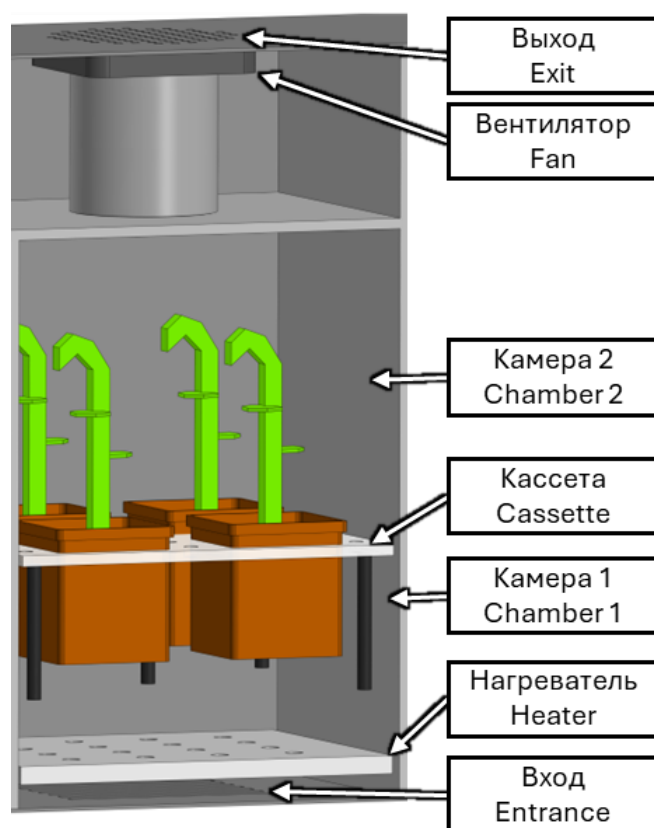


Рисунок 1 – Трёхмерная модель фитотрона (вид сбоку)

В основе конструкции данного устройства лежит предложенное техническое решение [6] раздельного нагрева растений и их корневой системы за счёт разделения объёма воздуха на две камеры: камеры выращивания растений 2 и камеры нагрева почвы 1. Корпус фитотрона имеет отверстия (сверху и снизу), соединяющие камеры с окружающей средой. Рабочий объём фитотрона разделён на две камеры кассетой с отверстиями. В нижней камере – камере 1 нагрева почвы – находится пластинчатый электронагреватель и непосредственно горшки с почвой, установленные в отверстия кассеты. В



верхней камере – камере 2 роста растений – помимо непосредственно зелени растений вверху располагается проветривающий вентилятор. Для наглядности на рис. 2 показано схематичное представление устройства фитотрона.

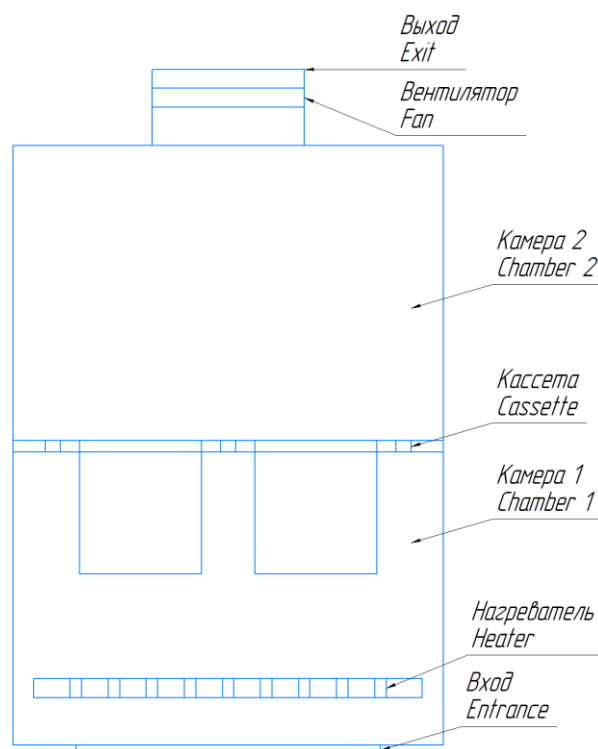


Рисунок 2 – Схематичное представление устройства фитотрона

Кассета разделяет рабочую зону на две камеры: камеру выращивания растений и камеру нагрева почвы с установленной в ней электронагревателем. Данное решение обусловлено законами термодинамики, согласно которым более нагретый воздух будет задерживаться в камере нагрева почвы, после чего поступать в камеру выращивания растений с более низкой температурой.

Конструктивно было принято решение установить вентилятор в верхней части корпуса фитотрона. Данный выбор обоснован свойствами конвекции и особенностями поддержания микроклимата в камере выращивания растений. Для режима оздоровления растений (см. ниже) в этой камере фитотрона необходимо поддерживать высокий уровень температуры, поэтому резкое понижение температуры может вызывать стресс у растений. При этом из-за эффекта перерегулирования в автоматизированном фитотроне может возникать незначительный перегрев воздуха в камере 2. Исходя из этого процесс вентиляции в камере должен быть плавным с относительно малой производительностью. Как известно, для обеспечения равномерного распределения температуры более эффективно перемещать воздух из нижней части камеры в верхнюю, так как в данном процессе определенную роль играет и конвекция. Для более плавного перемещения воздушного потока можно переключать вентилятор на приток воздуха в камеру 2. В то же время для повышения эффективности проветривания вентилятор переключается в режим вытяжки воздуха, в результате чего процесс перемещения воздуха будет происходить более интенсивно.



**Результаты исследования.** Рассмотрим условные воздушные потоки, возникающие внутри камер фитотрона, которые показаны на рис. 3.

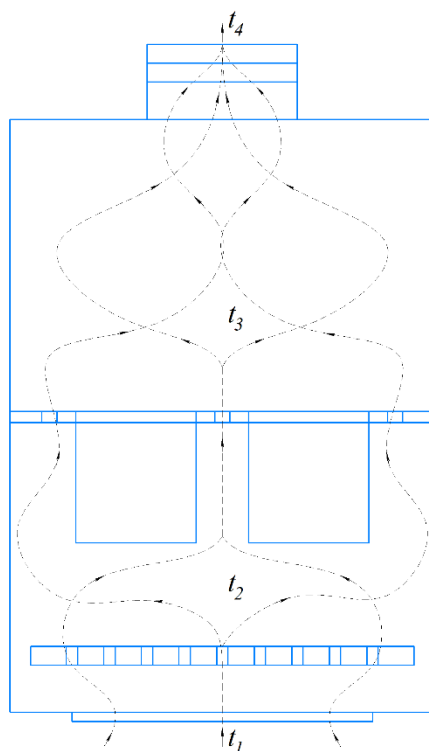


Рисунок 3 – Схематичное изображение воздушных потоков

На данном рисунке пунктирными линиями указаны потоки воздуха с различными значениями температур:  $t_1$  – температура наружного воздуха, поступающего к нагревателю фитотрона,  $t_2$  – температура воздуха в камере 1 нагрева почвы,  $t_3$  – температура воздуха в камере 2 выращивания растений и  $t_4$  – температура воздуха, выходящего из камеры 2 во внешнюю среду.

Стрелками на пунктирных линиях изображено предполагаемое направление естественной вентиляции при работе нагревателя. Поскольку нагреватель установлен в нижней части фитотрона, то нагретый воздух, перемешиваясь согласно принципам конвекции, будет постепенно подниматься вверх. Более теплый воздух будет оставаться в камере 1, нагревая горшки с почвой, а в камеру 2 через отверстия в кассете будет поступать охлажденный воздух. Вентилятор в свою очередь при его включении в режим вытяжки может усилить перемещение потока воздуха из камеры 2 [6]. Данный режим используется, если необходимо несколько охладить воздух в камере 1, где располагаются горшки с почвой. Однако, при включении вентилятора в режим притока воздуха потоки теплого воздуха будут задерживаться в камере 2, при этом в камеру будет поступать свежий воздух из внешней среды, обеспечивая тем самым более мягкий режим регулирования температуры воздуха в камере 2. Такой режим не создаёт дополнительного воздушного потока из камеры 1, где требуется более высокий уровень температуры для подогрева корней [3].

В качестве примера обеспечения заданного температурного режима приведём режим термотерапии саженцев гвоздики [7, 8]. В данных исследованиях выделим основные температурные параметры для термотерапии гвоздики.

Вначале зададимся температурой окружающей среды  $t_1$  равной  $19^{\circ}\text{C}$ . Термотерапия подразумевает длительное поддержание температурного режима зелени и корней растений, с учётом суточного колебания температуры (ночного снижения температуры). Для поддержания температуры в камерах фитотрона воспользуемся разработанной программой автоматического регулирования температуры [9]. Таким образом для эффективной термотерапии необходимо настроить систему автоматического регулирования температуры воздуха на значения для дневного периода: температура в камере 2 выращивания растений  $t_3$  равная  $37^{\circ}\text{C}$  и температура в камере 1 нагрева почвы  $t_2$  равная  $40^{\circ}\text{C}$ . А для ночного периода: температура в камере 2 выращивания растений  $t_3$  равная  $32^{\circ}\text{C}$  и температура в камере 1 нагрева почвы  $t_2$  равная  $33^{\circ}\text{C}$ .

**Заключение.** В ходе исследования был проведён анализ вентиляционных потоков в разрабатываемом фитотроне. Благодаря предложенной конструкции фитотрона можно добиться необходимого градиента температур между камерами выращивания растений и камерой нагрева почвы, что позволяет поддерживать заданную температуру почвы для обеспечения эффективной жизнедеятельности растений, и при этом не перегревая листья растений. В качестве примера использования данной концепции приведён режим автоматического регулирования температуры для проведения термотерапии саженцев гвоздики.

#### Список источников

1. Agrometeorology: Temperature and Plant Growth – Agriculture [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://agritech.tnau.ac.in/agriculture/agri\\_agrometeorology\\_temp.html](https://agritech.tnau.ac.in/agriculture/agri_agrometeorology_temp.html).
2. Benefits of Bottom Heat in Plant Growth – Ken-Bar [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ken-bar.com/blogs/news/benefits-of-bottom-heat-in-plant-growth>
3. Гусенников, Е.Н. Пути создания благоприятных условий для роста рассады в условиях закрытого грунта / Е.Н. Гусенников, С.И. Юран // Наука и молодежь: новые идеи и решения в АПК: Материалы Национальной научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, посвященной Десятилетию науки и технологий и 80-летию Удмуртского ГАУ, Ижевск, 28 ноября – 2023 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2023. – С. 175-184.
4. Гусенников, Е.Н. Концепт комбинированного устройства контролируемого выращивания растений для бытового применения / Е.Н. Гусенников, С.И. Юран // Современные тенденции технологического развития АПК: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной Десятилетию науки и технологий и 300-летию Российской академии наук. С 253-256.
5. Гусенников, Е. Н. Система контролируемого выращивания растений для бытового применения / Е.Н. Гусенников, С.И. Юран // Новые направления развития приборостроения: Материалы 17-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов. Минск: БНТУ, – 2024. – С 73.

6. Патент на полезную модель № 232987 U1 Российская Федерация, МПК A01G 9/24. Фитотрон с системой бесконтактного нагрева почвы в горшках: заявл. 08.10.2024 : опубл. 31.03.2025 / С.И. Юран, Е.Н. Гусенников // заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет».

7. Баматов, И.М. Повышение эффективности технологии оздоровления и первичного размножения земляники садовой в культуре in vitro / И.М. Баматов, Н.Л. Адаев, Э.А. Цагараева [и др.] // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 57, № 4. – С. 183-191.

8. Митрофанова, О.В. Применение биотехнологических методов в оздоровлении растений и размножении безвирусного посадочного материала перспективных цветочно-декоративных культур / О.В. Митрофанова, И.В. Митрофанова, Н.П. Лесникова-Седошенко, Н.Н. Иванова // Сборник научных трудов Гос-ного Никитского ботанического сада. – 2014. – Т. 138. – С. 5-56.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025618339 Российская Федерация. Автоматизированное поддержание температуры воздуха и почвы в камере фитотрона : заявл. 27.03.2025 : опубл. 03.04.2025 / Е.Н. Гусенников, С.И. Юран; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет».

© Гусенников Е.Н., Юран С.И., 2025

Научная статья

УДК 004.932. ББК 32.973

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ YOLO ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СОРНЯКОВ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДЬЯХ С ПОМОЩЬЮ БПЛА**

**Давид Николаевич Земской<sup>1</sup>, Мария Анатольевна Каменская<sup>2</sup>,  
Жанна Александровна Зарандия<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия

<sup>2,3</sup>Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

<sup>1</sup>[zemskoydeyvid@gmail.com](mailto:zemskoydeyvid@gmail.com)

<sup>2</sup>[art\\_mari@bk.ru](mailto:art_mari@bk.ru)

<sup>3</sup>[zarandiya.zha@gmail.com](mailto:zarandiya.zha@gmail.com)

**Аннотация:** В данных тезисах рассматривается применение алгоритма компьютерного зрения YOLO для автоматического распознавания сорняков на сельскохозяйственных полях с использованием беспилотных летательных аппаратов. Модель обучена для классификации пяти видов сорняков и обеспечивает точность 0,75. Системный подход позволяет автоматизировать

мониторинг и повысить эффективность борьбы с сорняками. Представлены архитектура решения и методика оценки результатов.

**Ключевые слова:** агропромышленный комплекс, сорняки, беспилотные летательные аппараты, YOLO, компьютерное зрение, точность классификации.

**Для цитирования:** Земской, Д.Н. Применение модели YOLO для выявления сорняков на сельскохозяйственных угодьях с помощью БПЛА / Д.Н. Земской, М.А. Каменская, Ж.А. Зарандия // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## APPLICATION OF THE YOLO MODEL FOR WEED DETECTION IN AGRICULTURAL LAND USING UAVS

Zemskoy David Nikolaevich<sup>1</sup>, Kamenskaya Maria Anatolievna<sup>2</sup>, Zarandiya Zhanna Aleksandrovna<sup>3</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia

<sup>2,3</sup>Tambov State Technical University, Tambov, Russia

<sup>1</sup>[zemskoydeyvid@gmail.com](mailto:zemskoydeyvid@gmail.com)

<sup>2</sup>[art\\_mari@bk.ru](mailto:art_mari@bk.ru)

<sup>3</sup>[zarandiya.zha@gmail.com](mailto:zarandiya.zha@gmail.com)

**Abstract:** This paper explores the application of the YOLO computer vision algorithm for automatic weed detection in agricultural fields using unmanned aerial vehicles (UAVs). The model is trained to classify five common weed species and achieves an accuracy of 0,75. The proposed system automates the monitoring process and improves the efficiency of weed management. The solution architecture and evaluation methodology are presented.

**Keywords:** agriculture, weeds, unmanned aerial vehicles, YOLO, computer vision, classification accuracy.

**Введение.** Развитие цифровых технологий в агропромышленном комплексе (АПК) способствует внедрению интеллектуальных систем мониторинга посевов. Одной из актуальных задач является автоматическое выявление сорняков, которые снижают урожайность и требуют затрат на обработку полей [1]. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сочетании с алгоритмами компьютерного зрения, такими как YOLO (You Only Look Once), предоставляет возможность быстрой и точной идентификации сорных растений [2]. В работе рассматривается система, в которой БПЛА выполняют аэрофотосъёмку сельскохозяйственных угодий, а модель YOLO анализирует полученные изображения для обнаружения и классификации сорняков.

### *Алгоритм YOLO и его применение в задачах агромониторинга*

Модель YOLO относится к однопроходным нейросетевым алгоритмам детекции объектов, что позволяет выполнять распознавание в реальном времени. YOLO делит изображение на сетку и одновременно предсказывает координаты ограничивающих рамок, классы объектов и вероятность принадлежности объекта классу. Такой подход особенно удобен для обработки данных с дронов, где важны как скорость, так и точность.

В данной работе использована модификация YOLOv5, обученная на собственном датасете, содержащем изображения с пометками пяти наиболее распространённых видов сорняков. Точность классификации модели на валидационной выборке составила 0,75, что является приемлемым показателем для задач мониторинга сельхозугодий [3].

#### *Система на основе БПЛА и YOLO.*

Система состоит из трёх основных компонентов:

1. БПЛА, оснащённый RGB-камерой с высоким разрешением;
2. Наземный модуль для хранения и предварительной обработки данных;
3. Модель YOLO, развернутая на вычислительном узле (сервере или облаке), для анализа изображений.

БПЛА совершают облёты по заранее заданному маршруту, обеспечивая равномерное покрытие поля. Изображения передаются на сервер, где YOLO проводит детекцию сорняков. Результаты сохраняются в геопривязанных координатах и могут быть использованы для создания карт распределения сорной растительности [4].

**Материалы и методы.** Для обучения модели был создан специализированный набор изображений, включающий фотографии сельскохозяйственных угодий, снятые при различных условиях освещения, высоте и угле съёмки. Разметка проводилась вручную с использованием инструмента *LabelImg*. Использованы стандартные процедуры аугментации (изменение яркости, масштабирование, поворот).

Данные были разделены на обучающую и валидационную выборки в пропорции 80/20. Обучение производилось с использованием функции потерь, учитывающей ошибку классификации, локализации и отсутствие объекта. По завершении обучения достигнута точность 0,75 на валидационной выборке [5].

**Результаты исследования.** Система была протестирована в условиях реального сельскохозяйственного поля. YOLO корректно определяла расположение сорняков на изображениях с воздуха, включая частично перекрытые экземпляры. Среднее время обработки одного изображения составило 65 мс, что позволяет применять метод в режиме, близком к реальному времени.

Полученные карты распределения дают возможность агроному принимать обоснованные решения о необходимости и способе обработки конкретных участков поля. Анализ результатов показал устойчивую работу модели при умеренных изменениях освещения и угла съёмки.

**Заключение.** Проведённая работа демонстрирует эффективность применения модели YOLO для автоматического выявления сорняков на полях с использованием БПЛА. Разработанная система позволяет уменьшить

трудозатраты и повысить точность агротехнических мероприятий. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются интеграция с системами точного земледелия и адаптация модели к условиям различных регионов.

### Список источников

1. Redmon, J. YOLOv3: An Incremental Improvement / J. Redmon, A. Farhadi // arXiv:1804.02767 [cs.CV], 2018.
2. Bochkovskiy, A. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection / A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang, H.-Y.M. Liao // arXiv:2004.10934 [cs.CV]. 2020.
3. Ultralytics YOLOv5 Documentation. URL: <https://docs.ultralytics.com>.
4. Kamilaris, A. Deep learning in agriculture: A survey / A. Kamilaris, F.X. Prenafeta-Boldú // Computers and Electronics in Agriculture. 2018. Vol. 147. P. 70-90.
5. Milioto, A. Real-time Semantic Segmentation of Crop and Weed for Precision Agriculture Robots Leveraging Background Knowledge in CNNs / A. Milioto, P. Lottes, C. Stachniss // IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), 2018. P. 2229-2235.

© Земской Д.Н., Каменская М.А., Зарандия Ж.А., 2025

Научная статья  
УДК 621.31

## МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И АЛГОРИТМЫ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ: ПОТЕНЦИАЛ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**Шамсудин Зелимович Зиниев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, Россия

**Аннотация.** В статье приведены методы регрессии, временных рядов, машинное обучение (решающие деревья, SVM) и нейронные сети. Эти методы позволяют учесть множество факторов: погоду, время суток, день недели, экономическую активность и т.д., выявляя сложные нелинейные зависимости.

**Ключевые слова:** современные алгоритмы, нейронные сети, машинное обучение, искусственный интеллект, электрические сети.

**Для цитирования:** Зиниев, Ш.З. Машинное обучение и алгоритмы в сельских электрических сетях: потенциал и перспективы / Ш.З. Зиниев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

## MACHINE LEARNING AND ALGORITHMS IN RURAL ELECTRIC NETWORKS: POTENTIAL AND PROSPECTS

Shamsudin Zelimovich Ziniev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grozny State Petroleum Technical University named after academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia

**Annotation.** The article presents regression methods, time series, machine learning (decision trees, SVM) and neural networks. These methods allow you to take into account many factors: weather, time of day, day of the week, economic activity, etc., revealing complex nonlinear dependencies.

**Keywords:** modern algorithms, neural networks, machine learning, artificial intelligence, electrical networks.

**For citation:** Ziniev, S.Z. Machine Learning and Algorithms in Rural Electric Networks: Potential and Prospects / S.Z. Ziniev // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Сельские электрические сети являются «узким» местом в сложном разветвленном электроэнергетическом комплексе Российской Федерации.

**Материалы и методы.** Как показывают наблюдения, реализация многих программ на федеральном и региональном уровнях, направленных на повышение надежности в электросетевом комплексе, к сожалению, не дают ожидаемых результатов из-за «якорных» проблем, существующих в электрических сетях (рис. 1).



Рисунок 1 – Факторы влияния на снижение надежности электрических сетей

Негативные тенденции касаются надежности электросетевого комплекса является «отражением» процессов, происходивших в стране за последние десятилетия и которые способны привести к серьезным проблемам в ближайшей или отдаленной перспективе [6].



Для агропромышленного комплекса это может служить «сдерживающим» фактором, с учетом мер поддержки, осуществляемых в рамках национального проекта развития АПК (рис. 2), что свою очередь ставит перед исследователями задачу поиска альтернативных путей повышения надежности электрических сетей [1].



Рисунок 2 – Механизмы государственной поддержки аграрного производства

**Результаты исследования.** Одним из эффективных способов решения данной задачи может служить использование потенциала искусственного интеллекта, с правильным распределением алгоритма действий. Так необходимо сформировать большие исходные данные на определенном участке электрической сети, для прогнозирования электрической нагрузки, которая позволит запланировать генерацию, избежать избыточного резерва мощности и поддержать баланс в электрической сети, что напрямую влияет на надежность в электрической сети [4].

Классические подходы опирались на статистику прошлых лет и инженерные оценки, однако современные алгоритмы значительно расширяют наши возможности. Сегодня для краткосрочного прогноза нагрузки применяются методы регрессии, временных рядов, машинное обучение (решающие деревья, SVM) и нейронные сети. Эти методы позволяют учесть множество факторов: погоду, время суток, день недели, экономическую активность и т.д., выявляя сложные нелинейные зависимости [3].

Исходя из собранных данных, необходимо приступить к этапу машинного обучения, и используя достижения ученых разных стран применять наиболее эффективные методы [11].

Так, рекуррентные нейросети (RNN), особенно архитектуры LSTM и GRU, способны учиться на исторических данных потребления и выдавать прогнозы с высокой точностью [2].

При экспериментальной апробации модели провели сравнение с точностью прогноза, составляемого вручную экспертом: в штатных ситуациях разница оказалась невелика (90-95% у человека против ~ 95% у модели). Однако даже прирост точности на 1-3% при большом объеме потребления даёт ощутимый экономический эффект – снижение штрафов за отклонение от заявок на мощность [7-9].

В другом исследовании, сравнивая RNN, LSTM и GRU для краткосрочного прогноза, эксперты Арабо-американского университета выяснили, что упрощенная рекуррентная сеть GRU может превзойти LSTM по точности на реальных данных. GRU имеет более простую структуру (меньше параметров за счёт отсутствия отдельного выходного шлюза), что делает её эффективной на относительно небольших наборах данных.

**Заключение.** В целом использование машинного обучения – от ансамблей деревьев решений до глубоких нейросетей – позволяет гарантирующему поставщику электроэнергии моделировать различные сценарии нагрузки с большей точностью, чем традиционные методы. Это особенно важно для краткосрочных прогнозов (часы-дни), необходимых для оперативного управления, и долгосрочных прогнозов (годы вперед) при планировании развития инфраструктуры [2].

### Список источников

1. The Global Economy.com Россия: Доля сельского хозяйства в ВВП. Электронный ресурс. URL: [https://ru.theglobaleconomy.com/Russia/Share\\_of\\_agriculture/](https://ru.theglobaleconomy.com/Russia/Share_of_agriculture/)
2. Habr.com Россия: Искусственный интеллект и алгоритмы в энергетике: применение, преимущества, перспективы. Электронный ресурс. URL: <https://habr.com/ru/companies/sigma/articles/897472/>
3. Магомадов, Р.А.М. Перспективы совершенствования методики прогнозирования потребления электрической энергии использованием алгоритмов искусственного интеллекта / Р.А.М. Магомадов, Ш.З. Зиниев, В.А. Каргин // В сборнике: Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах. сборник докладов всероссийской научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 206-208.
4. Зиниев, Ш.З. Статистические данные климатических, конструктивных параметров и ненормальных режимов работы магистральных электрических сетей 110 кВ / Ш.З. Зиниев, И.В. Кротов, В.А. Каргин // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2024625752, 04.12.2024. Заявка № 2024625581 от 21.11.2024.
5. Бутаков, Н. А. Обработка больших данных с Apache Spark / Н.А. Бутаков М.В. Петров, Д. Насонов // СПб: Университет ИТМО, 2019. – 50 с.
6. Дебиев, М.В. Эффекты внедрения автоматизированных электроэнергетических систем на основе интеллектуальных сетей / М.В. Дебиев, Р.А.М. Магомадов, Т.Ш. Амхаев, Ш.З. Зиниев // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – Грозный: ГГНТУ, Том XVII. №1 (23), 2021. С.15-25.
7. Магомадов, Р.А.М. Перспективы совершенствования методики прогнозирования потребления электрической энергии использованием алгоритмов искусственного интеллекта / Р.А.М. Магомадов, Ш.З. Зиниев,

В.А. Каргин // В сборнике: Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах. сборник докладов всероссийской научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 206-208.

8. Железнов, М.М. Методы и технологии обработки больших данных [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / М.М. Железнов // Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2020.

9. Водяников, В.Т. Организационно-экономические основы сельской электроэнергетики / В.Т. Водяников // М.: ИКФ «Экмос» – 2003. – 352 с.

10. Приказ Минэнерго России от 12.06.2018 № 548 «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики».

© Зиниев Ш.З., 2025

Научная статья  
УДК 631.21

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОРОВНИКЕ

**Юлия Викторовна Иванкина<sup>1</sup>, Максим Викторович Бирюков<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[Lexsi2007@yandex.ru](mailto:Lexsi2007@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0005-8424-0582>

**Аннотация:** Современное животноводство требует внедрения инновационных решений для повышения эффективности производства. Автоматизация технологических процессов в коровнике позволяет оптимизировать кормление, доение, контроль микроклимата и управление здоровьем животных. В статье рассматриваются ключевые аспекты автоматизации, применяемые технологии и их влияние на продуктивность молочного стада.

**Ключевые слова:** автоматизация, коровник, доильные системы, кормление, микроклимат, роботизация.

**Для цитирования:** Иванкина, Ю.В. Автоматизация технологических процессов в коровнике / Ю.В. Иванкина, М.В. Бирюков // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN THE COWSHED

**Yulia Viktorovna Ivankina<sup>1</sup>, Maxim Viktorovich Biryukov<sup>2</sup>**

**Abstract:** Modern animal husbandry requires the introduction of innovative solutions to improve production efficiency. Automation of technological processes in the cowshed makes it possible to optimize feeding, milking, microclimate control and animal health management. The article discusses the key aspects of automation, the technologies used and their impact on the productivity of the dairy herd.

**Keywords:** automation, cowshed, milking systems, feeding, microclimate, robotization.

**For citation:** Ivankina, Yu.V. Automation of Technological Processes in a cowshed / Yu.V. Ivankina, M.V. Biryukov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Молочное животноводство – одна из ключевых отраслей сельского хозяйства, где автоматизация играет важную роль в повышении продуктивности и снижении затрат. Традиционные методы содержания КРС уступают место интеллектуальным системам, основанным на IoT (Интернете вещей), робототехнике и искусственном интеллекте.

**Методы и материалы.** Автоматизация в коровнике охватывает:

- ✓ автоматизированные системы доения,
- ✓ роботизированное кормление,
- ✓ контроль микроклимата,
- ✓ мониторинг здоровья животных,
- ✓ уборка навоза.

Внедрение этих технологий позволяет снизить трудозатраты, повысить качество молока и улучшить условия содержания животных [1, 2, 3].

**Результаты исследования.** Рассмотрим основные направления автоматизации в коровнике:

Роботизированные доильные установки (например, Lely Astronaut, DeLaval VMS) позволяют проводить доение без участия оператора. Эти системы: идентифицируют корову по чипу, анализируют вымя и проводят преддоильную обработку, контролируют качество молока (определение мастита, содержание соматических клеток), адаптируют процесс доения под физиологическое состояние животного [1, 2, 3].

Преимущества: увеличение частоты доения (до 3-4 раз в день), снижение стресса у коров, повышение надоев на 10-15%.

Современные системы кормления включают:

- автоматические кормораздатчики (например, Rovibec, Trioliet);
- прецизионные кормушки с регулируемой выдачей корма;
- анализаторы состава рациона.

Системы на основе датчиков контролируют потребление корма и корректируют рацион в реальном времени. Это позволяет: минимизировать потери корма, предотвращать ожирение или недокорм, повышать усвояемость питательных веществ.

Оптимальные параметры микроклимата (температура, влажность, вентиляция, уровень аммиака) влияют на здоровье и продуктивность коров. Автоматизированные системы включают: датчики температуры и влажности, автоматические вентиляторы и шторы, системы туманообразования для охлаждения.

Умные системы регулируют параметры без участия человека, снижая риск теплового стресса у животных.

Для мониторинга здоровья животных используются: акселерометры и датчики активности (выявление охоты, хромоты), датчики жвачки (показатель здоровья ЖКТ), тепловизоры для ранней диагностики мастита.

Данные передаются в систему управления стадом, что позволяет оперативно реагировать на отклонения.

Роботы-уборщики (например, Lely Discovery) перемещаются по коровнику, собирая навоз и поддерживая чистоту. Это снижает риск инфекций и улучшает условия содержания.

**Заключение.** Хотя внедрение автоматизации требует значительных инвестиций, она окупается за 3-5 лет за счет: снижения трудозатрат, увеличения надоев, уменьшения потерь корма, улучшения качества молока [1, 2, 3].

Автоматизация коровников – перспективное направление в молочном животноводстве. Современные технологии повышают продуктивность, улучшают условия содержания животных и снижают эксплуатационные затраты. Дальнейшее развитие связано с интеграцией искусственного интеллекта и более точной аналитикой данных.

### **Список источников**

1. Бородин, Н.А. Автоматизация в животноводстве / Н.А. Бородин // М.: Агропромиздат, 2022.
2. Smith, J. Robotic Milking Systems: Efficiency and Cow Welfare / Smith, J // Journal of Dairy Science, 2021.
3. Иванов, С.П. Цифровые технологии в сельском хозяйстве / С.П. Иванов, // СПб.: Лань, 2023.

© Иванкина Ю.В., Бирюков М.В., 2025

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЛИЧНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА

Юлия Викторовна Иванкина<sup>1</sup>, Алексей Алексеевич Владимиров<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[Lexsi2007@yandex.ru](mailto:Lexsi2007@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0005-8424-0582>

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные подходы к совершенствованию систем управления уличным освещением в населенных пунктах. Анализируются проблемы традиционных систем освещения, предлагаются инновационные решения на основе интеллектуальных технологий управления, включая IoT-платформы, адаптивные алгоритмы регулирования и энергосберегающие технологии. Приводятся результаты пилотных проектов внедрения интеллектуальных систем освещения, демонстрирующие их экономическую и экологическую эффективность.

**Ключевые слова:** умное освещение, энергосбережение, IoT, интеллектуальное управление, городская инфраструктура.

**Для цитирования:** Иванкина, Ю.В. Совершенствование системы управления уличным освещением населенного пункта / Ю.В. Иванкина, А.А. Владимиров // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## IMPROVEMENT OF THE CONTROL SYSTEM FOR STREET LIGHTING IN A SETTLEMENT

Yulia Viktorovna Ivankina<sup>1</sup>, Alexey Alekseevich Vladimirov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[Lexsi2007@yandex.ru](mailto:Lexsi2007@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0005-8424-0582>

**Annotation.** The article discusses modern approaches to improving street lighting control systems in populated areas. The problems of traditional lighting systems are analyzed, innovative solutions based on intelligent control technologies are proposed, including IoT platforms, adaptive control algorithms and energy-saving technologies. The results of pilot projects for the introduction of intelligent lighting systems are presented, demonstrating their economic and environmental efficiency.

**Keywords:** smart lighting, energy saving, IoT, intelligent management, urban infrastructure

**For citation:** Ivankina, Yu.V. Improvement of the Control system for street lighting in a Populated area / Yu.V. Ivankina, A.A. Vladimirov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современные города сталкиваются с необходимостью оптимизации энергопотребления и повышения эффективности городской инфраструктуры. Уличное освещение составляет значительную долю энергопотребления муниципальных образований (15-20% от общего объема). Традиционные системы управления освещением характеризуются низкой гибкостью, отсутствием адаптивности и высокими эксплуатационными расходами. Внедрение интеллектуальных систем управления уличным освещением позволяет решить эти проблемы, обеспечивая до 70% экономии электроэнергии при повышении качества освещения [1, 2, 3].

*Типовые проблемы традиционных систем уличного освещения:*

1. Жесткое расписание включения/выключения без учета внешних условий;
2. Отсутствие мониторинга состояния осветительных приборов;
3. Высокие потери энергии из-за неоптимального режима работы;
4. Сложность оперативного управления и диагностики;
5. Неспособность адаптироваться к изменяющимся условиям (погода, трафик и т.д.);

*Технологические ограничения:*

- Использование устаревших светильников (ДРЛ, ДНаТ);
- Отсутствие автоматизированных систем управления;
- Локальное управление без централизованного мониторинга;

**Материалы и методы.** Интеллектуальные системы управления уличным освещением имеют следующие ключевые компоненты современной системы:

1. Энергоэффективные светильники: LED-технологии с регулируемой яркостью;
2. Датчики и сенсоры: освещенности, движения, температуры, влажности;
3. Коммуникационные сети: LoRaWAN, NB-IoT, PLC, ZigBee;
4. Централизованная платформа управления: сбор данных, аналитика, управление;
5. Алгоритмы адаптивного управления: машинное обучение, предиктивная аналитика;

*Преимущества интеллектуальных систем:*

- Динамическая регулировка яркости в зависимости от условий;
- Удаленный мониторинг и управление;
- Своевременное выявление неисправностей;
- Интеграция с другими городскими системами (умный город);
- Снижение эксплуатационных расходов;

*Методы совершенствования системы управления:*

1. Внедрение адаптивных алгоритмов управления



- Регулировка яркости по данным датчиков освещенности;
- Учет сезонных и погодных изменений;
- Адаптация к транспортным и пешеходным потокам;
- 2. Использование предиктивной аналитики
  - Прогнозирование необходимого уровня освещения;
  - Предсказание отказов оборудования;
  - Оптимизация графиков технического обслуживания;
- 3. Многоуровневая архитектура управления
  - Локальные контроллеры (управление отдельными светильниками);
  - Районные концентраторы (агрегация данных);
  - Городской центр управления (стратегическое управление).

**Результаты исследования.** Пилотные проекты в различных городах демонстрируют: экономия электроэнергии 40-70%; сокращение затрат на обслуживание 30-50%; увеличение срока службы оборудования 20-40%; повышение безопасности дорожного движения 15-25%; снижение выбросов CO<sub>2</sub> [1, 2, 3].

**Заключение.** Совершенствование систем управления уличным освещением на основе интеллектуальных технологий представляет собой эффективный инструмент повышения энергоэффективности городской инфраструктуры. Внедрение таких систем позволяет достичь значительной экономии бюджетных средств при одновременном повышении качества городской среды. Дальнейшее развитие направления связано с интеграцией систем освещения в концепцию «умного города» и применением технологий искусственного интеллекта для оптимизации управления.

#### **Список источников**

1. Редкозубов, В.И. Система уличного освещения поселка / В.И. Редкозубов, Ю.В. Иванкина, О.В. Логачева // Актуальные проблемы энергетики АПК : Материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 29-30 апреля 2022 года. – Саратов: Амирит, 2022. – С. 134-137. – EDN GXFUAUF.
2. Иванкина, Ю. В. Оценка состояния электрооборудования с точки зрения теории надёжности / Ю.В. Иванкина, М.С. Милешин // Актуальные проблемы и перспективы инновационной агроэкономики : Сборник статей Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции, Саратов, 25 декабря 2020 года. – Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2020. – С. 135-138. – EDN IMETWC.
3. Естаулетов, А.А. Оценка состояния электрооборудования с точки зрения надежности / А.А. Естаулетов, Ю.В. Иванкина // Актуальные проблемы энергетики АПК : Материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 29-30 апреля 2022 года. – Саратов: Амирит, 2022. – С. 48-51. – EDN ZTSWJD.

© Иванкина Ю.В., Владимиров А.А., 2025

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Юлия Викторовна Иванкина<sup>1</sup>, Илья Алексеевич Савельев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[Lexsi2007@yandex.ru](mailto:Lexsi2007@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0005-8424-0582>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0004-3155-664X>

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные интеллектуальные электроприводы, их ключевые особенности, принципы работы и области применения. Особое внимание уделяется интеграции искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения и адаптивных алгоритмов управления, позволяющих повысить энергоэффективность, точность и надежность приводных систем. Анализируются перспективные технологии, такие как нейросетевые регуляторы, предиктивное управление и самообучающиеся системы, а также их влияние на развитие промышленной автоматизации, робототехники и «умных» энергосетей. Приводятся примеры практической реализации интеллектуальных электроприводов и обсуждаются возможные направления дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** интеллектуальные электроприводы, искусственный интеллект, адаптивное управление, энергоэффективность, промышленная автоматизация, IoT, предиктивное управление

**Для цитирования:** Иванкина, Ю.В. Интеллектуальные электропривода / Ю.В. Иванкина, И.А. Савельев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## INTELLIGENT ELECTRIC DRIVES

Yulia Viktorovna Ivankina, Ilya Alexeyevich Saveliev

<sup>1,2</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[Lexsi2007@yandex.ru](mailto:Lexsi2007@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0005-8424-0582>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0004-3155-664X>

**Annotation.** The article discusses modern intelligent electric drives, their key features, principles of operation and applications. Special attention is paid to the integration of artificial intelligence (AI), machine learning, and adaptive control algorithms to improve the energy efficiency, accuracy, and reliability of drive systems. Promising technologies such as neural network regulators, predictive control, and self-

learning systems are analyzed, as well as their impact on the development of industrial automation, robotics, and smart power grids. Examples of practical implementation of intelligent electric drives are given and possible directions for further research are discussed.

**Keywords:** intelligent electric drives, artificial intelligence, adaptive control, energy efficiency, industrial automation, IoT, predictive control.

**For citation:** Ivankina, Yu.V. Intelligent Electric Drives / Yu.V. Ivankina, I.A. Savelyev // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Электроприводы представляют собой устройства, которые преобразуют электрическую энергию в механическую и используются для управления движением различных машин и механизмов. Они широко применяются в различных отраслях промышленности, таких как автоматизация, производство, транспорт и энергетика [1, 2, 3].

**Методы и материалы.** Системы электроприводов могут состоять из нескольких компонентов, включая:

1. Электродвигатель – основное устройство, которое преобразует электрическую энергию в механическую.
2. Контроллер – устройство, которое управляет работой электродвигателя, и может регулировать скорость, усилие и направление вращения.
3. Сенсоры – устройства, которые обеспечивают обратную связь, позволяя системе адаптироваться к изменениям в окружающей среде или в рабочих условиях. Они могут отслеживать параметры, такие как скорость, положение или температуру.

Под «интеллектуальными» электроприводами подразумеваются системы, которые используют современные технологии и алгоритмы для повышения эффективности и производительности. Основные характеристики интеллектуальных электроприводов включают:

1. Автономность – возможность принимать решения на основе собранных данных, что снижает необходимость в ручном управлении.
2. Адаптивность – возможность подстраиваться под изменения в среде или условиях работы, например, изменения нагрузки или окружающей температуры.
3. Системы на базе искусственного интеллекта – использование алгоритмов машинного обучения и анализа больших данных для оптимизации работы электропривода. Это позволяет улучшить процессы, такие как управление движением, диагностику и прогнозирование возможных неисправностей.
4. Интеграция с IoT – возможность подключения к интернету, что обеспечивает удаленное управление и мониторинг работы системы, а также возможность собирать и анализировать данные в режиме реального времени.

Интеллектуальные электроприводы играют ключевую роль в современном производстве и автоматизации. Они обеспечивают точное управление движением, повышают эффективность работы оборудования и снижают энергозатраты. Благодаря интеграции с системами управления, такими как SCADA и IoT, они

позволяют собирать и анализировать данные, оптимизируя производственные процессы. Актуальность темы обусловлена стремлением компаний к цифровизации, повышению гибкости и адаптивности производственных систем. Это особенно важно в условиях конкурентного рынка и быстро меняющихся технологий. Это создает новые возможности для повышения производительности, снижения затрат и улучшения качества обслуживания в различных секторах экономики [4, 5].

Интеллектуальные электроприводы – это современные системы управления электродвигателями, которые интегрируют передовые технологии, такие как цифровые сенсоры, алгоритмы обработки данных и интеллектуальное управление для повышения эффективности, производительности и надежности. Эти приводы способны самостоятельно адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации и оптимизировать свои параметры работы благодаря внедрению технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения.

#### *Характеристики:*

1. Самообучение и адаптация: Интеллектуальные электроприводы способны обучаться на основе анализируемых данных, что позволяет им адаптироваться к изменениям в нагрузке и окружающей среде.

2. Улучшенная диагностика и мониторинг: Они могут осуществлять постоянный мониторинг состояния системы и предсказывать возможные сбои, что минимизирует время простоя и увеличивает надежность.

3. Повышенная энергия эффективность: Благодаря интеллектуальному управлению и оптимизации работы электродвигателей, такие системы могут значительно снизить потребление энергии.

4. Интеграция с интернетом вещей (IoT): Интеллектуальные электроприводы могут быть подключены к облачным платформам для сбора данных, анализа и управления.

5. Поддержка удаленного управления: Возможность дистанционного управления и настройки параметров работы электропривода через интернет.

Сравнение традиционных и интеллектуальных электроприводов приведем в табл.

Таблица – Сравнение традиционных и интеллектуальных приводов

| Параметр                 | Традиционные электроприводы                               | Интеллектуальные электроприводы                                    |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Управление               | Статическое, часто с простыми контроллерами               | Динамическое, с использованием ИИ и алгоритмов адаптации           |
| Датчики и диагностика    | Минимальное количество датчиков, ограниченная диагностика | Многочисленные сенсоры, постоянный мониторинг и диагностика        |
| Энергоэффективность      | Зависит от конструкции, часто не оптимальна               | Оптимизирована за счет адаптивного управления                      |
| Подключение и интеграция | Ограниченные возможности подключения                      | Интеграция с IoT, поддержка удаленного доступа                     |
| Гибкость и адаптация     | Ограниченная возможность адаптации                        | Высокая гибкость и способность к самообучению                      |
| Стоимость                | Обычно ниже начальной стоимости                           | Более высокая стоимость, но с последующими экономическими выгодами |

В целом, интеллектуальные электроприводы представляют собой значительный шаг вперед в области автоматизации и управления, предлагая расширенные возможности повышения эффективности и надежности работы. Они соответствуют современным требованиям к автоматизированным системам и ставят акцент на инновации и адаптивность в производственных процессах.

Интеллектуальные электроприводы в настоящее время используют разнообразные технологии и алгоритмы, что позволяет им обеспечивать высокую эффективность работы, адаптивность и диагностику в реальном времени. Рассмотрим подробнее применение искусственного интеллекта и машинного обучения, а также обзор алгоритмов управления и оптимизации.

#### Применение искусственного интеллекта и машинного обучения:

**Анализ данных:** Интеллектуальные электроприводы собирают и анализируют данные о работе двигателя, такие как скорость, ток, температура. Используя методы машинного обучения, эти данные обрабатываются для выявления закономерностей и аномалий, позволяя системе прогнозировать будущие состояния и поведение.

**Прогнозирование отказов:** При помощи алгоритмов предсказательной аналитики AI может оценивать вероятность отказов базируясь на исторических данных и текущих показателях. Это снижает время простоя и дает возможность планировать техобслуживание.

**Оптимизация работы:** Алгоритмы машинного обучения позволяют оптимизировать конфигурацию системы управления для достижения наилучших показателей производительности при минимальном энергопотреблении. Это реализуется через онлайн-обучение и адаптацию управления в реальном времени.

**Самообучающиеся системы:** Используя подходы глубокого обучения, электроприводы могут улучшать свои алгоритмы работы со временем, подстраиваясь под специфические условия и требования, которые могут меняться.

Интеллектуальные электроприводы находят применение в множестве областей, и их использование значительно улучшает эффективность и надежность различных процессов. Вот некоторые ключевые примеры их применения:

#### 1. Автоматизация производственных процессов:

- В процессе сборки и производства используются интеллектуальные электроприводы для управления конвейерными системами. Это позволяет обеспечить плавный и бесперебойный поток материалов.

- Применение умных роботов, которые могут адаптироваться к изменениям в производственной среде, быстро перенастраиваясь для выполнения различных задач.

#### 2. Транспортные системы:

- В электромобилях и гибридных транспортных средствах используют интеллектуальные электроприводы для оптимизации расхода энергии и повышения производительности.

- Умные системы управления на железных дорогах, которые помогают в управлении движением поездов и обеспечивают их безопасность.

### 3. Энергетика:

- Ветряные и солнечные электростанции применяют интеллектуальные электроприводы для лучшей адаптации к изменениям в погодных условиях, что позволяет обеспечивать более стабильную выработку энергии.

- Автоматизированные системы управления в распределительных сетях, которые обеспечивают балансировку нагрузки и минимизацию потерь энергии.

### 4. Промышленная автоматизация:

- Интеллектуальные электроприводы используются в системах управления HVAC (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха), где они оптимизируют работу насосов и вентиляторов в зависимости от реальных условий в здании.

- В упаковочной и перерабатывающей промышленности, где они могут изменять скорость и усилие в зависимости от типа упаковки или материалов.

**Результаты исследования.** Интеллектуальные электроприводы становятся все более популярными благодаря своим многочисленным преимуществам. Рассмотрим основные из них:

#### 1. Эффективность и энергоэкономия.

Энергоэффективность – одно из основных преимуществ интеллектуальных электроприводов. Благодаря встроенным алгоритмам управления, которые адаптируются к текущим условиям работы, эти системы могут значительно сократить потребление энергии. Это достигается путем:

- **Оптимизации работы:** Интеллектуальные приводные системы могут динамически изменять режимы работы в зависимости от нагрузки. Например, когда нагрузка уменьшается, система может понизить скорость работы электродвигателя, что уменьшает потребление энергии.

- **Регулировки скорости:** Интеллектуальные приводные системы могут бесступенчато регулировать скорость, что позволяет избежать ненужного расхода энергии и повышает общую производительность.

- **Прогнозирования потребностей:** Современные системы оснащены алгоритмами машинного обучения, которые могут анализировать данные о работе оборудования и предсказывать, когда и в каком режиме работы энергоэффективность максимальна.

#### 2. Адаптивность и возможность интеграции в IoT

Интеллектуальные электроприводы обладают высокой адаптивностью, что позволяет им легко интегрироваться в Интернет вещей (IoT). Это открывает новые горизонты для управления и мониторинга смещения меток в реальном времени. Основные аспекты:

- **Интеграция с другими устройствами:** Интеллектуальные приводные системы могут работать в единой экосистеме с другими IoT-устройствами. Например, они могут подключаться к датчикам для сбора данных о температуре, влажности и других условиях работы.

- **Удаленный мониторинг и управление:** Благодаря возможности интеграции с облачными сервисами, пользователи могут контролировать параметры работы электроприводов из любой точки мира. Это удобно для

крупных производств и промышленных комплексов, где необходимо постоянное отслеживание и управление системами.

- Применение алгоритмов искусственного интеллекта: Адаптивные системы способны обрабатывать большие объемы данных, чтобы оптимизировать работу и предсказывать возможные неисправности, что сокращает время на ремонт и повышает надежность оборудования.

**Заключение.** В заключение следует отметить, что разработка и интеграция интеллектуальных электроприводов открывают перед промышленностью и другими сферами множество возможностей. Их значимость становится все более ясной в контексте стремительного развития технологий и растущей потребности в эффективных и надежных решениях.

Интеллектуальные электроприводы представляют собой не просто эволюцию традиционных приводов, а настоящую революцию в способах управления и оптимизации процессов. Мы рассмотрели ключевые тенденции, такие как повышение энергоэффективности, интеграция с IoT и IIoT, а также использование искусственного интеллекта, которые формируют будущее этой технологии. Эти аспекты обеспечивают не только увеличение производительности и снижение затрат, но также способствуют более устойчивому развитию, что особенно актуально в условиях глобальных изменений климата и необходимости сокращения углеродного следа.

Интеграция интеллектуальных электроприводов в различных областях, включая промышленность, энергетику, транспорт и автоматизацию зданий, является ключевым шагом к созданию более гибких и адаптивных систем. Эти технологии позволяют не только повышать эффективность процессов, но и обеспечивать высокий уровень надежности и безопасности. В условиях быстро меняющихся рыночных условий и требований пользователей, способность адаптироваться и оптимизировать работу оборудования на основе данных становится необходимостью.

Таким образом, важность разработки и внедрения интеллектуальных электроприводов заключается не только в их технических характеристиках, но и в их способности преобразовать подходы к управлению производственными процессами. Они помогают компаниям оставаться конкурентоспособными, сокращать время простоя и улучшать качество продукции, что в конечном итоге ведет к экономическому росту и устойчивому развитию на глобальном уровне.

В будущем мы можем ожидать, что интеллектуальные электроприводы станут неотъемлемой частью всех секторов экономики, открывая новые горизонты и создавая решения, которые будут соответствовать вызовам современного мира.

### **Список источников**

1. Епифанов, А.П. Электропривод в сельском хозяйстве: Учебное пособие / А.П. Епифанов, А.Г. Гушинский, Л.М. Малайчук // СПб.: Лань, 2016. – 224 с.
2. Анучин, А.С. Системы управления электроприводов / А.С. Анучин // Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. – 373 с.
3. Москаленко, В.В. Системы автоматизированного упр. электропривода: учебник. / В.В. Москаленко // М.: Инфра-М, 2018. – 576 с.



4. Новиков, В.А. Электропривод в современных технологиях: учебник / В.А. Новиков // М.: Academia, 2014. – 143 с.

5. Яни, А.В. Регулируемый асинхронный электропривод: учебное пособие / А.В. Яни // СПб.: Лань, 2016. – 464 с.

© Иванкина Ю.В., Савельев И.А., 2025

Научная статья

УДК 631.21

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИЕМА ЗЕРНА НА ЭЛЕВАТОРЕ ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ**

**Юлия Викторовна Иванкина<sup>1</sup>, Семен Дмитриевич Россошанский<sup>2</sup>,  
Антон Дмитриевич Фадеев<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[Lexsi2007@yandex.ru](mailto:Lexsi2007@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0005-8424-0582>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0001-2756-0206>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0006-9486-963X>

**Аннотация.** В статье рассматривается подход к автоматизации процесса приёма зерна на элеваторе с применением технологий машинного зрения. Описаны основные этапы приёма зерна, выделены узкие места при традиционном ручном контроле. Предложен алгоритм автоматической идентификации загрязнённости и определения влажности зерна с помощью камер и моделей компьютерного зрения. Проведено сравнение эффективности автоматизированного и традиционного подходов. Представлены рекомендации по интеграции машинного зрения в существующие системы управления элеваторами.

**Ключевые слова:** элеватор, приём зерна, машинное зрение, автоматизация, контроль качества, цифровизация, искусственный интеллект.

**Для цитирования:** Иванкина, Ю.В. Автоматизация процесса приема зерна на элеваторе применением машинного зрения / Ю.В. Иванкина, С.Д. Россошанский, А.Д. Фадеев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **AUTOMATION OF THE GRAIN INTAKE PROCESS AT THE ELEVATOR USING MACHINE VISION**

**Yulia Viktorovna Ivankina<sup>1</sup>, Semyon Dmitrievich Rossoshansky<sup>2</sup>,  
Anton Dmitrievich Fadeev<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup> [Lexsi2007@yandex.ru](mailto:Lexsi2007@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0005-8424-0582>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0009-0001-2756-0206>

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0009-0006-9486-963X>

**Annotation.** The article discusses an approach to automating the grain intake process at an elevator using machine vision technologies. The main stages of grain intake are described, and bottlenecks in traditional manual control are highlighted. An algorithm for automatic identification of contamination and determination of grain moisture using cameras and computer vision models is proposed. The effectiveness of automated and traditional approaches is compared. Recommendations on the integration of machine vision into existing elevator management systems are presented.

**Keywords:** elevator, grain reception, machine vision, automation, quality control, digitalization, artificial intelligence.

**For citation:** Ivankina, Yu.V. Automation of the grain intake process at the elevator using machine vision / Yu.V. Ivankina, S.D. Rossoshansky, A.D. Fadeev // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение** Процесс приёма зерна на элеваторе – один из ключевых этапов зерноперерабатывающей промышленности. На этом этапе важно оперативно и точно определить качество поступающего сырья, его влажность, степень загрязнения, наличие примесей. В традиционных системах эта работа часто выполняется вручную, что снижает объективность оценки и требует значительных затрат труда.

В последние годы активно развиваются технологии, позволяющие автоматизировать этот процесс. В частности, машинное зрение становится эффективным инструментом для анализа внешнего вида зерна. Оно позволяет реализовать высокоточное и быстрое определение качественных характеристик без участия оператора.

**Методы и материалы.** Для реализации задачи была спроектирована и протестирована система, состоящая из следующих компонентов:

- Камеры высокого разрешения (5 Мп и выше), установленные в точке поступления пробы;
- Осветительная система с постоянным спектром для стабильного качества изображения;
- Алгоритмы на базе нейросетей (YOLOv5 для детекции, ResNet для классификации);
- Программное обеспечение для отображения результатов и хранения статистики;
- Интерфейс взаимодействия с модулями SCADA и MES.

В качестве обучающей выборки использовалась база изображений зерна различных сортов с разным уровнем примесей и влажности. Для оценки точности применялась перекрёстная валидация. Испытания проводились в условиях реального предприятия.

**Результаты исследования.** Тестирование системы проводилось при симуляции приёмки пшеницы и ячменя.

Получены следующие результаты: скорость анализа одной партии зерна: от 10 до 15 секунд; точность определения загрязнённости: 92-94%; средняя ошибка в сравнении с лабораторными анализами: 3-5%; оценка влажности по цвету и текстуре: до 87% точности (рис. 1, рис. 2).

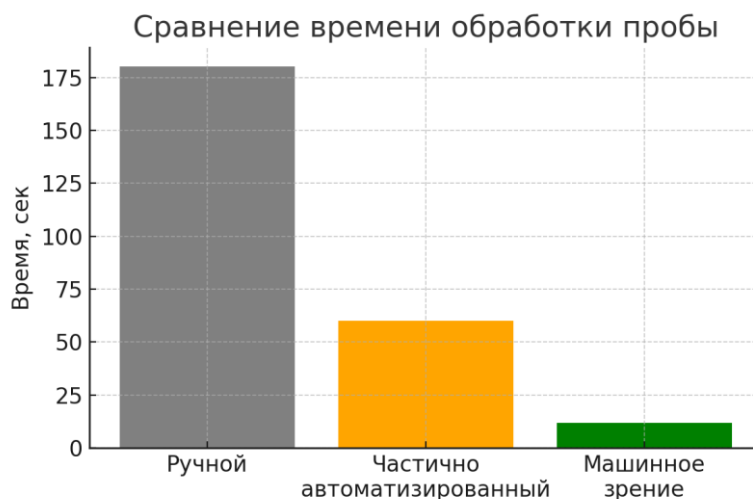


Рисунок 1 – Сравнение времени обработки пробы

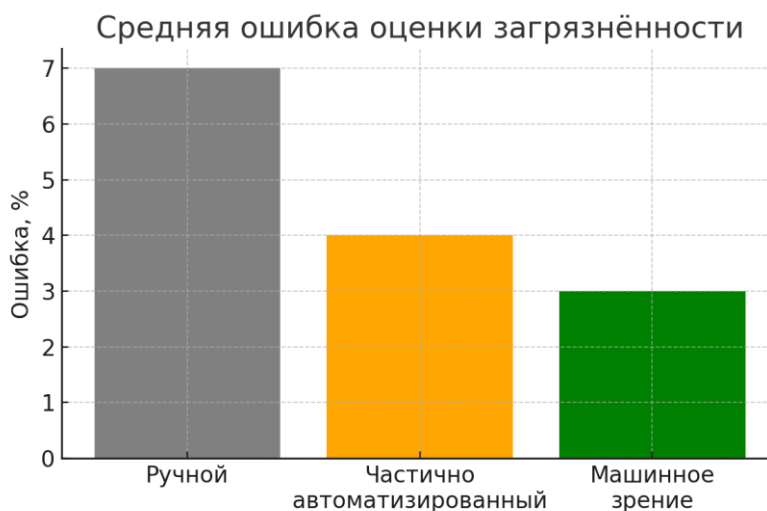


Рисунок 2 – Средняя ошибка оценки загрязнённости

Преимущества системы: существенное снижение времени анализа и устранение очередей; повышение точности и надёжности оценки качества зерна; исключение субъективного человеческого фактора; возможность интеграции в цифровую инфраструктуру предприятия.

Недостатки и ограничения: высокая стоимость внедрения; требования к стабильному освещению и калибровке камер; чувствительность к запылённости и условиям окружающей среды; потребность в подготовленном техническом персонале.

Система особенно эффективна при высокой загрузке элеватора и в условиях, где критична скорость оборота зерна.

**Заключение.** Автоматизация приёма зерна с использованием технологий машинного зрения даёт значительный прирост производительности и качества контроля. Предложенная система позволяет в реальном времени анализировать пробы зерна и формировать объективную оценку его состояния. Это открывает возможности для масштабируемой цифровизации и повышения прозрачности агропроизводства.

В дальнейшем возможно расширение функционала системы за счёт применения гиперспектрального анализа и внедрения предиктивной аналитики на основе ИИ.

### Список источников

1. Агеев, С.В. Автоматизация технологических процессов на предприятиях АПК / С.В. Агеев // М.: Колос, 2020. – 224 с.
2. Иванов, П.П. Автоматизация приёмки зерна на элеваторе: проблемы и решения / П.П. Иванов, Д.С. Соловьёв // Инженерный вестник Дона. – 2022. – №4. – С. 112-116.
3. Redmon, J. YOLOv5: Real-Time Object Detection / J. Redmon, A. Farhadi // arXiv:2006.05682 [cs.CV]. – 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/2006.05682>
4. Simonyan, K. Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition Very / K. Simonyan, A. Zisserman // arXiv:1409.1556 [cs.CV]. – 2014. URL: <https://arxiv.org/abs/1409.1556>.
5. Белов, Н.И. Цифровые технологии в сельском хозяйстве / Н.И. Белов, Т.А. Киреева // Вестник АПК. – 2021. – №3. – С. 45-49.
6. Гришков, А.Н. Совершенствование пробоотбора зерна на элеваторе / А.Н. Гришков, Ю.В. Иванкина // 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. 99-104. – EDN ENGIWX.
7. Капустин, А.А. Машинное зрение в сельском хозяйстве: примеры применения и перспективы развития / А.А. Капустин // Цифровое земледелие. – 2023. – №1. – С. 14-19.

© Иванкина Ю.В., Россошанский С.Д., Фадеев А.Д., 2025

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНШЕТА ПРИ СОЗДАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Анастасия Сергеевна Иванова<sup>1</sup>, Айдана Армановна Дущанова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[ivanova\\_as\\_sgau@mail.ru](mailto:ivanova_as_sgau@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0008-6527-5781>

<sup>2</sup>[dusanovaajdana@gmail.com](mailto:dusanovaajdana@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0004-3620-837X>

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос использования графических планшетов в процессе разработки проектных решений в области ландшафтной архитектуры. Представлены основные преимущества применения устройств, графические возможности создания различных визуализаций с помощью специальных программ, а также представлены принципы упрощения процесса внесения изменений в проект.

**Ключевые слова:** графический планшет, цифровая визуализация, программа, ландшафтный дизайн, графика, рисование.

**Для цитирования:** Иванова, А.С. Использование планшета при создании проектных решений на объектах ландшафтной архитектуры / А.С. Иванова, А.А. Дущанова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальная научно-практическая конференция с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## GRAPHIC TABLET TO CREATE DESIGN SOLUTIONS FOR LANDSCAPE ARCHITECTURE OBJECTS

Anactasia Sergeevna Ivanova<sup>1</sup>, Aydana Armanovna Duschanova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[ivanova\\_as\\_sgau@mail.ru](mailto:ivanova_as_sgau@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0008-6527-5781>

<sup>2</sup>[dusanovaajdana@gmail.com](mailto:dusanovaajdana@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0004-3620-837X>

**Annotation.** The article examines the issue of using graphic tablets in the process of developing design solutions in the field of landscape architecture. The main advantages of using devices, graphic capabilities for creating various visualizations thanks to special programs, as well as principles for simplifying the process of making changes to the project are considered.

**Keywords:** graphic tablet, digital visualization, program, landscape design, graphics, drawing.

**For citation:** Ivanova, A.S. Using a tablet when creating design solutions for landscape architecture objects / A.S. Ivanova, A.A. Dushanova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В последние годы ландшафтная архитектура набирает темпы развития, значительные изменения происходят благодаря внедрению новых технологий. Одним из наиболее заметных инструментов, который изменил подход к проектированию, стал графический планшет [1]. Этот цифровой инструмент предоставляет ландшафтным архитекторам возможности для создания, редактирования и представления проектных решений.

Графические планшеты можно классифицировать на несколько категорий:

1. *Планшеты с экраном.* Устройства имеют встроенный экран, на котором можно рисовать стилусом. Примеры включают Wacom Cintiq и Huion Kamvas. Они обеспечивают более интуитивный процесс рисования, так как пользователь видит свои действия в реальном времени.

2. *Планшеты без экрана.* Эти устройства не имеют встроенного экрана, и пользователь рисует на поверхности планшета, глядя на монитор компьютера. Примеры включают Wacom Intuos и XP-Pen Deco [3]. Они обычно более доступны по цене и подходят для начинающих пользователей.

3. *Мобильные графические планшеты.* Это iPad Pro с Apple Pencil или Samsung Galaxy Tab с S Pen можно использовать для рисования и проектирования на ходу [2]. Они обладают высокой портативностью и могут быть использованы в любых условиях.

**Материалы и методы.** Основными методами исследования являются: анализ научной литературы и тематических статей, обзор официальных сайтов программных продуктов. Методом изучения продуктов являлся метод экспериментального исследования.

**Результаты исследования.** Процесс освоения графического планшета рассматривается как способ реализации проектных решений на объектах ландшафтной архитектуры. Были выделены следующие преимущества использования графического планшета:

1. *Точная работа с деталями.* Графические планшеты позволяют более точно и удобно работать с мелкими деталями, такими как текстуры растений, формы дорожек и другие элементы ландшафта.

2. *Удобство в рисовании.* С помощью стилуса можно легко создавать эскизы и наброски, что особенно полезно на этапе концептуального проектирования. Это позволяет быстро фиксировать идеи и делать изменения в реальном времени [4].

3. *Цифровая визуализация.* Графические планшеты позволяют интегрировать различные программы для 2D и 3D моделирования (например, AutoCAD, SketchUp, Adobe Illustrator), что облегчает создание цифровых моделей и презентаций.

4. *Работа с цветом и текстурой.* Ландшафтные проекты часто требуют работы с разнообразными цветовыми палитрами и текстурами [5]. Графический

планшет позволяет легко экспериментировать с цветами и создавать реалистичные визуализации.

5. *Интерактивность.* Использование планшета позволяет более интерактивно взаимодействовать с проектом, вносить изменения и видеть результаты сразу, что ускоряет процесс обсуждения и принятия решений [2].

6. *Экологические аспекты.* Проектировщики могут использовать планшеты для создания карт, которые учитывают экологические факторы, такие как рельеф, водоемы и существующие растения, что помогает в устойчивом проектировании. Также использование цифровых инструментов снижает необходимость в бумажных чертежах и эскизах, что способствует более экологичному подходу к проектированию.

7. *Презентация проектов.* Графический планшет позволяет создавать качественные презентационные материалы для клиентов и коллег, включая схемы, планы и визуализации.



Рисунок 1 – Особенности графических отображений при работе на планшете

В целом, графический планшет является мощным инструментом для ландшафтных архитекторов, позволяя им более эффективно реализовывать свои идеи и улучшать качество проектных решений.

Недостатки графического планшета:

1. *Обучение.* Для некоторых пользователей переход от традиционных методов рисования к цифровым может быть сложным. Необходимость освоения нового оборудования и программного обеспечения может занять время.

2. *Стоимость.* Качественные графические планшеты могут быть дорогими, что может стать препятствием для начинающих специалистов или небольших компаний.

3. *Зависимость от технологий.* Поломка устройства или сбой программного обеспечения могут привести к задержкам в работе.

Наиболее популярные программы для ландшафтных дизайнеров и архитекторов, которые хорошо совместимы с графическими планшетами (рис. 2):

1. AutoCAD – это стандартная программа для двумерного и трехмерного проектирования, широко используемая в архитектуре и ландшафтной



архитектуре. Графический планшет позволяет точно рисовать и редактировать чертежи, используя стилус для более естественного процесса рисования.

2. SketchUp – это интуитивно понятная программа для 3D-моделирования, которая идеально подходит для создания концептуальных дизайнов ландшафтов. Использование графического планшета позволяет легко создавать и редактировать модели, а также добавлять текстуры и детали.

3. Adobe Photoshop – часто используется для редактирования изображений и создания визуализаций. С помощью графического планшета дизайнеры могут рисовать, добавлять текстуры, а также обрабатывать фотографии существующих ландшафтов, что позволяет создавать более реалистичные визуализации проектов.

4. Adobe Illustrator – это векторный графический редактор, который позволяет создавать иллюстрации и схемы. Графический планшет помогает создавать точные и детализированные векторные изображения, что особенно полезно для разработки презентационных материалов и схем.

5. Krita – это бесплатная и открытая программа для цифрового рисования и живописи, специально разработанная для художников и иллюстраторов. Программа предлагает функции, такие как симметричное рисование, перспективные сетки и возможность работы с текстурами, что делает её удобной для создания сложных иллюстраций.

6. Procreate – эта программа превосходно сочетает в себе ручную графику и коллаж. Результат работы в этой программе поражает своей художественностью и при этом точностью. Procreate доступна только на планшетах iOS фирмы Apple. Программа подойдет, как студентам, желающему научиться рисованию с нуля, так и профессионалу.

7. ArchiCad 25 – пакет программы один из лидеров среди программ для разработки проектов. Для ландшафтного проектирования адаптировать сложно, но можно за счет дополнительных библиотек файлов.



Рисунок 2 – Возможности отображения проектных решений в графических программах

Интерфейс графических планшетов понятен, но может варьироваться в зависимости от модели и производителя. У большинства планшетов есть кнопки быстрого доступа к часто используемым функциям, что позволяет ускорить рабочий процесс (рис. 3). Пользователи могут настраивать интерфейс под свои

запросы, добавляя или изменяя команды для удобства работы. Также пользователи могут создавать для себя индивидуальные кисти и текстуры.

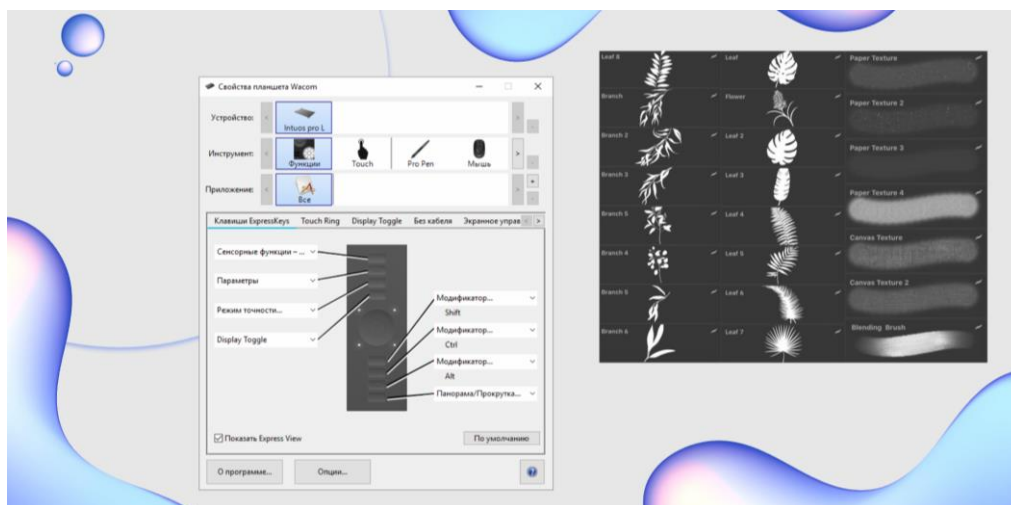


Рисунок 3 – Библиотека стандартных атрибутов графического планшета

Одним из ключевых преимуществ графических планшетов является возможность импорта фотографий и других изображений для дальнейшего редактирования или использования в проекте. Ландшафтные архитекторы могут импортировать фотографии существующих объектов или природных ландшафтов, чтобы использовать их в качестве основы для своих проектов. Это позволяет создавать более реалистичные и детализированные визуализации.

Кроме того, возможность наложения собственных рисунков на импортированные изображения помогает архитекторам экспериментировать с различными элементами дизайна, такими как посадка растений, размещение дорожек и освещения.

**Заключение.** Использование графического планшета в ландшафтной архитектуре открывает новые горизонты для проектирования и визуализации в сфере ландшафтной архитектуры. Хотя у этого инструмента есть свои недостатки, его преимущества значительно перевешивают их. Графические планшеты позволяют архитекторам работать более эффективно, точно и креативно, что делает их незаменимым инструментом в современном проектировании объектов.

#### Список источников

1. Программы для ландшафтного дизайна // Школа сада URL: <https://shkolasada.ru/journal/obzor-professionalnih-programm-dlya-ld-2023>
2. Графические планшеты // fotosklad.ru URL: <https://www.fotosklad.ru/expert/articles/kak-vybrat-graficeskij-planset-dla-raboty-v-photoshop/?ysclid=m8j3q7a41964501917>
3. Лучшие графические планшеты // Рейтинг URL: <https://xn----etbbfcpgtppm0as0dp.xn--p1ai/rejtingi/luchshie-graficheskie-planshety-dlya-risovaniya/>
4. Графические планшеты: плюсы и минусы // Andpro URL: <https://andpro.ru/blog/graficheskie-planshety/graficheskie-planshety-ili-displei-s-perom-plyusy-i-minusy/>

5. Преимущества графических планшетов // Xppen-shop URL: <https://xppen-shop.ru/news/stati-i-obzory/plyusy-i-minusy-risovaniya-na-graficheskom-planshete-i-bumage/>

© Иванова А.С., Дущанова А.А., 2025

Научная статья

УДК 004.942:378.147

## **РОЛЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СИМУЛЯТОРОВ В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ: ОБУЧЕНИЕ РАБОТЕ С SCADA-СИСТЕМАМИ**

**Альбина Бериккалиевна Кайранбаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г.Уральск, Казахстан

<sup>1</sup>[a.center.t@mail.ru](mailto:a.center.t@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0001-4477-1136>

**Аннотация.** В условиях цифровой трансформации образования особую значимость приобретает подготовка студентов к работе с современными системами автоматизации и контроля. Одним из ключевых компонентов таких систем являются SCADA-технологии (Supervisory Control and Data Acquisition), широко применяемые в промышленности, энергетике, ЖКХ и экологическом мониторинге. Настоящая статья рассматривает роль цифровых симуляторов и SCADA-платформ в образовательном процессе, направленном на формирование у студентов практических навыков работы с системами управления и анализа данных. На основе анализа примеров внедрения симуляторов в учебные курсы казахстанских и зарубежных вузов показано, что использование таких технологий повышает мотивацию обучающихся, развивает инженерное мышление и способствует более качественной подготовке специалистов для отраслей устойчивого развития. Также рассматриваются перспективы дальнейшей цифровизации образовательной среды и интеграции SCADA-систем с другими цифровыми платформами.

**Ключевые слова:** SCADA, цифровые симуляторы, техническое образование, автоматизация, устойчивое развитие, экология, цифровые технологии, инженерное обучение.

**Для цитирования:** Кайранбаева А.Б. Роль цифровых технологий и симуляторов в подготовке студентов: обучение работе с scada-системами / А.Б. Кайранбаева // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

**THE ROLE OF DIGITAL TECHNOLOGIES AND SIMULATORS IN STUDENT TRAINING: LEARNING TO WORK WITH SCADA SYSTEMS**  
**Albina Berikkalievna Kairanbaeva<sup>1</sup>**

**Abstract.** In the context of digital transformation in education, preparing students to work with modern automation and control systems is gaining increasing importance. One of the key components of such systems is SCADA technology (Supervisory Control and Data Acquisition), widely used in industry, energy, public utilities, and environmental monitoring. This article explores the role of digital simulators and SCADA platforms in the educational process aimed at developing students' practical skills in control systems and data analysis. Based on the analysis of examples of simulator integration into the curricula of Kazakhstani and international universities, it is demonstrated that the use of such technologies enhances student motivation, fosters engineering thinking, and contributes to higher-quality training of specialists for industries related to sustainable development. The article also discusses prospects for the further digitalization of the educational environment and the integration of SCADA systems with other digital platforms.

**Keywords:** SCADA, digital simulators, technical education, automation, sustainable development, ecology, digital technologies, engineering training.

**For citation:** Kairanbayeva A.B. The role of digital technologies and simulators in student training: learning to work with SCADA systems / A.B. Kairanbayeva // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современное высшее образование сталкивается с необходимостью подготовки специалистов, способных уверенно использовать цифровые инструменты в профессиональной деятельности. Особую актуальность эта задача приобретает в технических и экологических дисциплинах, где от качества контроля и управления технологическими процессами напрямую зависит безопасность, энергоэффективность и экологичность систем. Одним из таких инструментов являются SCADA-системы – программно-аппаратные комплексы для диспетчерского управления, мониторинга и сбора данных [1].

**Материалы и методы.** Системы SCADA используются в электроэнергетике, водоснабжении, нефтегазовом секторе, а также в городском управлении и мониторинге окружающей среды. Их знание становится обязательным элементом профессиональной компетентности выпускников технических специальностей. Однако традиционные методы преподавания часто не позволяют эффективно передать навыки работы с такими системами. В связи с этим возрастает роль цифровых симуляторов и виртуальных лабораторий, позволяющих моделировать реальные производственные процессы без риска и с высокой степенью реалистичности [3].

Цель настоящего исследования – проанализировать значимость внедрения SCADA-симуляторов в учебный процесс, рассмотреть успешные примеры их

использования и оценить влияние на подготовку студентов. В центре внимания находятся образовательные практики Казахстана и международный опыт.

*Теоретическая основа: SCADA-системы в цифровом образовании*

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) представляет собой программно-аппаратный комплекс, предназначенный для диспетчерского контроля, сбора, хранения и анализа информации в реальном времени [1]. Эти системы активно используются для управления технологическими процессами в таких отраслях, как энергетика, промышленность, транспорт, водоснабжение, агросектор и экология [2].

С точки зрения образования, SCADA-платформы позволяют воспроизводить производственные условия, что делает возможным обучение студентов вблизи реальных задач, с которыми они столкнутся на практике [3]. Внедрение таких решений соответствует концепциям:

- *CDIO (Conceive – Design – Implement – Operate)* – образовательный стандарт инженерной подготовки;
- *STEM/STEAM-подхода*, основанного на междисциплинарной интеграции наук и технологий;
- *Компетентностного подхода*, ориентированного на формирование практических профессиональных умений [3].

SCADA-системы также находят применение в образовательных платформах с элементами *цифровых двойников (digital twins)* – точных моделей реальных объектов и процессов, которые используются для симуляции и анализа [4].

Применение SCADA в учебной среде обеспечивает:

- визуализацию технологических процессов;
- разработку интерфейсов человек-машина (HMI);
- настройку и тестирование алгоритмов автоматизации;
- анализ аварийных ситуаций и отработку действий в условиях риска;
- интеграцию с системами управления ресурсами (ERP/MES/IoT) [2], [4].

Таким образом, SCADA-технологии играют роль не только инструмента обучения, но и средства формирования инженерной культуры цифровой эпохи.

***Результаты исследования. Примеры внедрения SCADA-симуляторов в учебный процесс***

*Опыт внедрения в университетах Казахстана*

В Казахстане все активнее внедряются цифровые лаборатории и симуляторы на базе SCADA в технических вузах — таких как Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, Назарбаев Университет, Карагандинский технический университет и др. Студенты инженерных и экологических специальностей изучают основы автоматизации с применением платформ *WinCC, LabVIEW, SCADA TRACE MODE, MasterSCADA*, которые позволяют моделировать производственные объекты и отрабатывать управление в условиях, приближенных к реальным [5].

Например, в лабораториях Карагандинского технического университета используются макеты энергосистем, подключённые к SCADA-моделям, что позволяет студентам:

- анализировать параметры напряжения, тока, частоты;
- моделировать аварийные ситуации;
- вырабатывать алгоритмы устойчивой работы при перегрузках.

Кроме того, в рамках экологических дисциплин студенты учатся создавать интерфейсы мониторинга состояния воздуха и воды, связывая датчики с программной SCADA-средой. Это особенно актуально в регионах с высокой техногенной нагрузкой (например, Темиртау, Усть-Каменогорск, Павлодар).

### Международный опыт

Во многих странах мира обучение SCADA входит в стандарты подготовки инженеров. Так, в Германии и Финляндии SCADA-системы используются в лабораториях «умных фабрик» (Smart Factory), являющихся частью концепции *Индустрии 4.0*. Студенты работают с промышленными контроллерами Siemens, Honeywell, Allen-Bradley, программируют интерфейсы HMI и отработывают алгоритмы автоматического управления.

В США университеты применяют платформы SCADA в рамках дисциплин по *информационной безопасности в промышленности*, моделируя кибератаки на системы управления и методы их защиты. А в Китае создаются виртуальные тренажёры на базе цифровых двойников с интеграцией SCADA и ИИ, что позволяет обучать работе с большими потоками реальных данных [2].

### Преимущества и вызовы использования SCADA в обучении

#### *Преимущества интеграции SCADA в образовательный процесс*

Внедрение SCADA-систем и симуляторов в образовательный процесс даёт ряд значимых преимуществ [1], [3], [5]:

— *Приближение к реальным условиям производства*. Студенты получают возможность работать с интерфейсами, используемыми на действующих предприятиях, что сокращает адаптационный период при трудоустройстве.

— *Формирование прикладных навыков*. Работа с симуляторами SCADA развивает навыки программирования логики управления, визуализации данных, анализа аварийных ситуаций, что важно для специалистов в области автоматизации, экологии, энергетики [5].

— *Междисциплинарный подход*. SCADA интегрирует знания из нескольких областей – информационные технологии, инженерия, охрана окружающей среды, управление производством [3].

— *Развитие критического мышления и принятия решений*. Моделирование внештатных ситуаций позволяет студентам учиться быстро реагировать на сбои и находить оптимальные управленческие решения.

— *Гибкость в обучении*. Современные SCADA-системы позволяют использовать как стационарные лаборатории, так и облачные или виртуальные симуляторы, что особенно актуально при дистанционном обучении [4].

### Основные вызовы и ограничения

Несмотря на очевидные преимущества, существуют и определённые сложности [1], [5]:

— *Высокая стоимость оборудования и ПО*. Для полноценной реализации SCADA-лабораторий требуются инвестиции в лицензии, контроллеры, серверные решения, что ограничивает возможности многих вузов.



— *Недостаток квалифицированных преподавателей.* Работа с SCADA требует специфических технических знаний, и не все преподаватели обладают необходимой подготовкой для ведения таких курсов [3].

— *Ограниченный доступ к промышленным данным.* В реальной практике предприятия не всегда готовы делиться исходными данными и сценариями, что затрудняет построение реалистичных учебных моделей [2].

— *Проблемы интеграции с учебными программами.* Внедрение SCADA требует пересмотра содержания и формата дисциплин, что связано с бюрократическими трудностями и необходимостью аккредитации новых форматов обучения [1].

**Заключение.** В условиях цифровой трансформации промышленности и устойчивого развития экономики внедрение SCADA-систем и цифровых симуляторов в образовательный процесс становится необходимым элементом подготовки квалифицированных кадров. Такие технологии позволяют не только повысить практическую значимость обучения, но и формируют у студентов целостное представление о современных принципах автоматизации, цифрового мониторинга и управления техногенными и экологическими процессами.

Интеграция SCADA в учебные программы особенно актуальна для направлений, связанных с:

- промышленной автоматизацией и контролем,
- экологическим мониторингом и техносферной безопасностью,
- энергетикой и умными системами жизнеобеспечения (Smart Grid, Smart City),
- цифровым управлением производственными и инфраструктурными объектами.

*Рекомендации по внедрению SCADA в образовательную практику:*

1. *Создание лабораторий на базе SCADA.* Вузам следует активно внедрять лабораторные стенды и виртуальные симуляторы SCADA-систем (например, WinCC, InduSoft, iFIX, MasterSCADA), позволяющие отрабатывать различные производственные сценарии.

2. *Повышение квалификации преподавателей.* Необходима реализация программ дополнительного образования и стажировок на предприятиях, использующих SCADA, для формирования практической экспертизы у преподавателей.

3. *Разработка междисциплинарных курсов.* Интеграция SCADA в дисциплины по экологии, автоматике, информатике, энергетике позволяет формировать у студентов комплексные компетенции.

4. *Сотрудничество с промышленными партнёрами.* Вузы должны выстраивать диалог с индустриальными компаниями для получения доступов к реальным кейсам и поддержки совместных учебно-производственных проектов.

5. *Создание виртуальных образовательных платформ.* Использование облачных решений и симуляторов расширяет возможности дистанционного обучения и международного сотрудничества в образовательной сфере.

Таким образом, использование SCADA и симуляторов в образовательной среде — это не просто технологическое нововведение, а стратегическое



направление подготовки инженеров и экологов нового поколения, способных эффективно работать в условиях цифровой экономики и устойчивого развития.

### Список источников

1. Киселёв, А.Н. SCADA-системы: основы и практика применения. – Москва: ДМК Пресс, 2021. – 288 с.
2. Войдани, А. Стандарты интеллектуальных сетей: протоколы связи, кибербезопасность и вопросы взаимодействия // Журнал IEEE Power and Energy. – 2010. – Т. 8, № 3. – С. 67-73.
3. Назаров, Е.С. Информационные технологии в инженерном образовании: опыт и перспективы / Е.С. Назаров, В.Г. Коваленко // Инженерное образование. – 2022. – № 4. – С. 25-30.
4. Siemens AG. SIMATIC WinCC V7: System Description. Digital Industries, 2020.
5. Архипов, Ю.Н. Использование виртуальных симуляторов и SCADA-систем в подготовке инженеров / Ю.Н. Архипов и др. // Современные технологии в образовании. – 2023. – № 1. – С. 43-50.

© Кайранбаева А.Б., 2025

Научная статья  
УДК 631.21

## ВАРИАНТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

**Владимир Сергеевич Кириченко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия.

<sup>1</sup>[kirichenko100@inbox.ru](mailto:kirichenko100@inbox.ru), <https://orcid.org/0009-0001-9274-5864>

**Аннотация.** Мероприятия по преобразованию открытых систем теплоснабжения в закрытые, предусмотренные схемами теплоснабжения городов, предполагают большой объем работ, сжатые сроки реализации и значительные инвестиции. В сложившихся условиях технические решения должны в первую очередь соответствовать критериям повышения энергетической эффективности и минимизации капитальных затрат.

Выбор оптимального решения должен основываться на технико-экономическом обосновании, при этом необходимо учитывать следующие факторы: метод и график регулирования теплоснабжения, тип источника тепла, уровень тепловых нагрузок для отопления, вентиляции и ГВС, существующие схемы подключения потребителей тепла и другие аспекты. В данной статье рассматриваются альтернативные подходы к модернизации открытых систем теплоснабжения.

**Ключевые слова:** теплоэнергетика, модернизация, системы отопления, энергетическая эффективность

**Для цитирования:** Кириченко, В.С. Варианты модернизации региональных систем теплоснабжения / В.С. Кириченко// Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева - Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## OPTIONS FOR MODERNISATION OF REGIONAL HEAT SUPPLY SYSTEMS

**Vladimir Sergeevich Kirichenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Saratov State Agrarian University N. I. Vavilova. Saratov. Russia

<sup>1</sup>[kirichenko100@inbox.ru](mailto:kirichenko100@inbox.ru), <https://orcid.org/0009-0001-9274-5864>

**Annotation.** Measures to transform open heat supply systems into closed ones, provided for by urban heat supply schemes, involve a large amount of work, short deadlines and significant investments. Under the current conditions, technical solutions must first meet the criteria for increasing energy efficiency and minimizing capital costs.

The choice of the optimal solution should be based on a feasibility study, taking into account the following factors: the method and schedule of heat supply regulation, the type of heat source, the level of thermal loads for heating, ventilation and hot water, existing schemes for connecting heat consumers and other aspects. This article discusses alternative approaches to the modernization of open heat supply systems

**Keywords:** thermal power engineering, modernization, heating systems, energy efficiency.

**For citation:** Options for modernization of regional heat supply systems / V.S. Kirichenko// Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Состояние систем теплоснабжения в большинстве городов России можно считать критическим. С каждым годом наблюдается рост числа аварийных отключений, вызванных изношенностью оборудования источников теплоснабжения, построенных 20-30 лет назад, а также увеличивается количество разрывов магистральных и распределительных сетей, и плохая работа абонентских вводов и внутренних систем отопления зданий из-за устаревших технологий. Устранение таких аварий требует значительных капитальных инвестиций, а также порождает социальное напряжение и наносит моральный и материальный вред потребителям, что усугубляется суровыми климатическими условиями нашей страны.

На практике в процессе эксплуатации тепловых сетей возникают различные проблемы. Рассмотрим наиболее распространенные из них:

1. Концевые потребители испытывают недостаток тепла. Для уменьшения

числа жалоб теплосеть увеличивает температурный график, что приводит к перерасходу газа на выработку тепла по сравнению с нормативными значениями.

2. В четырехтрубной системе трубопроводы горячего водоснабжения (ГВС) ржавеют и выходят из строя, что часто приводит к переоборудованию системы в двухтрубную с открытым ГВС.

3. Вместо промывки внутренних систем теплоснабжения некоторые потребители прибегают к крайним мерам: растачивают дроссельные шайбы, демонтируют элеваторы или устанавливают насосы. Это приводит к разбалансировке теплосети, нарушению расчетного гидравлического режима и необходимости перехода на другой температурный график, например, с 130/70°C на 95/70°C.

4. Вместо множества локальных котельных, обслуживающих лишь несколько зданий, целесообразно внедрить единую централизованную систему теплоснабжения. Альтернативно, централизованную систему можно изменить или дополнить за счет создания локальных котельных в пределах кварталов или отдельных домов.

5. Необходимо поэтапно подключать новых потребителей к теплосети до тех пор, пока не возникнет резкое падение пропускной способности сети или снижение тепловой мощности котельной. В случае достижения таких пределов теплосеть испытывает необходимость перехода на другой температурный график (например, с 95/70 на 130/70 °C) или осуществления "понижения" потока тепла, что может привести к недостаточному теплоснабжению в холодный период.

**Материалы и методы.** Решением вышеописанных проблем может стать модернизация и реконструкция действующих систем теплоснабжения. В соответствии с российским законодательством, касающимся теплоснабжения, существуют предписания, касающиеся модернизации, включая запрещение использования открытых систем теплоснабжения, закрепленное в Федеральном законе №190-ФЗ «О теплоснабжении» [1]. Также схемы теплоснабжения подлежат ежегодной актуализации, а для городов с населением свыше 500 тысяч человек и для городов федерального значения – утверждаются Министерством энергетики России [2].

На сегодняшний день переключение открытых систем теплоснабжения (ОСТ) на закрытые требует значительных инвестиций. Чтобы повысить экономическую эффективность такого перевода, были изучены альтернативные варианты модернизации. Главным критерием при выборе этих вариантов стало сохранение возможности повышения энергетической эффективности при снижении капитальных затрат. Одной из таких альтернатив является автоматизация существующих элеваторных узлов, в частности, внедрение автоматизированных систем управления потреблением тепловой энергии, что представлено на рис. 1.

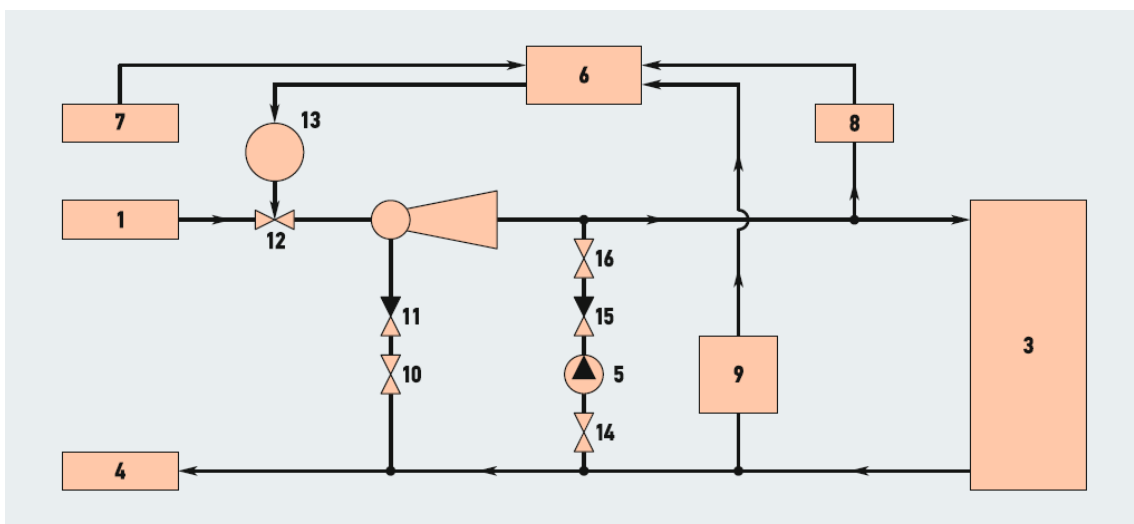


Рисунок 1 – Устройство автоматического управления потреблением тепловой энергии (1 – подающий трубопровод; 2 – водоструйный элеватор; 3 – система отопления; 4 – обратный трубопровод; 5 – циркуляционный насос; 6 – блок управления; 7 – блок измерения температуры наружного воздуха; 8 и 9 – блок измерения температуры теплоносителя; 10, 14 и 16 – запорная арматура; 11 и 15 – обратный клапан; 12 – регулирующий клапан; 13 – электропривод)

В данном устройстве регулирование тепловыделения осуществляется через блок управления 6 и регулирующий клапан 12, а стабильная циркуляция теплоносителя обеспечивается циркуляционным насосом 5, который функционирует независимо от изменений расхода в тепловой сети. Ключевым преимуществом этой системы является возможность поддерживать теплоснабжение в резервном режиме при сбоях в электроснабжении потребителей.

Дополнительным вариантом автоматизации в элеваторных узлах является струйный аппарат, представляющий собой водоструйный элеватор с регулируемым соплом. В этом устройстве контроль теплоотпуска осуществляется за счёт возвратно-поступательного движения дроссельной иглы. Одним из главных достоинств данного аппарата является его высокая инжекционная способность на всех режимах, которая достигается благодаря закрутке потока теплоносителя в сопле.

Для повышения эффективности систем теплоснабжения горячей воды в открытых системах часто применяют схему, которая предусматривает предварительный подогрев холодной воды для системы ГВС через сетевую воду, охлажденную в теплообменниках отопления. В таких зданиях устанавливаются дополнительные теплообменники, которые позволяют увеличить температуру водопроводной воды на 10-15°C. Это приводит к уменьшению расхода горячей сетевой воды, поступающей из основной линии теплосети, а также снижает температуру возвращаемой сетевой воды, которая поступает обратно на ТЭЦ. В результате этого повышается выработка электроэнергии за счет снижения давления пара в тепловых отводах турбин ТЭЦ.

В закрытых системах теплоснабжения для жилых зданий нередко используются схемы с зависимой системой и двухступенчатым теплообменником для подогрева воды в ГВС, а также с отопительной системой,

состоящей из элеватора и закрытой схемы с двухступенчатым теплообменником для ГВС и независимой системой отопления. Примером таких схем является закрытая зависимая система ГВС с трехступенчатым теплообменником. Она включает в себя теплоэлектроцентр, трубопровод прямой линии теплосети, трубопровод обратной линии теплосети, прямой трубопровод внутридомовой системы теплоснабжения, регулирующий вентиль, обратный трубопровод внутридомовой системы, трубопровод подачи горячей воды, а также подогреватель ГВС, состоящий из трех ступеней, трубопровод ГВС, водоразборные краны, трубопровод подогретой водопроводной воды, задвижку, трубопровод обратной воды, квартирный тепловой пункт ГВС, подогреватели системы отопления, запорные задвижки и трубопровод холодного водоснабжения.

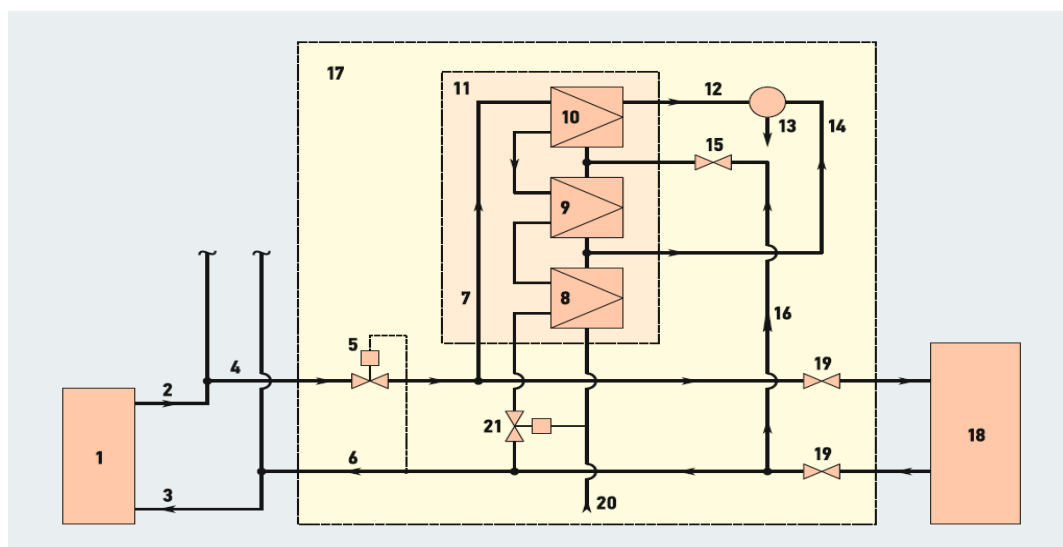


Рисунок 2 – Закрытая зависимая система ГВС с трёхступенчатым теплообменником

В период отопления функционирование закрытой системы теплоснабжения осуществляется следующим образом: сетевую воду от ТЭЦ 1 подают через прямую линию трубопровода теплосети 2 в трубопровод 4 внутридомовой системы отопления. С помощью открытых задвижек 19 вода передаётся в подогреватели отопительной системы 18. Небольшая доля сетевой воды, поступающая из прямого трубопровода 4, направляется через трубопровод горячего водоснабжения 7 в трёхступенчатый подогреватель 11, где она охлаждается на теплообменных поверхностях ступеней 10, 9 и 8. В результате этого процесса холодная водопроводная вода нагревается.

Часть воды, которая подверглась частичному охлаждению в первой ступени 10 подогревателя, поступает из обратного трубопровода 6 через трубопровод обратной воды 16 вместе с охлаждённой водой из подогревателей отопительной системы 18. При этом задвижка 15 остаётся открытой. Холодная вода подаётся по трубопроводу ХВС 20 в подогреватель 11, где она также нагревается в ступенях 8, 9 и 10, после чего поступает в водоразборные краны 13 через трубопровод ГВС 12. См. рекомендации по температуре: часть горячей воды может быть нагрета на 10-15°С в ступени 8, используя тепло от сетевой воды, и затем направляется к водоразборным кранам 13.

Охлаждённая сетевую воду из подогревателя 11 и отопительных подогревателей 18 возвращают на ТЭЦ 1 через обратный трубопровод 6 и трубопровод обратной линии теплосети 3. В летний период, когда закрытая система теплоснабжения не используется для отопления, задвижки 19 закрываются, и подогреватели отопительной системы 18 отключаются. Задвижка 15 закрывается, прекращая подачу обратной сетевой воды в подогреватель 11. Сетевую воду из прямого трубопровода 4 направляют в трёхступенчатый подогреватель 11, и после нагрева она поступает к водоразборным кранам 13 через трубопровод ГВС 12. Часть водопроводной воды снова нагревается на 10-15°C в ступени 8, прежде чем направиться к водоразборным кранам. Закрывается и задвижка 15, что завершает поступление обратной сетевой воды через трубопровод 16.

**Результаты исследования.** Преимуществом данной схемы является уменьшение потребления горячей воды в здании, что, в свою очередь, снижает затраты пользователей на горячую воду. Проведённый расчётный анализ свидетельствует о том, что трёхступенчатая система подогрева воды для горячего водоснабжения (ГВС) имеет более высокую эффективность по сравнению с традиционными схемами теплоснабжения из закрытых систем. Например, при температуре горячей сетевой воды в 70°C, расход воды в данной системе уменьшается на 20%, что, в свою очередь, сократит количество сетевой воды, используемой из теплосети, позволит подключать дополнительные здания, снижать температуру обратной сетевой воды и увеличивать эффективность выработки электроэнергии на тепловом потреблении тепловой электростанции (ТЭЦ).

Учитывая многообразие и особенности вариантов модернизации открытых систем теплоснабжения в закрытые, выбор оптимального решения должен основываться на технико-экономическом обосновании, при этом необходимо учитывать следующие факторы: метод и график регулирования теплоснабжения, тип источника тепла, уровень тепловых нагрузок для отопления, вентиляции и ГВС, существующие схемы подключения потребителей тепла, а также наличие пространства для установки теплового пункта и другие аспекты.

**Заключение.** Системы теплоснабжения, спроектированные и реализованные в прошлом веке, требуют обновления. Износ оборудования ведёт к увеличению затрат на его обслуживание и ремонт, увеличивает тепловые потери и расход топлива, ухудшает экологическую ситуацию и повышает себестоимость производства электроэнергии и тепла. Проведение комплексного технико-экономического обоснования для выбора технических решений по переводу открытых систем теплоснабжения на закрытую требует сбора и анализа значительного объёма исходных данных. Необходимо оценить влияние модернизации тепловых станций на другие элементы системы теплоснабжения и учесть сопутствующие мероприятия, а также согласовать действия между различными отраслями в сферах теплоснабжения, водоснабжения, водоотведения и электроснабжения.

### Список источников

1. О теплоснабжении: Федеральный закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ (ред. от 03.01.2025).
2. О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждению: Постановление энергетики РФ от 22.02.2012 № 154.
3. Пат. 2566943 РФ, МПК G05D 23/01, F24D 3/02. Устройство управления потреблением тепловой энергии (варианты) / Хачатуров С.Г., Давыдов А.Г.; патентообл. ООО «Системы эффективного теплоснабжения». – № 2014145704/06; заявл. 14.11.2014; опубл. 27.10.2015, Бюл. № 30.
4. Пат. 2452877 РФ, МПК F04F 5/02. Струйный аппарат Галаничев Ф.Н., Галаничев Ф.Ф. – № 2010152807/06; заявл. 23.12.2010; опубл. 10.06.2012, Бюл. № 16.
5. Пат. 2599704 РФ, МПК F24D 19/10. Способ управления теплопотреблением здания в системе центрального теплоснабжения / Александров В.П., Александров А.В., Журавлёв А.Е., Корягин А.Н., Кулагин С.М., Шомов П.А. – № 2015141635/06; заявл. 30.09.2015; опубл. 27.09.2016, Бюл. № 27.
6. О внесении изменений в некоторые акты регулирования Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 03.04.2018 № 405.

© Кириченко В.С., 2025

Научная статья  
УДК 621.316.1.084.8

## СИСТЕМА НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Надежда Петровна Кондратьева<sup>1</sup>, Роман Геннадьевич Большин<sup>2</sup>,  
Илья Игоревич Караваев<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – Тимирязевская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

<sup>1</sup>[aep\\_isha@mail.ru](mailto:aep_isha@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1784-3560>

<sup>2</sup>[bolshin@rgau-msha.ru](mailto:bolshin@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5268-0464>

**Аннотация.** В статье приводятся данные об использовании накопителей электроэнергии для повышения надежности электроснабжения в Удмуртской Республике.

**Ключевые слова:** накопители электрической энергии, электроснабжение, надежность, распределительные сети.

**Для цитирования:** Кондратьева, Н.П. Система накопления электрической энергии / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.



**Nadezhda Petrovna Kondrateva<sup>1</sup>, Roman Gennadevich Bolshin<sup>2</sup>, Ilya Ivanovich Karavaev<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia, aep\_isha@mail.ru

<sup>2,5</sup>RGAU-TSHA named after. K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

<sup>1</sup>[aep\\_isha@mail.ru](mailto:aep_isha@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1784-3560>

<sup>2</sup>[bolshin@rgau-msha.ru](mailto:bolshin@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5268-0464>

**Annotation.** The article provides data on the use of energy storage devices to improve the reliability of electricity supply in the Udmurt Republic.

**Keywords:** Electric energy storage devices, power supply, reliability, distribution networks.

**For citation:** Kondrateva, N.P. Electric energy storage system / N.P. Kondrateva, R.G. Bolshin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В настоящее время филиал ПАО «Россети Центр и Приволжье» – «Удмуртэнерго» проводит большую работу в области повышения надежности электроснабжения потребителей [1]. «Удмуртэнерго» является филиалом ПАО «Россети Центр и Приволжье» – единой операционной компании с центром ответственности в г. Нижний Новгород. Эта компания является основным поставщиком услуг по передаче электроэнергии и технологическому присоединению к электросетям во Владимирской, Ивановской, Калужской, Кировской, Нижегородской, Рязанской, Тульской областях, в Республике Марий Эл и Удмуртской Республике. Филиал «Удмуртэнерго» передает и распределяет электрическую энергию от 0,4 кВ до 110 кВ.

В состав филиала входят 11 районов электрических сетей (РЭС). Это Центральный РЭС (Глазовский, Бalezинский, Ярский и Юкаменский районы), Кезский РЭС (Кезский и Дебесский районы), Игринский РЭС (Игринский и Красногорский районы), Ижевский РЭС (Ижевский и Якшур-Бодьинский районы), Воткинский РЭС (Воткинский и Шарканский районы, г. Воткинск), Увинский РЭС (Увинский, Селтинский, Сюмсинский и Вавожский районы), Завьяловский РЭС (Завьяловский и Малопургинский районы), Сарапульский РЭС (Сарапульский, Киясовский, Каракулинский и Камбарский районы), Кизнерский РЭС (Кизнерский и Граховский районы), Можгинский РЭС (Можгинский и Алнашский районы), РЭС «Ижевские электрические сети» (г. Ижевск). Таким образом, филиал охватывает всю территорию Удмуртской Республики.

**Материалы и методы.** Филиал «Удмуртэнерго» постоянно внедряет в работу все современные технологии, использует собственные разработки для повышения надежности и бесперебойности электроснабжения потребителей

[2, 3]. Одним из таковых внедрений является «Система накопления электрической энергии» (СНЭЭ), предназначенная для бесперебойного электроснабжения объектов I и II категории надежности согласно п.1.2.18 ПУЭ 7-го издания [3, 4] (рис. 1).

Система накопления электрической энергии (СНЭЭ) представляет собой электроустановку, которая включает в себя литий-ионную батарею, устройство сопряжения с сетью (инвертор) и систему телеметрии. СНЭЭ представляет собой полноценный элемент «цифровой» электрической сети – он наблюдаем, управляем, и встраивается в общую систему управления электрической сетью.

На рис. 1,б для управления освещением площадки с НЭЭ предусматривается система с элементами искусственного интеллекта для энергосбережения [5, 6].



а)



б)

Рисунок 1 – Накопитель электрической энергии (НЭЭ), находящийся в д. Лудорвай Завьяловского района Удмуртской Республики (а) и фото площадки с установленным НЭЭ (б)

Системы накопления электрической энергии СНЭЭ по принадлежности СНЭЭ подразделяют на размещённые на стороне: объекта генерации, электросетевой организации, потребителя электрической энергии («за счётчиком»); по способу подключения к электрической сети СНЭЭ разделяют на: последовательно включенные (сервисное подключение), параллельно включенные (шунтовое подключение); по способу взаимодействия с электрической сетью СНЭЭ подразделяют на: автономные, ведомые; по роду тока источника / приёмника электрической энергии: постоянного тока, переменного тока промышленной частоты, однофазные, трёхфазные; по виду преобразователя электрической энергии СНЭЭ разделяют на: электромеханические (с вращающейся машиной), инверторные (преобразователи электрической энергии на базе полупроводниковых приборов с программным управлением); по классу (уровню) выходного напряжения СНЭЭ подразделяют на: сверхвысокого напряжения (свыше 220 кВ), высокого напряжения (свыше 35 кВ, но не превышая 220 кВ), среднего напряжения (от 1 кВ до 35 кВ включительно) [7], низкого напряжения (до 1 000 В

включительно); по уровню установленной мощности СНЭЭ подразделяют на: большой мощности (25 МВт и выше), средней мощности (от 15 кВт до 25 МВт), малой мощности (до 15 кВт включительно); по форме и виду энергии для сохранения в накопителе энергии СНЭЭ подразделяют на: механические, электрохимические (химические), электромагнитные, тепловые; по функциональному назначению СНЭЭ подразделяют на системы: для обеспечения непрерывности подачи электропитания переменного тока в случае отказа источника энергоснабжения (функция ИБП), для обеспечения непрерывного питания электроприёмников постоянного тока (функция СОПТ), опорные, балансирующие, компенсирующие, сетевые, тяговые, рекуперативные, многофункциональные: по времени срабатывания: сверхбыстрые, быстрые, медленные.

**Результаты исследования.** Важным параметром для конструкции СНЭЭ является ремонтпригодность. Поэтому при монтаже и эксплуатации конструкция должна обеспечивать: 1) доступность осмотра и подтяжки контактных соединений и элементов с помощью слесарного или специального инструмента; 2) исключения самоотвинчивания при воздействии всех факторов внешней среды, в процессе эксплуатации и транспортирования; 3) доступность к составным частям, подлежащим регулированию и настройке, 4) снятие составных частей и элементов (модулей), подлежащих замене при эксплуатации, без демонтажа других составных частей; 5) возможность снятия составных частей и элементов, вышедших из строя и подлежащих замене, без демонтажа других составных частей или с частичным демонтажом при помощи стандартного слесарного инструмента или инструмента. Объём частичного демонтажа устанавливается в ТУ на СНЭЭ конкретных серий и типов.

**Заключение.** Таким образом, система накопления электрической энергии является революционным нововведением в системе электроснабжения Удмуртской Республики, предназначенная для повышения надежности и качества снабжения электроэнергией потребителей. Но в настоящее время она имеет высокую стоимость. Сложность СНЭЭ в эксплуатации и обслуживании предъявляется особые требования к квалификации электротехнического персонала. Потому персоналу необходимо повышать свою квалификацию для работы и обслуживания этой системы.

### **Список источников**

1. Системы накопления электрической энергии. Типовые технические требования: Стандарт организации / ПАО «Россети», ПАО «Россети Центр и Приволжье». – Москва, 2022. – 73 с.

2. Извеков, Е.А. Оценка повышения надежности электроснабжения потребителей, резервируемого с помощью системы накопления энергии / Е.А. Извеков, В.В. Картавцев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 15, № 2(73). – С. 53-63. – DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2022\_2\_53. – EDN: EUOHQX.

3. Сорокин, Д.В. Выбор места установки и параметров системы накопления электроэнергии в распределительных сетях / Д.В. Сорокин //

Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики : материалы 96-го заседания Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко, Архангельск, 15-19 июля 2024 года. – Иркутск: Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 2024. – С. 178-177. – EDN: JPNYFF.

4. Аникеева, А.Е. Управление параметрами энергопотребления / А.Е. Аникеева // Современные проблемы телекоммуникаций : материалы Всероссийской научно-технической конференции, Новосибирск, 22-25 апреля 2024 года. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024. – С. 110-114. – DOI: 10.55648/SPT-2024-1-110. – EDN: APJSRM.

5. Выбор датчиков для системы управления освещением с элементами искусственного интеллекта / Н.П. Кондратьева, М.Г. Краснолуцкая, П.А. Пронькин [и др.] // Инновационное техническое обеспечение агропромышленного комплекса : научно-техническая конференция с участием имени А. Ф. Ульянова, Саратов, 17 октября 2024 года. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», 2024. – С. 222-229. – EDN: TMDLBI.

6. Овчукова, С.А. Энергосбережение в светотехнических технологиях сельскохозяйственного производства / С.А. Овчукова, Н.П. Кондратьева, О.Ю. Коваленко // Свет и техника. – 2021. – Том. 29, № 2. – С. 21-25. – DOI: 10.33383/2020-039. – EDN: GGTWNC.

7. Овчукова, С.А. Цифровые технологии реализации интеллектуальной диагностики изоляции систем электроснабжения с изолированной нейтралью в рабочем режиме / С.А. Овчукова, Н.П. Кондратьева, А.А. Шишов // Успехи машинного обучения в чистой энергетике и транспортной отрасли. – Нью-Йорк: Nova Science Publishers, Inc., 2021. – С. 49-56. – EDN: EKSELM.

© Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., 2025

Научная статья  
УДК 674.047-52

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ПРИ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

**Надежда Петровна Кондратьева<sup>1</sup>, Роман Геннадьевич Большин<sup>2</sup>, Артемий Андреевич Стрельцов<sup>3</sup>, Мария Геннадьевна Краснолуцкая<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – Тимирязевская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

<sup>1</sup>[aep\\_isha@mail.ru](mailto:aep_isha@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1784-3560>

<sup>2</sup>[bolshin@rgau-msha.ru](mailto:bolshin@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5268-0464>

**Аннотация.** В статье приводятся данные об использовании автоматизированной системы управления температурным режимом при сушке древесины на примере сушильной камеры СК-100.

**Ключевые слова:** автоматизированной системы управления, сушка древесины, датчики, тепловой режим, микроконтроллер.

**Для цитирования:** Кондратьева, Н.П. Автоматизированная система управления температурным режимом при сушке древесины / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, А.А. Стрельцов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## AUTOMATED TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR WOOD DRYING

Nadezhda Petrovna Kondrateva<sup>1</sup>, Roman Gennadevich Bolshin<sup>2</sup>, Artemy Andreevich Streltsov<sup>3</sup>, Krasnolutsкая Maria Gennadyevna<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

<sup>2,5</sup> RGAU-TSHA named after. K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

<sup>1</sup> [aep\\_isha@mail.ru](mailto:aep_isha@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1784-3560>

<sup>2</sup> [bolshin@rgau-msha.ru](mailto:bolshin@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5268-0464>

**Annotation.** The article provides data on the use of an automated temperature control system for drying wood using the example of the SK-100 drying chamber.

**Keywords:** automated control system, wood drying, sensors, thermal mode, microcontroller.

**For citation:** Kondrateva, N.P. Automated temperature control system for drying wood / N.P. Kondrateva, R.G. Bolshin, A.A. Streltsov, M. G. Krasnolutsкая // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Согласно исследованиям ВНИИДРЕВ при сушке древесины отклонение температуры всего на 5°C от требуемого значения приводит к увеличению брака на 12-15% [1]. Системы ручного управления не способны обеспечить требуемую точность регулирования температуры, что обуславливает необходимость внедрения автоматизированных систем управления (АСУ).

АСУ для сушильной камеры должна выполнять следующий функционал [2, 3, 4]:

- а) поддерживать температуру в диапазоне от 40 до 120°C с точностью до  $\pm 1^\circ\text{C}$ ;
- б) контролировать влажность древесины и поддерживать ее в диапазоне от 8 до 12%;
- в) регулировать скорость воздушного потока в пределах от 1 до 5 м/с.

Применена АСУ в деревообрабатывающем производстве позволяет повысить энергоэффективность процесса за счет снижения энергопотребления на 18-22%, повысить производительность на 15-20%, уменьшить количество брака в 2-3 раза [2,3,5].

В работе рассматривается разработка трехуровневой системы управления



на базе программируемого логического контроллера ОВЕН ПЛК63 для сушильной камеры СК-100, соответствующего требованиям ГОСТ Р 52931-2008.

Сушильная камера СК-100 (рис. 1) представляет собой герметичную конструкцию объемом 120 м<sup>3</sup>, оснащенную 6 нагревательными элементами (мощность каждого 8,3 кВт), четырьмя центробежными вентиляторами марки ВЦ-14 и системой рециркуляции воздуха.

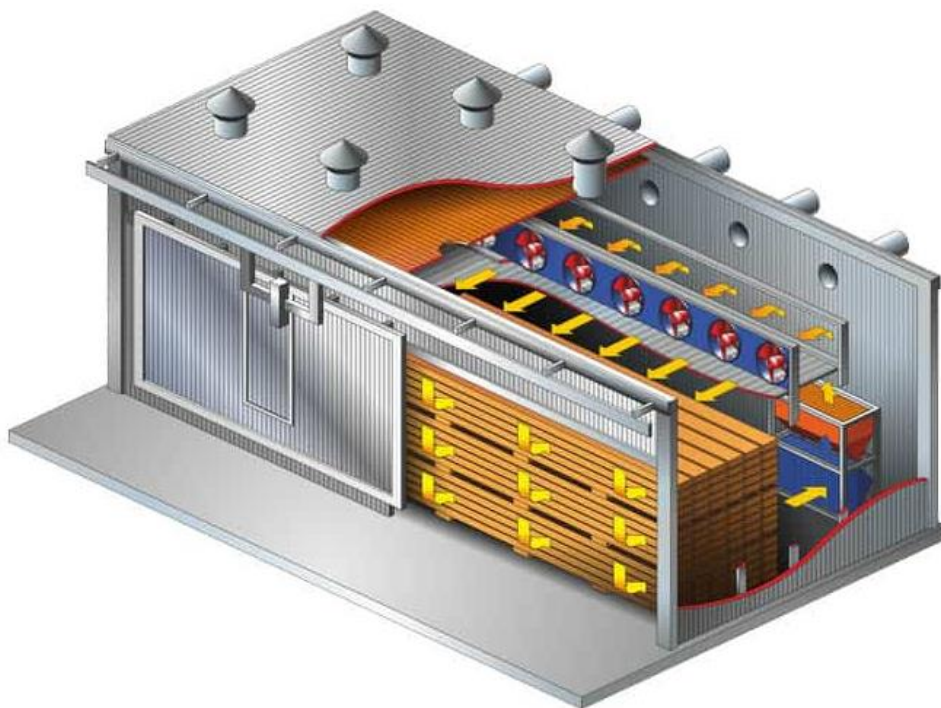


Рисунок 1 – 3D макет сушильной камеры СК-100

По данным технического паспорта ОАО «Лесмаш» сушильная камера СК-100 имеет следующие параметры: рабочая температура составляет от 40 до 120°C с точностью поддержания до  $\pm 1^\circ\text{C}$ ; производительность 100 м<sup>3</sup>/цикл, время сушки от 72 до 120 час.; потребляемая мощность 50 кВт [4].

Технология процесса сушки включает три основных этапа [1, 2, 5].

Первый этап. Начальный прогрев длительностью до 6 час. с температурой от 40 до 60°C и влажностью менее 25%. Особенностью этого этапа является плавный нагрев для предотвращения растрескивания древесины.

Второй этап. Основная сушка длительностью от 6 час. до 96 час. с температурой от 80 до 100°C с уменьшением влажности от 25% до 12%. На этом этапе происходит циклическое включение вентиляторов.

Третий этап. Досушивание длительностью от 96 час. до 120 час. с температурой от 60 до 70°C с уменьшением влажности от 12% до 8%. Особенностью этого этапа является снижение температуры для финальной стабилизации.

По данным Петровского В.С. [2, 5] алгоритм управления должен предусматривать нелинейную зависимость скорости вентиляторов от текущей влажности древесины.

**Материалы и методы.** Структурная схема АСУ технологического процесса построена по трехуровневой архитектуре.

В первый (полевой) уровень вошли 8 шт. датчиков температуры Метран-288 (рис. 2,а), 4 шт. датчика влажности HygroFlex HF5 (рис. 2,б), 6 шт. силовых реле для нагревателей и 4 шт. частотных преобразователей ПЧВ-2,2 (рис. 2,в).



Рисунок 2 – Приборы контроля первого (полевого) уровня АСУ ТП:  
а) Датчики температуры Метран-288 (8 шт.); б) Датчики влажности HygroFlex HF5 (4 шт.);  
в) Частотные преобразователи ПЧВ-2,2 (4 шт.)

Во второй (контроллерный) уровень вошли: основной ПЛК: ОВЕН ПЛК63 (рис. 3,а), резервный контроллер: Элсима-М01 (рис. 3,б) и модуль аналогового ввода МВА8 (рис. 3,в), модуль дискретного вывода МДВ16 (рис. 3,г).

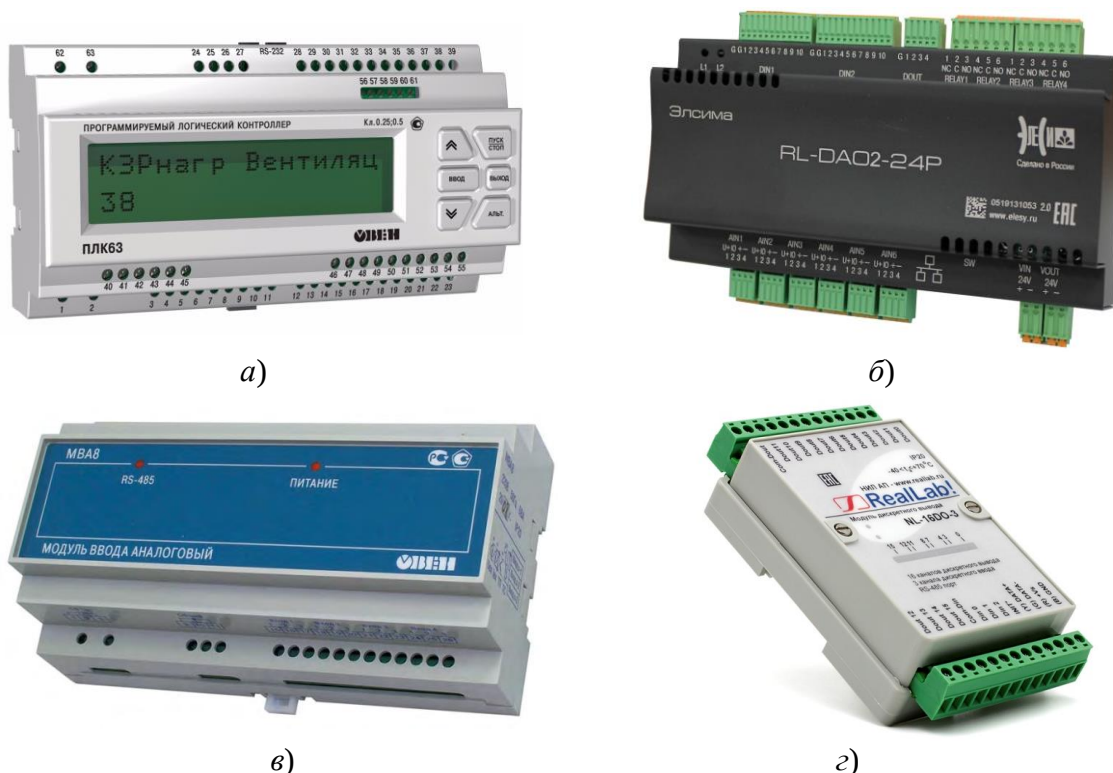


Рисунок 3 – Приборы второго уровня АСУ ТП: а) основной ПЛК: ОВЕН ПЛК63;  
б) резервный контроллер: Элсима-М01; в) модуль аналогового ввода МВА8;  
г) модуль дискретного вывода МДВ16

В третий (верхний) уровень: вошли: АРМ оператора на базе SCADA-системы MasterSCADA, сервер архивирования данных, принтер отчетов.



**Результаты экспериментов.** Для контроля температуры выбраны термопреобразователи Метран-288 со следующими характеристиками: диапазон: 0-150°C, погрешность:  $\pm 0,4\%$ , выходной сигнал: 4-20 мА, степень защиты IP67, срок службы: 8 лет. Для измерения влажности выбраны датчики HygroFlex HF5: диапазон: 0-100%, точность:  $\pm 1\%$ , интерфейс: RS-485, автоматическая температурная компенсация. Разработали принципиальную схему (рис. 4).

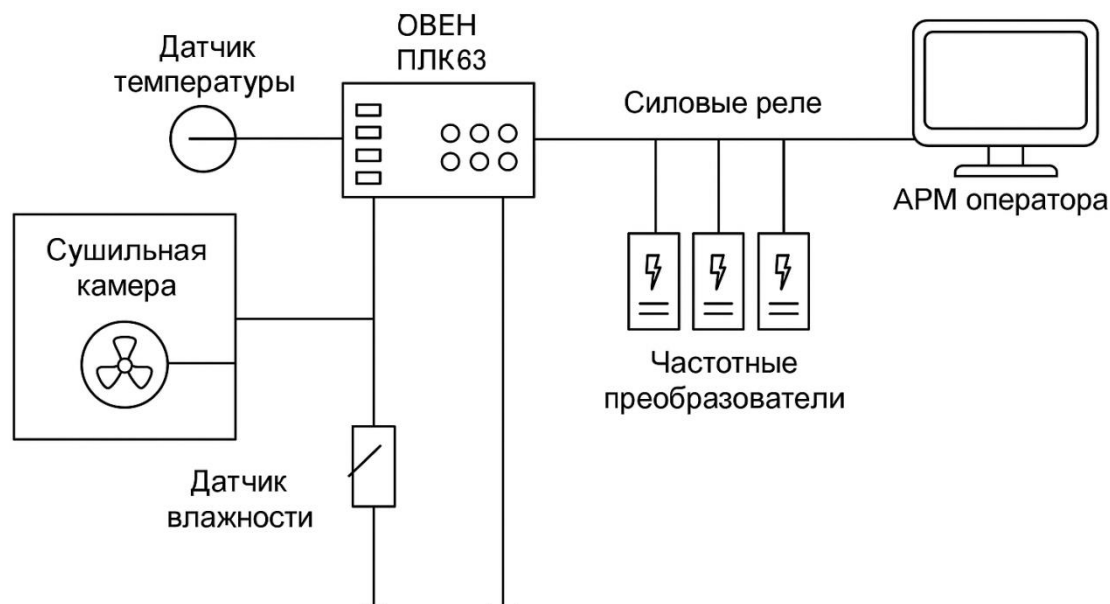


Рисунок 4 – Принципиальная схема системы автоматизации сушильной камеры СК-100

Принцип действия системы заключается в том, что датчики температуры (Метран-288) и влажности (HygroFlex HF5) непрерывно передают данные в контроллер [6, 7, 9]. Контроллер (ОВЕН ПЛК63) обрабатывает сигналы от датчиков и сравнивает полученные значения с заданными параметрами. В зависимости от отклонений, контроллер формирует управляющие команды. Управление нагревателями осуществляется через силовые реле: контроллер включает или выключает нагревательные элементы, поддерживая требуемую температуру в камере. Управление вентиляторами осуществляется частотными преобразователями, регулирующими скорость вращения вентиляторов в зависимости от стадии сушки (прогрев, основная сушка, досушивание). Обратная связь: все параметры отображаются на экране оператора (SCADA MasterSCADA), где также можно задать новые режимы и вести мониторинг процесса. Безопасность: в систему встроены аварийные защиты от перегрева и критических отклонений параметров (например, превышение температуры или влажности).

**Заключение.** Разработанная АСУ для сушильной камеры СК-100 позволяет:

- Обеспечить точность поддержания температуры  $\pm 0,8^\circ\text{C}$  (при норме  $\pm 1^\circ\text{C}$ );
- Снизить энергопотребление на 22% за счет оптимального управления вентиляторами;
- Уменьшить количество брака с 8% до 3%;
- Сократить время сушки на 15 часов.

Перспективы развития системы:

- 1) внедрение нейросетевого алгоритма прогнозирования [8, 9, 10];
- 2) подключение к системе дистанционного мониторинга;
- 3) интеграция с ERP-системой предприятия.

Все это позволит повысить энергоэффективность процесса сушки за счет применения предлагаемой автоматизированной системы управления.

### Список источников

1. Отчет о НИР «Разработка алгоритмов управления сушильными камерами» / ВНИИДРЕВ. – 2023. – 78 с.

2. Долгов, К.А. Чувствительность САУ как критерии качества сушки шпона / К.А. Долгов, В.А. Марков // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологического машиностроения и транспортного леса по итогам научно-исследовательских работ 2022 года, Санкт-Петербург, 06-10 февраля 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2023. – С. 266-269. – EDN: FCOСМК.

3. ГОСТ 6449.1-82 «Изделия из древесины. Методы контроля параметров сушки». – М.: Стандартиформ, 1983. – 24 с.

4. Каталог оборудования для деревообработки 2023/2024. – М.: Лесмаш, 2023. – 210 с.

5. Петровский, В.С. Автоматизация технологических процессов и производств промышленного комплекса: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования, обучающихся по направлению подготовки «Автоматизация лесотехнических процессов и производств» / В.С. Петровский; Под ред. В.С. Петровского. – Москва: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN 978-5-7695-6023-1. – EDN: SCXCUF.

6. Кондратьева, Н.П. Применение цифровой управляемой системы управления асинхронным электроприводом / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, Н.Н. Серовиков // Современные энергетические аспекты развития аграрной сферы: Материалы Национальной научно-практической конференции с МСМД, Ижевск, 19 декабря 2024 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2024. – С. 139-144. – EDN: QMIXAE.

7. Овчукова, С.А. Цифровые технологии реализации интеллектуальной диагностики изоляции систем электроснабжения с изолированной нейтралью в рабочем режиме / С.А. Овчукова, Н.П. Кондратьева, А.А. Шишов // Успехи машинного обучения в чистой энергетике и транспортной отрасли. – Нью-Йорк: Nova Science Publishers, Inc., 2021. – С. 49-56. – EDN: EKSELM.

8. Овчукова, С.А. Энергосбережение в светотехнических технологиях сельскохозяйственного производства / С.А. Овчукова, Н.П. Кондратьева, О.Ю. Коваленко // Свет и техника. – 2021. – Том. 29, № 2. – С. 21-25. – DOI: 10.33383/2020-039. – EDN: GGTWNC.

9. Кондратьева, Н.П. Использование сквозных цифровых технологий с элементами нейросетей / 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. – DOI: 10.18411/trnio-08-2024-305. – ЭДН: СКVННО.

10. Разработка цифровой системы для регулирования параметров окружающей среды с использованием элементов нейросети / Р.Г. Большин, Н.П. Кондратьева, М.Г. Краснолуцкая [и др.] // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 112-6. – С. 68-72. – DOI: 10.18411/trnio-08-2024-300. – EDN: YINMQC.

© Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Стрельцов А.А., Краснолуцкая М.Г., 2025

Научная статья  
УДК 62-83-529

## **РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РАБОТЫ РЕВЕРСИВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОТКАТНЫХ ВОРОТ**

**Надежда Петровна Кондратьева<sup>1</sup>, Роман Геннадьевич Большин<sup>2</sup>, Игорь Сергеевич Чернов<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – Тимирязевская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

<sup>1</sup>[aep\\_isha@mail.ru](mailto:aep_isha@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1784-3560>

<sup>2</sup>[bolshin@rgau-msha.ru](mailto:bolshin@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5268-0464>

**Аннотация.** В статье приводятся данные об использовании автоматических откатных ворот и разработке информационно-управляющей системы работы реверсивного электропривода на микроконтроллере для них.

**Ключевые слова:** автоматические откатные ворота, информационно-управляющей системы, реверсивный электропривод, микроконтроллер.

**Для цитирования:** Кондратьева, Н.П. Разработка информационно-управляющей системы работы реверсивного электропривода на микроконтроллере для автоматизации откатных ворот / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, И.С. Чернов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **DEVELOPMENT OF AN INFORMATION AND CONTROL SYSTEM FOR OPERATION OF A REVERSIBLE ELECTRIC DRIVE ON A MICROCONTROLLER FOR AUTOMATION OF SLIDING GATES**

**Nadezhda Petrovna Kondrateva<sup>1</sup>, Roman Gennadevich Bolshin<sup>2</sup>, Igor Sergeevich Chernov<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

<sup>2</sup>RGAU-TSHA named after. K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

<sup>1</sup>[aep\\_isha@mail.ru](mailto:aep_isha@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1784-3560>

<sup>2</sup>[bolshin@rgau-msha.ru](mailto:bolshin@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5268-0464>

**Annotation.** The article provides data on the use of automatic sliding gates and the development of an information and control system for the operation of a reversible electric drive on a microcontroller for them.

**Keywords:** automatic sliding gates, information and control system, reversible electric drive, microcontroller.

**For citation:** Kondrateva, N.P. Development of an information and control system for the operation of a reversible electric drive on a microcontroller for the automation of sliding gates / N.P. Kondrateva, R.G. Bolshin, I.S. Chernov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Откатные ворота (ОВ) применяются для защиты территории любого объекта: частного, промышленного, коммерческого, военного и т.д. [1, 2]. Главным преимуществом таких ОВ является то, что они не требуют свободного места перед собой для эффективной работы. В отличие от распашных ворот, «съедающих» пространство внутреннего двора, ОВ устанавливаются практически в любой проем. Они удобны в использовании и долговечны.

В конструкцию ОВ входят: 1) рама; 2) зашивка ворот; 3) комплект ходовых и направляющих элементов [3, 4]. Для автоматических откатных ворот (АОВ) требуется электропривод со встроенным цифровым устройством управления.

Выделяют следующие типы откатных ворот:

1) Подвесные откатные ворота, получившие широкое распространение еще в советские времена и обладающие высокой надежностью. Недостатком является ограничение въезда по высоте (4-5 м).

2) Консольные откатные ворота, которые лучше всего подходят для российского климата, так как ни пыль, ни снежные заносы не выведут такие ворота из строя.

3) Откатные ворота на винтовых металлических сваях глубиной до не менее 1,5 м (глубина промерзания земли). Конструкция надежна и долговечна, установка занимает от 1 до 3 дней.

4) Механические откатные ворота, которые и открываются, и закрываются вручную, что неудобно, но значительно дешевле автоматических откатных ворот.

5) Автоматические откатные ворота (АОВ) с электроприводом и пультом дистанционного управления (ПДУ). АОВ открываются «самостоятельно» при подаче сигнала с ПДУ [5]. Удобно при частом постоянном использовании.

**Материалы и методы.** Достоинства автоматических откатных ворот: 1) удобство использования (открывание и закрывание ворот за счет нажатия кнопки); 2) экономия пространства (ворота движутся вдоль линии забора, не

занимая дополнительное пространство); 3) устойчивость к погодным условиям за счет оснащения специальными механизмами, позволяющие работать в условиях сильных снегопадов и дождей); 4) разнообразие отделки и возможность подобрать модель, соответствующую стилю вашего дома или офиса; 5) отсутствие петель, что исключает провисание створок из-за движения грунта, обеспечивая надёжность конструкции.

Недостатки автоматических откатных ворот: 1) высокая стоимость по сравнению с распашными воротами; 2) необходимость основательного бетонирования столбов для установки.

Автоматизацией откатных ворот занимаются фирмы NICE, CAME, FAAC, а также российский производитель DOORHAN, не уступающий по качеству зарубежным аналогам.

Главными элементами автоматики являются реверсивный электропривод, открывающий / закрывающий ворота, и пульт радиоуправления [6, 7, 8]. Многие модели автоматики имеют встроенные системы безопасности и дополняются фотоэлементами.

Применение реверсивного электропривода, управляемого информационно-управляющей системой с микроконтроллером, повышает не только функциональность системы, но и ее энергоэффективность и энергосбережение [9, 10]. С помощью автоматики АОВ можно управлять на расстоянии в несколько десятков метров с помощью пульта дистанционного управления (ПДУ); ключа-кнопки; стационарного пульта ворот; Wi-Fi или GSM-модулей; антивандальной или кодовой клавиатуры. При этом реверсивные электроприводы оснащены аварийной разблокировкой, что позволяет их открывать или закрывать при отсутствии электричества [4, 5]. Пульт управления АОВ надежно кодируется, поэтому открыть одни ворота пультом от других невозможно. Для большей безопасности некоторые фирмы комплектуют АОВ сигнальными лампами, антеннам, фотоэлементами и даже «лежачим полицейским».

**Результаты экспериментов.** Алгоритм работы информационно-управляющей системы работы реверсивного электропривода на микроконтроллере следующий: на специальную контрольную плату подается сигнал с управляющего устройства; этот сигнал приводит в действие приводной механизм; приводной механизм дает «отмашку» оборудованию, которое раскрывает створки ворот.

Этот алгоритм мы реализовали с помощью программы, написанной нами на языке линейных диаграмм (LD) для программируемого логического контроллера в системе управления электроприводом автоматических откатных дверей (рис.).

В табл. приведен ориентировочный расчет финансовых затрат на разработанную информационно-управляющую систему для работы реверсивного электропривода на микроконтроллере.

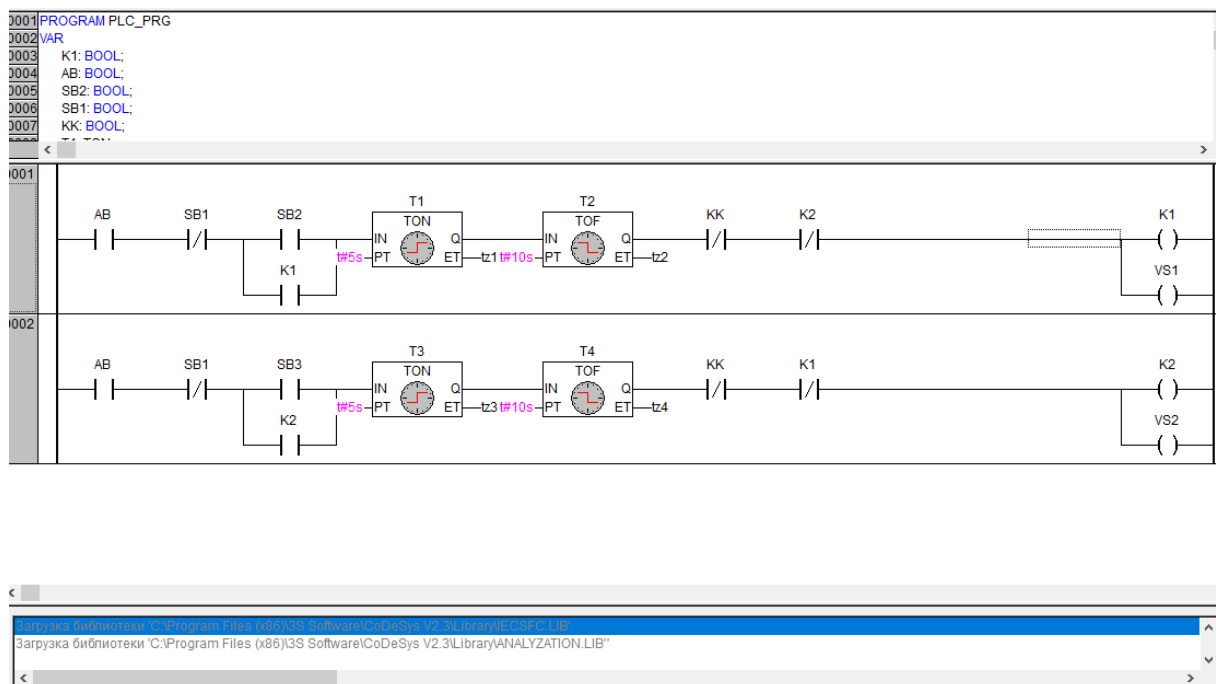


Рисунок – Программа на языке линейных диаграмм (LD) для программируемого логического контроллера в системе управления электроприводом автоматических откатных дверей

Таблица – Ориентировочные финансовые затраты на разработанную информационно-управляющую систему для работы реверсивного электропривода на микроконтроллере для автоматических откатных ворот

|     | Название                                                                             | Количество | Цена  | Итого  |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|
| 1.  | Реле времени                                                                         | 4          | 2014  | 4076   |
| 2.  | Контроллер Arduino UNO                                                               | 1          | 900   | 900    |
| 3.  | Провода                                                                              | 30         | 3     | 90     |
| 4.  | LCD-дисплей                                                                          | 1          | 500   | 500    |
| 5.  | Откатные ворота, автоматические                                                      | 1          | 97000 | 97000  |
| 6.  | Повышающий DC-DC преобразователь                                                     | 1          | 120   | 120    |
| 7.  | Инвертор 12/220 В                                                                    | 1          | 4 000 | 4000   |
| 8.  | HORMANN LineaMatic автоматика для откатных ворот массой до 300 кг. (привод, 1 пульт) | 1          | 44000 | 44000  |
| 9.  | Концевой ролик                                                                       | 1          | 500   | 500    |
| 10. | Верхний и нижний улавливатель                                                        | 2          | 900   | 1800   |
| 11. | Опора роликовая                                                                      | 2          | 3100  | 6200   |
| 12. | ИТОГО                                                                                |            |       | 159186 |

**Заключение.** Применение разработанной информационно-управляющей системы для работы реверсивного электропривода на микроконтроллере для автоматизации откатных ворот позволяет повысить комфортность и безопасность использования АОВ. Ориентировочная стоимость разработанной информационно-управляющей системы для работы реверсивного электропривода на микроконтроллере для автоматических откатных ворот составила около 160 тыс. руб. в ценах 2024 г. Автоматические откатные ворота с предлагаемой информационно-управляющей системой благодаря своим преимуществам и особенностям конструкции обеспечат безопасность вашего имущества.

### Список источников

1. Ксенофонтов, Н.М. Изучение опыта эксплуатации основных откатных ворот Пермского шлюза / Н.М. Ксенофонтов, К.В. Калюжный, А.В. Маякин // Гидротехника. – 2025. – № 1(78). – С. 7-14. – EDN: XUMQLQ.
2. Клепикова, А.М. Промышленные ангарные ворота / А.М. Клепикова, В.В. Дымченко // Межвузовский сборник статей лауреатов конкурсов : Сборник статей. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – С. 242-250. – ЭДН: КСЭНП.
3. Поповян, А.Л. Особенности проектирования и расчета откатных ворот промышленных зданий и сооружений / А.Л. Поповян, Г.М. Скибин, М.Н. Шутова // Строительство и архитектура. – 2021. – Т. 9, № 3. – С. 16-20. – DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-3-16-20. – EDN: BWWRMV.
4. Леонтьев, И.Е. Современные тенденции слияния автоматики и телемеханики / И.Е. Леонтьев, Т.Е. Леонтьева // Вестник магистратуры. – 2018. – № 1-2(76). – С. 14-16. – EDN: YMEAAP.
5. Кондратьева, Н.П. Использование сквозных цифровых технологий с элементами нейросетей / 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. – DOI: 10.18411/trnio-08-2024-305. – ЭДН: СКVННО.
6. Кондратьева, Н.П. Применение цифровой управляемой системы управления асинхронным электроприводом молочного сепаратора / Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, Н.Н. Серовиков // Современные энергетические аспекты развития аграрной сферы : Материалы Национальной научно-практической конференции с МСМД, Ижевск, 19 декабря 2024 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2024. – С. 139-144. – EDN: QMIXAE.
7. Большин, Р.Г. Разработка цифровой системы для регулирования параметров окружающей среды с использованием элементов нейросети / Р.Г. Большин, Н.П. Кондратьева, М.Г. Краснолуцкая [и др.] // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 112-6. – С. 68-72. – DOI: 10.18411/trnio-08-2024-300. – EDN: YINMQC.
8. Овчукова, С.А. Энергосбережение в светотехнических технологиях сельскохозяйственного производства / С.А. Овчукова, Н.П. Кондратьева, О.Ю. Коваленко // Свет и техника. – 2021. – Том. 29, № 2. – С. 21-25. – DOI: 10.33383/2020-039. – EDN: GGTWNC.
9. Овчукова, С. Цифровые технологии реализации интеллектуальной диагностики изоляции систем электроснабжения с изолированной нейтралью в рабочем режиме / С. Овчукова, Н.П. Кондратьева, А.А. Шишов // Успехи машинного обучения в чистой энергетике и транспортной отрасли. – Нью-Йорк: Nova Science Publishers, Inc., 2021. – С. 49-56. – EDN: EKSELM.

© Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Чернов И.С., 2025



## АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Дмитрий Сергеевич Корытов<sup>1</sup>, Михаил Сергеевич Куленко<sup>2</sup>, Тихомирова Ирина Александровна<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, г. Иваново, Россия

**Аннотация.** Современные технологии предлагают широкие перспективы для внедрения систем компьютерного зрения в различные сферы деятельности, включая промышленность и сельское хозяйство. Данная работа исследует возможности применения методов анализа изображений и компьютерных технологий для распознавания и классификации элементов простой формы, демонстрируя потенциал подобной технологии для широкого круга приложений.

**Ключевые слова:** компьютерное зрение, алгоритмы распознавания, геометрические объекты, анализ изображений.

**Для цитирования:** Корытов, Д.С. Алгоритмическое распознавание элементарных геометрических объектов средствами компьютерного зрения / Д.С. Корытов, М.С. Куленко, И.А. Тихомирова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## ALGORITHMIC RECOGNITION OF ELEMENTARY GEOMETRIC OBJECTS USING COMPUTER VISION TECHNIQUES

Dmitry Sergeevich Korytov<sup>1</sup>, Mikhail Sergeevich Kulenko<sup>2</sup>, Irina Aleksandrovna Tikhomirova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Ivanovo State Power University named after V.I. Lenin, Ivanovo, Russia

**Annotation.** Modern technologies offer broad prospects for the implementation of computer vision systems across various fields including industry and agriculture. This study investigates the potential application of image analysis methods and computational techniques for recognizing and classifying simple shapes, demonstrating the practical value of such technology for a wide range of applications.

**Keywords:** computer vision, recognition algorithms, geometric objects, image analysis.

**For citation:** Korytov, D.S. Algorithmic recognition of elementary geometric objects using computer vision techniques / D.S. Korytov, M.S. Kulenko, I.A. Tikhomirova // Current Problems of Energy Supply in Agro-industrial Complex:

**Введение.** Развитие технологий компьютерного зрения открывает новые горизонты для автоматизации процессов распознавания и обработки изображений. Эффективное распознавание элементарных геометрических форм имеет большое значение для множества отраслей, от промышленного контроля качества до образовательных целей. Актуальность подобных алгоритмов определяется возможностью упростить и ускорить многие повседневные задачи, повысив общую надежность и продуктивность процессов. В частности, в агропромышленном комплексе подобные алгоритмы позволяют автоматизировать процесс распознавания, а затем и сборки спелых плодов.

**Материалы и методы.** Целью данной работы являлась разработка и проверка алгоритма распознавания элементарных геометрических объектов на цифровом изображении. Основываясь на специально подобранном наборе тестовых изображений, содержащем фигуры различных форм и цветов, были разработаны эффективные подходы к обработке изображений и определению типа объектов.

*Этап 1: Формирование тестового набора.*

Набор состоял из изображений элементарных геометрических объектов, таких как квадраты, круги, треугольники и прямоугольники, расположенных на однородном фоне. Объекты имели разные цвета, что обеспечило проверку чувствительности алгоритма к изменениям оттенка.

*Этап 2: Реализация алгоритма.*

Методика обработки основывалась на стандартной процедуре цифровой обработки изображений:

1. Преобразование изображения в монохромное представление для облегчения сегментирования.
2. Устранение шума и повышение четкости контуров с помощью специальных фильтров.
3. Выделялись края объектов оператором Канни.
4. Проводился анализ контуров для разделения изображения на отдельные элементы.
5. Геометрическая форма объектов устанавливалась на основе количественных показателей их периметра и внутренних углов.

Данный подход позволил создать эффективный механизм для автоматического распознавания формы и цвета геометрических объектов, который в дальнейшем может применяться для идентификации степени зрелости различных плодов сельскохозяйственных культур.

**Результаты исследования.** Работу алгоритма наглядно демонстрируют две блок-схемы (см. рис. 1 и рис. 2):



Рисунок 1 – Блок-схема основной программы



Рисунок 2 – Блок-схема функции нахождения ближайшего цветового имени

Рассмотрим последовательность работы программы, написанной на языке Python:

1. *Импорт необходимых библиотек.*

Программа импортирует следующие библиотеки:

1. cv2 – библиотека OpenCV для обработки изображений и компьютерного зрения.

2. numpy – числовая обработка массивов.

3. webcolors – модуль для преобразования между именованными цветами и HEX-кодами.

4. *os* – используется для проверки существования файла изображения.

## 2. *Определение палитры цветов.*

Создается словарь, содержащий имена цветов и соответствующие им шестнадцатеричные коды. Этот словарь будет использоваться позже для сопоставления цвета объекта с ближайшим именем цвета.

## 3. *Функция нахождения ближайшего цветового имени.*

Данная функция принимает RGB-значение пикселя, преобразует его в HSV-пространство и сравнивает полученный оттенок с эталонными цветами из словаря. Она находит ближайший цветовой код по минимальному евклидовому расстоянию в пространстве HSV и возвращает имя наиболее подходящего цвета.

## 4. *Основная логика обнаружения формы и цвета контуров.*

Программа загружает изображение и последовательно обрабатывает его следующим образом:

### 4.1. *Загрузка изображения.*

Проверяется существование указанного пути к изображению и выводится сообщение об ошибке, если файл отсутствует. Если путь верный, изображение открывается.

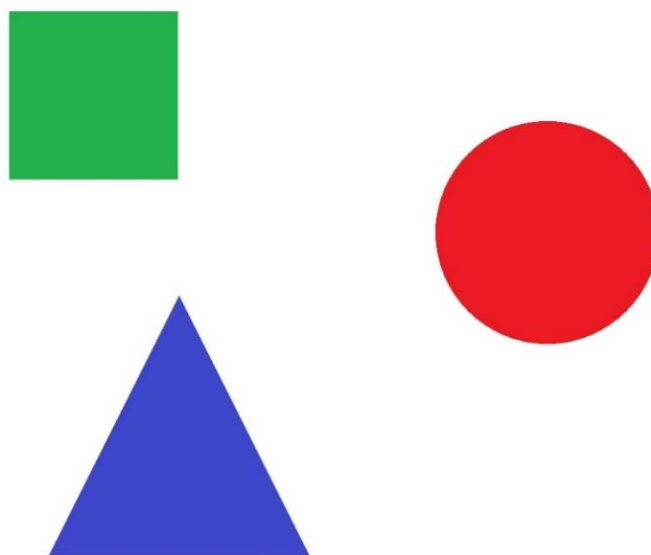


Рисунок 3 – Исходное изображение, загружаемое для обработки

### 4.2. *Предварительная обработка изображения.*

Изображение подвергается нескольким этапам предварительной обработки:

1. Конвертация изображения из пространства BGR в оттенки серого.
2. Применение размытия Гаусса для сглаживания шума.
3. Обнаружение границ методом Канни.

### 4.3. *Поиск контуров.*

Используя метод поиска контуров, обнаруживаются внешние контуры на изображении. Эти контуры представляют собой границы различных фигур.

### 4.4. *Анализ каждой фигуры.*

Для каждого найденного контура выполняются шаги анализа:

1. Приблизительное представление контура полигоном с определенной точностью.
2. Расчёт площади прямоугольника вокруг данной фигуры.

3. Проверка количества сторон многоугольника и вычисление соотношения сторон (для квадратов и прямоугольников).

4. Вычисление средней окраски области внутри контура путем наложения маски и усреднения цветов пикселей внутри фигуры.

5. Полученное среднее значение передается в функцию, которая определяет приблизительный цвет.

6. Выбор названия формы исходя из числа сторон и геометрической характеристики (квадрат/прямоугольник/круг и др.).

#### 4.5. *Отрисовка результатов.*

Контуры рисуются зелёным цветом поверх исходного изображения. Название формы и определяемый цвет отображаются рядом с центром фигуры.

#### 5. *Вывод обработанного изображения.*

Обработанное изображение показывается на экране.

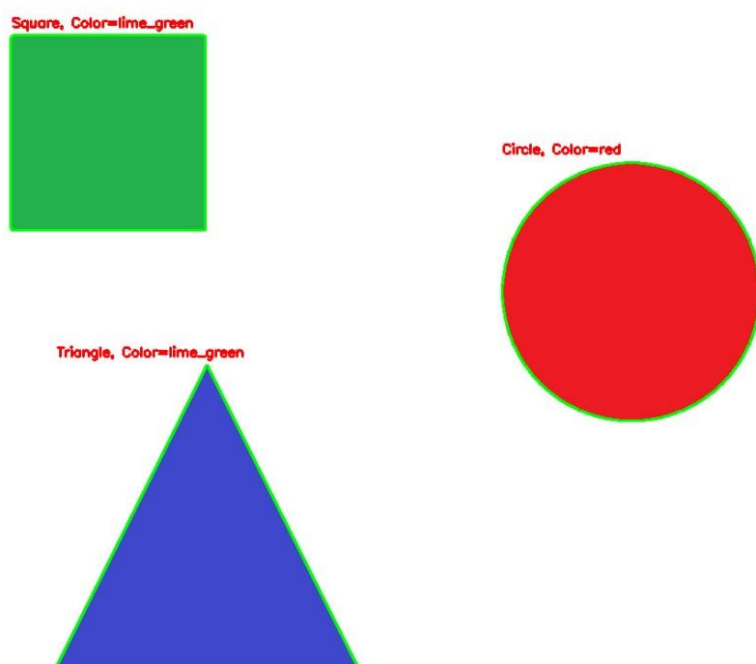


Рисунок 4 – Результат обработки загруженного изображения

Экспериментальная проверка показала высокие показатели точности распознавания элементарных форм и правильности определения цвета.

**Заключение.** Представленная система демонстрирует надёжность и универсальность при распознавании элементарных геометрических объектов и обладает значительным потенциалом для широкого применения. В дальнейшем планируется расширить функциональность алгоритма для обработки более сложных форм и увеличить разнообразие возможных объектов, улучшая общий охват решаемых задач.

#### Список источников

1. Алексеев, Ю.С. Особенности построения системного машинного решения для агротехнологических задач / Ю.С. Алексеев, В.Г. Иванов // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Сер.: Экономика и управление. – 2020. – № 2. – С. 114-122.

2. Маслов, Л.Б. Машинное зрение в сложных растениях и на земле / Л.Б. Маслов, С. Ю. Белоусов // Инновационное развитие науки и образования. – 2021. – № 3. – С. 57-65.

3. Куркин, Е.А. Повышение эффективности применения беспилотных аппаратов в сельском хозяйстве / Е.А. Куркин, В.В. Виноградов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2022. – № 1. – С. 41-50.

© Корытов Д.С., Куленко М.С, Тихомирова И.А., 2025

Научная статья  
УДК 697.34

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОТЯЖЕНИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

**Анна Сергеевна Ларионова<sup>1</sup>, Алия Фаридовна Бикмуллина<sup>2</sup>, Софья Андреевна Скобелева<sup>3</sup>, Гузель Мневеровна Ахмерова<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г.Казань, Россия

<sup>1</sup>[anna.larionova04@mail.ru](mailto:anna.larionova04@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-0783-8412>

<sup>2</sup>[bikmyllinaaliya01@gmail.com](mailto:bikmyllinaaliya01@gmail.com)

<sup>3</sup>[sonyaskobeleva2002@gmail.com](mailto:sonyaskobeleva2002@gmail.com)

<sup>4</sup>[akhmerovaag@mail.ru](mailto:akhmerovaag@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4030-8264>

**Аннотация.** В статье рассматриваются перспективные программные решения и разработки в области применения цифровых моделей в централизованных системах теплоснабжения. Раскрываются ключевые этапы применения цифровых технологий на протяжении жизненного цикла объекта теплоснабжения. Цель исследования – показать возможности, преимущества и перспективы применения цифровых технологий.

**Ключевые слова:** цифровизация, тепловые сети, объекты теплоснабжения.

**Для цитирования:** Ларионова, А.С. Анализ возможностей применения цифровых технологий на протяжении жизненного цикла тепловых сетей / А.С. Ларионова, А.Ф. Бикмуллина, С.А. Скобелева, Г.М. Ахмерова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

**ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF USING DIGITAL TECHNOLOGIES THROUGHOUT THE LIFE CYCLE OF HEATING NETWORKS**

**Anna Sergeevna Larionova<sup>1</sup>, Aliya Faridovna Bikmullina<sup>2</sup>, Sofya Andreevna Skobeleva<sup>3</sup>, Guzel Mneverovna Akhmerova<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

<sup>1</sup>[anna.larionova04@mail.ru](mailto:anna.larionova04@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-0783-8412>

<sup>2</sup>[bikmyllinaaliya01@gmail.com](mailto:bikmyllinaaliya01@gmail.com)

<sup>3</sup>[sonyaskobeleva2002@gmail.com](mailto:sonyaskobeleva2002@gmail.com)

<sup>4</sup>[akhmerovaag@mail.ru](mailto:akhmerovaag@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4030-8264>

**Annotation.** The article discusses promising software solutions and developments in the field of applying digital models in centralized heat supply systems. The key stages of the use of digital technologies throughout the life cycle of the heat supply object are disclosed. The purpose of the study is to show the possibilities, advantages and prospects of using digital technologies.

**Keywords:** digitalization, heating networks, heat supply facilities.

**For citation:** Larionova, A.S. Analysis of the possibilities of using digital technologies throughout the life cycle of heating networks /A.S. Larionova, A.F. Bikmullina, S.A. Skobeleva, G.M. Akhmerova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Система теплоснабжения в России является крупнейшей в мире, обеспечивая значительную долю общемирового производства энергии [1]. Проект «Цифровая энергетика», реализующийся с 2018 года, направлен на модернизацию энергетической инфраструктуры через внедрение цифровых технологий. Цель – повышение эффективности, надёжности и безопасности системы теплоснабжения. Процесс цифровизации охватывает все этапы централизованного теплоснабжения – источник теплоты, тепловую сеть и конечного потребителя. Интеграция современных технологий в теплоэнергетику рассматривается как фактор обеспечения технологического суверенитета и безопасности страны.

**Материалы и методы.** Применение цифровых инструментов подразумевает использование прогрессивных технологий и новаторских методов на всех этапах жизненного цикла теплоэнергетического комплекса (рис. 1). Рассмотрим жизненный цикл тепловых сетей как пять этапов с точки зрения применения цифровых технологий: планирование и проектирование, подготовительные работы, строительство, эксплуатация и вывод из эксплуатации.

Планирование и проектирование тепловых сетей может осуществляться с применением систем различных систем проектирования ZuluThermo, Логос (Росатом), Лира Модуль Теплопроводность; NanoCAD; КОМПАС-3D; NanoCAD BIM Отопление, Renga Software и др. Специалисты должны обладать навыками применения существующих цифровых технологий в проектировании, строительстве и эксплуатации. На этапе обучения в вузе необходимо сформировать теоретические знания, которые затем будут



востребованы в реальных инженерных проектах [5-7]. Цифровые решения значительно повышают эффективность управления системами теплоснабжения, способствуя более рациональному использованию энергоресурсов. Применение анализа данных повышает точность прогнозирования нагрузки на систему, предотвращая аварийные ситуации. Подготовительные работы, предшествующие строительству. Например, сбор и анализ геодезических данных с помощью искусственного интеллекта (ИИ). На этапе строительства тепловых сетей цифровые тренажеры (ЦТ) и цифровые двойники (ЦД) предоставляют возможность осваивать профессиональные навыки в виртуальной среде.



Рисунок – Ключевые этапы применения цифровых технологий для тепловых сетей

В процессе эксплуатации тепловых сетей создание цифрового двойника, DT объекта, для отслеживания его состояния в реальном времени. Цифровые системы обеспечивают непрерывное отслеживание состояния оборудования, позволяя выявлять неисправности и предупреждать о возможных проблемах. Применение предиктивной аналитики для прогнозирования неисправностей и оптимизации обслуживания тепловых сетей. В процессе эксплуатации объекта возникают изменения, требующие реконструкции или модернизации. Возможно использование AR/VR технологии для визуализации планируемых изменений в тепловых сетях. Применение беспилотных летательных аппаратов для поиска утечек на тепловых сетях должно повысить точность получаемых данных, экономить время и финансы, так как соединяются технологии тепловизионной съёмки и воздушного лазерного сканирования [4].

На этапе демонтажа и утилизации DT может помочь в оценке состояния объекта перед закрытием и в планировании действий по выводу из эксплуатации.

**Результаты исследования.** Внедрение цифровых технологий в централизованные системы теплоснабжения открывает такие значительные преимущества как оптимизация процессов, улучшение прогнозирования, мониторинг и диагностика, экономия ресурсов. В перспективе применение интернета вещей позволит более точно мониторить состояние оборудования и оптимизировать его работу, использование искусственного интеллекта приведёт к автоматизации управленческих процессов и принятию обоснованных решений, цифровые технологии в области теплоснабжения будут интегрироваться в общие системы умных городов.

Проблемы, требующие внимания – кибербезопасность, сложность внедрения, интероперабельность (интеграция различных цифровых систем может оказаться трудной из-за разнообразия форматов данных и протоколов).

**Заключение.** Использование цифровых технологий на всех этапах существования тепловых сетей открывает широкие перспективы для повышения эффективности и надежности систем теплоснабжения, а также для прогнозирования и предотвращения аварийных ситуаций. Внедрение передовых технологий в теплоэнергетический комплекс способствует укреплению технологической независимости и безопасности государства. Но необходимо обеспечить защиту данных, обеспечить совместимость с существующими системами и разработать соответствующие стандарты и нормативные акты.

#### **Список источников**

1. Тихомиров, А.Л. Разработка информационной модели системы теплоснабжения на различных этапах ее жизненного цикла / А.Л. Тихомиров, А.П. Пирожникова // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. – 2022. – Т. 1, № 3. – С. 35-42.

2. Проблемы систем централизованного теплоснабжения на современном этапе / А.С. Ларионова, А.Р. Сибгатов, К.Р. Алмакаев [и др.] // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2024. – Т. 20, № 2. – С. 83-92.

3. Сафина, Р.С. Цифровая трансформация системы ЖКХ: проблемы и перспективы / Р. С. Сафина, И. М. Курзина // Экономика строительства и жилищно-коммунального хозяйства. – 2023. – № 2 (3). – С. 31–37.

4. Алимжанов, А.К. Опыт применения цифровых технологий на тепловых сетях / А.К. Алимжанов // Новости теплоснабжения. – 2025. – № 2. – С. 40-47.

5. Направления цифровизации в строительном высшем образовании / И.Э. Вильданов, Р.С. Сафин, А.М. Зиганшин [и др.] // Цифровая трансформация в высшем и профессиональном образовании : Материалы 16-ой Международной научно-практической конференции, Казань, КГАСУ, 2022. – Казань : КГАСУ, 2022. – С. 91-98.

6. Ахмерова, Г.М. Использование современной лабораторной базы в подготовке магистров профиля «Системы теплогазоснабжения и вентиляции» / Г.М. Ахмерова, Р.Г. Сафиуллин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – Вып. 3(80). – С. 191-199.

7. Ахмерова, Г.М. Возможности применения технологий смешанного

обучения при подготовке в техническом ВУЗе / Г.М. Ахмерова // Непрерывное профессиональное образование как фактор устойчивого развития инновационной экономики : Материалы 11-ой Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах / Под общей редакцией Е.А. Корчагина, Р.С. Сафина. – 2017. – С. 129-132.

© Ларионова А. С., Бикмуллина А. Ф., Скобелева С. А., Ахмерова Г. М., 2025

Научная статья  
УДК 681.536:631.234

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛИВОМ

Алексей Александрович Летучий<sup>1</sup>, Сергей Мударисович Бакиров<sup>2</sup>, Виталий Сергеевич Ильин<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[lletuchiy2000@gmail.com](mailto:lletuchiy2000@gmail.com)

<sup>2</sup>[s.m.bakirov@mail.ru](mailto:s.m.bakirov@mail.ru)

<sup>3</sup>[asvi-agro@bk.ru](mailto:asvi-agro@bk.ru)

**Аннотация.** В работе рассмотрены материалы автоматического управления подачей питательного раствора в теплицах. Установлены критерии и воздействующие факторы, влияющие на концентрацию минеральных удобрений при поливе в зависимости от параметров среды: температуры и влажности почвы и воздуха, инсоляции солнца, размера стебля растения и т.п. Предложен алгоритм работы такой системой и выполнена оценка эффективности рассматриваемой системы автоматического управления приготовления питательного раствора, исключающей влияние человека при выборе концентрации минеральных веществ.

**Ключевые слова:** многокритериальная система, полив питательным раствором, автоматическая система управления концентрацией, эффективность полива

**Для цитирования:** Летучий, А.А. Определение критериев автоматического управления поливом / А.А. Летучий, С.М. Бакиров, В.С. Ильин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко. – Саратов. ФГБОУ ВО Вавиловский университет. – 2025.

Original article

## DETERMINING CRITERIA FOR AUTOMATIC IRRIGATION CONTROL

Alexey Aleksandrovich Letuchiy<sup>1</sup>, Sergey Mudarisovich Bakirov<sup>2</sup>, Vitaly Sergeevich Ilyin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[lletuchiy2000@gmail.com](mailto:lletuchiy2000@gmail.com)

<sup>2</sup>[s.m.bakirov@mail.ru](mailto:s.m.bakirov@mail.ru)

<sup>3</sup>[asvi-agro@bk.ru](mailto:asvi-agro@bk.ru)

**Abstract.** The paper examines the materials of automatic control of nutrient solution supply in greenhouses. The criteria and influencing factors that affect the concentration of mineral fertilizers during irrigation depending on the environmental parameters: temperature and humidity of the soil and air, solar insolation, size of the plant stem, etc. An algorithm for the operation of such a system is proposed and an assessment of the efficiency of the considered automatic control system for the preparation of a nutrient solution is carried out, eliminating human influence when choosing the concentration of mineral substances.

**Keywords:** multi-criteria system, nutrient solution irrigation, automatic concentration control system, irrigation efficiency.

**For citation:** Letuchiy, A.A. Definition of criteria for automatic irrigation control / A.A. Letuchiy, S.M. Bakirov, V.S. Ilyin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современные технологии в сельском хозяйстве активно развиваются. Сложные технологические процессы оснащаются системами автоматического контроля с обратной связью и доводятся до совершенства автоматизации. Задачи автоматизации определены охватом функционала управления и логикой срабатывания в разных режимах работы системы. Самыми простыми выделенными режимами работы системы являются режим нормальной эксплуатации и режим аварии. При нормальной эксплуатации процесса существует множество состояний системы, которые так или иначе влияют на результат работы конкретного технологического процесса. Результат работы стремятся довести до оптимального состояния по конкретным критериям (многокритериальная задача).

В теплицах множество многокритериальных задач автоматизации. Автоматизация процессов управления микроклиматом становится ключевым направлением повышения урожайности и устойчивости стабильного роста возделываемых культур. Автоматизированные системы управления микроклиматом (АСУМ) позволяют создавать и поддерживать оптимальные параметры температура, влажность, освещенность и концентрация углекислого газа и т.п. В совокупности автоматизация отдельных параметров при одновременной оценке состояния микроклимата позволяют создать благоприятные условия для растений. И создание единой системы контроля и управления микроклиматом не требуется. Однако полив концентрированным раствором нуждается в системном решении многокритериальной задачи автоматизации.

Система полива в некоторых теплицах устроена довольно просто. При поливной норме 1,4 л в сутки на одно растение, задаваясь временем работы электромагнитного клапана, который открывает подачу питательного раствора по трубопроводу конкретного диаметра, легко установить режим полива. Отсутствие обратной связи в этой системе не позволяет определить дошел ли раствор до растения и в целом не позволяет добиться желаемого результата. В более сложных системах, в которых в защищенном грунте (закрытом грунте) установлен датчик влажности, работа клапана выстраивается по данным датчика. Однако питательный раствор имеет концентрацию минералов и питательных веществ, которых требуется с каждым поливом больше, чем в предыдущий раз, так как это требуется для роста растения и зависит от стадии вегетационного периода. В настоящий момент задача управления поливом по концентрации не рассматривается в различных научно-технических источниках [1-4] и требует проведения исследований по учету влияния на подачу и концентрацию питательного раствора растениям в зависимости от температуры, влажности, инсоляции, роста и развития конкретного растения.

**Материалы и методы.** Для решения данной научной задачи существует множество частных решений. В работе учитываются результаты разработки сети интеллектуальных датчиков, подключенных к интернету вещей (IoT), для постоянного мониторинга параметров микроклимата и автоматической коррекции работы систем, на основе полученных данных. А также алгоритмы контролеров ПО CodeSis v3.6, способных автоматически регулировать вентиляцию, полив и внесение удобрений в зависимости от текущих потребностей растений.

Формирование материалов работы способствовал анализ создания виртуальных моделей теплиц для тестирования различных алгоритмов управления и прогнозирования их эффективности до внедрения в реальных условиях, которые могут стать основой для дальнейших исследований и разработки эффективных автоматизированных систем управления микроклиматом в теплицах, способствующих повышению урожайности и устойчивости сельскохозяйственного производства.

**Результаты исследования.** Алгоритм прироста питательных веществ в поливном растворе тепличных растений определен ростом растений. Для оценки роста растений используем типовую схему развития конкретной культуры, например огурца, без учета реального развития. В дальнейшем этот параметр можно учитывать с помощью камер с программным кодом оценки роста объекта наблюдения.

Основные параметры, которые необходимо и требуется контролировать, включают в себя: температуру, влажность, освещение и концентрацию углекислого газа, солнечную инсоляцию. Температура является одним из ключевых факторов, влияющих на рост и развитие растений. Согласно [3] получены оптимальные значения параметров микроклимата для выращивания огурца:

- минимальные значение температуры почвы +10°C (оптимальное значение для почвы от +15°C до +18°C, а для воздуха днем от +20°C до +25°C, ночью +15°C);
- максимальное значение температуры почвы не должно превышать +22°C, а воздуха днем +30°C, ночью +20°C;

– минимальное значение влажности обычно составляет 40-50%, оптимальное значение 60-70%, а максимальное 80-85%;

– суточное оптимальное значение количества света составляет 14-16 часов в сутки с интенсивностью 15000-30000 лк.

– минимальное значение количества содержания углекислого газа составляет 300-400 ppm, оптимальное 800-1200 ppm, а максимальное 1500-2000 ppm.

Вышеуказанные данные возьмем за основу при формировании методики решения многокритериальной задачи управления подачей и концентрацией питательного раствора. За основу алгоритма управления примем структуру, представленную на рис.

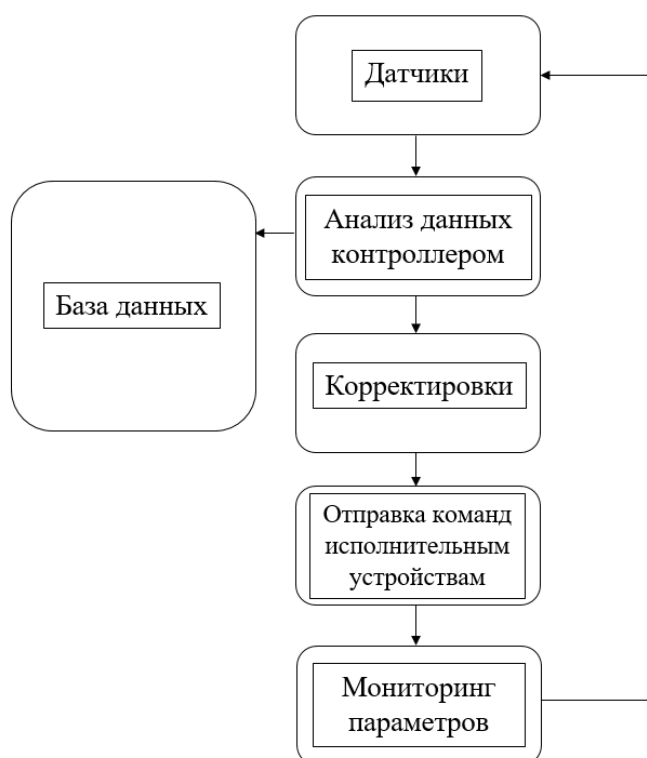


Рисунок – Типовой алгоритм работы системы автоматического управления процессом

Этот алгоритм позволит создать стабильную структуру управления создания питательного раствора для эффективного роста и развития растений, а также определить влияние внешних факторов и повысить урожайность.

Внедрение автоматизированной системы управления поливом в теплицах приносит значительные экономические выгоды, которые можно оценить по нескольким ключевым параметрам. Например, точное регулирование концентрации питательного раствора снижает необходимость в дополнительных затратах на минеральные удобрения и питательные вещества. Использование системы автоматизированной подачи удобрений может обеспечить экономию на питательных веществах до 20-30%.

Еще одним важным параметром является повышение урожайности. Поддержание оптимальных параметров микроклимата способствует увеличению урожайности, так как растения лучше усваивают питательные вещества и противостоят стрессовым условиям. Например, точное

регулирование температуры, влажности и освещения позволяет увеличить урожайность томатов на 15-20%.

Автоматизация процессов также снижает затраты на обслуживание теплицы. Автоматизированные системы уменьшают необходимость в ручном труде, что приводит к снижению затрат на рабочую силу на 10-15%. Это включает автоматизацию полива, вентиляции и регулирования освещения.

Также автоматизированная система полива позволит предотвращать перегрев, переохлаждение, переувлажнение или пересыхание почвы закрытого грунта (или мат), что минимизирует потери урожая из-за неблагоприятных условий. Это может снизить потери урожая на 5-10%, что является значительным экономическим преимуществом.

**Заключение.** Экономический эффект от внедрения автоматизированной системы управления поливом в теплицах, который включает в себя совокупный учет параметров: температура и влажность воздуха, температура и влажность почвы, солнечная инсоляция, оценка стадии развития роста растений, позволит контролировать и управлять процессом подачи питательного раствора и его концентрации минеральных веществ. В целом данный процесс позволит: снизить затраты на перерасход энергоресурсов на 3,2-6,4%; повысить урожайность на 15-20%; снизить затраты на обслуживание процесса полива на 10-15%; уменьшить потери урожая на 5-10% и исключить влияние ошибок при подготовке питательного раствора.

Эти факторы делают автоматизированные системы управления микроклиматом выгодным вложением для сельскохозяйственных предприятий, стремящихся повысить свою эффективность и устойчивость.

#### **Список источников**

1. Карпенко, А.В. Модели управления микроклиматом в помещении / А.В. Карпенко, И.Ю. Петрова // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 7-2. – С. 224-229.
2. Бушер, В.В. Применение систем управления на базе нечеткой логики в климатических установках / В.В. Бушер, Л.В. Мельникова // Electrotechnic and Computer Systems. – 2012. – № 7 (83). – С. 68-73.
3. Грязнов, И.Е. Опыт работы с языком программирования «Протекст» контроллера КР-300И производства ЗАО «Волмаг» / И.Е. Грязнов [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2007. – № 3. – С. 29-31.
4. Бондарева, О.Б. Устройство теплиц и парников: конструкции устройств обогрева, вентиляции и полива в индивидуальных теплицах / О.Б. Бондарева. – М. : Изд-во АСТ, 2006.

© Летучий А.А., Бакиров С.М., Ильин В.С., 2025



## РАССМОТРЕНИЕ СТРУКТУРЫ НЕЙРОСЕТИ

**Игорь Юрьевич Лошкарев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Московский университет МВД России имени В.Я. Кикотя, г. Москва, Россия

<sup>1</sup>[igyulo@mail.ru](mailto:igyulo@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6404-6188>

**Аннотация.** В статье мы рассмотрели основные принципы структуры нейросетей, определили ее функции. Главное отличие нейросетевых моделей от классических заключается в их структуре. Основные элементы, из которых он состоит – искусственные нейроны и связи между ними. 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.

**Ключевые слова:** нейронные сети, искусственный интеллект, типы нейронных сетей.

**Для цитирования:** Лошкарев, И.Ю. Рассмотрение структуры нейросети / И.Ю. Лошкарев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## NEURAL NETWORK STRUCTURE REVIEW

**Igor Yuryevich Loshkarev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Moscow V.Y. Kikoty University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Moscow, Russia.

<sup>1</sup>[igyulo@mail.ru](mailto:igyulo@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6404-6188>

**Annotation.** In the article we have considered the basic principles of neural network structure, defined its functions. The main difference between neural network models and classical ones lies in their structure. The main elements of which it consists are artificial neurons and connections between them. Neural networks are able to replace or supplement the work of a person 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.

**Keywords:** neural networks, artificial intelligence, types of neural networks.

**For citation:** Loshkarev, I.Y. Consideration of the Neural Network Structure / I.Y. Loshkarev// Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials

of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Нейронная сеть (neural network) – это компьютерный алгоритм, способный обрабатывать большие объемы данных, имитируя деятельность человеческого мозга. Как и человек, нейросеть изучает новые предметы, делает выводы и в дальнейшем использует полученную информацию. Нейросети представляют собой математические модели, созданные на основе биологических нейронных сетей, существующих в глубинах человеческого мозга.

Нервную систему человека образуют нейроны – клетки, которые получают информацию и транслируют ее в виде импульсов. Основная часть нейрона – аксон, а длинный отросток на его конце носит название дендрит, он выполняет роль своеобразного провода при передаче информации от одного нейрона к другому. Таким образом мозг, транслируя информацию, управляет всеми действиями человека.

**Материалы и методы.** На основе соответствующего принципа работают и компьютерные нейронные сети, ставшие цифровой моделью человеческого мозга. Главная же их особенность – способность к обучению. Стандартные компьютерные программы предполагают, что алгоритм для них пишет человек, то есть задает определенный набор действий, которые должны выполнить компьютеры. При использовании нейросети не нужно говорить ей, как решить задачу. Достаточно задать вводные данные, а способам решения задач нейронная сеть на основе искусственного интеллекта обучается сама, выявляя закономерности и обнаруживая на их основе способы решения задач [1-5].

Попытки математически описать сеть нейронов предпринимались еще в 1940-е годы. Идею создания нейронных сетей впервые предложили исследователи из Чикагского университета Уоррен Маккалоу и Уолтер Питтс. В 1950-е годы эта математическая модель была воссоздана психологом Корнеллского университета Фрэнком Розенблаттом с помощью компьютерного кода. Розенблатт был автор перцептрона – прототипа современных нейросетей. Даже такая элементарная структура в те годы могла обучаться и самостоятельно решать простые задачи.

Возрождение интереса к нейронным сетям и революция в глубоком обучении произошли лишь в последние годы благодаря индустрии компьютерных игр. Современные игры требуют сложных вычислений для обработки большого числа операций. В итоге производители начали выпускать графические процессоры (GPU), которые объединяют тысячи относительно простых вычислительных ядер на одном чипе. Исследователи вскоре поняли, что архитектура графического процессора очень похожа на архитектуру нейросети.

Современные GPU позволили развивать «глубокое обучение» – повышать глубину слоев нейросети. Именно благодаря ему появились самообучаемые нейросети, которые не требуют специальной настройки, а самостоятельно обрабатывают входящую информацию.

**Результаты исследования.** Главное отличие нейросетевых моделей от классических заключается в их структуре (рис. 1). Основные элементы, из которых он состоит – искусственные нейроны и связи между ними.



Рисунок 1 – Структура нейросети

Нейрон – это вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней простые вычисления и передает ее дальше. Они делятся на три основных типа: входной (синий), скрытый (красный) и выходной (зеленый) (рис. 2). В том случае, когда нейросеть состоит из большого количества нейронов, вводят термин слоя. У каждого из нейронов есть 2 основных параметра: входные данные (*input data*) и выходные данные (*output data*) (рис. 3). В случае входного нейрона:  $input=output$ . В остальных, в поле *input* попадает суммарная информация всех нейронов с предыдущего слоя, после чего, она нормализуется, с помощью функции активации (представим ее  $f(x)$ ) и попадает в поле *output*.

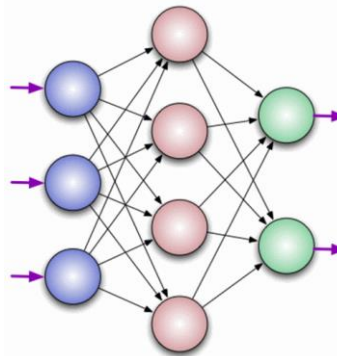


Рисунок 2 – Основные типы нейронов: входной (синий), скрытый (красный) и выходной (зеленый)

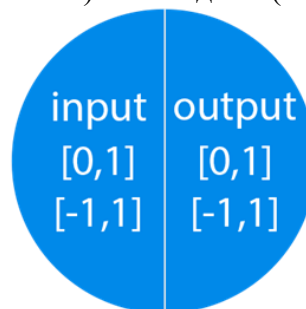


Рисунок 3 – Два основных параметра нейрона: входные данные (*input data*) и выходные данные (*output data*)

Важно помнить, что нейроны оперируют числами в диапазоне  $[0,1]$  или  $[-1,1]$ . Числа, которые выходят из данного диапазона необходимо обрабатывать

разделив 1 на это число. Этот процесс называется нормализацией, и он очень часто используется в нейронных сетях (рис. 4).

Синапс – это связь между двумя нейронами. У синапсов есть 1 параметр – вес. Благодаря ему, входная информация изменяется, когда передается от одного нейрона к другому. Допустим, есть 3 нейрона, которые передают информацию следующему. Тогда у нас есть 3 веса, соответствующие каждому из этих нейронов. У того нейрона, у которого вес будет больше, та информация и будет доминирующей в следующем нейроне (например – смешение цветов) [1-5].

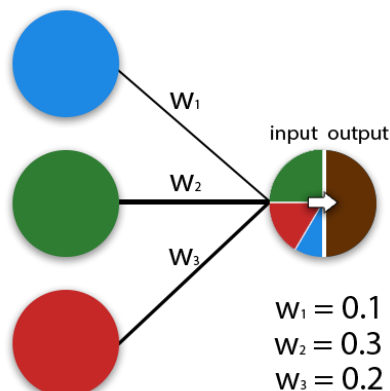


Рисунок 4 – Веса системы

**Заключение.** На самом деле, совокупность весов нейронной сети или матрица весов – это своеобразный мозг всей системы. Именно благодаря этим весам, входная информация обрабатывается и превращается в результат.

Важно помнить, что во время инициализации нейронной сети, веса расставляются в случайном порядке.

Нейронов в нейросети много, поэтому они объединяются в слои:

- входной, куда поступают данные. Они могут иметь любой формат – файлы, тексты, музыка, картинки, видео и другие.
- скрытые, в которых производятся вычисления и обработка. Обычно скрытых слоев не больше трех.
- выходной – отсюда выходят результаты.

### 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.

2. 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, Саратов, 2025. – Саратов, 2025. – С. 189-194.

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/>

4. 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, Саратов, 2025. – Саратов, 2025. – С. 194-201.

5. Лошкарёв, И.Ю. Аспекты использования нейросетей для органов внутренних дел / И.Ю. Лошкарёв, В.В. Лопухов // Охрана, безопасность, связь. – 2024. – № 9-2. – С. 41-46.

© Лошкарёв И.Ю., 2025

Научная статья

УДК 631.365.3/4:633.88

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Людмила Александровна Лягина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[lyagina@mail.ru](mailto:lyagina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9521-6266>

**Аннотация.** В статье предложен комбинированный способ досушивания прессованной в рулоны травы, с целью повысить качество продукта, уменьшить энергозатраты.

**Ключевые слова:** объем сушеного материала, теплообмен, поверхность нагрева материала, циклограмма процесса досушивания.

**Для цитирования:** Лягина, Л.А. Анализ процесса сушки растительного сырья / Л.А. Лягина, // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## ANALYSIS OF THE DRYING PROCESS OF VEGETABLE RAW MATERIALS

Lyudmila Alexandrovna Lyagina<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>[lyagina@mail.ru](mailto:lyagina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9521-6266>

**Annotation.** The article proposes a combined method for drying rolled grass in order to improve product quality and reduce energy consumption.

**Keywords:** volume of dried material, heat exchange, the heating surface of the material, the cyclogram of the drying process.

**For citation:** Lyagina, L.A. Analysis of the drying process of vegetable raw materials/ L.A. Lyagina // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Сушкой называют процесс, направленный на удаление влаги из влажных материалов. Процесс удаления влаги из тела сопровождается нарушением связи влаги с материалом, на что расходуется энергия. От характера этой связи зависят режимы сушки, обеспечивающие наиболее эффективное удаление влаги.

**Материалы и методы.** Соблюдение условий, обеспечивающих соответствие высушиваемого продукта требуемым технологическим свойствам, является одной из главных задач при выборе режимов процесса сушки.

Внутри коллоидно-капиллярно-пористых тел, имеющих сложную структуру, перенос влаги и теплоты происходит за счет разнообразных механизмов, действующих очень часто одновременно. Теория процесса внутреннего тепло- и массопереноса основана на использовании понятия общего потенциала влагопереноса, который включает в себя все возможные потенциалы элементарных переносов влаги [1].

На основе выше сказанного приведем основные дифференциальные уравнения инфракрасной сушки растительного сырья [2].

Дифференциальное уравнение теплопроводности

$$\frac{dt}{d\tau} = \alpha \nabla^2 t + \frac{q_{из}}{c\gamma R} e^{-bx} \quad (1)$$

где  $q_{из}$  – количество тепла, передаваемого излучением;  $b$  – коэффициент поглощения;  $x$  – глубина проникновения лучей;  $dt$  – бесконечно малое приращение температуры материала за элемент времени  $d\tau$ ;  $\alpha$  – коэффициент конвективного теплообмена материала с окружающим воздухом, кДж/м<sup>2</sup> °С·с;  $c$  – удельная теплоемкость сушеного материала, кДж/кг·°С;  $\gamma$  – удельная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $R$  – удельная теплота испарения влаги с материала, кДж/кг;  $\nabla^2 t$  – оператор Лапласа.

Дифференциальное уравнение влагопроводности определяется как баланс массообмена, выражающего собой закон сохранения вещества для произвольно выделенного объема, ограниченного поверхностью

$$\iiint_V \gamma_0 \frac{du}{d\tau} dV = \iint_F i \cdot dF \quad (2)$$

где  $i$  – плотность потока влаги, перемещаемой за единицу времени, через единичную поверхность материала, кг/м<sup>2</sup>·с;  $dF$  – элементарная площадь поверхности нагрева материала;  $V$  – объем сушеного материала, м<sup>3</sup>;  $\gamma_0$  – удельная плотность абсолютно сухого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $u$  – среднее влагосодержание материала, кг/кг.

Поток влаги через единицу поверхности определяется соотношением

$$i = -k\gamma_0 \nabla u - k\gamma_0 \delta \nabla t \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент теплопроводности, м<sup>2</sup>/ч;  $\delta$  – термоградиентный коэффициент, кг/кг·°С.

Дифференциальное уравнение тепло- и массообмена может быть выражена следующим образом:

Если генерируемая теплота расходуется частично на прогрев материала, испарение влаги, потери тепла в окружающую среду

$$Q = \iiint_V C\gamma \left( \frac{dt}{d\tau} \right) dV + r_T M \left( \frac{du}{d\tau} \right) + \iint_F \alpha (t_m - t_o) dF \quad (4)$$

где  $C$  – удельная теплоемкость сушеного материала, кДж/кг·°С;  $\gamma$  – удельная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $r_T$  – удельная теплота испарения влаги с материала, кДж/кг;  $\alpha$  – коэффициент конвективного теплообмена материала с окружающим воздухом, кДж/м<sup>2</sup> °С·с;  $M$  – масса сушеного материала, кг;  $t_m$ ,  $t_o$  – температуры материала и окружающего воздуха, °С;  $dt$  – бесконечно малое приращение температуры материала за элемент времени  $d\tau$ .

Интегрирование уравнения (4) по объему  $dV$  и площади  $dF$  представляющее собой решение трехмерной задачи, весьма громоздко, трудно анализируемое. В целях упрощения дальнейших выводов целесообразно рассматривать тепло- и массообмен, как одномерную задачу, считая, что перемещение влаги от центра идет в направлении нормали к поверхности материала, что фактически и происходит на практике [3, 8, 9].

**Результаты исследования.** Сушильная установка отличается большим количеством входных и выходных параметров и сложностью связей между ними. Основные выходные параметры процесса – конечная температура и влажность, температура сушильного агента на выходе, эффективность. В качестве регулирующих воздействий используем изменение подачи электроэнергии и загружаемого продукта.

Остальные входные параметры – начальная влажность и температура, расход сушильного агента и его влажность – относятся к возмущающим воздействиям. С точки зрения показателя эффективности управления сушилкой должно быть оптимальным. Целевая функция оптимального управления сушилкой имеет вид:

$$\max \mathcal{E} = f(t_n, t_{\max}, W_n, W_k, t_k) \quad (5)$$

при ограничениях по конечной влажности и максимально допустимой величине нагрева.

Циклограммы процесса досушивания прессованного в рулоны травы представлены на рис. 2.

Технология досушивания прессованного в рулоны травы представляется следующим образом. В течении шести минут происходит прогрев продукта ИК-нагревателями.

Далее осуществляется четырехминутный цикл продува травы с использованием электрокалорифера. В течении которого удаляется выделенная из продукта влага за пределы сушильной установки [4].



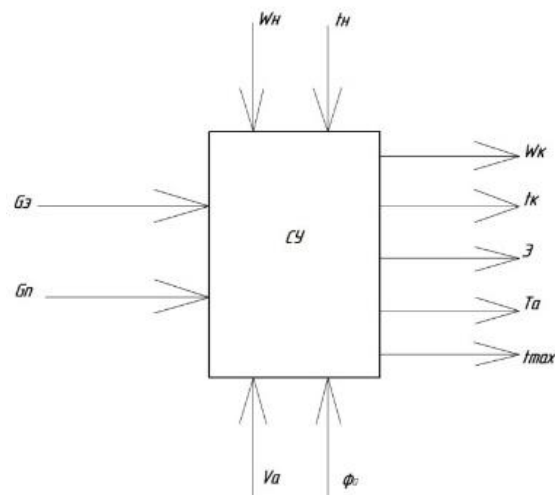


Рисунок 1 – Структурная схема объекта исследования:

$G_э$  – подача электроэнергии, кВт;  $G_n$  – объем продукта (травы), кг; СУ – сушильная установка;  $W_n$  – начальная влажность, %;  $t_n$  – начальная температура, °С;  $W_k$  – конечная влажность, %;  $t_k$  – конечная температура, °С;  $T_a$  – температура сушильного агента, °С;  $t_{max}$  – максимальная температура нагрева, °С; Э – технико-экономический критерий (эффективность);  $V_a$  – расход сушильного агента;  $\phi_a$  – влажность сушильного агента, %

Циклы досушивания повторяются до тех пор, пока продукт не достигнет кондиционной влажности 16...17 % [5]. Температурный режим в сушильной установке поддерживается в соответствии с графиком (рис. 2).

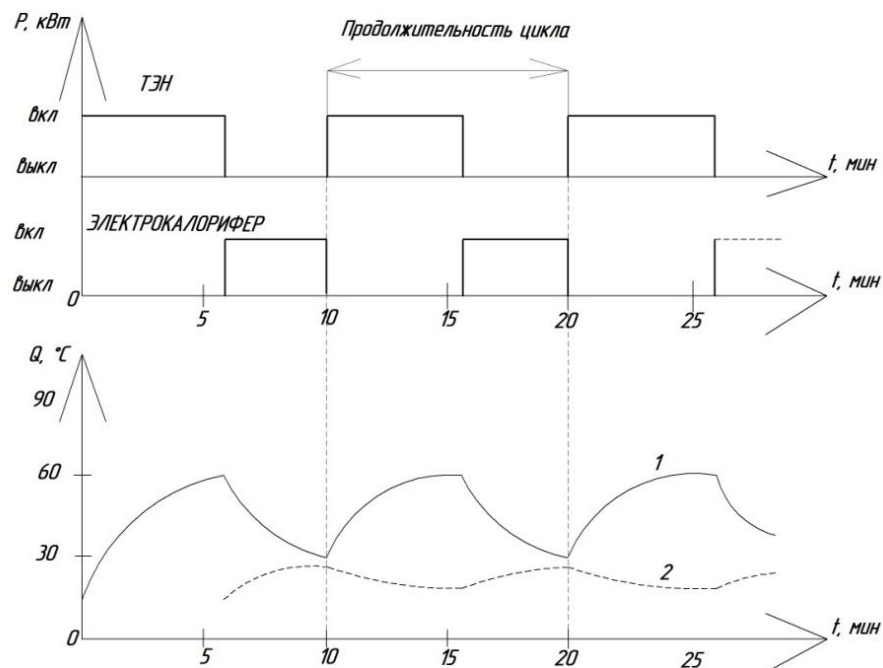


Рисунок 2 – Циклограммы процесса досушивания прессованного в рулоны травы:  
кривые 1 – ТЭН; 2 – электрокалорифер

Продукт с такой влажностью может храниться несколько лет без значительного снижения своей питательности [2, 5-7].

Таким образом, предложенный способ досушивания прессованного в рулон травы позволяет повысить качество продукта, уменьшить энергозатраты.

**Заключение.** Технологии комбинированной сушки сельскохозяйственной продукции обеспечивают сохранение биологически ценных компонентов исходного сырья. Использование таких устройств и технологий в производстве сушёных продуктов позволяет не только получать экологически чистый продукт, сохранивший питательную ценность исходного сырья, но и существенно повысить экономическую эффективность производственных процессов за счёт снижения потерь сырья, затрат на процесс сушки, транспортировку и хранение полуфабрикатов.

#### **Список источников**

1. Фролов, В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов / В.Ф. Фролов. – Л.: Химия, 1987. – С. 206.
2. Электрооборудование технологий производства и обработки сельскохозяйственной продукции: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, Л.А. Лягина [и др.]. – Саратов: Амирит, 2018. – 141 с.
3. Лягина, Л.А. Повышение эффективности сушки продуктов растительного происхождения за счет инфракрасно-конвективного воздействия: автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Саратов, 2010. – 23 с.
4. 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.
5. Кузнецов, Н.Н. Повышение эффективности заготовки прессованного в рулоны сена путем оптимизации параметров процесса сушки и режимов работы оборудования: автореф. дисс. ...канд. техн. наук / Н.Н. Кузнецов. – Санкт-Петербург, 2007. – 17 с.
6. Четвериков, Е.А. Микроволновое и инфракрасное излучение в технологиях сушки продукции растительного происхождения: монография / Е.А. Четвериков, Л.А. Лягина, А.П. Моисеев. – Саратов: Амирит, 2016. – 186 с.
7. Каргин, В.А. Автоматизация систем управления технологическими процессами: учебное пособие / В.А. Каргин, А.П. Моисеев, А.В. Волгин, Л.А. Лягина, Е.А. Четвериков. – Саратов: Амирит, 2018. – 177 с.
8. Усанов, К.М. Проектирование электроустановок: учебное пособие / К.М. Усанов, В.А. Каргин, А.П. Моисеев, Л.А. Лягина. – Саратов: Амирит, 2017. – 123 с.

© Лягина Л.А., 2025

## ПРОЦЕСС СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В БАРАБАННОЙ СУШИЛКЕ

Людмила Александровна Лягина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[lyagina@mail.ru](mailto:lyagina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9521-6266>

**Аннотация.** В статье предложено использование систем автоматического управления циклами сушки растительного сырья, выполненная на базе программируемого логического контроллера.

**Ключевые слова:** прогрев продукта, программируемый логический контроллер, сушильный барабан, удаляемая влага, измельчитель.

**Для цитирования:** Лягина, Л.А. Процесс сушки растительного материала в барабанной сушилке / Л.А. Лягина, С.В. Матвеев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## THE PROCESS OF DRYING PLANT MATERIAL IN THE DRUM DRYER

Lyudmila Alexandrovna Lyagina<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>[lyagina@mail.ru](mailto:lyagina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9521-6266>

**Annotation.** The article suggests the use of automatic control systems for drying cycles of vegetable raw materials, based on a programmable logic controller.

**Keywords:** warming up the product, programmable logic controller, drying drum, moisture removed, the shredder.

**For citation:** Lyagina, L.A. The process of drying plant material in a drum dryer / L.A. Lyagina // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В развитых странах мира вопросы здорового питания имеют ранг государственной политики и успешно реализуются. В России также принята «Концепция государственной политики в области здорового питания населения Российской Федерации». Обеспечить ее выполнение можно совершенствуя технологии получения продуктов, в том числе и длительного хранения, сохраняющих максимум питательных веществ, заложенных природой. Поэтому

работы по созданию и совершенствованию машин и технологий для производства продуктов длительного хранения постоянно актуальны. Одним из надежных методов консервирования пищевых продуктов является сушка. Производство сушеных плодов и ягод является важным путем удовлетворения растущих потребностей различных отраслей пищевой промышленности, в том числе и садоводческой, и населения в этих продуктах, содержащих в концентрированном виде наиболее питательные и биологически активные вещества (БАВ).

**Материалы и методы.** В основе современной теории сушки лежат законы перемещения влаги в сушимом материале. Влага перемещается как при перепаде влажности в продукте (вагопроводность), так и при перепаде температур (термовлагопроводность). Более интенсивно влага перемещается за счёт вагопроводности. При сушке нагретым воздухом термовлагопроводность оказывает дополнительное сопротивление перемещению влаги. Для устранения этого сопротивления необходимо в начале сушки применять невысокие температуры и повышенную скорость движения сушильного агента; этим достигается быстрый и более равномерный обогрев продукта. Решающим фактором для сушки является характер связи влаги с продуктом.

Существует методика процесса сушки в барабане, которая начинается с определения его размеров: диаметра, длины, объемного напряжения барабана по влаге, расхода влажного материала, конечной влажности материала [1].

Количество удаляемой влаги в сушильном барабане:

$$W = G_{cm} (U_1 - U_2) \quad (1)$$

где  $W$  – количество удаляемой влаги в сушильном барабане, кг/с;  $G_{cm}$  – расход сухого материала, кг·см/с;

$$G_{cm} = G_n (1 - W_n) \quad (2)$$

$W_n$  – количество начальной удаляемой влаги в сушильном барабане, кг/с;  
 $G_n$  – начальный расход материала, кг·см/с;

$$G_n = \frac{M}{\tau} \quad (3)$$

$M$  – масса материала, кг;  $\tau$  – время сушки, с;  $U_1, U_2$  – относительная влажность материала соответственно на входе в барабан и на выходе из барабана, кг вл/кг см.

$$U_1 = \frac{W_n}{1 - W_n} \quad (4)$$

$$U_2 = \frac{W_k}{1 - W_k} \quad (5)$$

$W_k$  – количество конечной удаляемой влаги в сушильном барабане, кг/с

Объём барабана определяется:

$$V = \frac{\pi D_{\delta}^2}{4} \cdot L_{\delta} \quad (6)$$

$L_{\delta}$  – длина барабана, мм;  $D_{\delta}$  – диаметр барабана, мм.

Скорость движения сушильного агента определяется по формуле:

$$v = \frac{\pi D_6^2}{4} \cdot (1 - \beta) \cdot S_6 \quad (7)$$

где  $S_6$  – выходное сечение барабана, мм<sup>2</sup>;  $\beta$  – коэффициент заполнения барабана, или доля сечения барабана, занятая высушиваемым материалом. Коэффициент заполнения изменяется с изменением типов внутренних устройств барабана, с изменением диаметра подпорного кольца на выходе из барабана высушиваемого материала, с изменением свойств материала; и может колебаться от 0,05 до 0,30. Этот параметр процесса определяет среднее время пребывания материала в барабане.

Находим внутренний диаметр барабана:

$$d = D_6 - 2b \quad (8)$$

где  $b$  – толщина стенок барабана.

Кажущаяся плотность материала, кг/м<sup>3</sup>:

$$\rho_k = \rho_m \cdot (1 - \varepsilon_0) \quad (9)$$

где  $\rho_m$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon_0$  – порозность.

Угол наклона барабана.

Для продвижения материала в осевом направлении барабан устанавливается под некоторым углом наклона к горизонту, изменяющимся на практике от 10 до 40. Необходимый угол наклона барабана для данного числа оборотов может быть определён. Пренебрегая влиянием скорости сушильного агента в барабане на поведение частиц высушиваемого материала, можно записать следующее выражение для скорости перемещения материала в барабане:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{76,4 \cdot V_m}{n \cdot \beta \cdot m \cdot D_6^3} \quad (10)$$

где  $V_m$  – объемный расход материала, м<sup>3</sup>/с;  $m$  – распределительная насадка;  $n$  – частота вращения, об/мин.

Перемещение скорости материала в барабане может быть найдена:

$$W_m = \frac{V_m}{F \cdot \beta} \quad (11)$$

где  $F$  – поперечное сечение материала, м<sup>2</sup>.

Момент, необходимый для вращения барабана, складывается из четырех слагаемых: момента трения качения; момента трения скольжения; момента трения от скольжения сыпучего материала по барабану при его вращении; момента, возникающего от действия силы тяжести материала вследствие непрерывного поднимания его на некоторую высоту.

Потребная мощность на вращение барабана:

$$N = 0,184 \cdot D_6 \cdot G_0 \cdot K \cdot n \text{ Вт} \quad (12)$$

где  $G_0$  – масса загруженного материала в кг;  $D_6$  – диаметр барабана в м,  $n$  – число

оборотов барабана, об/мин.;  $K$  – поправочный коэффициент, учитывающий внутреннее устройство барабана: для гладкого барабана  $K = 1$  [1].

Мощность электродвигателя, кВт:

$$P = \frac{N}{\eta} \quad (13)$$

**Результаты исследования.** Функциональная схема САУ процессом сушки материала растительного происхождения представлена на рис. [4, 5-7].

Технология сушки растительного сырья представляется следующим образом. В течение восьми минут происходит прогрев продукта ИК-нагревателями 8 ( $q_1$ ). Далее осуществляется одиннадцатиминутный цикл продува сырья воздухом с использованием вентилятора 11 ( $q_3$ ) и измельчения с помощью инерционного вибратора 10 ( $q_4$ ). Через 12 минут от начала процесса сушки включается нагревательный элемент 12 ( $q_2$ ) и подогретым воздухом в течение 7 минут удаляется выделенная из продукта влага за пределы сушильного шкафа. Девятнадцатиминутный цикл заканчивается отключением всех процессов. Через одну минуту цикл повторяется. В течение всего времени выполнения цикла операций включена световая сигнализация 7 ( $q_5$ ) [2-4].

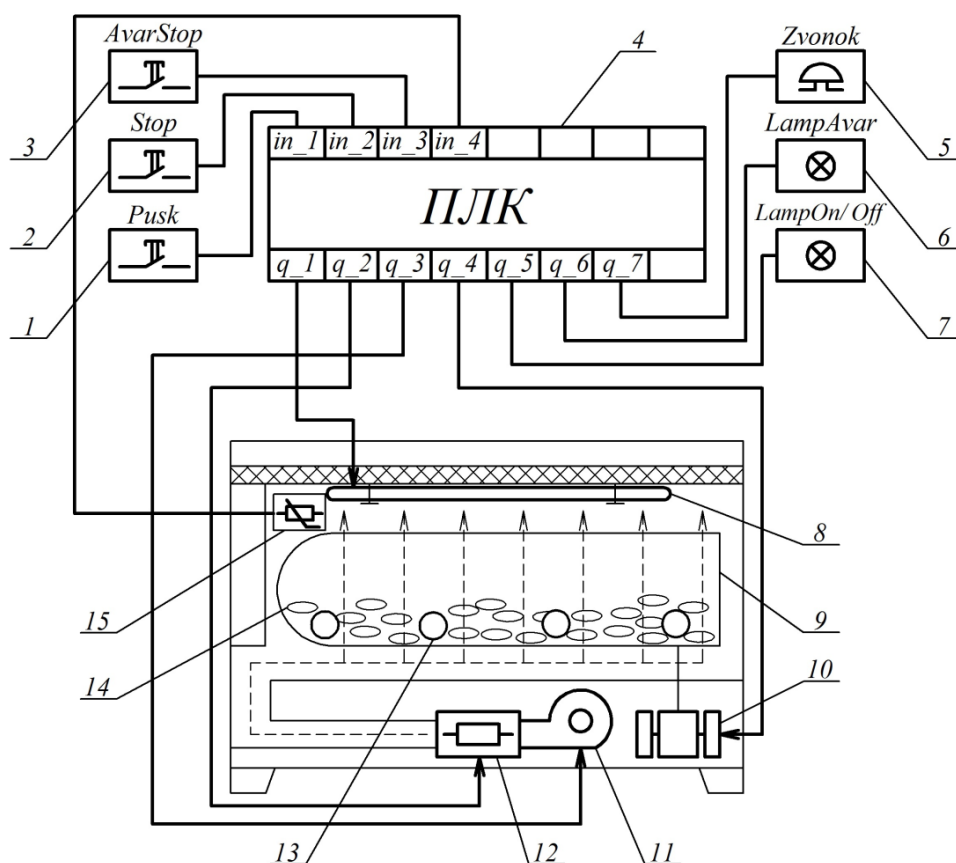


Рисунок – Функциональная схема системы автоматического управления процессом сушки растительного сырья: 1 – кнопка запуска процесса сушки; 2 – кнопка останова процесса сушки; 3 – аварийная кнопка «Стоп»; 4 – программируемый логический контроллер; 5 – звуковая сигнализация «Авария»; 6 – световая сигнализация «Авария»; 7 – световая сигнализация включения; 8 – ИК-нагреватели; 9 – вибрационный барабан; 10 – инерционный вибратор; 11 – вентилятор; 12 – нагревательный элемент; 13 – мелющие тела; 14 – растительное сырье; 15 – термодатчик

**Заключение.** Таким образом, инфракрасная сушка является эффективным приемом сушки ягод для получения витаминных добавок, которые обеспечивают снижение стоимости сбалансированных рационов для людей за счет снижения энергетических затрат на удаление влаги из ягод и сохранение биологически активных ингредиентов в высушенном продукте.

### **Список источников**

1. Мясоеденков, В.М. Расчет барабанной сушильной установки : учебно-методическое пособие / В.М. Мясоеденков. – Москва : ИПЦ МИТХТ, 2009.
2. Лягина, Л.А. Совершенствование технических средств автоматического управления процессом сушки растительного сырья / Л.А. Лягина, Д.Ю. Мельников // Современное состояние и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения : Материалы VI Международной научно-практической конференции. – Саратов : Амирит, 2017.
3. Лягина, Л.А. Совершенствование комбинированного способа сушки плодов и ягод / Л.А. Лягина, Д.П. Курников // Актуальные проблемы энергетики АПК : Материалы X национальной научно-практической конференции с международным участием. – Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2019.
4. Автоматизация систем управления технологическими процессами: учебное пособие / В.А. Каргин, А.П. Моисеев, А.В. Волгин [и др.]. – Саратов: Амирит, 2018. – 177 с.
5. Электрооборудование технологий производства и обработки сельскохозяйственной продукции: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, Л.А. Лягина [и др.]. – Саратов: Амирит, 2018. – 141 с.
6. Электротехнологическое оборудование в сельскохозяйственном производстве: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, В.А. Каргин [и др.]. – Саратов: Амирит, 2018. – 103 с.
7. Проектирование электроустановок: учебное пособие / К.М. Усанов, В.А. Каргин, А.П. Моисеев [и др.]. – Саратов: Амирит, 2017. – 123 с.

© Лягина Л.А., 2025

Научная статья

УДК 631.365.3/4:633.88

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Людмила Александровна Лягина<sup>1</sup>, Сергей Владимирович Матвеев<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[lyagina@mail.ru](mailto:lyagina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9521-6266>

<sup>2</sup>[Sergey.infobis@gmail.com](mailto:Sergey.infobis@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-3707-8409>

**Аннотация.** В статье приводится классификация компрессоров для сжатия и подачи воздуха. Очередной ступенью на пути развития энергоэффективности на промышленном предприятии стало изобретение винтовых компрессоров с частотно-регулируемым приводом.



**Ключевые слова:** контроллер v-Log, компрессоры с частотными преобразователями, системы регулировки, сжатие воздуха, электромагнитный клапан.

**Для цитирования:** Лягина, Л.А. Проблемы и перспективы промышленных предприятий / Л.А. Лягина // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## PROBLEMS AND PROSPECTS OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

**Lyudmila Alexandrovna Lyagina<sup>1</sup>, Sergey Vladimirovich Matveev<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[lyagina@mail.ru](mailto:lyagina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9521-6266>

<sup>2</sup>[Sergey.infobis@gmail.com](mailto:Sergey.infobis@gmail.com), [https:// orcid.org/0009-0007-3707-8409](https://orcid.org/0009-0007-3707-8409)

**Annotation.** The article provides a classification of compressors for compression and air supply. The invention of variable-frequency screw compressors has become another step towards the development of energy efficiency in an industrial enterprise.

**Keywords:** v-Log controller, compressors with frequency converters, adjustment systems, air compression, the solenoid valve.

**For citation:** Lyagina L.A. Problems and prospects of industrial enterprises/ L.A. Lyagina, S.V. Matveev // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Сегодня на многих российских промышленных предприятиях эксплуатируются мощные поршневые компрессоры, которые предназначены для сжатия и подачи воздуха под высоким давлением. Как правило, их производительность колеблется в пределах от нескольких десятков до сотен кубических метров в минуту. Однако эксплуатация изношенного компрессорного парка приводит к потерям электроэнергии [1, 6, 7].

Таким образом, список непроизводственных затрат, в который входят утечки в трубопроводах и расходы, обусловленные физическим и моральным износом оборудования, пополняется суммами затрат на ремонт поршневых компрессоров.

**Материалы и методы.** Приведена классификация компрессоров для сжатия и подачи воздуха под высоким давлением на рис. 1.

Решением этой проблемы стала повсеместная интеграция в технологические циклы винтовых компрессоров. С их появлением на рынке электротехники наметился переход к децентрализованной системе подачи сжатого воздуха. Практически бесшумные установки компактного размера,

которые к тому же отличаются простотой монтажа и не требуют больших материальных затрат на монтаж [7, 9].

Очередной ступенью на пути развития энергоэффективности на промышленном предприятии стало изобретение винтовых компрессоров с частотно-регулируемым приводом. В табл. 1. представлены особенности компрессора.

Компрессоры с частотными преобразователями – оптимальное решение для систем с переменным расходом воздуха при постоянном давлении. Частотный преобразователь автоматически регулирует скорость электродвигателя в режиме реального времени в соответствии с текущими потребностями, позволяя экономить до 35% электроэнергии.

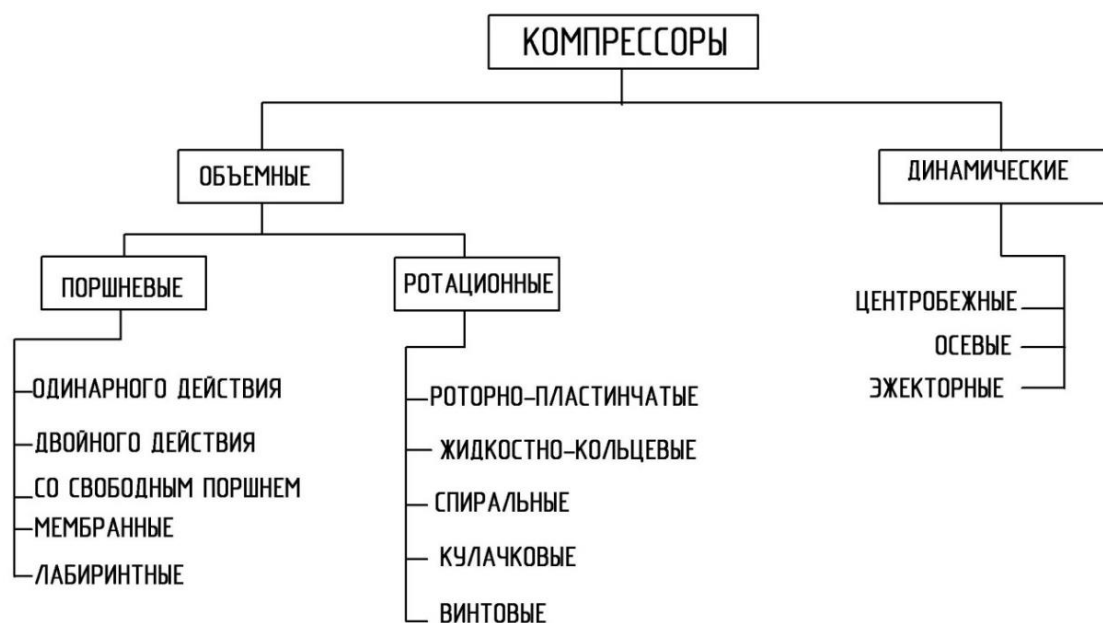


Рисунок 1 – Классификация компрессоров для сжатия и подачи воздуха

При плавном запуске обеспечивается сбалансированная нагрузка и исключаются скачки напряжения, что положительно влияет на энергопотребление и увеличивает срок службы. Снижение среднего рабочего давления в системе помогает уменьшить потери давления и повышает общую эффективность [1].

Таблица – Функциональные особенности компрессора

|                                                                                           |                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Поршневой компрессор                                                                      | Винтовой компрессор с частотным регулированием                                                                                    |
| Циклическое сжатие газа.                                                                  | Современная, энергосберегающая конструкция винтового блока.                                                                       |
| Способность создавать высокое давление воздуха                                            | Оптимально экономичный режим работы компрессора благодаря микроконтроллерному управлению.                                         |
| Большое количество движущихся деталей, интенсивный износ деталей цилиндропоршневой группы | Контроллер v-Log с расширенными возможностями настройки и управления, со встроенной функцией ведущий-ведомый и интерфейсом RS485. |

|                                              |                                                                                                                               |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Возможность использования различных приводов | Минимальные потери давления на всех ключевых компонентах компрессора складываются в ощутимую суммарную экономию энергозатрат. |
| Высокая ремонтпригодность                    | Эффективная система сепарации масла с остаточным содержанием масла в сжатом воздухе менее 3 мг/м <sup>3</sup> .               |
| Относительно низкая стоимость                | Удобный доступ к фильтрам и сепараторам для их сервисного обслуживания.                                                       |

**Результаты исследования.** Профессиональный контроллер v-Log управляет работой компрессора полностью в автоматическом режиме, а также даёт пользователю необходимую информацию о рабочем давлении, температуре воздушно-масляной смеси, времени работы компрессора, необходимостью сервисного обслуживания. v-Log позволяет управлять в групповом режиме несколькими компрессорами с контроллером v-Log а также подключиться к мастер-контроллеру более высокого уровня или диспетчерской через MODBUS [1, 3, 4, 5].

Для управления параметрами компрессор оборудован контроллером v-Log, который в автоматическом режиме отслеживает расход потребителем воздуха. При падении давления в пневмосети ниже установленного уровня, контроллер дает команду на запуск компрессора. При достижении максимального установленного уровня, компрессор переходит в режим ожидания (холостой ход), время которого устанавливается на контроллере (рис. 2).

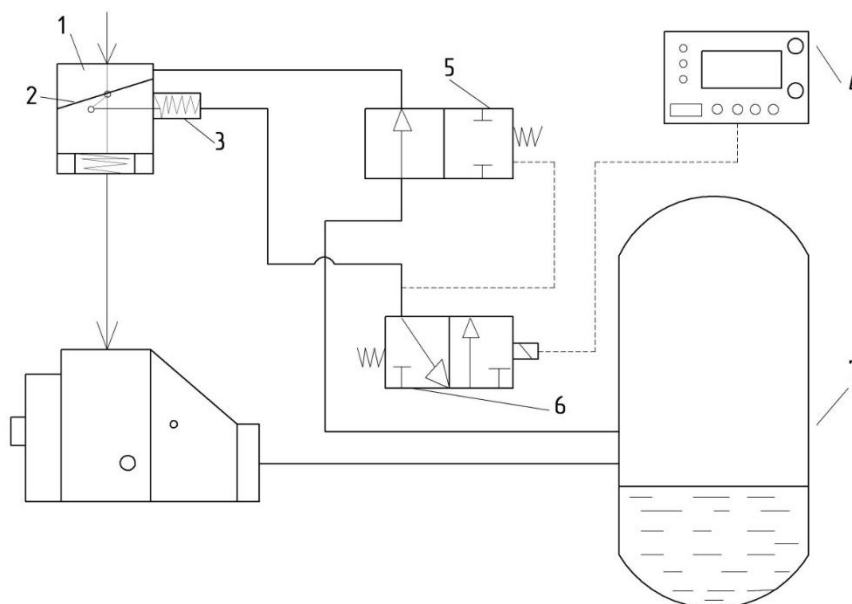


Рисунок 2 – Функциональная схема системы регулировки:

1 – всасывающий клапан; 2 – заслонка; 3 – пружина; 4 – контроллер v-Log;  
5 – разгрузочный клапан; 6 – электромагнитный клапан; 7 – бак-сепаратор

#### *Разгрузка:*

Когда расход воздуха потребителем меньше, чем производительность компрессора, давление в пневмосети достигает установленного максимума. Электромагнитный клапан 6 прекращает регулировку системы:

1. Управляющий воздух перестает подаваться на заслонку 2 всасывающего клапана 1. Она закрывается под действием пружины 3. Всасывание воздуха прекращается.

2. Разгрузочный клапан 5 открывается и сбрасывает внутреннее давление в атмосферу, разгружая систему и бак-сепаратор 7.

3. Давление в системе стабилизируется, потребление воздуха отсутствует, компрессор переходит в режим ожидания: двигатель не выключается, создавая в системе небольшое давление для обеспечения компрессору облегченного старта. Время режима ожидания до останова или включения компрессора может быть установлено на контроллере в зависимости от условий потребления.

#### *Нагрузка:*

С увеличением потребления воздуха, давление в пневмосети падает до минимального установленного предела, электромагнитный клапан 6 возобновляет регулировку. Управляющий воздух подаваться на пружину 3. Заслонка 2 открывается. Разгрузочный клапан 5 закрывается. Всасывание воздуха возобновляется. Компрессор переходит в режим 100% нагрузки [2, 8, 9].

**Заключение.** Из-за огромного спроса автоматизации производства, сегодня существует большой выбор различных по модификациям контроллеров, которые существенно отличаются по стоимости. Необходимо знать существенные функциональные характеристики контроллеров для конкретных технологических операций.

#### **Список источников**

1. [Электронный ресурс]. – URL: [https://compressorgroup.ru/catalog/vintovye\\_kompressory/tag/s\\_chastotnim\\_preobrazovatelem/](https://compressorgroup.ru/catalog/vintovye_kompressory/tag/s_chastotnim_preobrazovatelem/)
2. [Электронный ресурс]. – URL: <https://mans.io/files/viewer/1200089/73>
3. Технические средства управления: учебное пособие / А.В. Волгин, Л.А. Лягина, В.А. Каргин [и др.]. – Саратов: Амирит, 2022. – 122 с.
4. 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.
5. Лягина, Л.А. Программируемая система автоматического управления процессом переработки помета / Л.А. Лягина, А.Е. Устинин, И.Г. Христачева // 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.
6. Автоматизация систем управления технологическими процессами: учебное пособие / В.А. Каргин, А.П. Моисеев, А.В. Волгин [и др.]. – Саратов: Амирит, 2018. – 177 с.
7. Электрооборудование технологий производства и обработки сельскохозяйственной продукции: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, Л.А. Лягина [и др.]. – Саратов: Амирит, 2018. – 141 с.
8. Электротехнологическое оборудование в сельскохозяйственном производстве: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, В.А. Каргин [и др.]. – Саратов: Амирит, 2018. – 103 с.

9. Усанов, К.М. Проектирование электроустановок: учебное пособие / К.М. Усанов, В.А. Каргин, А.П. Моисеев [и др.]. – Саратов: Амирит, 2017. – 123 с.

© Лягина Л.А., Матвеев С.В., 2025

Научная статья

УДК 631.365.3/4:633.88

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СУШКИ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФРАКРАСНОЙ УСТАНОВКИ

Сергей Владимирович Матвеев<sup>1</sup>, Людмила Александровна Лягина<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[Sergey.infobis@gmail.com](mailto:Sergey.infobis@gmail.com), [https:// orcid.org/0009-0007-3707-8409](https://orcid.org/0009-0007-3707-8409)

<sup>2</sup>[lyagina@mail.ru](mailto:lyagina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9521-6266>

**Аннотация.** В статье приводится классификация сельскохозяйственных установок для сушки плодоовощной продукции. Очередной ступенью на пути развития энергоэффективности на предприятии стало программное автоматическое управление технологических процессов с применением программируемого реле с точным подбором временных циклов сушки.

**Ключевые слова:** сушка плодоовощной продукции, программируемое реле, автоматизированные системы управления технологическими процессами, конвективная и инфракрасная сушка.

**Для цитирования:** Матвеев, С.В. Повышение качества сушки плодоовощной продукции за счет использования инфракрасной установки / С.В. Матвеев, Л.А. Лягина // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## IMPROVING THE DRYING QUALITY OF FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS THROUGH THE USE OF AN INFRARED INSTALLATION

Sergey Vladimirovich Matveev<sup>1</sup>, Lyudmila Alexandrovna Lyagina<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[Sergey.infobis@gmail.com](mailto:Sergey.infobis@gmail.com), [https:// orcid.org/0009-0007-3707-8409](https://orcid.org/0009-0007-3707-8409)

<sup>2</sup>[lyagina@mail.ru](mailto:lyagina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9521-6266>

**Annotation.** The article provides a classification of agricultural installations for drying fruit and vegetable products. The next step towards the development of energy

efficiency at the enterprise was the software automatic control of technological processes using a programmable relay with precise timing of drying cycles.

**Keywords:** drying of fruit and vegetable products, programmable relay, automated process control systems, convective and infrared drying.

**For citation:** Matveev, S.V. Improving the drying quality of fruit and vegetable products through the use of an infrared installation / S.V. Matveev, L.A. Lyagina // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В ходе сушки плодовоовощной продукции из нее удаляется большая часть воды, в результате чего в продукте замедляются окислительные процессы, способствующие разложению вещества и увеличивается концентрация сухих веществ. Таким образом, высушиваемый материал становятся пригодными к длительному хранению [1, 2].

Как правило, ценность сушеных плодов в отдельных случаях ниже свежих. Это объясняется тем, что при обычной сушке изменяется химический состав некоторых веществ плодов, пропадает часть ароматических свойств, изменяется его окраска. Плоды подвергшиеся термической обработке обладают достаточно высокой энергетической ценностью, так как содержат до 35-55% сахара от изначальной массы, имеют значительные запасы органических кислот, пектиновых, азотистых и минеральных веществ, а также обладают хорошей сохраняемостью и легки при транспортабельности товара. Они требуют меньше площадей для хранения, могут быть использованы для обеспечения дальних районов страны, походов и экспедиций, к тому же активно использоваться как сырье для производства пищевых концентратов и в других отраслях пищевой промышленности (мясной, хлебопекарной, кондитерской). Недостатком при сушке продукта является снижение содержания витаминов, сахара и изменение органолептических свойств [2].

**Материалы и методы.** К настоящему времени существует большое количество различных технологий обезвоживания сырья: естественная сушка, конвекционная, сушка в псевдокипящем (псевдоожиженном) слое, сублимационная, микроволновая (СВЧ), комбинированная, инфракрасная сушка и т.д. Вследствие этого сельскохозяйственных установки классифицируют по многочисленному ряду признаков (рис. 1).

При сушке плодов и многих других влажных продуктов в системе главного классификационного признака выделяется – способ подвода тепла к влажному материалу. В текущей статье сушилки бывают: конвекционные, где высушиваемый материал омывается потоком предварительно нагретого сушильного агента, инфракрасные, где в процесс высушивания происходит поглощение инфракрасной лучевой энергии продуктом. Электрические источники инфракрасного излучения обладают высоким коэффициентом полезного действия, малой инерционностью, металлоемкостью и массой при значительных единичных мощностях, легко поддаются регулированию и управлению при помощи средств автоматизации [4, 6].

**Результаты исследования.** Цифровое управление инфракрасным нагревательным элементом обеспечит поддержание заданной температуры. Отображение параметров сушки, их контроль посредством внедрения автоматизированных систем и возможность анализа, позволит обнаруживать и создавать оптимальные методы сушки плодоовощного сырья для дальнейшего использования.



Рисунок 1 – Классификация сельскохозяйственных установок

Для осуществления режима автоматического управления временными циклами, операции инфракрасного нагрева и обдува подогретым воздухом используется программируемое реле с возможностью изменения и контроля температуры. Схема такого управления процессом для сушильной установки представлена на рис. 2.

Внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) – является одним из наиболее эффективных способов повышения производительности: снижения трудоемкости и технологических операций выпускаемой продукции, синхронизация с другими технологическими комплексами, повышения конкурентоспособности предприятия. При проектировании АСУ ТП первоначально необходимо определить перечень автоматизируемых функций и входных/выходных сигналов и данных.



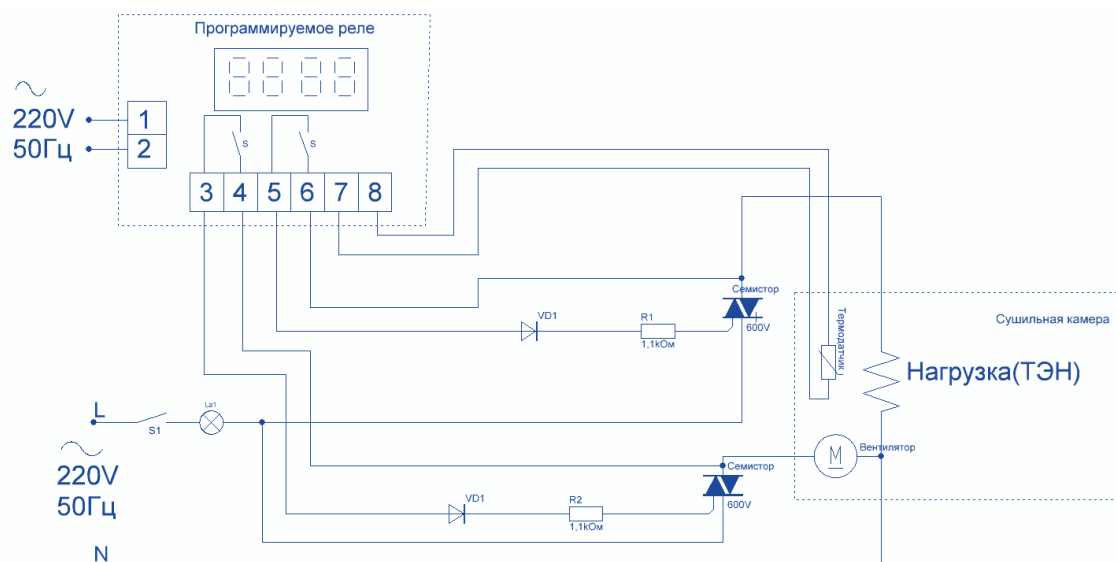


Рисунок 2 – Принципиальная схема управления инфракрасной установкой

Перечень автоматизированных функций определяется на основе технологической схемы и сформированного общего перечня функций, реализуемых технологическим оборудованием. Определение вида автоматизированной функции – это определение принципа, способа реализации частной задачи автоматизации. После определения перечня функции технологического процесса, которые необходимо автоматизировать, составляется перечень оборудования подлежащего автоматизации [1, 3-5].

**Заключение.** Достоинством программного автоматического управления технологическим процессом с применением программируемого реле является точный подбор временных циклов сушки, что в значительной степени ведет к снижению трудоемкости и повышению производительности сырья.

### Список источников

1. 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.
2. Повышение экологичности и эффективности сушки растительного сырья электронагревателем / Л.А. Лягина, А.В. Волгин, Е.А. Четвериков [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. – 2018. – № 38.
3. Лягина, Л.А. Совершенствование комбинированного способа сушки плодов и ягод / Л.А. Лягина, Д.П. Курников // Актуальные проблемы энергетики АПК : Материалы X национальной научно-практической конференции с международным участием. – Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2019.
4. Автоматизация систем управления технологическими процессами: учебное пособие / В.А. Каргин, А.П. Моисеев, А.В. Волгин [и др.]. – Саратов: Амирит, 2018. – 177 с.
5. Электрооборудование технологий производства и обработки сельскохозяйственной продукции: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, Л.А. Лягина [и др.]. – Саратов: Амирит, 2018. – 141 с.

6. Электротехнологическое оборудование в сельскохозяйственном производстве: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, В.А. Каргин [и др.]. – Саратов: Амирит, 2018. – 103 с.

© Матвеев С.В., Лягина Л.А., 2025

Научная статья  
УДК 629.423.31

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

**Игорь Александрович Меншиков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Российская открытая академия транспорта, Российского университета транспорта, г. Москва, Россия

**Аннотация.** Предложен алгоритм диагностирования межвитковой изоляции обмоток статора асинхронных тяговых электродвигателей типа ТМЕ 43-23-4 электропоезда «Москва» модели 81-765-766-767 с помощью имитационного моделирования состояния и определены контролируемые параметры на основе разработанной параметрической модели с учетом электромагнитных явлений.

**Ключевые слова:** электроподвижной состав, техническая диагностика, имитационное моделирование, асинхронные тяговые электродвигатели.

**Для цитирования:** Меншиков, И.А. Повышение эффективности диагностирования электромеханических транспортных систем / И.А. Меншиков // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

## IMPROVING DIAGNOSTIC EFFICIENCY ELECTROMECHANICAL TRANSPORT SYSTEMS

**Igor Aleksandrovich Menshchikov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Russian Open Academy of Transport, Russian University of Transport, Moscow, Russia

**Annotation.** An algorithm for diagnosing the inter-turn isolation of the stator windings of asynchronous traction motors of the TME 43-23-4 type of the Moscow electric train model 81-765-766-767 is proposed using simulation modeling of the state and controlled parameters are determined based on the developed parametric model taking into account electromagnetic phenomena.

**Keywords:** electric rolling stock, technical diagnostics, simulation modeling, asynchronous traction motors

**For citation:** Menshchikov, I.A. Improving the Efficiency of diagnosing Electromechanical Transport Systems / I.A. Menshchikov // Actual problems of energy

in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Для асинхронного тягового электродвигателя (АТЭД) типа ТМЕ 43-23-4 с электропоезда «Москва» модели 81-765-766-767 Московского метрополитена с повышенным отработанным ресурсом большое значение имеет автоматизированный контроль технического состояния изоляции обмоток АТЭД.

Структурным признаком наступления фазы критического износа и перехода асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4 в состояние скрытого отказа служит образование сквозных трещин в межвитковой изоляционной композиции, замедленная или ускоренная коммутация статора. На рис. 1 представлены основные узлы асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4.

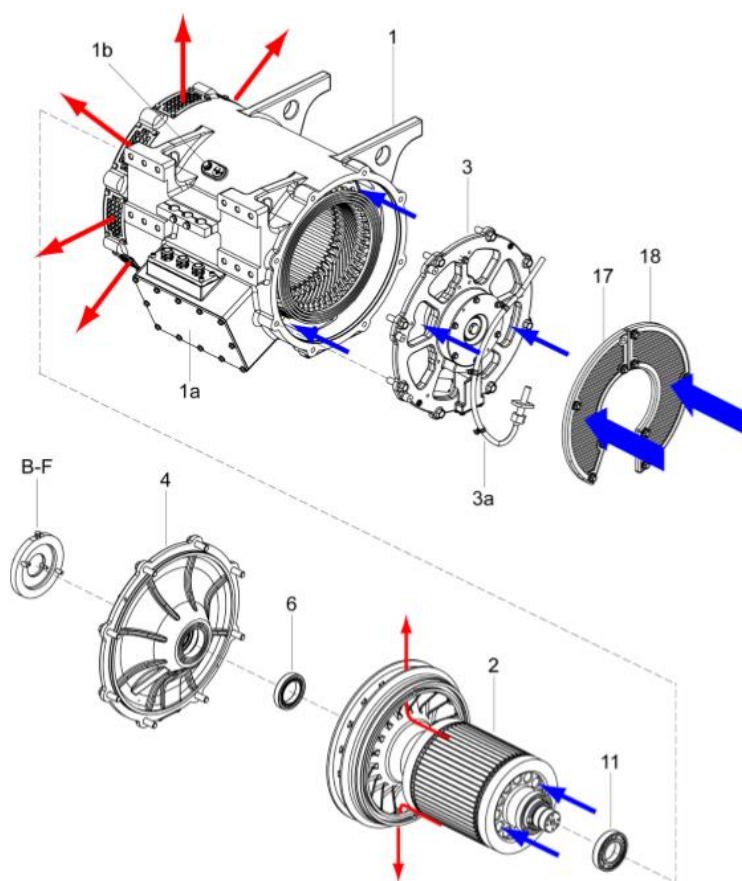


Рисунок 1 – Основные узлы асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4

Статор (1) состоит из корпуса, выполненного из высокопрочного чугуна. Обмотка статора представляет собой шаблонные катушки, которые обмотаны изолированной медной проволокой прямоугольного профиля, закрыты дополнительной изоляцией и уложены в изолированные пазы. Соединения катушек статора выполнены на неприводной стороне (НС). Обмотка статора изолирована по стандартам компании TSA (TSADUR®) и отвечает требованиям класса изоляции 220 согласно IEC 60349-2.

Дефекты несквозного характера (отслоения, экструзия) практически не снижают пробивного напряжения изоляции и не имеют тенденции к быстрому развитию асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4 с такими повреждениями может безаварийно работать длительное время, тогда как автоматизированный контроль и техническая диагностика с помощью контролируемых параметров: тока цепи статора ( $I_c$ ); угловой частоты вращения ротора асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4 ( $\omega_a$ ), чувствительных к любым неоднородностям изоляции, с помощью которых можно определить состояние обмотки статора [1, 2, 3].

Установлено, что при ухудшении свойств изоляция обмоток статора тяговых асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4 необходимо анализировать электромагнитные явления и учитывать активное сопротивление цепей и индуктивность. При автоматизированном контроле активного сопротивления статорных обмоток необходимо учитывать увеличения эквивалентного сопротивления за счет электромагнитных явлений.

**Материалы и методы.** Для автоматизации контроля изоляции асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4 разработана система тестовой диагностики, показанная на рис. 2.

Данная система представляет собой стохастическую динамическую систему, в которой объект асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4 преобразует входные зондирующие сигналы  $G(t)$  в наблюдаемые  $x(t)$  при помощи системного оператора  $A$  ( $I_c$ ,  $U_a$ ,  $M_c$ ).

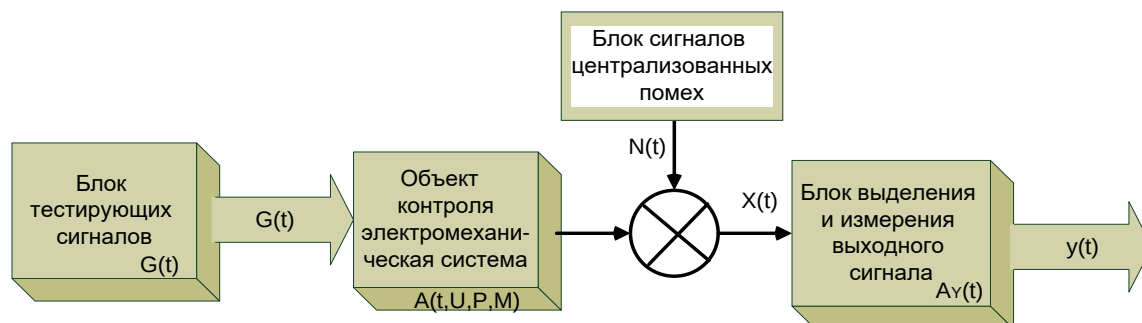


Рисунок 2 – Блок-схема тестовой диагностики асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4

В качестве тест – сигнала используется особым образом подаваемое на обмотки асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4 сетевое напряжение, переменный статический механический момент нагрузки на валу якоря и ток в обмотке возбуждения. В качестве отклика  $y(t)$  – высокочастотные колебания амплитуды тока в цепи обмотки статора [4, 5].

Общий закон преобразования системы автоматизированного контроля

$$x(t) = A(U, M, I) \cdot G(t) + N(t) \quad (1)$$

Оператор  $A(U, M, I)$  является функцией случайных параметров: напряжения сети  $U$ ; статический механический момент нагрузки  $M$ ; ток в обмотке статора, отражающих структурные изменения в контролируемом объекте ЭМ – сквозные дефекты изоляции обмоток, короткие замыкания на корпус (землю), замедленная или ускоренная коммутация цепи якоря и т.д.

После преобразования в наблюдаемом сигнале  $x(t)$  в смеси с помехами канала измерения  $N_j$  присутствует полезный информационный контролируемый сигнал  $y(t)$ . Для выделения, которого и принятия решения служит оператор  $A_X(t)$ .

С информационной точки зрения для автоматизации контроля выходного параметра  $y(t)$  необходимо выделить полезный сигнал  $A_Y(t)$  из серии сигналов при наличии помехи измерительному каналу  $N(t)$  и при наличии только полезного информационного сигнала  $y(t)$ .

Наблюдаемый сигнал на входе блока выделения и измерения при центрировании

$$x^0(t) = v^0 + N^0(t), \quad (2)$$

где  $v^0$  – центрированный контролируемый сигнал – ток в цепи якоря ТЭД ( $I_p$ ),  $N^0(t)$  – центрированный сигнал помехи.

С целью детального изучения влияния внешних возмущений на работоспособность асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4 предложена методика имитационного моделирования на основе применения современных компьютерных технологий реализуемых в среде MATLAB&SIMULINK. Математическая модель асинхронного тягового электродвигателя ТМЕ 43-23-4 в неподвижной системе координат представляет собой пространственные вектора, разложенные по действительной оси  $\alpha$ , и мнимой оси  $\beta$  [5, 6].

$$\bar{u}_s = u_{s\alpha} + ju_{s\beta}; \bar{i}_s = i_{s\alpha} + ji_{s\beta}; \bar{\psi}_R = \psi_{R\alpha} + j\psi_{R\beta}.$$

Запишем эти значения в общее известное уравнение асинхронного тягового электродвигателя с короткозамкнутым ротором и, получим систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{s\alpha} = ri_{s\alpha} + L'_s \frac{di_{s\alpha}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\alpha} - k_R p \omega_m \psi_{R\beta}, \\ u_{s\beta} = ri_{s\beta} + L'_s \frac{di_{s\beta}}{dt} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\beta} + k_R p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\ 0 = -k_R R_R i_{s\alpha} + \frac{1}{T_R} \psi_{R\alpha} + \frac{d\psi_{R\alpha}}{dt} + p \omega_m \psi_{R\beta}, \\ 0 = -k_R R_R i_{s\beta} + \frac{1}{T_R} \psi_{R\beta} + \frac{d\psi_{R\beta}}{dt} - p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\ M = \frac{3}{2} p k_R (\psi_{R\alpha} i_{s\beta} - \psi_{R\beta} i_{s\alpha}), \\ J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_H. \end{array} \right. \quad (3)$$

Система уравнений асинхронного тягового электродвигателя с короткозамкнутым ротором ТМЕ43-24-4 в операторной форме примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{S\alpha} = r(1 + T'_S S) i_{S\alpha} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\alpha} - k_R p \omega_m \psi_{R\beta}, \\ u_{S\beta} = r(1 + T'_S S) i_{S\beta} - \frac{k_R}{T_R} \psi_{R\beta} + k_R p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\ 0 = -k_R R_R i_{S\alpha} + \frac{1}{T_R} (1 + T'_R S) \psi_{R\alpha} + p \omega_m \psi_{R\beta}, \\ 0 = -k_R R_R i_{S\beta} + \frac{1}{T_R} (1 + T'_R S) \psi_{R\beta} - p \omega_m \psi_{R\alpha}, \\ M = \frac{3}{2} p k_R (\psi_{R\alpha} i_{S\beta} - \psi_{R\beta} i_{S\alpha}), \\ JS \omega_m = M - M_H. \end{array} \right. \quad (4)$$

где  $r = (R_s + k_R^2 R_R)$  – приведенное значение активного сопротивления обмотки статора к активному сопротивлению ротора;  $L'_S = \left( L_s - \frac{L_m^2}{L_R} \right)$  – приведенное значение индуктивности обмотки статора к индуктивности обмотке ротора;  $k_R = \frac{L_m}{L_R}$  – коэффициент магнитных связей в обмотке ротора;  $T_R = \frac{L_R}{R_R}$  – постоянная времени обмотки ротора;  $u_{S\alpha}$  и  $u_{S\beta}$  (В) – напряжение питания обмотки статора по действительной оси  $\alpha$  и по мнимой оси  $\beta$ ;  $i_{S\alpha}$  и  $i_{S\beta}$  (А) токи в обмотке статора по действительной оси  $\alpha$  и по мнимой оси  $\beta$ ;  $R_R$  (Ом) – активное сопротивление обмотки ротора;  $\psi_{R\alpha}$  и  $\psi_{R\beta}$  (Вб) – потокосцепление обмотки ротора по действительной оси  $\alpha$  и по мнимой оси  $\beta$ ;  $L'_S$  (Гн) – приведенная индуктивность обмотки статора;  $\omega_m$  (рад/с) – угловая частота вращения ротора;  $p$  – число пар полюсов тягового электродвигателя;  $M$  (Нм) – электромагнитный момент асинхронного тягового электродвигателя;  $M_H$  (Нм) – вращающий момент на валу ротора асинхронного тягового электродвигателя;  $J$  (кг·м²) – момент инерции на валу асинхронного тягового электродвигателя;  $S$  – скольжение ротора асинхронного тягового электродвигателя;  $T'_S = \frac{L'_S}{r}$  (с) – приведенная постоянная времени обмотки статора.

На основании системы уравнений (2) математической модели асинхронного тягового электродвигателя, предложена структурная модель асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ43-24-4 в программе MATLAB/Simulink [5, 6].

На рис. 3 представлена имитационная модель асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ43-24-4.

Исходными данными, для разработки структурной модели асинхронного электродвигателя являлись паспортные данные асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ43-24-4 и значения рассчитанных коэффициентов математического моделирования в неподвижной системе координат в операторной форме [3, 5].

Для моделирования диагностического процесса асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4 задавались параметры расчета в соответствии с табл. 1 и табл. 2.

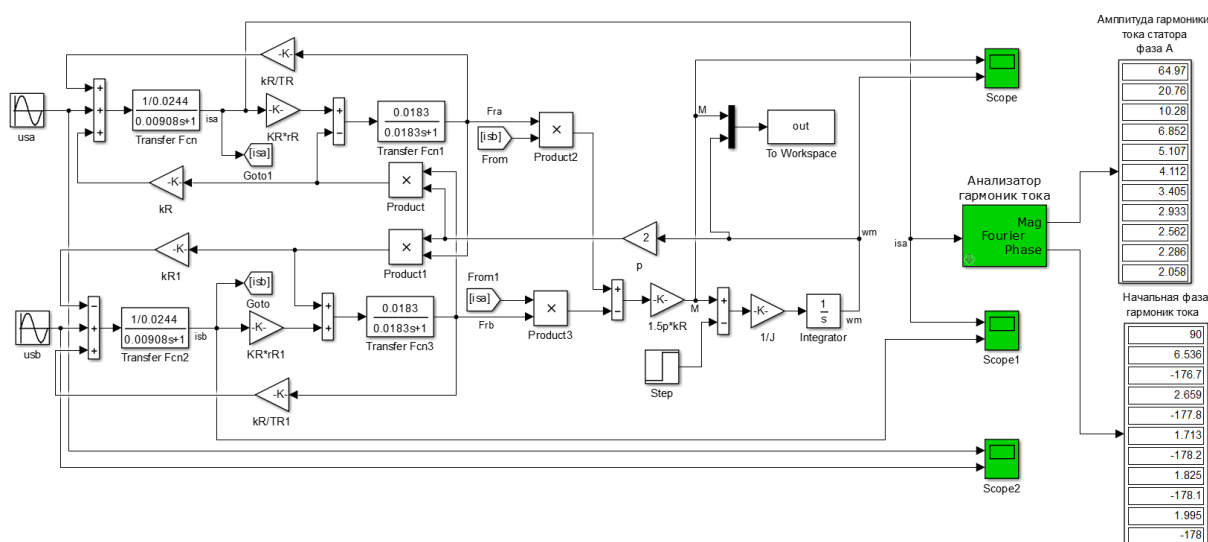


Рисунок 3 – Имитационная модель асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4

Для оперативного выявления межвиткового замыкания в обмотках статора асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4, авторами предлагается использовать методику спектрального анализа тока, позволяющую из логарифмической спектрограммы тока вычислить значения мощности логарифмических спектральных компонентов тока на различных частотных гармониках, разложенных в ряд Фурье, что увеличивает достоверность и селективность диагностирования опасных отказов.

Это обусловлено тем, что каждому виду повреждения соответствует своя характерная гармоника частоты тока статора и логарифмическая мощность компоненты тока.

**Результаты исследования.** В структурной модели асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4 задавались следующие параметры в соответствии паспортными данными на асинхронный тяговый электродвигатель типа ТМЕ 43-24-4: номинальная часовая мощность  $P = 170$  кВт.; номинальное напряжение в цепи обмотки статора  $U_{ном.} = 530$  В; активное сопротивление обмотки статора  $r_s = 0,01253$  Ом; индуктивность обмотки статора  $l_s = 0,000226$  Гн; активное сопротивление обмотки ротора  $r_r = 0,01231$  Ом; индуктивность обмотки ротора  $l_r = 0,000226$  Гн; индуктивность цепи намагничивания  $l_m = 0,0002225$  Гн; номинальный момент вращения  $M_n = 11,141$  кНм; номинальная частота вращения ротора  $n = 1744$  об/мин; номинальная частота тока статора  $f_n = 59$  Гц; КПД – 0,93 [1, 2, 3].



Коэффициенты структурной модели работоспособного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ43-24-4 представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Коэффициенты структурной модели асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ43-24-4

| Коэффициенты      | $r$    | $T'_s$  | $T_R$  | $k_R$  | $L'_s$    |
|-------------------|--------|---------|--------|--------|-----------|
| Единицы измерения | Ом     | С       | С      | -      | Гн        |
| Значение          | 0,0244 | 0,00908 | 0,0183 | 0,9845 | 0,0002197 |

Амплитуды гармоник тока обмотки статора и начальная фаза тока исправного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4 представлены в табл. 2.

Так как осциллограмма кривой тока симметрична относительно оси абсцисс, то при разложении такой кривой в ряд Фурье будет отсутствовать постоянная составляющая и четные гармоники тока которые равны нулю. Поэтому при разложении кривой тока в обмотки статора в ряда Фурье будут присутствовать только нечетные гармоники. Осциллограмма тока обмотки статора исправного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4 показана на рис. 4.

Таблица 2 – Амплитуды гармоник тока исправного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ43-24-4

| Номер гармоники  | 1     | 3     | 5     | 7     | 9     | 11    | 13    | 15    | 17    | 19    |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Амплитуда Тока А | 64,97 | 20,76 | 9,48  | 4,33  | 2,22  | 0,52  | 0,38  | 0,32  | 0,25  | 0,19  |
| Начальная фаза   | 90    | 6,536 | 176,7 | 2,654 | 177,8 | 1,713 | 178,2 | 1,825 | 178,1 | 1,995 |

Кривую тока статора исправного асинхронного тягового электродвигателя ТМЕ 43-24-4, представленную на рис. 4, можно записать рядом Фурье:

$$I(t) = 64,97 \sin(\omega t + \psi_1) + 20,76 \sin(3\omega t + \psi_3) + 9,48 \sin(5\omega t + \psi_5),$$

где  $\omega = 408,4$  рад/с – угловая частота тока якоря первой гармоники;  
 $3\omega = 1225,2$  рад/с – угловая частота тока якоря третьей гармоники;  
 $5\omega = 2042$  рад/с – угловая частота тока якоря пятой гармоники.

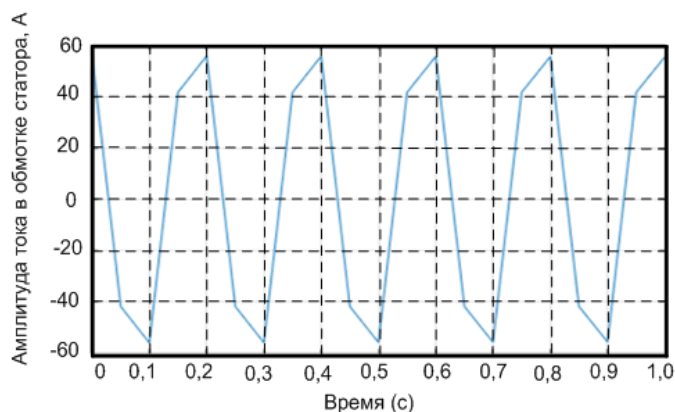


Рисунок 4 – Осциллограмма тока в обмотке статора исправного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4

На рис. 5 представлен график мощности логарифмического псевдоспектра тока статора исправного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4.

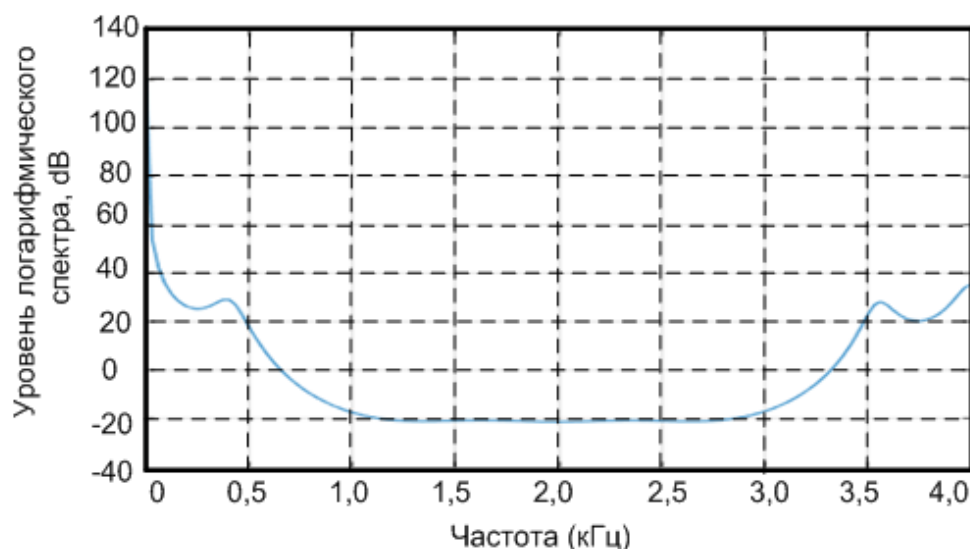


Рисунок 5 – График псевдоспектра мощности логарифмического спектрального компонента тока статора исправного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4

Анализируя логарифмическую спектрограмму тока статора исправного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4, установлено, что она имеет равномерную мощность по всей площади спектра. В логарифмическом псевдоспектре тока статора исправного асинхронного тягового электродвигателя, можно выделить частотные составляющие, которые рассчитываются в пакете программы MATLAB (pmusic и rootmusic), которые можно записать в виде комплексных векторов частот:

$$W(f) = \begin{bmatrix} 0,35 & 3,5 & 0 \\ 0,42 & 3,65 & 0 \\ 2,0 & 3,82 & 0 \end{bmatrix}$$

На основании расчета, можно сделать вывод, что максимальный уровень логарифмического псевдоспектра тока статора 30db соответствует частоте гармоники тока статора – 0,35 кГц. На частоте гармоники тока 0,42 кГц уровень логарифмического спектра соответствует 20db, на частоте гармоники тока 3,5 кГц – 25db, на частоте гармоники тока 3,65 кГц – 20db, на частоте гармоники тока 3,82 кГц, уровень логарифмического спектра соответствует – 30db.

Для исследования аварийного режима работы тягового асинхронного электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4 с межвитковым замыканием обмотки статора, в структурной модели задавались следующие параметры: номинальное линейное напряжение в цепи обмотки статора  $U_{ном} = 535$  В; для моделирования межвиткового замыкания в обмотках статора, активное сопротивление уменьшалось до значения  $r_s = 0,00125$  Ом; индуктивность обмотки статора  $l_s = 0,000226$  Гн; сопротивление обмотки ротора  $r_r = 0,01231$  Ом; индуктивность обмотки ротора  $l_r = 0,000226$  Гн; номинальный момент вращения ротора  $M_n$  устанавливался в пределах 11,14 кНм; частота переменного тока  $f = 59$  Гц. На рис. 6 показана осциллограмма тока в обмотке статора аварийного тягового

электродвигателя ТМЕ 43-24-4 с межвитковым замыканием. В табл. 3 представлены коэффициенты структурной модели аварийного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4.

Таблица 3 – Коэффициенты структурной модели аварийного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4

| Коэффициенты      | $r$    | $T'_s$ | $T_R$  | $k_R$ | $L'_s$    |
|-------------------|--------|--------|--------|-------|-----------|
| Единицы измерения | Ом     | С      | С      | -     | Гн        |
| Значение          | 0,0236 | 0,0183 | 0,0183 | 0,995 | 0,0002197 |

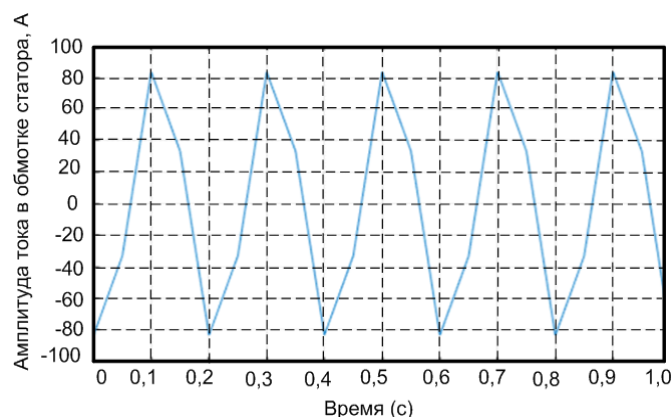


Рисунок 6 – Осциллограмма тока в обмотке статора аварийного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4

Амплитуды гармоник тока обмотки статора и начальная фаза тока аварийного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4 представлены в табл. 4.

Кривые тока статора аварийного асинхронного тягового электродвигателя, можно записать рядом Фурье:

$$I(t) = 79,81\sin(\omega t + \psi_1) + 16,56\sin(3\omega t + \psi_3) + 8,114\sin(5\omega t + \psi_5),$$

где  $\omega = 408,4$  рад/с – угловая частота тока якоря первой гармоники;  $3\omega = 1225,2$  рад/с – угловая частота тока якоря третьей гармоники;  $5\omega = 2042$  рад/с – угловая частота тока якоря пятой гармоники.

Таблица 4 – Амплитуды гармоник тока обмотки статора и начальная фаза тока аварийного режима функционирования асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4

| Номер гармоники      | 1     | 3     | 5     | 7     | 9     | 11    | 13    | 15    | 17     | 9    |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|
| Амплитуда тока, А    | 79,81 | 16,56 | 8,114 | 5,389 | 4,053 | 3,241 | 2,695 | 2,295 | 2,028  | 1,8  |
| Начальная фаза (рад) | -90   | -7,57 | 176,4 | -2,17 | 178,5 | -0,88 | 179,9 | 0,04  | -179,2 | 0,43 |

На рис. 7 представлен график мощности логарифмического псевдоспектра тока статора аварийного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4.

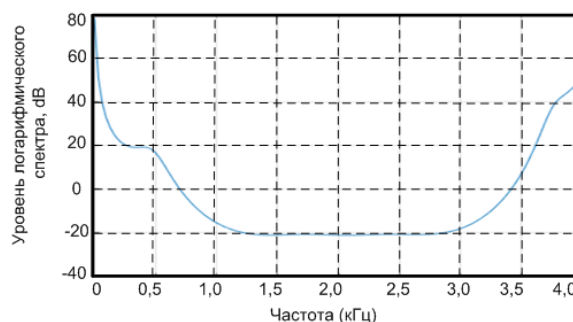


Рисунок 7 – График мощности логарифмического псевдоспектра тока статора аварийного асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4

Аварийный асинхронный тяговый электродвигатель типа ТМЕ 43-24-4 с межвитковым замыканием в обмотке статора, имеет колебания магнитного потока в воздушном зазоре и большой размах амплитуд мгновенных значений тока первой гармоники.

Анализируя логарифмическую спектрограмму тока статора аварийного тягового асинхронного электродвигателя типа ТМЕ 43-24-4, установлено, что логарифмическая спектрограмма тока имеет неравномерную мощность по всей площади спектра.

В логарифмическом псевдоспектре тока статора аварийного асинхронного тягового электродвигателя, можно выделить частотные составляющие, которые рассчитываются в пакете программы MATLAB (pmusic и rootmusic), и могут быть записаны в виде комплексных векторов частот:

$$W(f) = \begin{vmatrix} 0,47 & 0,4 & 0 \\ 0,32 & 3,76 & 0 \\ 4,0 & 4,3 & 0 \end{vmatrix}.$$

На основании расчета, можно сделать вывод, что максимальный уровень логарифмического псевдоспектра тока статора 20 db, соответствует частоте гармоники тока статора 0,32 кГц. На частоте гармоники тока статора 0,47 кГц, уровень логарифмического спектра соответствует 20 db, на частоте гармоники тока 3,76 кГц – 40 db, на частоте гармоники тока 4,0 кГц, уровень логарифмического спектра соответствует 46 db.

В расчетах используются АТЭД типа ТМЕ 43-24-4 мощностью 170 кВт с суммарной наработкой за 2020 г. более 27 000 ч, исходя из одного исправного АТЭД на электропоезде «Москва».

**Заключение.** Для автоматизации системы контроля асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4 определены контролируемые параметры на основе разработанной параметрической модели с учетом электромагнитных явлений и помех.

Определение информативности и различительной способности параметров позволило оценить эффективность их применения в задаче повышения эффективности диагностирования асинхронного тягового электродвигателя типа ТМЕ 43-23-4, учитывая при этом требования доступности измерению, достоверности результатов измерения, информативности и различительной способности.

### Список источников

1. Инструкция ЦТ-ЦТВР – 4782 Правила ремонта электрических машин электроподвижного состава. В ред. Указаний МПС России от 17.12.1996 г. № Н-1110у и от 15.12.1997 г. № К-1426у. – ISBN 5-277-01515-9. – Текст: непосредственный.
2. Волков, А.К. Повышение эксплуатационной надежности тяговых двигателей / А.К. Волков, А.Г. Суворов. – Москва: Транспорт, 1988. – 128 с. – ISBN 5-227-00192-1. – Текст: непосредственный.
3. Менщиков, И.А. Рекуррентное оценивание диагностических параметров тяговых электрических машин пассажирского электровоза серии ЭП1 с повышенным отработанным ресурсом / И.А. Менщиков, С.И. Баташов. – Текст: непосредственный // Вопросы электротехнологии. – 2017. – № 4 (17). – С. 28-32.
4. Сабинин, Ю.А. Электромашинные устройства автоматики / Ю.А. Сабинин. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 407 с. – ISBN 5-283-04380-0. – Текст: непосредственный.
5. Менщиков, И.А. Устройство контроля качества коммутации и технического состояния изоляции обмоток электрических машин / И.А. Менщиков. – Текст: непосредственный // Научное обозрение. – 2015. – № 3. – С. 76-81.
6. Менщиков, И.А. Исследование изоляции электрических машин с помощью электронного моделирования: тезис доклада / И.А. Менщиков. – Текст: непосредственный // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы 3-й Международной научно-практической конференции / Под ред. А.В. Павлова. – Саратов: Издательство «КУБиК», 2012. – 320 с.

© Менщиков И.А., 2025

Научная статья  
УДК 629.488.27

### РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ПРАКТИЧЕСКОГО СТЕНДА «РОБОТИЗИРОВАННЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКЕР»

Денис Николаевич Михайлов<sup>1</sup>, Антон Павлович Ищенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Финансово-технологический колледж ФГБОУ ВО Вавиловский университет, г. Саратов, Россия

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

<sup>1</sup>[rinndenis555@gmail.com](mailto:rinndenis555@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0006-8941-290X>

<sup>2</sup>[Familienname@yandex.ru](mailto:Familienname@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3188-8199>

**Аннотация.** Статья посвящена разработке учебно-практического стенда для использования его в учебном процессе и мастер классах. Главная цель разработки данного стенда заключается в формировании профессиональных компетенции у студентов в области роботизации, начальном программировании

и чтении электрических схем. В работе детально описывается структура и компоненты учебно-практического стенда. Данный стенд поможет развивать теоретические знания в инженерном деле. В статье также предоставлена структурная схема подключения всех компонентов учебного стенда.

**Ключевые слова:** солнечный трекер, солнечная панель, роботизация, учебный стенд, Arduino, практические навыки.

**Для цитирования:** Михайлов, Д.Н. Разработка учебно-практического стенда «Роботизированный солнечный трекер» / Д.Н. Михайлов, А.П. Ищенко // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **DEVELOPMENT OF A TRAINING AND PRACTICAL STAND «ROBOTIC SOLAR TRACKER»**

**Denis Nikolaevich Mikhailov<sup>1</sup>, Anton Pavlovich Ishchenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>College of Finance and Technology Saratov State Agrarian University N.I. Vavilova, Saratov, Russia

<sup>2</sup>Saratov State Agrarian University N.I. Vavilova, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[rinddenis555@gmail.com](mailto:rinddenis555@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0006-8941-290X>

<sup>2</sup>[Familienname@yandex.ru](mailto:Familienname@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3188-8199>

**Annotation.** The article is devoted to the development of a training and practical stand for use in the educational process and master classes. The main goal of developing this stand is to form professional competencies in students in the field of robotics, basic programming and reading electrical circuits. The work describes in detail the structure and components of the training and practical stand. This stand will help develop theoretical knowledge in engineering. The article also provides a structural diagram of the connection of all components of the training stand.

**Keywords:** solar tracker, solar panel, robotics, educational stand, Arduino, practical skills.

**For citation:** Mikhailov, D.N. Development of a training and practical stand «Robotic solar tracker» / D.N. Mikhailov, A.P. Ishchenko // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В современном мире где идет быстрая смена технологий и устройств важно не отставать от промышленности при обучении в ВУЗах и СПО. На этом фоне мы задались двумя параметрами для нашего стенда – модульность и возможность его программировать. Эти основные параметры помогут нам



гибко подходить в практическом обучении студентов разных специальностей и быстро реагировать на нужды производства в специалистах.

Исходя из выше перечисленных условий, мы решили создать роботизированный солнечный трекер на базе микроконтроллера Arduino. Данный трекер позволит расширить практические навыки студентов и способствует формированию инженерного мышления, которое даст толчок к построению более сложных инженерных систем [1, 2, 3, 6].

**Материалы и методы.** В ходе исследования применялись общие методы научного познания, такие как анализ существующих решений и подходов, а также систематизация полученной информации для определения наиболее эффективных и актуальных решений по поставленной проблеме.

**Результаты исследования.** Разработка учебно-практического стенда «Роботизированный солнечный трекер» (РСТ) началась с анализа существующих аналогов и технологий в области солнечных трекеров. На первом этапе был проведён подбор необходимых материалов и компонентов, а также разработана концептуальная схема устройства.

Также учебно-практический стенд должен иметь горизонтальную и вертикальную ось вращения, как показано на рис. 1.

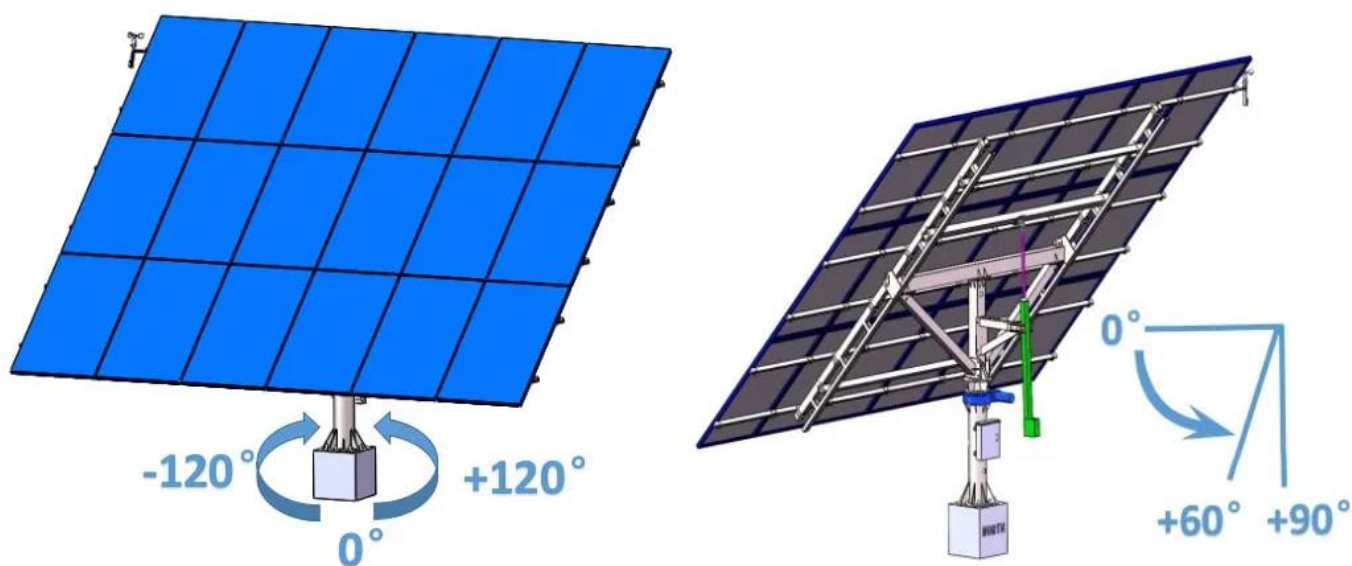


Рисунок 1 – Работа солнечного трекера с движением по оси X и Y

Затем были выполнены проектирование и моделирование системы с использованием специализированного программного обеспечения CorelDraw и Компас 3D, что позволило оптимизировать конструкцию и обеспечить её функциональность (рис. 2).

В дальнейшем осуществлялось изготовление прототипа и его тестирование для выявления и устранения возможных недочётов, что обеспечило создание эффективного учебного инструмента для изучения принципов работы солнечных трекеров.

Первый изготовленный прототип имел много недочетов и не отвечал поставленной задаче при проектировании. Поэтому мы продолжили проектирование и уже изготовили версию № 2 и № 3, представленные на рис. 3.



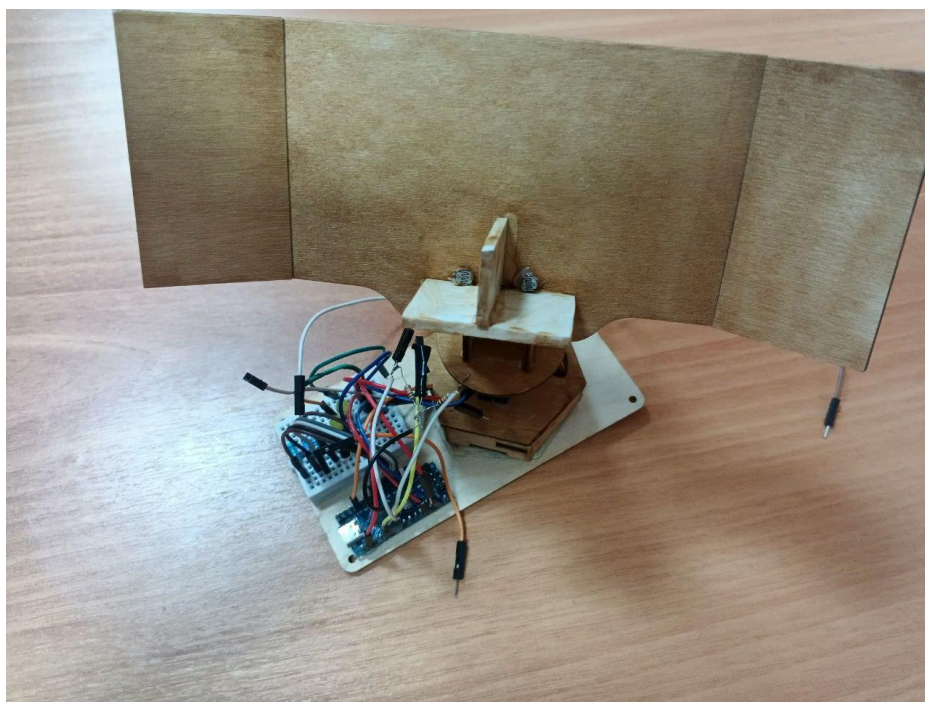
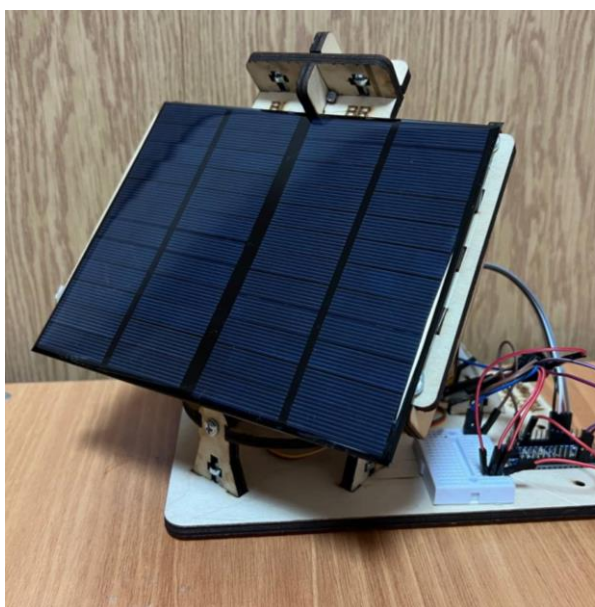


Рисунок 2 – Прототип №1 РСТ



РСТ №2



РСТ №2

Рисунок 3 – Прототип №2 и №3 РСТ

Основываясь на принципе работы таких устройств выполнили разработку макета солнечного трекера с микроконтроллером Arduino [4, 6]. Который включает в себя следующие электронные компоненты: сервоприводы, резисторы 10 кОм, фоторезисторы, провода и макетная плата.

Разрабатываемый трекер представляет собой активный трекер, управляемый программой. Используем датчики – фоторезисторы, которые постоянно ищут самый яркий свет. Фоторезисторы работают, изменяя уровень сопротивления в зависимости от того, сколько света обнаруживают резисторы. Чем больше света, тем больше сопротивление.

Разрабатываемая система работает путем сравнения сопротивления четырех датчиков и перемещения сервоприводов. Чувствительность датчиков зависит от написанного кода. Код предписывает, что сервоприводы могут двигаться только в заранее определенной области (чтобы не повредить солнечную панель) и с заранее определенной скоростью.

На данном этапе мы при помощи программы Fritzing разработали структурную схему трекера со всеми элементами, подключенными к Arduino NANO (рис. 4).

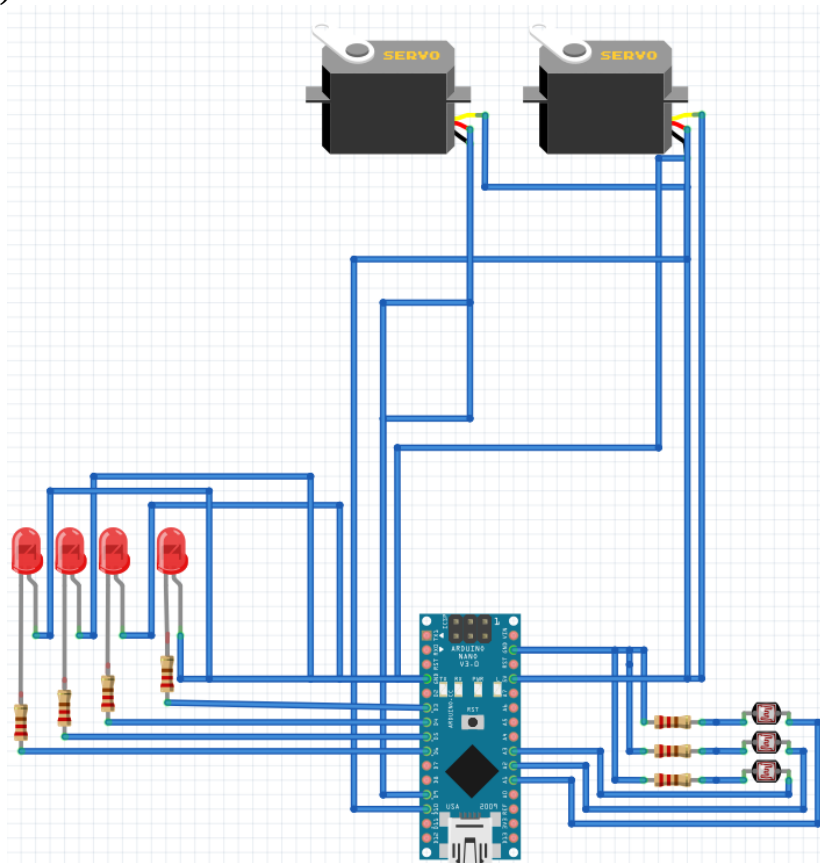


Рисунок 4 – Структурная схема роботизированного солнечного трекера

**Заключение.** Внедрение учебно-практических стендов способствует углублённому изучению конструктивных особенностей, функционирования и программирования роботизированных и автоматизированных систем. Кроме того, использование данных стендов способствует развитию практических навыков, критического мышления, а также повышает мотивацию студентов к изучению современных технологий и инженерных дисциплин.

### Список источников

1. Разработка лабораторного стенда воздушно-аккумуляторной электростанции / А.В. Федюхин, С.А. Дронов, Д.В. Семин [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2022. – № 5.
2. Лабораторный стенд для изучения систем автоматизации узлов коммерческого учета газообразных энергоносителей / Р.К. Нургалиев, В.В. Кузьмин, Ю.А. Куликов [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 1.

3. Солнечный трекер с системой самораскрытия / Г.Н. Рязкин, Е.В. Соломин, К. Мадемлис [и др.] // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2021. – № 1.

4. Эсетов, Ф.Э. Разработка интерактивных устройств на аппаратно-программной платформе Arduino : учебно-методическое пособие / Ф.Э. Эсетов, Н.А. Кулибеков. – Махачкала : ДГПУ, 2023. – 96 с.

5. Проектирование цифровых устройств : учебное пособие / Е.Ф. Певцов, М.И. Малето, П.А. Горбоконенко [и др.]. – Москва : РТУ МИРЭА, 2024. – 237 с.

6. Спирин, Ю.Л. Универсальный лабораторный комплекс «формирование практических навыков разработки и применения нано-, микро- и оптоэлектронных технологий (УЛК НМО) на платформе «Arduino» / Ю.Л. Спирин // Проблемы современной науки и образования. – 2015. – № 12. – С. 184-187.

© Михайлов Д.Н., Ищенко А.П., 2025

Научная статья

УДК 621.313

## **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ**

**Алексей Петрович Моисеев<sup>1</sup>, Михаил Иванович Дергунов<sup>2</sup>, Александр Александрович Кузьяев<sup>3</sup>, Владимир Иванович Рыцарев<sup>4</sup>, Рамиль Ильдарович Салямов<sup>5</sup>,**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[moiseevap-distant20-21@mail.ru](mailto:moiseevap-distant20-21@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5071-5766>

**Аннотация.** В статье приведена разработка функциональной и структурной схемы, которые позволят наглядно оценить работу МК.

**Ключевые слова:** робототехника, гибридные роботы, условия работы, мобильный робот, система управления.

**Для цитирования:** Моисеев, А.П. Функциональная и структурная схема управления промышленными мобильными роботами / А.П. Моисеев, М.И. Дергунов, А.А. Кузьяев, В.И. Рыцарев, Р.И. Салямов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П.Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **FUNCTIONAL AND STRUCTURAL CONTROL SCHEME OF INDUSTRIAL MOBILE ROBOTS**

**Aleksey Petrovich Moiseev<sup>1</sup>, Mikhail Ivanovich Dergunov<sup>2</sup>, Alexander Alexandrovich Kuzyaev<sup>3</sup>, Vladimir Ivanovich Richarev<sup>4</sup>, Ramil Ildarovich Salyamov<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Saratov State Agrarian University N.I. Vavilova, Saratov, Russia

**Annotation.** The article presents the development of a functional and structural scheme that will allow you to visually evaluate the work of the MC.

**Keywords:** robotics, hybrid robots, working conditions, mobile robot, control system.

**For citation:** Moiseev, A.P. Functional and structural control scheme of industrial mobile robots / A.P. Moiseev, M.I. Dergunov, A.A. Kuzyaev, V.I. Richarev, R.I. Salyamov// Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Научно-технический прогресс обусловил широкое внедрение робототехники в промышленность и научные исследования. Роботы, как универсальные автоматизированные системы, имитируют двигательные и когнитивные функции человека. Особое место среди них занимает манипуляционная робототехника [1, 2]. Для того чтобы приступить к разработке функциональной схемы мобильного комплекса (МК) необходимо произвести выбор оборудования.

**Материалы и методы.** Выбор типа мобильного робота диктуется условиями эксплуатации. Колёсные роботы универсальны и подходят для большинства поверхностей, в то время как шагающие демонстрируют лучшие показатели на пересечённой местности. Гибридные модели сочетают преимущества обоих типов. Специализированные роботы разработаны для работы в специфических условиях: на рельсах, вертикальных поверхностях или крайне неровном рельефе. Актуальность исследований в этой области не вызывает сомнений, а разработка функциональной и структурной схемы позволит наглядно оценить работу МК.

**Результаты исследования.** Функциональная схема представляет собой наглядный вид функционирования мобильного комплекса (рис. 1). Функциональная схема состоит из силовых плат управления двигателями, платы управления питанием, а также Bluetooth модуля и энкодера.

Питание 24В с АКБ поступает на плату управления питанием, а также на силовые платы управления двигателями, проходя через реле Titan SW-5. Данные реле используются для того, чтобы предотвратить короткое замыкание на силовых патях управления двигателями. Плата распределения питания преобразует напряжение и распределяет его между потребителями. H-мост используется для управления двигателями с помощью микроконтроллера МК.

Структурная схема представляет собой графическую модель функционирования системы управления МК (рис. 2). Роль схемы управления состоит в поддержании связи с верхним уровнем управления, сбору информации с подключенных к нему устройств (датчики, драйвера двигателей).



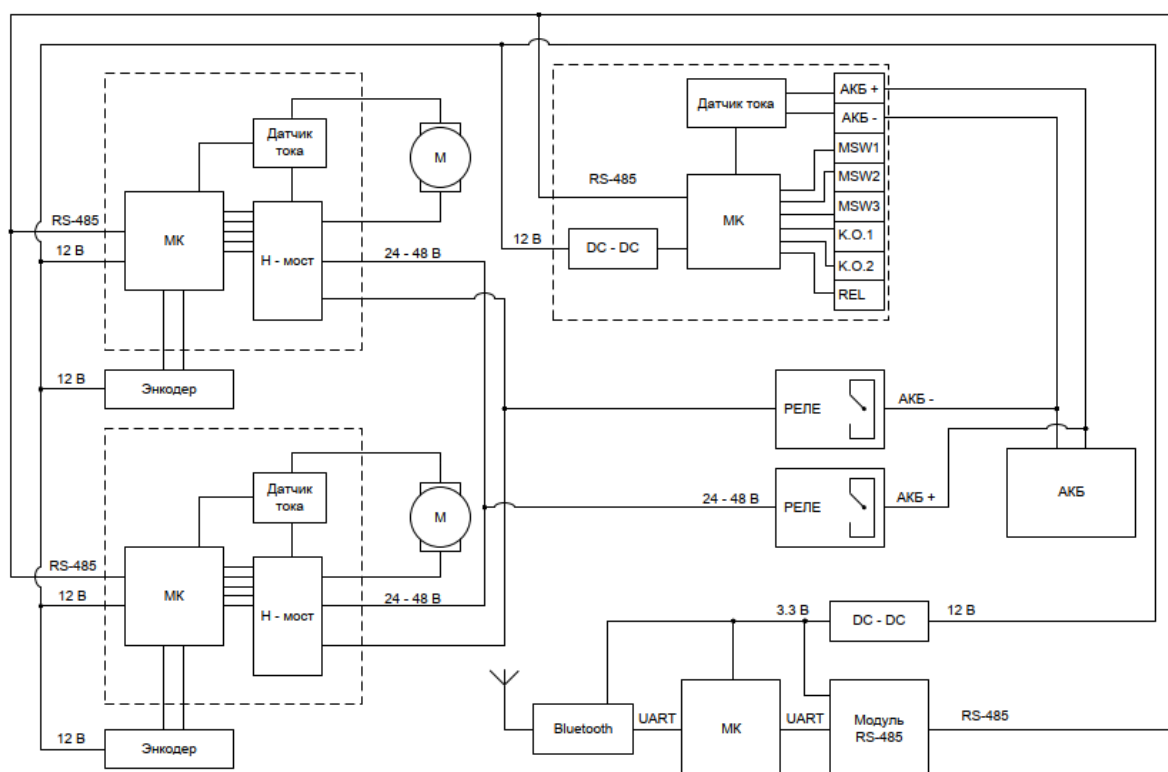


Рисунок 1 – Функциональная схема

Роль драйвера двигателей – получение задания от схемы управления и его выполнение, а также отчеты о выполнении, ошибках и контролируемых параметрах. Драйвер двигателя должен быть максимально гибким, для использования с любыми типами двигателей, любыми датчиками обратных связей.

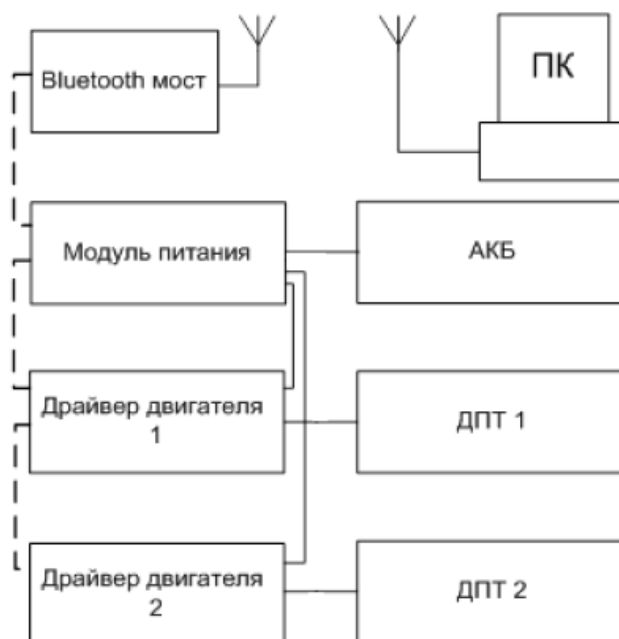


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления МК

**Заключение.** По результату исследований получены функциональная и структурная схемы.

### 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 : учеб. / О.П. Михайлов, Р.Т. Орлова, А.В. Пальцев ; под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Высш.шк., 1989. – 111 с.
4. Усанов, К.М. Импульсный электромагнитный привод машин с однонаправленным поступательным движением рабочего органа / К.М. Усанов, А.П. Моисеев, В.А. Каргин // Мат-лы Междунар. науч.-практич. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения профессора Кобы В.Г. – Саратов, 2011. – С. 239-241.

© Моисеев А.П., Дергунов М.И., Кузьяев А.А., Рыцарев В.И., Саямов Р.И., 2025

Научная статья  
УДК 621.313

## РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

**Алексей Петрович Моисеев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[moiseevap-distant20-21@mail.ru](mailto:moiseevap-distant20-21@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5071-5766>

**Аннотация.** В статье приведен пример расчета для улучшения освещенности прилегающих территорий хозяйственных объектов, а именно АПК и снижения энергопотребления осветительных установок.

**Ключевые слова:** расчет, осветительные приборы, освещенность, программное обеспечение, энергопотребление.

**Для цитирования:** Моисеев, А.П. Расчет осветительных установок для наружного освещения / А.П. Моисеев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## CALCULATION OF LIGHTING INSTALLATIONS FOR OUTDOOR LIGHTING

**Aleksey Petrovich Moiseev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Saratov State Agrarian University N.I. Vavilova, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[moiseevap-distant20-21@mail.ru](mailto:moiseevap-distant20-21@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5071-5766>

**Annotation.** The article provides an example of a calculation to improve the illumination of adjacent territories of economic facilities, namely agriculture and reduce energy consumption of lighting installations.

**Keywords:** calculation, lighting devices, illumination, software, energy consumption.

**For citation:** Moiseev, A.P. Calculation of lighting installations for outdoor lighting / A.P. Moiseev // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Для улучшения освещенности прилегающих территорий хозяйственных объектов, а именно территорий АПК и снижения энергопотребления осветительных установок, целесообразно применять более современные светильники, а также подобрать оптимальную систему расчета и проектирования для упрощения практических и исследовательских задач [1, 2].

**Материалы и методы.** Расчет осветительных установок упрощается при применении программных продуктов. С их помощью, при введении требуемых данных, после выполнении команд, светильники расставляются и, путем представления в проекции можно судить о получившейся освещенности в любой точке. Рассмотрим на примере освещения прилегающей площадки.

**Результаты исследования.** После загрузки данных по территории объекта получаем следующие результаты (рис. 1, 2, 3):

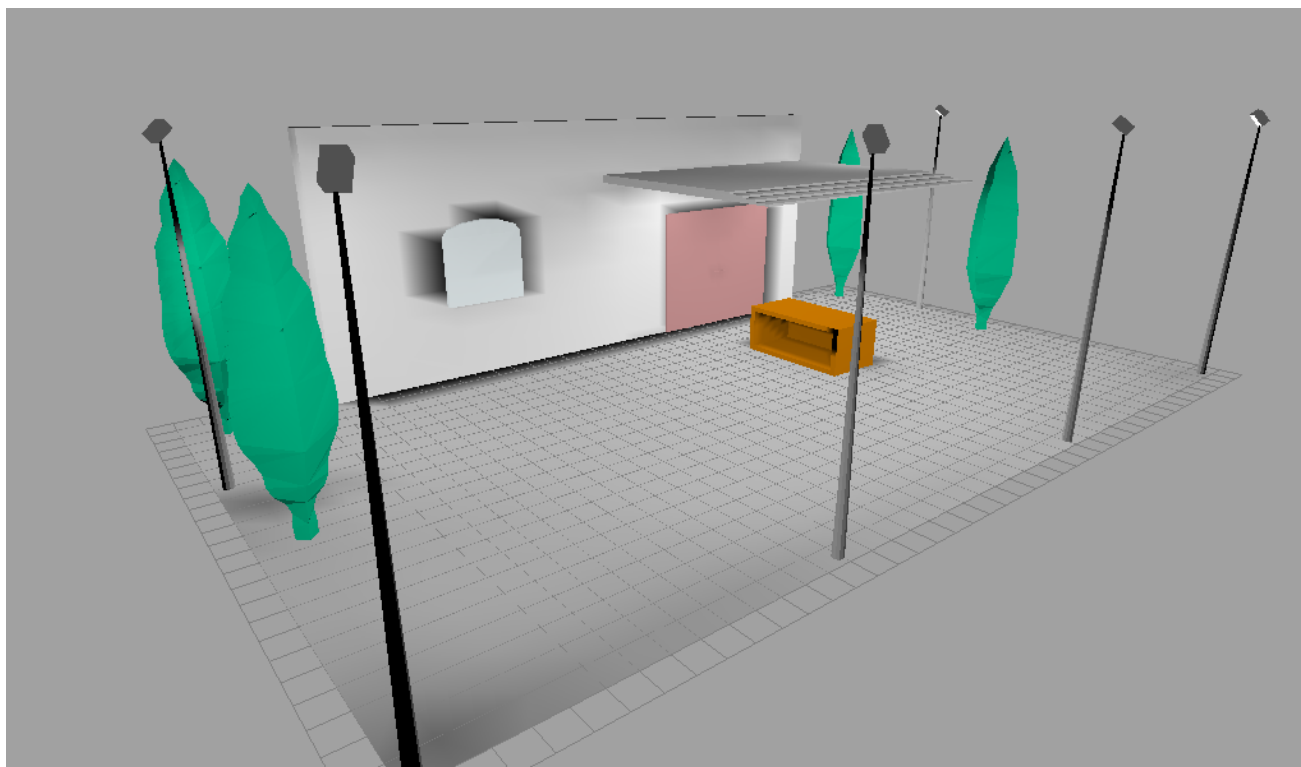


Рисунок 1 – Вид 3D на чертеже



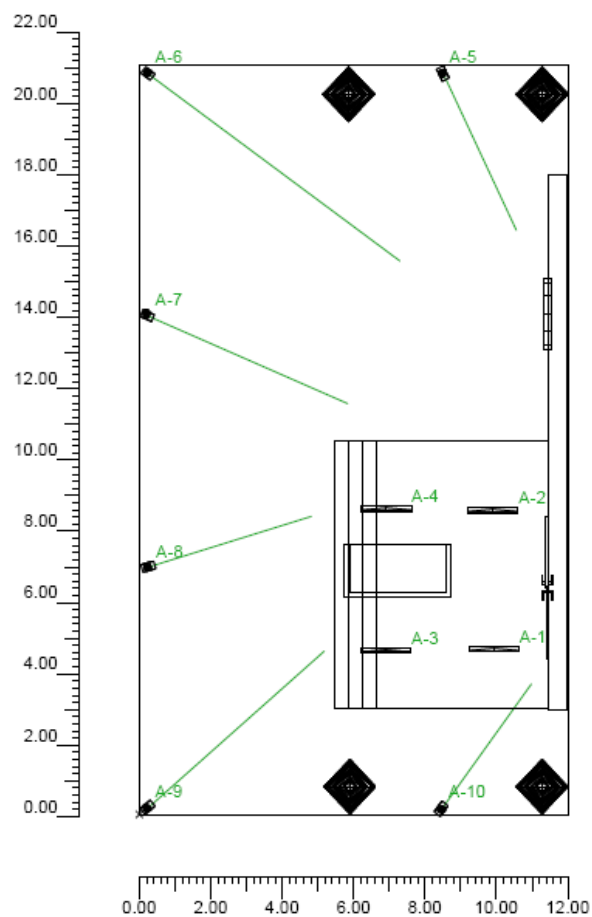


Рисунок 2 – План территории, с нанесением осветительных приборов (вид сверху)

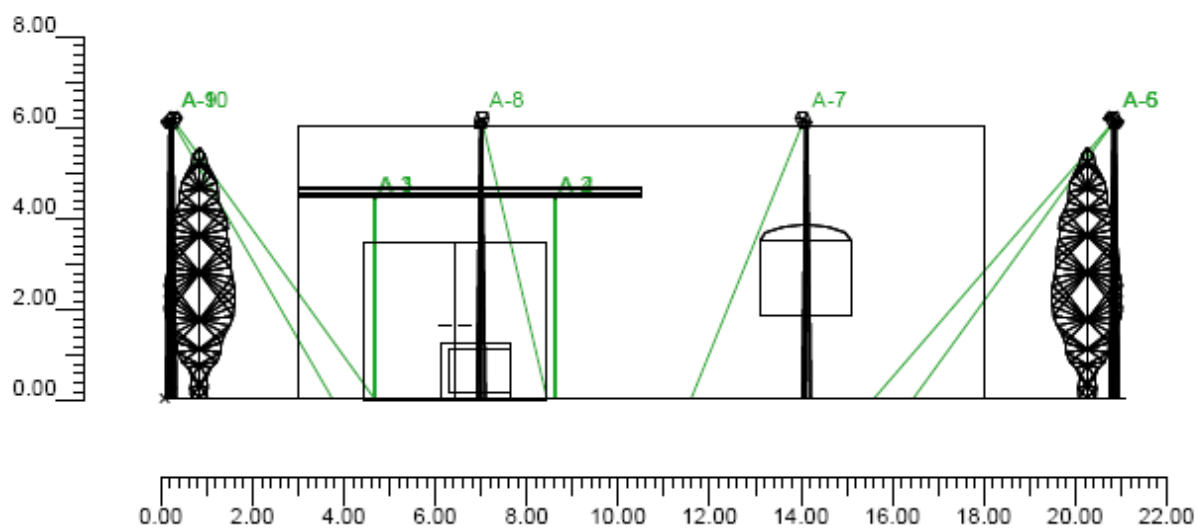


Рис. 3. План территории, с нанесением осветительных приборов (вид сбоку)

Приведем пример результата значения освещенности на рабочей поверхности (рис. 4, 5).

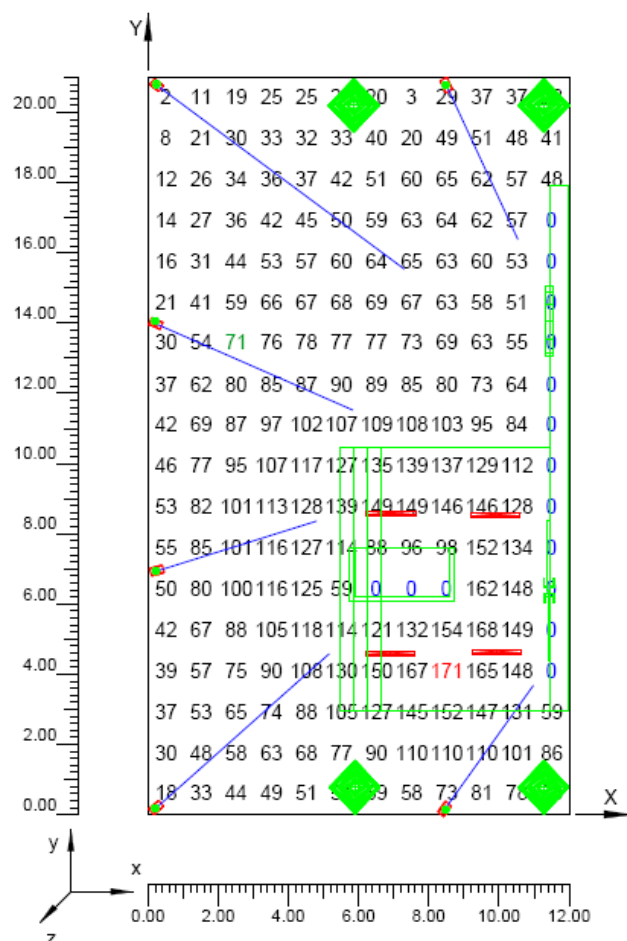


Рисунок 4 – Численные значения освещенности с соответствующих точек

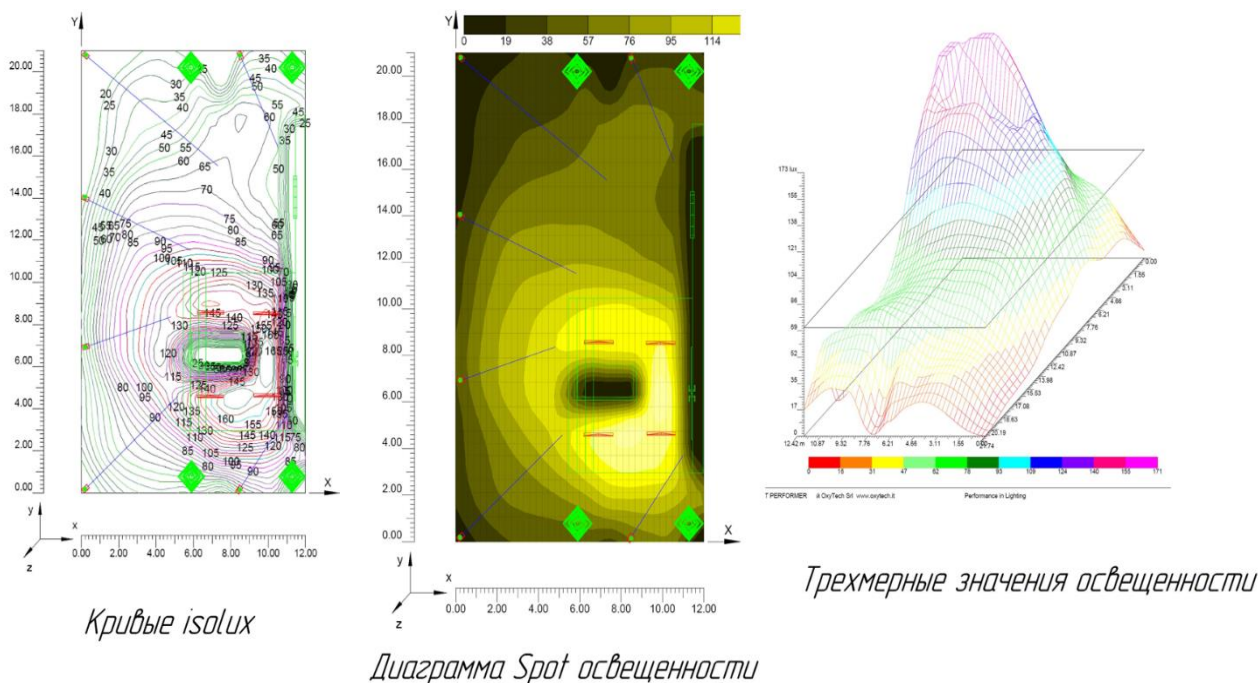


Рисунок 5 – Значения освещенности на рабочей поверхности

**Заключение.** При расчете определенного объекта, убедились, что применяемый расчет может быть эффективен в плане сокращения времени при проектирования практических и исследовательских задач. Таким образом, наибольшее влияние оказывает обработка большого количества данных, а

полученные результаты в виде кривых, диаграмм и трехмерных значений дают наглядное представление результата

### Список источников

1. Моисеев, А.П. Светотехника и электротехнология: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, Л.А. Лягина. – ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». 3-е изд. перераб. и доп. – Саратов: Амирит, 2017. – 129 с.
2. Электротехнологическое оборудование в сельскохозяйственном производстве: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, В.А. Каргин [и др.]. – ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» – Саратов: Амирит, 2018. – 103 с.
3. Электрооборудование технологий производства и обработки сельскохозяйственной продукции: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, Л.А. Лягина [и др.]. – ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» – Саратов: Амирит, 2018. – 141 с.

© Моисеев А.П., 2025

Научная статья  
УДК 621.313

## МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИМ СТАНКОМ

**Алексей Петрович Моисеев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[moiseevap-distant20-21@mail.ru](mailto:moiseevap-distant20-21@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5071-5766>

**Аннотация.** В статье рассматривается современный регулируемый электропривод главного движения металлообрабатывающих станков с ЧПУ преимущественно выполняемый на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутой обмоткой ротора, чему способствует множество факторов, среди которых следует отметить совершенствование элементной базы информационной и силовой электроники.

**Ключевые слова:** регулирование скорости, микроконтроллер, следящий асинхронный привод, металлообработка, электроприводы, САУ.

**Для цитирования:** Моисеев, А.П. Модернизированная система управления металлорежущим станком // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## UPGRADED METAL CUTTING MACHINE CONTROL SYSTEM

**Aleksey Petrovich Moiseev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Saratov State Agrarian University N.I. Vavilova, Saratov, Russia

**Annotation.** The article considers a modern adjustable electric drive for the main movement of CNC metalworking machines, mainly based on asynchronous motors with a closed-loop rotor winding, which is facilitated by many factors, among which it should be noted the improvement of the element base of information and power electronics.

**Keywords:** speed control, microcontroller, asynchronous tracking drive, metalworking, electric drives, ACS.

**For citation:** Moiseev, A.P. An upgraded control system for a metal-cutting machine // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современные многофункциональные станки и промышленные роботы оснащены многодвигательными электроприводами, осуществляющие перемещение исполнительных органов по нескольким координатным осям. В общем объеме парка металлорезающих станков отечественного машиностроения универсальные станки составляют около 60% [1, 2, 3]. Наряду со станками с ЧПУ, имеющими высокий уровень автоматизации в решении геометрических задач управления, универсальные станки широко используются для производства нестандартных, специализированных видов изделий, где требуется высокая квалификация и накопленный опыт станочника. Находящийся в эксплуатации огромный по численности отечественный парк универсальных станков, сравнимый с количеством станков с ЧПУ, нуждается в использовании имеющихся резервов повышения производительности металлообработки. Важным резервом повышения производительности универсальных станков является решение задач по устранению потерь времени при переходе от производства одного вида продукции к другому за максимально короткое время. В этой связи целью является повышение эффективности работы универсальных станков за счет их модернизации в виде разработки и внедрения информационно-управляющей системы на базе программируемого аппаратного комплекса, состоящего из взаимозаменяемых и совместимых компонентов.

Управление работой станка с числовым программным управлением (ЧПУ) выполняется с использованием типовых систем, вырабатывающих команды в соответствии с заданной в цифровой форме программой. Создание высокопроизводительных микроконтроллеров и однокристальных микроЭВМ, составляющих программируемое ядро ЧПУ дало возможность с их помощью автоматически выполнять множество геометрических и технологических операций, а также осуществлять прямое цифровое управление системой электроприводов и электроавтоматикой.

Процесс металлообработки резанием осуществляется посредством взаимного перемещения обрабатываемой заготовки и лезвия режущего инструмента. Электроприводы являются частью станочного оборудования, которое предназначено для осуществления и регулирования процессов металлообработки посредством системы ЧПУ.

При обработке принято выделять основные движения, обеспечивающие управляемые процессы резания при взаимном движении инструмента и заготовки, а также вспомогательные перемещения, способствующие процедурам автоматической работы оборудования (подвод и отвод приборов для осуществления контроля, замену инструмента и т.п.) [1, 2, 3].

К основным относят главное движение резания, имеющее наибольшую скорость и мощность, которые обеспечивают необходимое усилие резания, а также движение подачи, необходимое для перемещения рабочего органа по пространственной траектории с заданной скоростью. Для получения поверхности изделия заданной формы рабочие органы станка сообщают заготовке и инструменту движения нужной траектории с установленной скоростью и силой. Электроприводы сообщают рабочим органам вращательное и поступательное движения, сочетания которых кинематической структурой станков обеспечивают требуемые взаимные перемещения [1, 2, 3].

**Материалы и методы.** Следящий асинхронный привод главного движения металлорежущего станка.

Современный регулируемый электропривод главного движения металлообрабатывающих станков с ЧПУ преимущественно выполняется на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутой обмоткой ротора, чему способствовало множество факторов, среди которых следует отметить совершенствование элементной базы информационной и силовой электроники [1, 2, 3].

Регулирование режимов двигателей переменного тока осуществляется посредством изменения частоты питающего напряжения с помощью силового преобразователя, осуществляющего наряду с регулированием частоты изменение и других параметров. Характеристики следящего электропривода в значительной степени зависят от эффективности встроенной САУ [4, 5]. Применение высокопроизводительных микроконтроллеров предоставило широкие возможности организации систем управления электроприводом (рис. 1.)

Контроллер привода генерирует числовые последовательности для силового коммутатора, осуществляющего регулирование режима работы электродвигателя. Контроллер автоматики обеспечивает требуемые характеристики в режимах пуска и торможения, а также автоматическую настройку и защиту оборудования.

Аппаратная часть вычислительной системы также содержит:

- аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи для ввода сигналов с датчиков и управления их работой;
- модули ввода и вывода аналоговых и цифровых сигналов, оснащенные интерфейсным оборудованием и кабельными разъемами;
- интерфейсные блоки, осуществляющие внутренние межмодульные передачи данных и связи с внешним оборудованием.

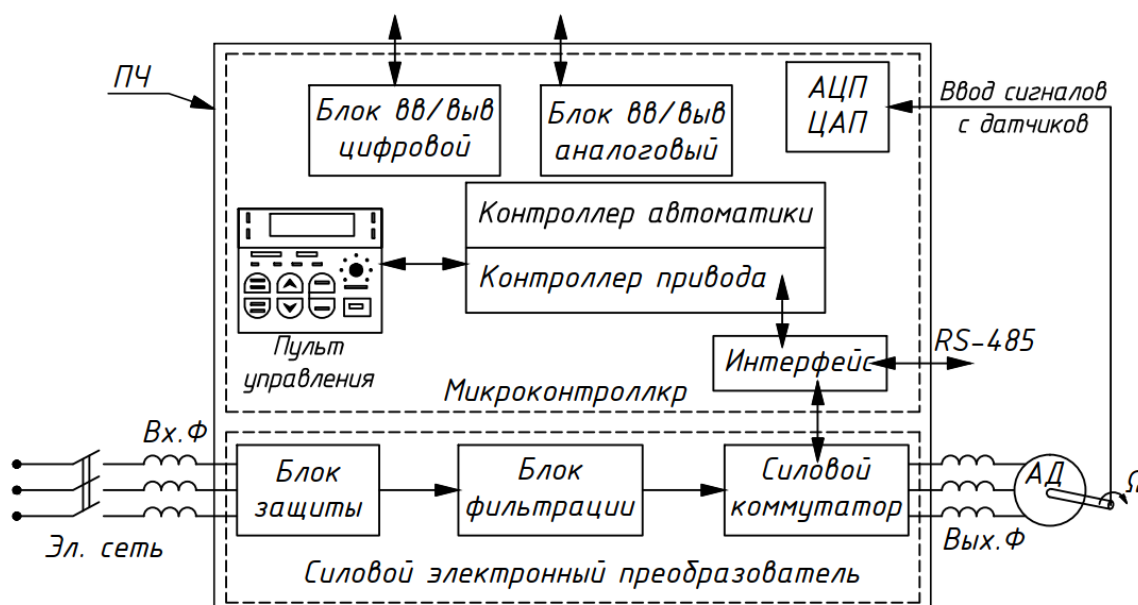


Рисунок 1 – Типовая структура управления асинхронным двигателем с использованием преобразователя частоты

Большое количество вводимых разработчиком параметров настройки преобразователя частоты с учетом подробных данных конкретной электродвигателя обеспечивают заданные процедуры управления, среди которых можно отметить:

- многоступенчатое регулирование скорости;
- верхнее и нижнее ограничение частоты;
- ограничение крутящего момента;
- осуществление торможения с использованием подачи постоянного тока в одну из фаз двигателя;
- защита от перегрузки.

Унифицированные исполнительные механизмы с трехфазными и однофазными асинхронными двигателями в настоящее время выпускаются в основном с нерегулируемой (постоянной) скоростью движения и используются в станках с ЧПУ как приводы инструментальных магазинов, сервоприводы. Аналогичные исполнительные механизмы (ИМ) переменной скорости, у которых регулирование осуществлялось за счет изменения напряжения или тока в обмотках статора с помощью магнитных усилителей, распространены меньше из-за больших габаритов и массы блока усиления и узким диапазоном регулирования скорости [1, 2, 3].

Трехфазная система токов формируется транзисторным инвертором с отрицательной обратной связью к выходному току, которая от датчиков тока замыкается через блок регулятора тока РТ8 (рис. 2). Частоты фазных токов асинхронного двигателя М зависят от величины и знака рассогласования между заданной и фактической частотами вращения ротора двигателя, абсолютной частоты вращения и величины напряжения в силовой цепи инвертора, температуры обмоток двигателя. Преобразователи-формирователи необходимых зависимостей между перечисленными параметрами объединены в блоке регулятора скорости РСЗ. На его входы подаются сигнал задания частоты



вращения – импульсный  $\omega_{вр}$  и аналоговый АС, сигналы фактической частоты вращения, сигналы задания уставки потока (тока возбуждения) Ф1 и Ф2, опорных (несущих) частот. Сигналы частот вращения  $\omega_{вр}$  и АС и импульсные сигналы перемещения  $\sin$ ,  $\cos$  и НМ формируются из выходного сигнала датчика положения – фазы вращателя ФВ67-12-0,16 в блоке преобразования фазы в импульсы ФИ11; сигналы  $\sin$ ,  $\cos$  и НМ могут быть использованы для замыкания контура пуска в устройствах числового программного управления УЧПУ, имеющих входы от импульсных датчиков положения [1, 2, 3].

Рисунок 2 – Структурная схема асинхронного электропривода с частотно-токовым управлением: 1 – формирователь амплитуды и фазы тока статора; 2 – формирователь задания фазных токов; 3 – формирователь частоты скольжения; 4 – сумматор-частотоформирователь импульсных сигналов; 5 – транзисторный инвертор; 6 – формирователь частоты вращения; 7 – цифроаналоговый преобразователь; 8 – формирователь импульсных сигналов перемещения; РТ8 – трехфазный регулятор тока;  $a$  – код;  $b$  – сигналы опорных частот сопротивления обмотки ротора

При анализе процесса регулирования приняли трехфазную магнитную систему асинхронного двигателя представлять в виде двухфазной системы, магнитные оси  $d$  и  $q$  которой взаимно перпендикулярны. Ток статора представляют как вектор, проекция которого на ось  $d$  – ток намагничивания, а на ось  $q$  – приведенное значение тока ротора (активный ток) [4, 5].



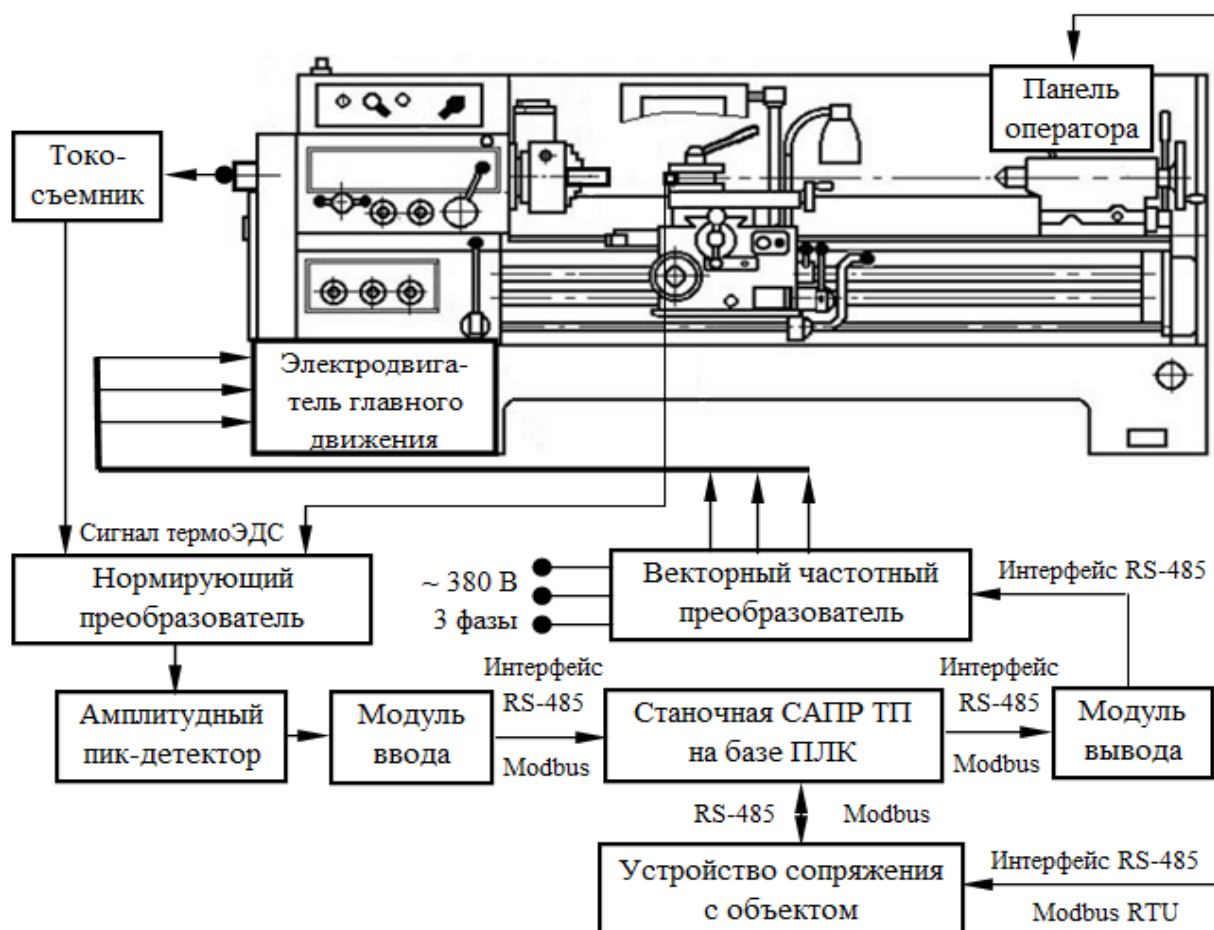


Рисунок 3 – Функциональная схема модернизированной системы управления токарным станком, построенная на базе аппаратного ПЛК

Для обеспечения точности выбора, например, допустимой скорости резания, силы резания, параметров шероховатости обработанной поверхности необходимо иметь оперативную информацию о фазовом составе твердосплавного инструмента (его режущих способностях) [1, 2, 3], информацию об упрочненном состоянии стали в процессе резания, оценить сочетание теплофизических свойств стали и инструментального материала и оценить условия в зоне резания. Таких данных в справочно-нормативной литературе нет. Для этого предлагается при построении информационно-управляющих оперативных систем универсальных станков в качестве оценочной характеристики физико-механических свойств каждой контактной пары использовать величину термоЭДС естественной термодпары «инструмент – заготовка», измеренной на строго определенных режимах предварительного пробного прохода. Величина термоЭДС в этом случае используется не как информация о температуре в зоне резания, а как информация о физико-механических свойствах всех групп обрабатываемых и инструментальных материалов с последующим введением её в модели расчёта параметров процесса резания [1, 2, 3]. Введение в структуру математических моделей расчёта дополнительного информационного параметра о свойствах контактных пар (величины термоЭДС предварительного пробного прохода) позволит значительно повысить точность расчёта и спрогнозировать значения основных

его величин. Функционально информационно-управляющую систему универсальным станком можно реализовать двумя способами: с применением аппаратного программируемого логического контроллера (ПЛК) и с применением программно-реализованного ПЛК на персональном компьютере (ПК). В конечном счете, на выходе получаем научно-технический продукт в виде аппаратного комплекса модернизации, состоящий из программируемого контроллера, нормирующего преобразователя сигнала термопары, планшетного компьютера и модулей связи с технологическим оборудованием предназначен для решения задач назначения, корректировки режимов обработки станков при высокоинтенсивной смене групп обрабатываемых и обрабатывающих материалов. Информационно-управляющая система функционирует в диалоговом режиме со станочником [5, 6].

**Заключение.** Система технологической адаптации строится на базе сигнала, полученного из зоны резания в процессе стружкоотделения (термоЭДС), характеризующего сочетание физико-механических свойств контактной пары «инструмент-заготовка», что в перспективе может повысить точность расчета технологических параметров обработки при изменении свойств инструмента и заготовки разных партий поставок. Эффективность применения сигнала термоЭДС из зоны резания по сравнению с другими аналогами заключается в том, что для получения данного сигнала не требуется дополнительных источников энергии, так как он сопутствует процессу резания и имеет четкую корреляцию с разбросом физико-механических свойств контактной пары «инструмент-заготовка». На рис. 3 представлен один из вариантов организации структурной схемы информационно-управляющей системы универсального токарно-винторезного станка, построенной на базе аппаратного ПЛК. Конечный продукт может быть использован в механообрабатывающих цехах машиностроительных предприятий, участков токарной, фрезерной обработки при серийном производстве, реализуется в виде программно-аппаратного комплекса, подключаемого к станочному оборудованию.

### **Список источников**

1. Хоменко, И.В. Обзор: состояние станкостроения в России / И.В. Хоменко, С.П. Ушко // Аналитические материалы «Т.Р.О.С.». – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://tros-stanko.ru/analitika.ru>. – 2012. – С. 1-7.
2. Плотников, А.Л. Повышение надёжности управления шероховатостью обработанной поверхности деталей в САПР ТП токарных и фрезерных операций : монография / А.Л. Плотников, А.С. Сергеев, Н.Г. Зайцева; науч. ред. А.П. Бабичев ; ВолГТУ, ЗАО «ОНИКС». – Волгоград ; Ирбит ; Тольятти : ЗАО «ОНИКС», 2015. – 162 с.
3. Плотников, А.Л. Управление системами и процессами в машиностроении: учеб. пособ./ А.Л. Плотников. – Волгоград, ИУНЛ ВолГТУ, 2010. – 167 с.
4. Автоматизация систем управления технологическими процессами: учебное пособие / В.А. Каргин, А.П. Моисеев, А.В. Волгин [и др.]. – Саратов: Амирит, 2018. – 177 с.

5. Технические средства управления: учебное пособие / А.В. Волгин, Л.А. Лягина, В.А. Каргин [и др.]. – Саратов: Амирит, 2022. – 122 с.

6. Проектирование электроустановок: учебное пособие / К.М. Усанов, В.А. Каргин, А.П. Моисеев [и др.]. – Саратов: Амирит, 2017. – 123 с.

© Моисеев А.П., 2025

Научная статья

УДК 621.1.013

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЖУХОТРУБНЫХ И ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Андрей Иванович Назаркин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[nazarkin2001@list.ru](mailto:nazarkin2001@list.ru), <https://orcid.org/0009-0009-2852-1514>

**Аннотация.** В условиях растущего интереса к энергосбережению в системах теплоснабжения, в статье рассматривается эволюция теплообменного оборудования. Основное внимание уделено переходу от кожухотрубных теплообменников (КТТО) к пластинчатым теплообменникам (ПТО) в индивидуальных и центральных тепловых пунктах. Обсуждаются преимущества разборных пластинчатых теплообменников (РПТО) как более эффективной альтернативы устаревшим КТТО. Анализируются достоинства и недостатки КТТО, включая широкий спектр применения, ремонтпригодность и долговечность. Отмечается низкий коэффициент теплопередачи КТТО, сложности с разборкой, обнаружением течей и высокая металлоемкость, что в совокупности обуславливает необходимость модернизации теплообменного оборудования для повышения энергоэффективности и снижения эксплуатационных затрат.

**Ключевые слова:** долговечность, теплоснабжение, энергосбережение, кожухотрубные теплообменники (КТТО), пластинчатые теплообменники (ПТО), центральный тепловой пункт (ЦТП), модернизация.

**Для цитирования:** Назаркин, А.И. Сравнительный анализ кожухотрубных и пластинчатых теплообменников / А.И. Назаркин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## COMPARATIVE ANALYSIS OF SHELL-AND-TUBE AND PLATE HEAT EXCHANGERS

Nazarkin Andrey Ivanovich<sup>1</sup>

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

**Annotation.** In the context of the growing interest in energy conservation in heat supply systems, the article examines the evolution of heat exchange equipment. The main attention is paid to the transition from shell-and-tube heat exchangers (CTO) to plate heat exchangers (VTO) in individual and central heating points. The advantages of collapsible plate heat exchangers (PTOs) as a more efficient alternative to outdated CTOs are discussed. The advantages and disadvantages of CTO are analyzed, including a wide range of applications, maintainability and durability. There is a low coefficient of heat transfer, difficulties with disassembly, leak detection and high metal consumption, which together necessitates the modernization of heat exchange equipment to increase energy efficiency and reduce operating costs.

**Keywords:** durability, heat supply, energy saving, shell-and-tube heat exchangers, plate heat exchangers, central heating station, modernization.

**For citation:** Nazarkin, A.I. Comparative Analysis of Shell-and-tube and Plate Heat exchangers / A.I. Nazarkin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В настоящее время растет интерес к вопросам энергосбережения в системах централизованного и децентрализованного теплоснабжения потребителей. Одним из способов решения данной проблемы является обеспечение надежной и эффективной работы теплообменного оборудования. До недавнего времени кожухотрубные водо-водяные теплообменники широко использовались как в системах отопления при их независимом подключении к тепловым сетям, так и в системах горячего водоснабжения (ГВС) в закрытых теплоснабжениях. Однако в последние годы активно проводится замена устаревшего тепломеханического оборудования в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП) и центральных тепловых пунктах (ЦТП). В результате, кожухотрубные теплообменные аппараты (КТТО) всё чаще заменяются пластинчатыми теплообменниками (ПТО), при этом предпочтение отдается разборным пластинчатым теплообменникам (РПТО).

Это связано с тем, что пластинчатые теплообменники (ПТО) зарекомендовали себя как революционное решение по сравнению с громоздкими кожухотрубными теплообменниками (КТТО), обладая рядом значительных преимуществ.

**Материалы и методы.** Кожухотрубные теплообменники, несмотря на появление более современных альтернатив, остаются популярным выбором для организации инженерных сетей на многих предприятиях. Их конструкция, включающая трубки и компенсатор, позволяет использовать их в сложных условиях, таких как агрессивные или абразивные среды. К преимуществам этих теплообменников относятся:

а) широкие возможности применения в различных промышленных процессах;

б) простота ремонта;

с) длительный срок службы и высокая производительность, обеспечиваемая многоярусной конструкцией.

Однако, кожухотрубные теплообменники имеют и ряд недостатков. Они характеризуются низким коэффициентом теплопередачи и сложностями при разборке, несмотря на устойчивость к накипи и коррозии благодаря использованию нержавеющей стали. Другие минусы включают фиксированную площадь поверхности теплообмена, трудности с обнаружением утечек (требующие разборки), высокую металлоемкость, приводящую к увеличению стоимости и веса, а также чувствительность к вибрации и необходимость остановки системы для обслуживания.

Пластинчатые теплообменники представляют собой компактную и эффективную альтернативу кожухотрубным устройствам. Их конструкция, основанная на тонких и легких пластинах, обеспечивает небольшой вес и размеры. Гофрированные пластины увеличивают скорость потока теплоносителей и площадь теплообмена, что ведет к повышенной производительности.

Ключевые преимущества пластинчатых теплообменников:

а) высокий КПД, обусловленный увеличенной площадью поверхности;

б) долговечность (15-20 лет) благодаря использованию нержавеющей стали;

с) экономичность и возможность гибкого изменения мощности путем добавления или удаления пластин.

Простота монтажа и обслуживания делают пластинчатые теплообменники удобным и надежным решением для различных применений. Чистка может производиться без необходимости разборки, что значительно упрощает эксплуатацию.

**Результаты исследования.** Для сравнения эффективности теплообмена между кожухотрубным и пластинчатым теплообменниками, необходимо определить их коэффициенты теплопередачи при идентичных рабочих условиях.

Коэффициент теплопередачи отражает количество теплоты, измеряемое в ваттах (Вт), которое передается от горячего теплоносителя к холодному через каждый квадратный метр ( $m^2$ ) поверхности теплообмена при разнице температур между этими теплоносителями в один градус (град).

Таблица 1 – Сравнительный анализ РПТО и КТТО

| Параметры                        | РПТО  | КТТО |
|----------------------------------|-------|------|
| Отношение коэффициентов          | 3-5   | 1    |
| Продолжительность демонтажа, мин | 15    | 100  |
| Ресурс работы, лет               | 15-20 | 10   |

|                                                                                              |                                                                                                                                         |                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Стоимость замены уплотнений и/или латунной трубы в процентах от общей стоимости аппарата (%) | 15-25                                                                                                                                   | 80-90                                                                   |
| Неразрушающий контроль герметичности                                                         | Возможно                                                                                                                                | Невозможно                                                              |
| Устойчивость к вибрационным нагрузкам                                                        | Нечувствительный                                                                                                                        | Чувствительный                                                          |
| Материал изготовления теплообменных аппаратов                                                | Нержавеющая сталь                                                                                                                       | Латунь, медь                                                            |
| Необходимость теплоизоляции                                                                  | Не требуется                                                                                                                            | Необходима                                                              |
| Регулируемость площади теплообмена                                                           | Возможно, кратно количеству пластин                                                                                                     | Невозможно                                                              |
| Тип соединения при монтаже                                                                   | Разъемные                                                                                                                               | Сварка                                                                  |
| Требования к фундаменту                                                                      | Не требуется                                                                                                                            | Требуется                                                               |
| Удобство обслуживания и очистки внутренних элементов                                         | Разборный. Легкодоступный осмотр, обслуживание и замена любой части, а также механическая чистка и промывка пластин                     | Неразборный. Простая замена частей невозможна, возможна только промывка |
| Уплотнительные материалы                                                                     | Возможность замены уплотнений на новые. Жестко зафиксированы в каналах пластины. Отсутствие протечек после механической чистки и сборки | Неразборный. Простая замена невозможна                                  |
| Минимально достижимая разница температур между потоками на выходе, °C                        | 1-2                                                                                                                                     | 5-10                                                                    |

Этот коэффициент является ключевым показателем при оценке эффективности теплопередачи, поэтому его определение необходимо для сравнения различных типов теплообменных аппаратов.

Процесс теплопередачи представляет собой перенос тепловой энергии от одного потока среды к другому через разделяющую их стенку и включает в себя три последовательные стадии. Коэффициент теплопередачи рассчитывается по следующей формуле:

$$K=1 / (1/\alpha_1 + \delta_{cm}/\lambda_{cm}+1/\alpha_2); \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$$

Первый этап – это передача тепла от горячего теплоносителя к поверхности стенки теплообменника, известная как теплоотдача. Интенсивность этого процесса характеризуется коэффициентом теплоотдачи  $\alpha_1$ , измеряемым в  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ .

Второй этап – это прохождение тепла через саму стенку, разделяющую потоки теплоносителей. Интенсивность этой стадии зависит от толщины стенки ( $\delta_{cm}$ , в метрах) и коэффициента теплопроводности материала стенки ( $\lambda_{cm}$ , в  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ).

Третий этап аналогичен первому и представляет собой передачу тепла от поверхности стенки к холодному теплоносителю. Этот процесс также является

теплоотдачей, и его интенсивность определяется коэффициентом теплоотдачи  $\alpha_2$ , измеряемым в Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Для расчетов использовались следующие исходные данные:

- Тепловая нагрузка (мощность):  $Q = 450$  кВт;
- Температура горячего теплоносителя на входе:  $t_1 = 135$  °С;
- Температура горячего теплоносителя на выходе:  $t_2 = 75$  °С;
- Температура нагреваемого теплоносителя на входе:  $\tau_1 = 73$  °С;
- Температура нагреваемого теплоносителя на выходе:  $\tau_2 = 97$  °С.

Результаты расчетов коэффициентов теплопередачи для пластинчатого и кожухотрубчатого теплообменников, выполненных в программе Excel с использованием методик, представленных в источниках 1 и 2, приведены в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2 – Расчет коэффициента теплопередачи в пластинчатом теплообменнике

| Пластинчатый теплообменник                       |               |                   |
|--------------------------------------------------|---------------|-------------------|
|                                                  | Греющая среда | Нагреваемая среда |
| Эквивалентный диаметр канала, $d_{экв}$          | 0,004         | 0,017             |
| Средняя температура, °С                          | 102,5         | 82,4              |
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>                     | 956,04        | 970,3             |
| Вязкость, м <sup>2</sup> /с                      | 0,2710-2      | 0,3610-2          |
| Теплопроводность, Вт/(мК)                        | 0,680         | 0,670             |
| Теплоемкость, Дж/(кг°С)                          | 4223,5        | 4206,02           |
| Число Прандтля                                   | 1,68          | 2,15              |
| Средняя скорость, м/с                            | 0,45          | 1,60              |
| Число Рейнольдса                                 | 7385          | 48916             |
| Число Нуссельта                                  | 83            | 376,67            |
| Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м <sup>2</sup> К)   | 11067,55      | 21859,38          |
| Коэффициент теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> К) | 4309,48       |                   |

Оценка эффективности теплообмена была проведена путем сравнения коэффициентов теплопередачи для пластинчатого ( $K_1$ ) и кожухотрубного ( $K_2$ ) теплообменных аппаратов. Разница в эффективности была выражена как процент:

$\Delta = ((K_1 - K_2) / K_1) * 100\% = ((4309,48 - 2516,367) / 4309,48) * 100\% = 41,61\%$ ,  
где  $K_1$  – коэффициент теплопередачи пластинчатого теплообменного аппарата;  
 $K_2$  – коэффициент теплопередачи кожухотрубного теплообменного аппарата.

Таблица 3 – Расчет коэффициента теплопередачи в кожухотрубном теплообменнике.

| Кожухотрубный теплообменник                      |               |                   |
|--------------------------------------------------|---------------|-------------------|
|                                                  | Греющая среда | Нагреваемая среда |
| Эквивалентный диаметр канала, $d_{экв}$          | 0,0154        | 0,013             |
| Средняя температура, °С                          | 101,45        | 82,45             |
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>                     | 957,03        | 969,4             |
| Расход, кг/с                                     | 1,2560        | 1,553             |
| Площадь межтрубного/трубного пространства, м     | 0,001110      | 0,00230           |
| Скорость, м/с                                    | 0,29          | 0,73              |
| Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м <sup>2</sup> К)   | 4368,49       | 5223,60           |
| Коэффициент теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> К) | 2516,367      |                   |



**Заключение.** На основе проведенных расчетов было установлено, что пластинчатые теплообменные аппараты демонстрируют более высокий коэффициент теплопередачи ( $k$ ) по сравнению с кожухотрубными. В конкретном анализируемом случае, пластинчатый теплообменник оказался эффективнее на 41,61%.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для достижения требуемых параметров теплоносителя, применение пластинчатых теплообменников требует меньшего пространства. Это является особенно важным фактором при проектировании и эксплуатации тепловых пунктов (ТП), где ограничение габаритных размеров имеет решающее значение.

В ситуациях, когда ограничения по размеру отсутствуют, использование кожухотрубных теплообменников также может быть выгодным решением. Это обусловлено, в первую очередь, их более доступной стоимостью, что делает их привлекательным вариантом при ограниченном бюджете.

#### **Список источников**

1. Проектирование и исследование теплообменных аппаратов : учебное пособие / М.Н. Чекардовский, К.Н. Илюхин, С.М. Чекардовский [и др.]. – Тюмень : ТюмГАСУ, 2015.
2. СП 41.101.95. Проектирование тепловых пунктов. – М.: Минрегион России, 1997.
3. Таранова, Л.В. Теплообменные аппараты и методы их расчета. – Тюмень : ТГНГУ, 2012.

© Назаркин А.И., 2025

Научная статья  
УДК 53.08

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПРИМЕНЕНИЕМ ПАРОВОГО ОБОГРЕВА**

**Вячеслав Владимирович Николаев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[nikolaewslawa@gmail.com](mailto:nikolaewslawa@gmail.com)

**Аннотация.** В статье приводится сравнение энергоэффективности тепловой обработки пищевых продуктов применением парового обогрева относительно обогрева с использованием электрических тэнов в универсальных термоустановках, где происходит термообработка пищевых продуктов.

**Ключевые слова:** тепловая обработка, теплоноситель, термокамера, калорифер, электрический обогрев.

**Для цитирования:** Николаев, В.В. Повышение энергоэффективности тепловой обработки пищевых продуктов применением парового обогрева /

В.В. Николаев //Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF FOOD HEAT TREATMENT BY USING STEAM HEATING

**Vyacheslav Vladimirovich Nikolaev<sup>1</sup>**

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

<sup>1</sup>[nikolaewslawa@gmail.com](mailto:nikolaewslawa@gmail.com)

**Annotation.** The article provides a comparison of the energy efficiency of heat treatment of food products using steam heating relative to heating using electric heating elements in universal thermal installations where food is heat treated.

**Keywords:** heat treatment, heat carrier, heat chamber, air heater, electric heating.

**For citation:** Nikolaev, V.V. Improving the Energy efficiency of heat treatment of food products using steam heating / V.V. Nikolaev // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** На пути превращения сырья в продукты питания существенное место занимает тепловая обработка, в результате которой изменяется пищевая ценность продуктов, улучшаются их вкусовые качества. Самый распространенный промышленный теплоноситель – насыщенный водяной пар, обладающий рядом замечательных свойств. Прежде всего, это высокая аккумулирующая способность теплоты и высокие коэффициенты теплоотдачи. Скрытая теплота конденсации насыщенного пара при атмосферном давлении 2260 кДж/кг. Это позволяет при небольшом расходе пара и небольших поверхностях нагрева передавать большое количество теплоты. Так как при неизменном давлении температура конденсации постоянна, легко поддерживать постоянство температуры теплоносителя аппарате. Главным недостатком водяного пара является значительное возрастание давления при увеличении температуры. Практически насыщенный водяной пар применяют при температуре до 180-190 °С и давлении до  $12 \times 10^5$  Па. Перегретый пар редко используют в качестве теплоносителя из-за низких значений коэффициентов теплоотдачи. Пар – эффективный и легкоуправляемый теплоноситель, широко используется в пищевой промышленности. Большие объемы потребления и весьма высокая стоимость пара обуславливают необходимость повышения эффективности его применения на всех этапах, включая генерацию. Учитывая постоянный рост цен на топливо, снижение затрат на производство пара заметно повышает конкурентоспособность мясной продукции. Паровые системы сегодня

являются частью почти каждого крупного промышленного процесса. Сектор пищевой промышленности требует различных типов пара для различных целей. Вот некоторые из типов пара, которые помогают обрабатывать пищу: Заводской пар – другими словами, заводской пар – это обычный пар, образующийся в котлах при сжигании топлива. Пар завода не вступает в прямой контакт с продуктами питания и вместо этого используется для косвенного нагрева. Кулинарный пар – этот тип пара подается непосредственно на пищу, и, следовательно, он очищается перед использованием. Чистый пар – не содержит каких-либо загрязненных частиц и обычно используется для целей стерилизации и дезинфекции. Чистый пар должен быть чистым, сухим и не содержать пирогенов. Когда он конденсируется, он должен соответствовать требованиям международной фармакопеи к воде для инъекций. Другими словами, он должен быть достаточно чистым, чтобы его можно было вводить в организм человека без каких-либо побочных эффектов. Опять же, необходима подача высокоочищенной питательной воды с использованием тех же принципов, что и для чистого пара. Затем специальный генератор чистого пара дистиллирует воду один или несколько раз для получения необходимой чистоты пара [1].

**Материалы и методы.** Рассмотрим оборудование для теплообработки колбасных изделий, работающих на паровом обогреве и оборудованием работающих на электрическом обогреве. Процессы обжарки, варки и охлаждения могут осуществляться в отдельных камерах или агрегатах. Предпочтительнее использовать либо универсальные камеры периодического действия, в которых последовательно проводят процессы обжарки, варки и охлаждения, либо термоагрегаты непрерывного действия [3].

Универсальная термокамера (рис.) представляют собой теплоизолированный шкаф, закрывающийся с одной стороны двустворчатыми дверями. В верхней части камеры находятся вентилятор, калорифер и система воздухораспределения, состоящая из воздуховодов и двух рядов сопел. В целях равномерного распределения воздушного потока сопла оборудованы двумя специальными распределительными клапанами. При их вращении сопла периодически открываются и закрываются. Привод клапанов осуществляется от индивидуального электродвигателя. Воздушный поток из сопел направляется вниз, отражается от пола, поднимается вверх и через воздуховод удаляется из камеры. В верхней части камеры для увлажнения воздуха и снижения его температуры смонтированы форсунки.

Вода, распыленная форсунками веерообразно, подхватывается струей горячего воздуха, частично испаряется, а частично собирается на полу и отводится через сточный люк. В процессе термообработки люк плотно закрыт. В более совершенных конструкциях термокамер воздух увлажняется и охлаждается с помощью кондиционера. Также в универсальной термокамере можно понизить температуру до +5 градусов для проведения технологических процессов с помощью испарителя охладительной установки, в котором фреон кипит при температуре -5 градусов.

Подсушка продукта осуществляется горячим (100-110 °C) воздухом, подаваемым вентилятором. Воздух нагревается, проходя через рабочую

поверхность калорифера. По распределительным трубам он подается к соплам; дымоход при этом перекрыт заслонкой.

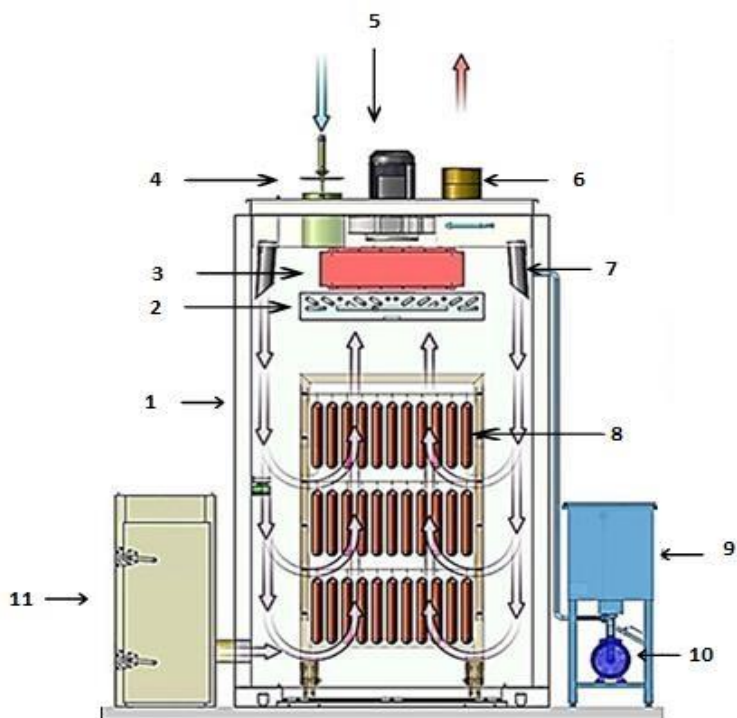


Рисунок – Универсальная термокамера: 1 – стена утепленная; 2 – испаритель охлаждающей установки; 3 – калорифер; 4 – клапан притока воздуха; 5 – электродвигатель; 6 – клапан вытяжной; 7 – воздуховоды; 8 – рама с продукцией; 9 – система автоматической мойки; 10 – насос мойки; 11 – дымогенератор.

Подсушка продукта осуществляется горячим ( $100-110^{\circ}\text{C}$ ) воздухом, подаваемым вентилятором. Воздух нагревается, проходя через рабочую поверхность калорифера. По распределительным трубам он подается к соплам; дымоход при этом перекрыт заслонкой.

Для варки используют острый пар, поступающий в камеру через перфорированную трубу под давлением около 8 кПа. Конденсат пара собирается в нижней части камеры и отводится через сточный люк.

Термокамеры конструируют по следующим основным принципам: экономичное расходование энергии, повышение пропускной способности за счет более плотного размещения продукции, максимальная точность направления воздушных потоков, регулирование температуры и влажности, абсолютная надежность и удобство, уровень выброса газообразных отходов в атмосферу не должен превышать нормы.

Достоинство универсальных камер, работающих на паровом теплоносителе заключается в возможности варьировать длительность тепловой обработки, их можно использовать при выработке широкого ассортимента изделий в случае ограниченного объема производства.

Пар распределяется равномерно по всему объему камеры, обеспечивая одинаковую температуру для всех колбасных изделий. Это критически важно для достижения однородной готовности продукта и предотвращения неравномерной текстуры.

Применение универсальных камер способствует снижению трудовых затрат, потерь массы продукта, улучшению его качества и повышению производительности труда. Использование пара позволяет достичь равномерной и контролируемой обработки продукта, что напрямую влияет на качество, вкус и безопасность колбас, также при использовании пара готовый продукт имеет самую низкую себестоимость по сравнению с использованием других видов тепловых источников [1].

Сравнение энергоэффективности парового и электрического обогрева в тепловой обработке пищевых продуктов в универсальных термокамерах по изготовлению колбасных изделий.

Конструкция камеры представляет возможность нагрева из следующих самых распространенных источников тепла:

Электрический нагрев – относительно недешевый, но наиболее универсальный, может быть предпочтительней для небольших производств и процессов. В качестве нагревательных элементов используют оребренные тэны с нержавеющей стали. Применяется при наличии подвода 60 кВт/ч электрической мощности и отсутствие альтернативных возможностей. При использовании данного источника энергии по энергоэффективности печь потребляет при процессе приготовления 600 кг колбасных изделий в среднем 70 кВт/ч потраченной энергии. При стоимости за 1 кВт/час по Саратовской области составляет 7 рублей, то энергозатраты составят 490 рублей.

Паровой нагрев – рекомендуется к использованию на предприятиях, имеющих собственный источник пара (например, заводская котельная). В качестве нагревательного элемента применяют теплообменник, в который подается пар и он является самым экономически оправданным теплоносителем. При использовании данного источника энергии для печи необходимо 8 кВт/ч электрической мощности и 160 м<sup>3</sup>/ч насыщенного пара давлением 8 кПа. По энергоэффективности при приготовлении 600 кг. колбасных изделий в данной печи необходимо потратить 20 кВт/ч электрической энергии и 300 м<sup>3</sup>/ч насыщенного пара, то энергозатраты составят 221 рублей. Расчеты производились с учетом стоимости производства 1 тонны пара котельной и составляет 270 рублей.

По результатам расчета видно, что печь работающая на паровом обогреве имеет наиболее экономичный расход энергоресурсов по сравнению с печью работающей на электрическом обогреве и составляет 45% эффективности.

Рассмотрим методы повышения энергоэффективности тепловой обработки пищевых продуктов применением парового обогрева:

#### 1. Оптимизация парогенерации:

- использование современных высокоэффективных котлов с КПД > 90% и автоматической регулировкой;
- правильный подбор мощности котла под потребности производства;
- регулярное обслуживание котла и чистка от накипи;
- использование топлива с высоким КПД сгорания (например, природный газ);
- использование возобновленных источников энергии для парогенерации (например, солнечные коллекторы).

## 2. Улучшения системы распределения пара:

- качественная теплоизоляция паропроводов и арматуры для минимизации потерь тепла;
- устранение утечек пара;
- правильный выбор диаметра паропроводов;
- установка конденсатоотводчиков для автоматического удаления конденсата.

## 3. Оптимизация процессов тепловой обработки:

- использование оптимальных режимов варки для каждого продукта;
- предварительный прогрев продуктов перед тепловой обработкой;
- рекуперация тепла отработанного пара для нагрева воды или воздуха.

## 4. Возврат и повторное использование конденсата:

- сбор и возврат конденсата в котел для снижения расхода воды и топлива;
- установка конденсатных насосов для возврата из удаленных точек системы.

## 5. Автоматизация и контроль:

- автоматическое управление температурой и давлением пара в варочных камерах;
- мониторинг и запись данных об энергопотреблении для анализа и выявления возможностей для улучшения.

6. Модернизация устаревшей варочной термокамеры с неизолированными стенами, неэффективной системой распределения пара и ручным управлением на замену современной модели с теплоизолированными стенами и эффективной системой распределения пара. Также замену автоматического управления температурой и влажностью, а также системой рекуперации тепла даст снижение расхода пара на 20-30%, сокращение времени приготовления и улучшения качества продукции.

7. Модернизации термокамеры работающая от электрического способа обогрева на паровой способ обогрева, требует демонтажа электрических тэнов и установки парового теплообменника. Также в термокамере необходимо заменить автоматизацию управления температурой и влажностью и улучшить теплоизоляцию стен при необходимости. При проведении данных работ энергоэффективность камеры вырастить на 45%.

Таким образом повышение энергоэффективности парового обогрева в пищевой промышленности требует комплексного подхода, включающего оптимизацию всех этапов – от генерации пара до его использования. Внедрение современных технологий, регулярное обслуживание оборудования и обучение персонала – это ключевые факторы успеха в достижении этой цели.

Модернизация паровой системы – это инвестиция, которая окупится за счет снижения затрат на энергоносители и улучшения качества продукции.

Также энергетическая эффективность – это результативность производственной деятельности предприятия, которая определяется путем сопоставления полученных результатов (стоимости выпущенной продукции) и энергетических ресурсов (затрат), расходуемых на достижение этих результатов [4].

**Результаты исследований.** По результатам исследований видно, что печь работающая на паровом обогреве имеет наиболее экономичный расход

энергоресурсов по сравнению с печью работающей на электрическом обогреве и составляет 45% эффективности. Термокамеры работающие на паровом обогреве являются самое энергоэффективное оборудование для производства пищевых продуктов и способствуют снижению себестоимости.

**Заключение.** Также тепловая обработка пищевых продуктов с использованием пара является одним из наиболее энергоэффективных и экологических методов, позволяющих сохранить питательные вещества, улучшить вкус и текстуру продуктов, а также минимизировать потери энергии.

#### **Список источников.**

1. Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности / В.И. Ивашов – СПб.: «ГИОРД», 2010. – С. 555-559.
2. Обеспечение паром мясной отрасли // Мясные технологии. – 2014. – С. 34-35.
3. Ивашов, В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Часть II. Оборудование для переработки мяса / В.И. Ивашов – СПб.: ГИОРД, 2007. – С. 74-77.
4. Романькова, Т.В. Энергоэффективность предприятия: показатели, факторы и механизм повышения / Т.В. Романькова, М.Н. Гриневич, О.В. Голушкова. – Могилев : Белорусско-Российский университет, 2013. – С. 10-12.

© Николаев В.В., 2025

Научная статья  
УДК 621.314.21

### **АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ТРАНСФОРМАТОРАМ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

**Александр Александрович Павликов<sup>1</sup>, Игорь Николаевич Шишигин<sup>2</sup>, Сергей Александрович Свиридонов<sup>3</sup>, Данил Геннадьевич Мельник<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>2</sup>ПАО «Россети Волга», г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[aleksandr.pavlikov7@yandex.ru](mailto:aleksandr.pavlikov7@yandex.ru)

<sup>2</sup>[In.shishigin@mail.ru](mailto:In.shishigin@mail.ru)

<sup>3</sup>[sv.invest@bk.ru](mailto:sv.invest@bk.ru)

<sup>4</sup>[mdg64@mail.ru](mailto:mdg64@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные аспекты классификации трансформаторов, используемых в системе электроснабжения потребителей. Описаны основные виды трансформаторов, а также изложены требования к эксплуатации трансформаторов, соблюдение которых напрямую влияет на функционирование и работоспособность устройств.



**Ключевые слова:** трансформаторы, силовой трансформатор, электроснабжение, электрическая энергия, несимметрия, напряжение, классификация, правила, нормативы.

**Для цитирования:** Павликов, А.А. Анализ требований, предъявляемых к трансформаторам в системе электроснабжения потребителей / А.А. Павликов, И.Н. Шишигин, С.А. Свиридонов, Д.Г. Мельник // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко. – Саратов. ФГБОУ ВО Вавиловский университет. – 2025.

Original article

## ANALYSIS OF REQUIREMENTS TO TRANSFORMERS IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF CONSUMERS

Alexander Aleksandrovich Pavlikov<sup>1</sup>, Igor Nikolaevich Shishigin<sup>2</sup>, Sergey Aleksandrovich Sviridonov<sup>3</sup>, Danil Gennadievich Melnik<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>2</sup>PAO Rosseti Volga, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[Aleksandrpavlikov7@yandex.ru](mailto:Aleksandrpavlikov7@yandex.ru)

<sup>2</sup>[In.shishigin@mail.ru](mailto:In.shishigin@mail.ru)

<sup>3</sup>[sv.invest@bk.ru](mailto:sv.invest@bk.ru)

<sup>4</sup>[mdg64@mail.ru](mailto:mdg64@mail.ru)

**Abstract.** The article discusses the main aspects of the classification of transformers used in the power supply system of consumers. The main types of transformers are described, and the requirements for the operation of transformers are set out, compliance with which directly affects the functioning and operability of the devices.

**Keywords:** transformers, power transformer, power supply, electrical energy, asymmetry, voltage, classification, rules, standards.

**For citation:** Pavlikov, A.A. Analysis of requirements for transformers in the power supply system of consumers / A.A. Pavlikov, I.N. Shishigin, S.A. Sviridonov, D.G. Melnik // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Трансформаторы по праву занимают одну из ведущих ролей в системе электроснабжения потребителей электрической энергии. Трансформатор незаменим в критически важном вопросе обеспечения надежного электроснабжения потребителей. Данные устройства классифицируются по большому количеству признаков, а также к ним предъявляют целый ряд требований, от соблюдения которых напрямую зависят их функциональное состояние и срок службы. Контроль за состоянием

трансформаторов и поддержанием их эксплуатационных характеристик на надлежащем уровне являются первостепенными задачами в вопросе надежного электроснабжения потребителей электрической энергии.

Требования к трансформаторам сформированы на базе режимов работы в нормальных условиях эксплуатации. Помимо внешних воздействий, таких как температура и влажность воздуха, устройство и принцип системы охлаждения и т.п., существенное влияние на состояние трансформатора оказывает индивидуальные и комплексные параметры электроприемников потребителей. Выполним анализ установленных государственными стандартами требований к работе трансформаторов разного типа.

**Материалы и методы.** Для анализа требований к работе трансформаторов в работе используются государственные стандарты и руководящие документы РД 16 363-87 Трансформаторы силовые. Транспортирование, разгрузка, хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию, а также методы научного познания: анализ, системный подход.

**Результаты анализа.** Рассмотрим основные признаки, по которым классифицируются трансформаторы. По своему назначению трансформаторы разделяют на: силовые, силовые специального назначения, измерительные, испытательные и радиотрансформаторы [1]. В системах электроснабжения потребителей электрической энергией применяются силовые трансформаторы (рис.).



Рисунок – Виды трансформаторов разного назначения:  
а) измерительный трансформатор; б) силовой трансформатор

По типу охлаждения трансформаторы можно разделить на сухие и масляные. В трансформаторах сухого типа охлаждение происходит за счет конвекции воздушных масс, в масляных трансформаторах в качестве охлаждающей среды используется трансформаторное масло. Масляные трансформаторы в отличие от сухих способны работать при более высоких значениях мощности, за счет того что масло позволяет эффективно отводить тепло. С другой стороны сухие трансформаторы более экологически чистые и не нуждаются в регулярной замене масла, что также сказывается на более низких эксплуатационных расходах.

По условиям работы трансформаторы делятся на работающие при нормальных и при особых условиях [2]. Нормальные условия работы характеризуются следующим:

- высота установки трансформатора не должна превышать 1000 м;
- значение среднесуточной температуры воздуха не более 30 С°;
- нормативные и предельно допустимые значения отклонения напряжения не должно превышать  $\pm 5$  и  $\pm 10\%$  соответственно.

Особые условия работы могут предусматриваться по требованию заказчика. Такие условия предусматривают более высокую высоту установки трансформатора, значение среднесуточной температуры окружающего воздуха выше 30 С°, а также более высокие показатели отклонения напряжения [2].

Одним из главных параметров, по которым классифицируются трансформаторы является мощность. По данному параметру трансформаторы делятся на 6 групп [4]:

- I габарит, мощностью до 100 кВА, напряжением до 35 кВ;
- II габарит, мощностью от 100 до 1000 кВА, напряжением до 35 кВ;
- III габарит, мощностью от 1000 до 3600 кВА, напряжением до 35 кВ;
- IV габарит, мощностью свыше 3600 кВА, напряжением до 35 кВ;
- V габарит, мощностью до 32000 кВА, напряжением от 35 до 110 кВ;
- VI габарит, мощностью от 32000 до 80000 кВА, напряжением от 35 до 110 кВ; мощностью до 80000 кВА, напряжением от 110 до 330 кВ;
- VII габарит, мощностью от 80000 до 200000 кВА, напряжением от 35 до 330 кВ;
- VIII габарит, мощностью от 200000 кВА, напряжением от 35 до 330 кВ; независимо от мощности, напряжением от 330 кВ.

Для распределения электрической энергии возле потребителей в подавляющем большинстве случаев используют трансформаторы I и II габаритов. Наиболее распространенными в данной системе являются масляные трансформаторы.

Для поддержания основных эксплуатационных характеристик и параметров трансформатора в оптимальном состоянии необходимо следовать всем предписаниям и строго придерживаться установленных норм и правил. Соблюдение всех норм и правил является неотъемлемой частью эксплуатации технических средств и систем, особенно это касается системы электроснабжения потребителей, в которой не последнюю роль играет распределительный трансформатор. Начиная с установки оборудования и заканчивая введением в эксплуатацию каждый аспект должен соответствовать нормам, в противном случае могут возникать как не многочисленные проблемы в работе трансформатора, так и полный выход оборудования из строя и возможность возникновения аварийной ситуации.

При установке трансформатора необходимо убедиться, что основные системы и устройства находятся в исправном состоянии. Во время эксплуатации трансформаторов в непосредственной близости должны быть предусмотрены средства пожаротушения в исправном состоянии. Важно также отметить

маркировку и покраску трансформатора. На дверях трансформаторных подстанций, а также на баках трансформаторов должны указываться все наименования и параметры. В случае наружной установки трансформатора его необходимо покрыть слоем краски светлых тонов, со стойкостью к атмосферным осадкам и воздействию масла [3].

**Заключение.** Соблюдение описанных выше, а также большого количества других норм и правил позволяет поддерживать техническое состояние трансформатора в соответствии с требованиями. Однако, даже при соблюдении норм могут возникать негативные моменты и явления, сказывающиеся на работе трансформаторов. Одним из таких явлений является несимметрия токов и напряжений в электрической сети. Возникающая из-за неравномерного распределения нагрузки между потребителями, несимметрия негативно сказывается на состоянии как и приемников электрической энергии, так и на состоянии трансформаторов. Становится актуальным вопрос контроля несимметрии, а также минимизация её влияния на работу трансформаторов.

#### **Список источников**

1. ГОСТ 7746-2015. Трансформаторы тока. Общие технические условия – М. : Стандартинформ, 2016. – 27 с.
2. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2007. – 45 с.
3. Приказ Минэнерго России от 04.10.2022 №1070 (ред. от 09.12.2024) «Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации и о внесении изменений в приказы Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. №757, от 12 июля 2018 г. №548» (Зарегистрировано в Минюсте России 06.12.2022 №71384).
4. ОК 005-93. Общероссийский классификатор продукции (утв. Постановлением Госстандарта России от 30.12.1993 №301) (ред. от 22.10.2014, с изм. от 29.09.2016) (дата введения 01.07.1994).

© Павликов А.А., Шишигин И.Н., Свиридонов С.А., Мельник Д.Г., 2025

Научная статья  
УДК 621.316.1.051.24

#### **МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛЬЦЕВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО СТОРОНАМ 6 и 0,4 кВ**

**Лариса Анатольевна Пантелеева<sup>1</sup>, Степан Алексеевич Данилов<sup>2</sup>, Фёдор Михайлович Плешков<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет» г. Ижевск, Россия

<sup>1</sup>[StepashDan02@gmail.com](mailto:StepashDan02@gmail.com)

**Аннотация.** В статье производится сравнительный анализ использования схем электрических сетей предприятий с использованием кольцевых электросетей. В итоге было определено, что реконструкция под кольцевые электрические сети является наиболее надежным методом электроснабжения за счет уменьшения времени отключения электроснабжения.

**Ключевые слова:** Электроснабжение, электрооборудование, повышение надежности электроснабжения.

**Для цитирования:** Пантелеева, Л.А. Метод реконструкции сетей с использованием кольцевых электрических сетей по сторонам 6 и 0,4 кВ / Л.А. Пантелеева, С.А. Данилов, Ф.М. Плешков // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## THE METHOD OF NETWORK RECONSTRUCTION USING RING ELECTRIC NETWORKS ON THE SIDES OF 6 AND 0.4 kV

Larisa Anatolyevna Panteleeva<sup>1</sup>, Stepan Alekseevich Danilov<sup>2</sup>, Fyodor Mikhailovich Pleshkov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State Agrarian University» Izhevsk, Russia

<sup>1</sup>[StepashDan02@gmail.com](mailto:StepashDan02@gmail.com)

**Annotation.** The article provides a comparative analysis of the use of electric grid schemes of enterprises using ring power grids. As a result, it was determined that reconstruction for ring electric networks is the most reliable method of power supply by reducing the time of power outage.

**Keywords:** Power supply, electrical equipment, improving the reliability of power supply.

**For citation:** Panteleeva, L.A. Method of network reconstruction using ring electric networks on the sides of 6 and 0.4 kV / L.A. Panteleeva, S.A. Danilov, F.M. Pleshkov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Отключения электрооборудования на предприятии связаны с устаревшей схемой электроснабжения без использования кольцевых электрических сетей, большая часть схемы электроснабжения выполнена в виде разветвительных сетей [1, 2].

Данные были получены из технической и оперативной документации за период с 2018 г. по 2023 г.

**Материалы и методы.** Необходимо провести сравнительный анализ использования схем электроснабжения с использованием кольцевых электросетей для повышения надежности электроснабжения и уменьшения

времени отключений, а также провести совместный сравнительный анализ разветвительных и кольцевых электросетей, позволяющий выбрать наиболее надежную схему электроснабжения.

Показатель надежности электроснабжения подразумевает под собой время безотказной работы электрооборудования [1, 2].

По схеме электроснабжения, представленной на рис. 1, можно сделать вывод, что существующая схема электроснабжения имеет разветвленную структуры электрических сетей. На данной схеме электроснабжения отсутствуют связи как распределительных подстанций (РП) и устройств (РУ) по высокой стороне (6 кВ), так и трансформаторных подстанций (КТП) с обеих сторон напряжения (6 и 0,4 кВ).

**Результаты исследования.** Исходя из вышесказанного можно определить низкую надежность электроснабжения предприятия, так как в случае отключения вышестоящей распределительной подстанции, происходит отключение всех присоединенных КТП, что можно назвать аварийным отключением электроснабжения на предприятии.

Повышение надёжности электроснабжения является важной задачей для обеспечения бесперебойной работы различных объектов и систем, будь то промышленные предприятия, жилые здания или инфраструктура городов. По сведениям, полученным из источника [2] выделяют три категории надежности электроснабжения [1, 2]:

- потребители 1-й категории являются особо важными объектами электроснабжения, к которым относятся такие электроприемники, отключение которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб хозяйству, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства. Допустимый перерыв в электроснабжении составляет время включения АПВ (автоматического повторного включения), обязательно наличие двух независимых источников питания [1, 2].

- потребители 2-й категории, перерыв в электроснабжении которых приводит к массовому недо-отпуску продукции, простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей [1, 4, 8].

- к потребителям 3-й категории относятся те потребители, которые не подходят под определение двух предыдущих категорий. [1, 4, 8].

Надежность электроснабжения включает в себя несколько аспектов:

1. Использование резервных источников питания.

Резервные источники могут включать в себя такие составляющие, как генераторы, аккумуляторные системы (например, ИБП и СНЭЭ) и др. Резервные источники питания позволяют поддерживать работу потребителей 1 и 2 категории электроснабжения при отключении основного источника электроэнергии [1, 2, 5, 6].

В настоящее время компании, использующие КТП 6/0,4 кВ, активно внедряют использование Систем Накопления Электрической Энергии (СНЭЭ), которые позволяют минимизировать время перерывов электроснабжения [3].

2. Автоматизация и управление сетью.



Современные системы управления электросетями (SCADA-системы) обеспечивают мониторинг состояния сети в реальном времени, а также автоматическое переключение на резервные линии или секции при возникновении аварийных ситуаций. Одной из наиболее распространенных систем релейной защиты является отечественная система Сириус-2-Л, разработанная компанией «РАДИУС Автоматика». Основными функциями системы являются функции защиты, автоматики и управления линиями электроснабжения, как воздушными, так и кабельными и смешанными, с различными схемами электрических сетей, в том числе и кольцевых электросетей [2].

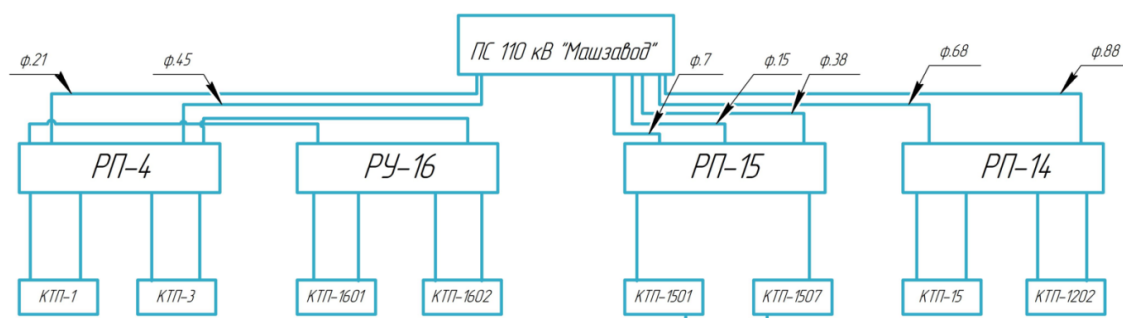


Рисунок 1 – Схема электроснабжения по оперативной документации

При использовании кольцевой схемы электрических сетей электроснабжения, будет представлена следующая схема электроснабжения на рис. 2.

Использовать кольцевую схему электрических сетей является целесообразным не только по высокой стороне между РП, но и по низкой стороне между КТП, исходя из нагрузок на представленных подстанциях. По данным из документа [7] допускается перегрузка трансформаторов на КТП на следующее время: 30% в течении 120 минут, 60% в течении 45 минут, 75% в течении 20 минут, 100% в течении 10 минут. При аварийном выходе оборудования или питающий фидеров подстанций становится возможным резервирование электроснабжения и подключение резервных источников питания для РП и КТП, так как предприятие относится к первой категории электроснабжения по [2] и «...обязательно наличие двух независимых источников питания» [1, 2].

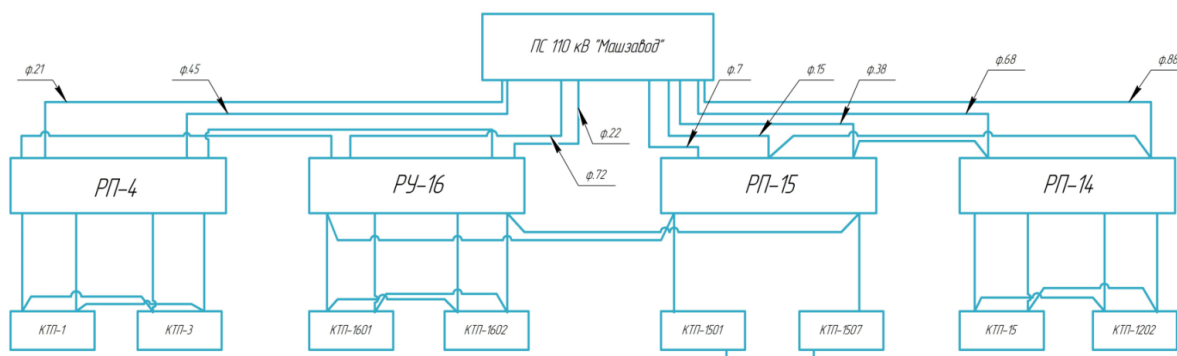


Рисунок 2 – Разработанная схема электроснабжения с кольцевой схемой электросетей.

**Заключение.** Проведя сравнительный анализ использования схем электрических сетей предприятий с использованием кольцевых электросетей,



пришли к выводу, что наиболее лучший и надежной является схема электроснабжения предприятия с использованием кольцевой схемы электросетей. Для повышения надежности электроснабжения было рекомендовано провести реконструкцию линий питания подстанций РП и КТП, строительство новых линий для резервирования, и обучения персонала по новым схемам электроснабжения. По данным, полученным путем анализа, были получены сведения, что новая схема электрических сетей повышает надежность системы электроснабжения предприятия и позволяет минимизировать время отключения электроснабжения за счет новых резервных источников питания.

### **Список источников**

1. Определение категории надежности объектов электроэнергетики – Режим доступа: <https://promenergoby.ru/index.php/customers/consumer-service/faq/definition-of-reliability-category>.
2. МинЭнерго России. Правила устройства электроустановок. Издание 7 // МинЭнерго России // приказ Министерства Энергетики Российской Федерации – Москва, 2002 г.
3. Особенности сухих и масляных трансформаторов. Статья из интернет-журнала «СТОПГЕ». – Режим доступа: <https://storge-bk.ru/articles/osobennosti-suxix-i-maslyanyx-transformatorov-dlya-ktp/>
4. Типовые комплексные решения для защиты от импульсных перенапряжений РУ 0,4кВ КТП. Компания «Стример» – Режим доступа: [https://www.streamer.ru/upload/iblock/tip-resch-TPS-6-WEB%20\(2\).pdf](https://www.streamer.ru/upload/iblock/tip-resch-TPS-6-WEB%20(2).pdf).
5. Васильев, Д.А. Применение аналитического программирования и имитационного моделирования для оценки надёжности систем электроснабжения // Д.А. Васильев, Т.Ю. Котенко, М.И. Студентов // Современные тенденции технологического развития АПК – Ижевск, 2024.
6. Пантелеева, Л.А. Исследование быстродействующей защиты шин 6(10)кВ на подстанциях 35/6(10)кВ // Л.А. Пантелеева, Д.А. Васильев, Р.И. Гаврилов [и др.] // Инновационные решения стратегических задач агропромышленного комплекса: материалы Международ. научно-практической конференции, посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ – Ижевск, 2023 – Т. 3.
7. Приказ от 8 февраля 2019 г. N 81 об утверждении требований к перегрузочной способности трансформаторов и автотрансформаторов, установленных на объектах электроэнергетики, и ее поддержанию и о внесении изменений в правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом МинЭнерго России от 19 июня 2003 г. №229 // МинЭнерго России. // приказ Министерства Энергетики Российской Федерации – Москва, 2003 г.

© Пантелеева Л.А., Данилов С.А, Плешков Ф.М., 2025

## АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ОТКАЗОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ 10/0,4 кВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Михаил Владимирович Попов<sup>1</sup>, Сергей Владимирович Бахтеев<sup>2</sup>, Сергей Александрович Свиридонов<sup>3</sup>, Виктория Сергеевна Абрамова<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>3</sup>ПАО «Россети Волга», г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[mikhail\\_popov\\_7@mail.ru](mailto:mikhail_popov_7@mail.ru)

<sup>2</sup>[s.v.bakhteev@yandex.ru](mailto:s.v.bakhteev@yandex.ru)

<sup>3</sup>[sa.sviridonov@rossetivolga.ru](mailto:sa.sviridonov@rossetivolga.ru)

<sup>4</sup>[vikaabramova16@mail.ru](mailto:vikaabramova16@mail.ru)

**Аннотация:** В статье приводится анализ статистики повреждаемости силовых трансформаторов 10/0,4 кВ, находящихся в эксплуатации в распределительных сетях за период 2020-2024 гг.

**Ключевые слова:** трансформатор, силовой трансформатор, отказы трансформаторов, интенсивность отказов.

**Для цитирования:** Попов, М.В. Анализ статистики отказов трансформаторов 10/0,4 кВ, эксплуатируемых в распределительных сетях / М.В. Попов, С.В. Бахтеев, С.А. Свиридонов, В.С. Абрамова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## ANALYSIS OF STATISTICS OF FAILURES OF 10/0.4 kV TRANSFORMERS OPERATED IN DISTRIBUTION NETWORKS

Mikhail Vladimirovich Popov<sup>1</sup>, Sergey Vladimirovich Bakhteev<sup>2</sup>, Sergey Alexandrovich Sviridonov<sup>3</sup>, Victoria Sergeevna Abramova<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>3</sup>PAO Rosseti Volga, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[mikhail\\_popov\\_7@mail.ru](mailto:mikhail_popov_7@mail.ru)

<sup>2</sup>[s.v.bakhteev@yandex.ru](mailto:s.v.bakhteev@yandex.ru)

<sup>3</sup>[sa.sviridonov@rossetivolga.ru](mailto:sa.sviridonov@rossetivolga.ru)

<sup>4</sup>[vikaabramova16@mail.ru](mailto:vikaabramova16@mail.ru)

**Abstract:** The article contains an analysis of damage statistics for 10/0,4 kV power transformers in operation in distribution networks for the period 2020-2024.

**Keywords:** transformer, power transformer, transformer failures, failure rate.

**For citation:** Popov, M.V. Analysis of failure statistics of 10/0,4 kV transformers operated in distribution networks / M.V. Popov, S.V. Bakhteev S.A. Sviridonov, V.S. Abramova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Одними из ключевых элементов распределительных сетей, обеспечивающих передачу электроэнергии конечному потребителю, являются силовые трансформаторы 10/0,4 кВ. Их бесперебойная работа напрямую влияет на качество и надёжность электроснабжения, а внеплановые простои и отказы приводят к значительным экономическим потерям. Следовательно, разработка методов сбора и анализа повреждаемости силовых трансформаторов является актуальной задачей, направленной на выявление слабых мест в их конструкции для дальнейшего составления мероприятий по повышению надёжности подстанций.

**Материалы и методы.** Существует множество исследований, посвящённых анализу отказов силовых трансформаторов различных классов напряжения. В частности, в работах [1, 2] рассматриваются причины повреждений обмоток, высоковольтных вводов и других функциональных узлов с приведением данных по повреждаемости трансформаторов классов напряжений: 35 кВ и выше [1], 110 кВ – 500 кВ [2]. Однако, статистика повреждаемости трансформаторов может существенно отличаться в зависимости от региона, условий эксплуатации и применяемых методов технического обслуживания. Общим требованием к собираемым данным является наличие сведений о повреждённом или вышедшем из строя узле с указанием причин, приведших к отказу, и времени его происхождения. В работе [3] представлена методика расчёта жизненного цикла трансформатора с применением минимума данных по статистике отказов.

В качестве материала для анализа использовалась справка о повреждениях силовых трансформаторов 10/0,4 кВ, находящихся в эксплуатации в распределительных сетях. Данные охватывают период с 2020 по 2024 год. Выборка для анализа включала 61 случай повреждений трансформаторов, для которых были доступны сведения об отказавшем узле, причине повреждения и, в большинстве случаев, дате ввода в эксплуатацию и дате повреждения или отказа. Следует отметить, что в отдельных случаях информация о дате ввода в эксплуатацию отсутствовала, что учитывалось при нахождении средней продолжительности работы с вычитанием этих случаев из выборки при расчёте средней продолжительности работы трансформаторов.

При анализе данных проводился расчёт средней продолжительности работы трансформаторов до отказа с момента ввода в эксплуатацию. Расчёт средней продолжительности работы трансформаторов осуществлялся как отношение суммарной наработки до отказа к общему количеству трансформаторов в выборке. Для расчётов использовались только те случаи, для которых была известна дата ввода в эксплуатацию. При расчёте средней продолжительности работы для отдельных узлов и причин повреждений

учитывались только те случаи, которые относились к данному узлу или причине. Для оценки взаимосвязи между узлами и причинами повреждений использовались таблицы сопряженности, позволяющие определить наиболее распространённые комбинации узлов и причин.

**Результаты исследования.** Для наглядного представления результатов анализа сведения занесены в табл. 1, 2, 3:

Таблица 1 – Количество и процент отказов и повреждений по каждому узлу трансформатора

| Узел трансформатора           | Количество отказов | Доля отказов, % | Средняя продолжительность работы (лет) |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|----------------------------------------|
| Обмотки                       | 44 (1)             | 72,13           | 41,75                                  |
| Высоковольтный ввод           | 7 (0)              | 11,48           | 38,07                                  |
| Изоляционная система          | 3 (0)              | 4,92            | 23,22                                  |
| Прочие узлы                   | 4 (0)              | 6,56            | 39,00                                  |
| Узел трансформатора не указан | 3 (3)              | 4,92            | Нет данных                             |

**Примечание:** В столбце «Количество отказов» в этой таблице и далее данные представлены в виде двух чисел: первое число – общее количество отказов, второе число (указано в скобках) – количество отказов по которым нет данных о продолжительности работы.

Таблица 2 – Количество и процент отказов и повреждений по каждой причине повреждения или отказа трансформаторов

| Причина повреждения или отказа   | Количество отказов | Доля отказов, % | Средняя продолжительность работы (лет) |
|----------------------------------|--------------------|-----------------|----------------------------------------|
| Прочие недостатки эксплуатации   | 35 (0)             | 57,38           | 43,03                                  |
| Старение изоляции                | 10 (2)             | 16,39           | 41,13                                  |
| Перекрытие птицами или животными | 1 (0)              | 1,64            | 49,40                                  |
| Наличие местного дефекта         | 1 (0)              | 1,64            | 32,59                                  |
| Прочие изменения материалов      | 8 (1)              | 13,11           | 40,40                                  |
| Причина не установлена           | 1 (0)              | 1,64            | 56,82                                  |
| Дефект конструкции               | 3 (0)              | 4,92            | 7,06                                   |
| Прочие недостатки изготовления   | 1 (0)              | 1,64            | 9,34                                   |
| Причина не указана               | 1 (1)              | 1,64            | Нет данных                             |

Таблица 3 – Количество и процент отказов и повреждений каждого узла трансформаторов по определённой причине

| Узел трансформатора        | Причина повреждения или отказа   | Количество | Доля отказов, % | Средняя продолжительность работы |
|----------------------------|----------------------------------|------------|-----------------|----------------------------------|
| Обмотки                    | Прочие недостатки эксплуатации   | 28 (0)     | 63.64           | 43.37                            |
|                            | Старение изоляции                | 7 (0)      | 15.91           | 41.67                            |
|                            | Прочие изменения материалов      | 6 (1)      | 13.64           | 44.42                            |
|                            | Причина не установлена           | 1 (0)      | 2.27            | 56.82                            |
|                            | Дефект конструкции               | 2 (0)      | 4.55            | 5.13                             |
| Высоковольтный ввод        | Прочие недостатки эксплуатации   | 5 (0)      | 71.43           | 37.40                            |
|                            | Наличие местного дефекта         | 1 (0)      | 14.29           | 32.59                            |
|                            | Прочие изменения материалов      | 1 (0)      | 14.29           | 46.89                            |
| Изоляционная система       | Перекрытие птицами или животными | 1 (0)      | 33.33           | 49.40                            |
|                            | Дефект конструкции               | 1 (0)      | 33.33           | 10.92                            |
|                            | Прочие недостатки изготовления   | 1 (0)      | 33.33           | 9.34                             |
| Прочие узлы трансформатора | Прочие недостатки эксплуатации   | 2 (0)      | 50.00           | 52.42                            |
|                            | Старение изоляции                | 1 (0)      | 25.00           | 37.35                            |
|                            | Прочие изменения материалов      | 1 (0)      | 25.00           | 13.81                            |

| Узел трансформатора           | Причина повреждения или отказа | Количество | Доля отказов, % | Средняя продолжительность работы |
|-------------------------------|--------------------------------|------------|-----------------|----------------------------------|
| Узел трансформатора не указан | Старение изоляции              | 2 (2)      | 66.67           | Нет данных                       |
|                               | Причина не указана             | 1 (1)      | 33.33           | Нет данных                       |

**Примечание:** В таблице доля отказов рассчитывается как отношение количества отказов и повреждений данного узла по определённой причине к общему количеству отказов узла.

Выборка отказов и повреждений не обладает достаточным объёмом, но полученные результаты позволяют выявить основные её закономерности: средняя продолжительность работы трансформаторов в выборке около 40 лет. Средний срок службы трансформаторов до наступления отказа по причине наличия дефектов конструкции и прочих недостатков составляет около 7 лет; по этому периоду времени можно рассчитать период приработки трансформатора или отдельного узла при наличии более объёмной выборки. Наиболее часто повреждаемым узлом трансформатора являются обмотки трансформатора (72,13%). Наиболее частой причиной отказов (за исключением отказов, отнесенных к причине «прочие недостатки эксплуатации») является старение изоляции (15,91%).

В данной статистике отсутствуют сведения о количестве оставшихся в эксплуатации трансформаторов на моменты выхода каждой подстанции из строя, что не позволяет рассчитать интенсивность отказов по формуле:

$$\lambda = \frac{n(\Delta t)}{N_{\text{ср}} \Delta t},$$

где  $n(t)$  – число отказов за промежуток времени  $\Delta t$ ;  $N_{\text{ср}}$  – среднее число трансформаторов, продолжающих исправно работать в данный интервал времени.

**Заключение.** Для расчёта интенсивности отказов по непрерывно собираемым данным необходимо включить в статистику сведения о количестве и дате введения в эксплуатацию всех подстанций, либо о количестве работающих подстанций на момент очередного отказа.

Интенсивность отказов при отсутствии вышеуказанных сведений возможно приближённо вычислить для устройств, введённых в определённый промежуток времени (например, в один год), если средняя продолжительность работы трансформаторов в выборке, сложенная с окончанием промежутка времени введения в эксплуатацию, значительно отстоит от времени завершения сбора статистики. В этом случае количество отказов можно приближённо принять равным количеству всех трансформаторов, введённых в эксплуатацию в определённый промежуток времени.

При повышении параметров надёжности какого-либо узла трансформатора путём внесения конструктивных изменений или изменений в способе обслуживания узла возможно рассчитать и повышение средней продолжительности работы трансформатора, если имеется распределение интенсивности отказов по каждому узлу.

### Список источников

1. Антонов, В.О. Анализ статистики технологических отказов функциональных узлов силовых трансформаторов 35 кВ и выше // Вестник науки. – 2024. – Т. 4, № 1 (70). – С. 755-762.
2. Руденко, Д.С. Статистика отказов и причины выхода из строя силовых трансформаторов на подстанциях 110-500 кВ / Д.С. Руденко, А.А. Грибанов // Инновации. Наука. Образование. – 2023. – № 81. – С. 23-29.
3. Семенова, К.В. Методика расчета жизненного цикла трансформаторов / К.В. Семенова, А.В. Подобный, А.И. Тихонов // Надежность и долговечность машин и механизмов: Сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции (Иваново, 18 апреля 2019 года). – Иваново, 2019. – С. 167-171.

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

Научная статья

УДК 535.3+628.9.061

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТА ОТ РАССТОЯНИЯ ДО ИСТОЧНИКА СВЕТА

**Ирина Геннадиевна Поспелова<sup>1</sup>, Даниил Иосифович Главатских<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

<sup>1</sup>Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия

<sup>1</sup>[pospelovaig@mail.ru](mailto:pospelovaig@mail.ru)

<sup>2</sup>[Clasned@gmail.ru](mailto:Clasned@gmail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматривается один из важных параметров микроклимата – это освещение. При проектировании освещения помещений необходимо учитывать многие факторы, в том числе расстояние, на котором находится источники света. Приведены исследования зависимости освещения объекта от расстояния до источника света при разных напряжениях.

**Ключевые слова:** освещение, источник света, микроклимат, интерактивный модулятор, энергосбережение.

**Для цитирования:** Поспелова, И.Г. Изучение зависимости освещения объекта от расстояния до источника света / И.Г. Поспелова, Главатских Д.И. // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF LIGHTING DEVICES WHEN RAISING PIGS

**Irina Gennadievna Pospelova<sup>1</sup>, Daniil Iosifovich Glavatskikh<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia



<sup>1</sup>Northern Trans-Urals State Agrarian University, Tyumen, Russia

<sup>1</sup>[pospelovaig@mail.ru](mailto:pospelovaig@mail.ru)

<sup>2</sup>[Clasned@gmail.ru](mailto:Clasned@gmail.ru)

**Abstract.** The article examines one of the important parameters of the microclimate - lighting. When designing room lighting, it is necessary to take into account many factors, including the distance at which the light sources are located. Studies of the dependence of object lighting on the distance to the light source at different voltages are presented.

**Keywords:** lighting, light source, microclimate, interactive modulator, energy saving.

**For citation:** Pospelova, I.G. Study of the dependence of object illumination on the distance to the light source / I.G. Pospelova, D.I. Glavatskikh // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Актуальность исследования данной темы обусловлена тем, что в последние годы наблюдается рост интереса к вопросам комфорта и благоприятного микроклимата в помещениях. Исследования показывают, что правильное освещение может значительно улучшить настроение, повысить работоспособность и снизить уровень стресса. Таким образом, освещение не только формирует визуальное восприятие интерьера, но и влияют на физическое состояние человека, что делает их важными объектами для изучения в контексте микроклимата [1, 2].

Поэтому *целью работы* является определение зависимости уровня освещения объекта от расстояния до источника света.

**Материалы и методы.** Для исследования использовался интерактивный модулятор (<https://efizika.ru>), который показан на рис. 1 [3, 4].



Рисунок 1 – Интерактивный модулятор

На представленном симуляторе были сняты показания силы тока освещенного объекта в зависимости от расстояния до источника света и сведены в табл. [5, 6].

Таблица – Зависимость освещения объекта от расстояния до источника света

| №<br>п/п | Расстояние R, см | Сила тока I, мкА |              |
|----------|------------------|------------------|--------------|
|          |                  | при U = 10 В     | при U = 20 В |
| 1        | 5                | 20               | 40           |
| 2        | 10               | 5                | 10           |
| 3        | 15               | 2                | 4            |
| 4        | 20               | 0                | 2            |

**Результаты исследования.** Ниже приведёно графическое представление полученных исследований (рис. 2).

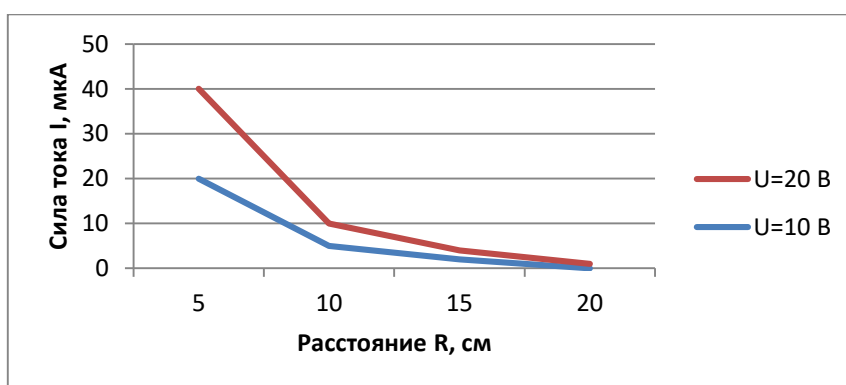


Рис. 2 – Графическое представление зависимости освещения объекта от расстояния до источника света

Показанные исследования свидетельствуют о том, что при освещении объекта меняется его проводимость, то есть сопротивление, а следовательно сила тока. Причем освещённость убывает согласно закону обратных квадратов [7–9].

**Заключение.** Изучение зависимости освещения объекта от расстояния до источника света показало, что уровень освещённости уменьшается с увеличением расстояния. Полученные результаты подтверждают теоретические предпосылки о том, что освещённость убывает согласно закону обратных квадратов. Кроме того, увеличение напряжения источника света приводит к значительному повышению уровня освещённости на всех измеренных расстояниях. Эти результаты могут быть использованы для оптимизации освещения в различных областях, что особенно актуально в контексте современных требований к энергосбережению и эффективному использованию ресурсов.

### Список источников

1. Расчет параметров светодиодного освещения птичника при напольном содержании / С.М. Бакиров, Т.А. Широбокова, И.Г. Поспелова [и др.] // Сельский механизатор. – 2024. – № 3. – С. 10-11. – DOI 10.47336/0131-7393-2024-3-10-11-24. – EDN CWWNIU.

2. Программа управления освещенностью в животноводческом помещении / С.М. Бакиров, Т.А. Широбокова, И.Г. Пospelова [и др.] // 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. 329-334. – EDN KMYWKC.

3. Абдулов, Р.М. Интерактивное обучение физике с помощью современных технических средств / Р.М. Абдулов, О.Г. Надеева // Педагогическое образование в России. – 2011. – № 3. – С.185 – 191.

4. Недогреева, Н.Г. Компьютерные модели в интерактивном обучении: Учебное пособие по использованию компьютерной программы «Открытая физика» / Н.Г. Недогреева, Д.Г. Тырсин. – Саратов: Издательский Центр «Наука», 2010. – 62 с.

5. Программа освещения с учетом уровня естественного освещения : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024616800 Российская Федерация / Т.А. Широбокова, П.В. Дородов, С.М. Бакиров [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет». – EDN DZHJFQ.

6. Программа для автоматического регулирования систем освещения : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022617215 Российская Федерация / Т.А. Широбокова, И.Г. Пospelова, Е.А. Мыльников [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия». – EDN GYSOOE.

7. Светодиодный осветительный прибор : патент на полезную модель № 203834 U1 Российская Федерация / Т.А. Широбокова, И.Г. Пospelова, И.И. Иксанов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия». – EDN URRRQK.

8. Экономическое обоснование энергетической эффективности системы освещения / Т.А. Широбокова, И.Г. Пospelова, М.А. Набатчикова [и др.] // Развитие инженерного образования и его роль в технической модернизации АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию подготовки инженеров-механиков Ижевской государственной сельскохозяйственной академией, Ижевск, 11–13 ноября 2020 года. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. – С. 379-383. – EDN JXRDZG.

9. Разработка энерго- ресурсосберегающих осветительных установок для АПК / Т.А. Широбокова, И.Г. Пospelова, М.А. Набатчикова [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2020. – Т. 67, № 3(40). – С. 95-102. – DOI 10.22314/2658-4859-2020-67-3-95-102. – EDN GRKZPJ.

## ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПОЧВЫ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

**Ирина Геннадиевна Пospelова<sup>1</sup>, Иван Владимирович Возмищев<sup>2</sup>, Стефания Сергеевна Дмитриева<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

<sup>2</sup>Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия

<sup>1</sup>Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия

<sup>1</sup>[pospelovaig@mail.ru](mailto:pospelovaig@mail.ru)

<sup>2</sup>[vozm-ivan@yandex.ru](mailto:vozm-ivan@yandex.ru)

<sup>3</sup>[miss.dmitrievaSt@mail.ru](mailto:miss.dmitrievaSt@mail.ru)

**Аннотация.** В статье представлены исследования, проведенные на интерактивном модуляторе PhET Interactive Simulations (Спектр черного тела). По длинам волн, снятым с симулятора, можно определить температуру, которая необходима для обеззараживания почвы. При высоких температурах, достигаемых с помощью инфракрасных излучателей, происходит деструкция клеточных структур микробов и других вредителей. Это позволяет исключить необходимость применения химических веществ, что значительно уменьшает риск загрязнения окружающей среды.

**Ключевые слова:** обеззараживание, почва, ИК-излучение, интерактивный модулятор, абсолютно черное тело, температура, микроорганизмы.

**Для цитирования:** Пospelова, И.Г. Обеззараживание почвы инфракрасным излучением / И.Г. Пospelова, И.В. Возмищев, С.С. Дмитриева // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## DISINFECTION OF SOIL WITH INFRARED RADIATION

**Irina Gennadiyevna Pospelova<sup>1</sup>, Ivan Vladimirovich Vozmishchev<sup>2</sup>, Stefania Sergeevna Dmitrieva<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

<sup>2</sup>Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Izhevsk, Russia

<sup>1</sup>Northern Trans-Urals State Agrarian University, Tyumen, Russia

<sup>1</sup>[pospelovaig@mail.ru](mailto:pospelovaig@mail.ru)

<sup>2</sup>[vozm-ivan@yandex.ru](mailto:vozm-ivan@yandex.ru)

<sup>3</sup>[miss.dmitrievaSt@mail.ru](mailto:miss.dmitrievaSt@mail.ru)

**Abstract.** The article presents studies conducted on the PhET Interactive Simulations interactive modulator (Black body spectrum). The wavelengths taken from

the simulator can be used to determine the temperature required for soil disinfection. At high temperatures achieved with infrared emitters, the cellular structures of microbes and other pests are destroyed. This eliminates the need for chemicals, which significantly reduces the risk of environmental pollution.

**Keywords:** disinfection, soil, IR radiation, interactive modulator, absolutely black body, temperature, microorganisms.

**For citation:** Pospelova, I.G. Soil disinfection with infrared radiation / I.G. Pospelova, I.V. Vozmishchev, S.S. Dmitrieva // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Актуальность исследования данной темы обусловлена тем, что в последние десятилетия наблюдается рост интереса к эффективным и экологически безопасным методам обработки почвы, что обусловлено увеличением числа патогенных микроорганизмов и вредителей, а также необходимостью минимизации использования химических средств. В этом контексте использование инфракрасного излучения для обеззараживания почвы представляет собой перспективное направление, которое требует изучения и анализа [1, 2].

Поэтому целью работы стало изучение инфракрасного излучения как способ обеззараживания почвы.

**Материалы и методы.** Для исследования использовался интерактивный модулятор PhET Interactive Simulations (Спектр черного тела), который показан на рис. [3].

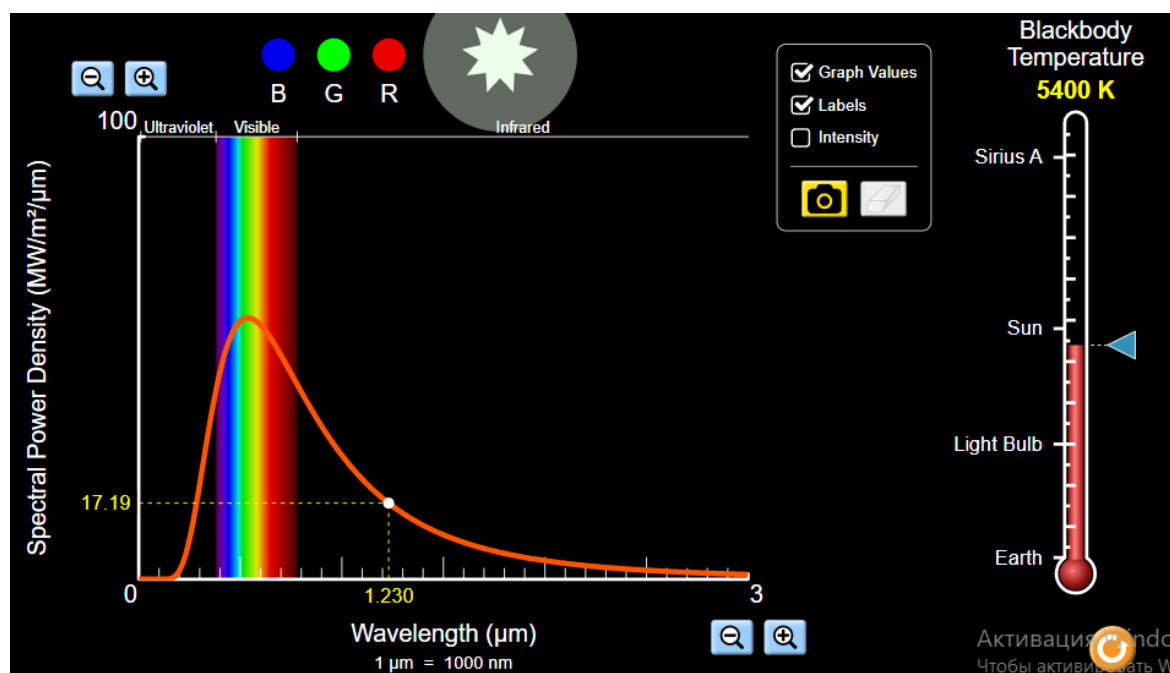


Рисунок – Интерактивный модулятор PhET Interactive Simulations

На представленном симуляторе были сняты показания длины волны инфракрасного излучения для абсолютно черного тела, а почва как раз близка к

этому. Из закона Стефана-Больцмана, уровень излучения (поглощения) тела пропорционален четвёртой степени его абсолютной температуры, что позволяет использовать инфракрасное излучение для достижения необходимых температур, способствующих гибели патогенных микроорганизмов и вредителей в почве [4, 5]:

$$R = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $T$  – температура тела, К.

Вин связал  $\lambda_{\max}$  в зависимости от температуры:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (2)$$

где  $b$  – постоянная Вина, м·К.

**Результаты исследования.** По длинам волн, снятым с симулятора, можно определить температуру, которая необходима для обеззараживания почвы. При высоких температурах, достигаемых с помощью инфракрасных излучателей, происходит деструкция клеточных структур микробов и других вредителей. Это позволяет исключить необходимость применения химических веществ, что значительно уменьшает риск загрязнения окружающей среды. Эффективность такого подхода также определяется тем, что инфракрасные облучатели передают тепло непосредственно в почву, не перегревая окружающий воздух [6-9].

Важно отметить, что применение инфракрасного излучения для обеззараживания почвы обеспечивает высокий уровень точности и контроля. Возможность настраивать мощность и время излучения позволяет оптимизировать процесс, достигая желаемых результатов в зависимости от типа почвы, климатических условий и специфических требований к обработке [10].

**Заключение.** Обеззараживание почвы является важной задачей в современном сельском хозяйстве, поскольку здоровье растений и, как следствие, урожайность напрямую зависят от состояния почвы. В ходе данной работы мы рассмотрели различные аспекты применения инфракрасного излучения для обеззараживания почвы, опираясь на закон Стефана-Больцмана, который описывает зависимость мощности излучения от температуры абсолютно черного тела. Это знание позволяет глубже понять, как работают специализированные устройства, использующие ИК-горелки, и как они могут эффективно уничтожать вредителей и болезнетворные микроорганизмы.

### Список источников

1. Исследование работы устройства для обеззараживания ИК-излучением почвосмеси в тонком слое на конвейере / И.Г. Поспелова, М.Н. Ерохин, П.В. Дородов [и др.] // Агроинженерия. – 2025. – Т. 27, № 2. – С. 84-91. – DOI 10.26897/2687-1149-2025-2-84-91. – EDN RXOXZB.

2. Поспелова, И.Г. Применение электротехнологий в современном инженерно-техническом обеспечении агропромышленного комплекса / И.Г. Поспелова, И.В. Возмищев // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность : Материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Заслуженного деятеля науки РФ, КБР, Республики Адыгея, профессора Б.Х. Фиапшева, Нальчик, 22 марта

2024 года. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, 2024. – С. 145-148. – EDN IDKRQG.

3. Недогреева, Н.Г. Компьютерные модели в интерактивном обучении: Учебное пособие по использованию компьютерной программы «Открытая физика» / Н.Г. Недогреева, Д.Г. Тырсин. – Саратов: Издательский Центр «Наука», 2010. – 62 с.

4. Роботизированная тележка для обеззараживания почвы и субстрата ик-излучением / И.Г. Пospelova, Т.А. Широбокова, Е.А. Михеева [и др.] // Сельский механизатор. – 2024. – № 4. – С. 36-37. – DOI 10.47336/0131-7393-2024-4-36-37-39. – EDN WJYDWN.

5. Роботизация процессов в сфере агропромышленного комплекса на примере обеззараживания поверхностей ИК-излучением / И.Г. Пospelova, И.В. Возмищев, Л.А. Шувалова [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2024. – № 1(61). – DOI 10.51419/202141122. – EDN LJPSPI.

6. Термическое обеззараживание почвосмеси ИК-излучением / И.Г. Пospelova, П.В. Дородов, Е.А. Михеева [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 4(57). – С. 3-8. – DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-4-3-8. – EDN RMTGQW.

7. Пospelova, И.Г. Инфракрасное обеззараживание почвы как один из способов органического земледелия / И.Г. Пospelova, И.В. Возмищев // Актуальные вопросы агрономии: Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 70-летию доктора сельскохозяйственных наук, почетного работника высшего профессионального образования, заслуженного деятеля науки Удмуртской Республики профессора Ильдуса Шамилевича Фатыхова, Ижевск, 05 октября 2023 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2023. – С. 334-338. – EDN VCCVQF.

8. The heat conductivity mechanism of the IR heating propagation for surfaces decontamination in protected ground / I.G. Pospelova, P.V. Dorodov, I.V. Vozmishchev [et al.] // E3s web of conferences : VIII International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023), Krasnoyarsk, 29–31 марта 2023 года. Vol. 390. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. – P. 01003. – DOI 10.1051/e3sconf/202339001003. – EDN KRAVTM.

9. Применение инфракрасного нагрева при обеззараживании почвы в защищенном грунте и механизм распространения тепла / П.В. Дородов, И.Г. Пospelova, И.В. Возмищев [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 2(47). – С. 59-64. – DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-2-59-64. – EDN VTKZNA.

10. Пospelova, И.Г. Разработка энерго- ресурсосберегающих установок для обеззараживания почвы и субстрата / И.Г. Пospelova, И.В. Возмищев, И.Р. Владыкин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 4(45). – С. 3-8. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-4-3-8. – EDN PMPVMZ.

© Пospelova И.Г., Возмищев И.В., Дмитриева С.С., 2025



## РАСЧЕТ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Ирина Геннадиевна Пospelова<sup>1</sup>, Иван Владимирович Возмищев<sup>2</sup>, Дарья Владимировна Шабалина<sup>3</sup>, Виктория Юрьевна Кудряшова<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

<sup>2</sup>Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия

<sup>1</sup>Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия

<sup>1</sup>[pospelovaig@mail.ru](mailto:pospelovaig@mail.ru)

<sup>2</sup>[vozm-ivan@yandex.ru](mailto:vozm-ivan@yandex.ru)

<sup>3</sup>[vikakudr.04@mail.ru](mailto:vikakudr.04@mail.ru)

<sup>4</sup>[dariasabalina14@mail.ru](mailto:dariasabalina14@mail.ru)

**Аннотация.** В статье представлено изучение цепей переменного тока с помощью виртуальной лабораторий PhET Interactive Simulations, которая помогает студентам наглядно воспринимать сложные процессы и осуществлять виртуальные эксперименты. Применение интерактивных моделей в обучении способствуют пониманию не только простых явлений природы, но и в дальнейшем решению задач прикладного характера.

**Ключевые слова:** последовательная цепь переменного тока, интерактивный симулятор, закон Ома для участка цепи, напряжение, сопротивление

**Для цитирования:** Пospelова, И.Г. Расчет цепи переменного тока / И.Г. Пospelова, И.В. Возмищев, Д.В. Шабалина, В.Ю. Кудряшова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## AC CIRCUIT CALCULATION

**Irina Gennadiyevna Pospelova<sup>1</sup>, Ivan Vladimirovich Vozmishchev<sup>2</sup>, Daria Vladimirovna Shabalina<sup>3</sup>, Victoria Yurievna Kudryashova<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

<sup>2</sup>Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Izhevsk, Russia

<sup>1</sup>Northern Trans-Urals State Agrarian University, Tyumen, Russia

<sup>1</sup>[pospelovaig@mail.ru](mailto:pospelovaig@mail.ru)

<sup>2</sup>[vozm-ivan@yandex.ru](mailto:vozm-ivan@yandex.ru)

<sup>3</sup>[vikakudr.04@mail.ru](mailto:vikakudr.04@mail.ru)

<sup>4</sup>[dariasabalina14@mail.ru](mailto:dariasabalina14@mail.ru)

**Abstract.** The article presents the study of alternating current circuits using the PhET Interactive Simulations virtual laboratory, which helps students visually perceive

complex processes and carry out virtual experiments. The use of interactive models in training contributes to the understanding of not only simple natural phenomena, but also to the further solution of applied problems.

**Keywords:** AC series circuit, interactive simulator, Ohm's law for a section of a circuit, voltage, resistance.

**For citation:** Pospelova, I.G. Calculation of an alternating current circuit / I.G. Pospelova, I.V. Vozmishchev, D.V. Shabalina, V.Yu. Kudryashova // Actual problems of agro-industrial energy: materials of the III National Scientific and Practical Conference with International participation named after G.P. Eroshenko / Edited by S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Изучение цепей переменного тока играет ключевую роль в современном мире технологий и инженерии. Во-первых, переменный ток используется в большинстве электрических систем, включая дома и промышленные предприятия. Во-вторых, понимание принципов работы цепей переменного тока необходимо для проектирования и обслуживания электрооборудования, генераторов и трансформаторов. Также знание о цепях переменного тока важно для энергетической эффективности и устойчивого развития, так как позволяет оптимизировать использование энергии и внедрять возобновляемые источники энергии [1, 2]. Кроме того, исследование цепей переменного тока связано с современными тенденциями, такими как развитие электроники и smart-grid технологий [3-5].

Таким образом, изучение этой темы является актуальным и необходимым для создания надежных и эффективных электронных систем и сетей.

*Целью работы* стало изучение цепей переменного тока.

**Материалы и методы.** Для изучения цепей переменного тока использовался интерактивный тренажер PhET Interactive Simulations [6]. На рис. 1 приведена цепь переменного тока из последовательно соединенных резистора, катушки и конденсатора.

**Результаты исследования.** Закон Ома для цепи переменного тока гласит, что значение тока  $I$  прямо пропорционально напряжению  $U$  в цепи и обратно пропорционально полному сопротивлению цепи  $Z$

$$I = \frac{U}{Z}. \quad (1)$$

Общее напряжение находится

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}, \quad (2)$$

где  $U_R, U_L, U_C$  – напряжения на резисторе, катушке и конденсаторе соответственно.

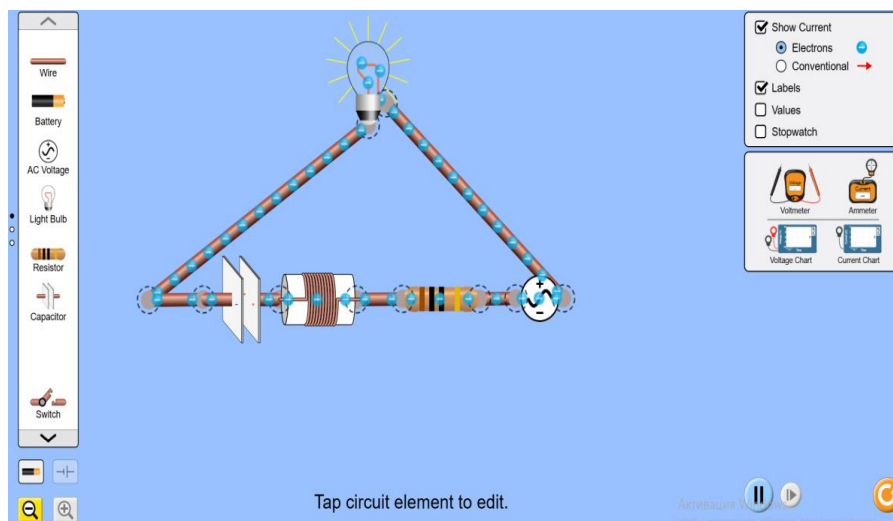


Рисунок 1 – Интерактивный симулятор для изучения цепей переменного тока

Напряжения на участках цепи ( $U_R, U_L, U_C$ ) можно узнать, если к ним параллельно подключить вольтметр, как показано на рис. 2.

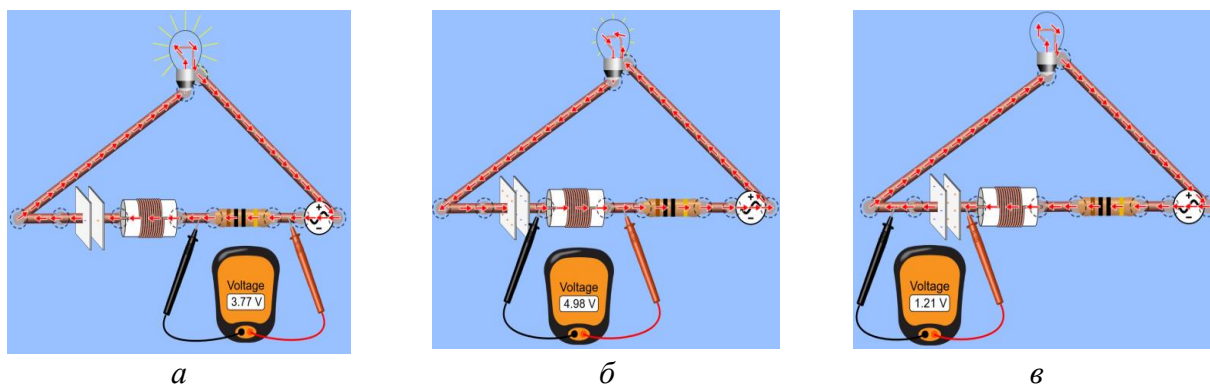


Рисунок 2 – Измерение напряжения на участках цепи:

*а* – показания на резисторе; *б* – показания на катушке; *в* – показания на конденсаторе

Сопротивления на участках находятся по закону Ома для участка цепи

$$R = \frac{U_R}{I}, \quad X_L = \frac{U_L}{I}, \quad X_C = \frac{U_C}{I} \quad (3)$$

Поскольку сила тока в последовательной цепи на всех участках одинакова, то ее достаточно замерить в любом месте (рис. 3).

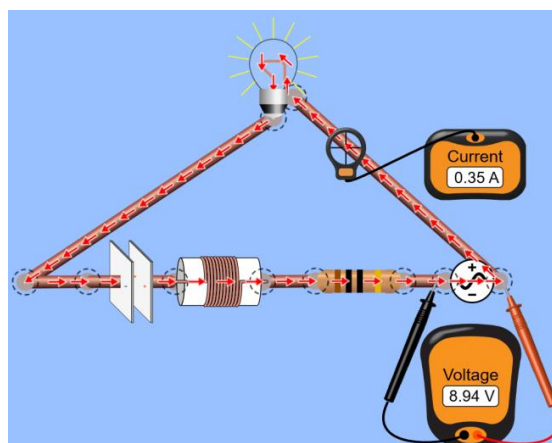


Рисунок 3 – Измерения общего напряжения на источнике и тока в цепи

Полное сопротивление цепи  $Z$  рассчитывается

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \quad (4)$$

Справедливость закона Ома подтверждается, если сила тока, рассчитанная по формуле (1) совпадает с измерениями и напряжение, найденное по формуле (2), соответствует измеренному [7, 8].

**Заключение.** Для студентов инженерных специальностей знание основных законов цепей переменного тока имеет важное значение. Это не только расширяет технические навыки, но и открывает возможности для работы над современными проектами, включая системы возобновляемой энергии и умные сети. Понимание основных понятий и применение различных компонентов, позволяет эффективно проектировать и анализировать электрические системы. Важно продолжать исследование новых технологий и методов, чтобы улучшить эффективность и надежность систем переменного тока в будущем [9, 10]. Таким образом, изучение цепей переменного тока – это важный шаг на пути к становлению успешным инженером или электронщиком.

### Список источников

1. Данилов, С.А. Энергосберегающая система электроснабжения установки для обеззараживания поверхности в защищенном грунте / С.А. Данилов, И.В. Титов // Научные труды студентов Ижевской ГСХА : Сборник статей / Отв. за выпуск Н.М. Итешина. Том 1 (14). – Ижевск : Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 1997-2000. – EDN ITWQRC.

2. Пospelова, И.Г. Автономная система электроснабжения установки для обеззараживания поверхностей ИК-излучением в защищенном грунте / И.Г. Пospelова, И.В. Возмищев, А.М. Ниязов [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 2(47). – С. 20-24. – DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-2-20-24. – EDN QOTCGP.

3. Пospelова, И.Г. Роботизированная тележка для обеззараживания поверхностей ИК-излучением : патент на полезную модель № 223303 U1 Российская Федерация / И.Г. Пospelова, И.В. Возмищев, Т.А. Широбокова [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет». – EDN LWHVFB.

4. Титов, И.В. Программа управления процессом обеззараживания почвосмеси в тонком слое ИК-излучением на конвейере : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024683051 Российская Федерация / И.В. Титов, И.Г. Пospelова; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Эмир». – EDN ZSFZDB.

5. Тумашов, Е.Н. Проектирование энергоэффективной калориферной системы отопления для птицефабрики на основе интеллектуального анализа климатических данных / Е.Н. Тумашов, Т.А. Широбокова, И.Г. Пospelова // Неделя молодёжной науки - 2024 : сборник трудов внутривузовского форума, посвященного к празднованию 65-летия Государственного аграрного

университета Северного Зауралья и 145-летнего юбилея Тюменского Александровского реального училища, Тюмень, 03-04 декабря 2024 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2024. – С. 281-285. – EDN KIKTXX.

6. Электрическая цепь постоянного тока: Виртуальная лаборатория [Электронный ресурс]. - URL: [https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab\\_ru.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_ru.html) (дата обращения: 15.08.2024).

7. Пospelова, И.Г. Электрическая схема управления установкой для обеззараживания ИК-излучением почвосмеси в тонком слое на конвейере / И.Г. Пospelова, И.В. Возмищев, И.В. Титов // Современные энергетические аспекты развития аграрной сферы : Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной Дню энергетика, Ижевск, 22 декабря 2023 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2023. – С. 141-144. – EDN DUNNZF.

8. Хамидуллин, Т.Р. Расчёт надёжности линии электроснабжения сельской больницы при использовании альтернативного источника энергии / Т.Р. Хамидуллин, Н.Д. Митрофанов // Научные труды студентов Ижевской ГСХА : Сборник статей / Отв. за выпуск Н.М. Итешина. Том 1 (16). – Ижевск : Удмуртский государственный аграрный университет, 2023. – С. 1170-1174. – EDN RBQFRB.

9. Широбокова, Т.А. Повышение надежности электроснабжения комплектных трансформаторных подстанций 6/0,4 КВ / Т.А. Широбокова, И.Г. Пospelова, С.А. Данилов // Современные энергетические аспекты развития аграрной сферы : Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, Ижевск, 19 декабря 2024 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2024. – С. 262-267. – EDN QQCQRU.

10. Широбокова, Т.А. Уменьшение дополнительных потерь электроэнергии от несимметрии нагрузки фаз / Т.А. Широбокова, И.Г. Пospelова, Е.А. Ложкин // Современные энергетические аспекты развития аграрной сферы : Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, Ижевск, 19 декабря 2024 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2024. – С. 273-277. – EDN GXQUNT.

© Пospelова И.Г., Возмищев И.В., Шабалина Д.В., Кудряшова В.Ю., 2025

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАСТЕНИЯ

**Ирина Геннадиевна Пospelова<sup>1</sup>, Иван Владимирович Возмищев<sup>2</sup>, Дарья Андреевна Иванова<sup>3</sup>, Анна Сергеевна Шмыкова<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

<sup>2</sup>Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия

<sup>1</sup>Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия

<sup>1</sup>[pospelovaig@mail.ru](mailto:pospelovaig@mail.ru)

<sup>2</sup>[vozm-ivan@yandex.ru](mailto:vozm-ivan@yandex.ru)

<sup>3</sup>[daria.ivanovs.4@mail.ru](mailto:daria.ivanovs.4@mail.ru)

<sup>4</sup>[smykovaanna77@gmail.com](mailto:smykovaanna77@gmail.com)

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние электромагнитного излучения – микроволн, инфракрасного, видимого и ультрафиолетового, на молекулы воды, которая содержится около 95% в растительных клетках. Исследование проводилось на интерактивном симуляторе PhET Interactive Simulations. В результате чего проведен анализ механизмов воздействия этих видов электромагнитного излучения на молекулу воды.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение, растения, ИК-излучение, видимый свет, ультрафиолет, защищенный грунт, экология.

**Для цитирования:** Пospelова, И.Г. Влияние электромагнитного излучения на растения / И.Г. Пospelова, И.В. Возмищев, Д.А. Иванова, А.С. Шмыкова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION ON PLANTS

**Irina Gennadiyevna Pospelova<sup>1</sup>, Ivan Vladimirovich Vozmishchev<sup>2</sup>, Daria Andreevna Ivanova<sup>3</sup>, Anna Sergeevna Shmykova<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

<sup>2</sup>Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Izhevsk, Russia

<sup>1</sup>Northern Trans-Urals State Agrarian University, Tyumen, Russia

<sup>1</sup>[pospelovaig@mail.ru](mailto:pospelovaig@mail.ru)

<sup>2</sup>[vozm-ivan@yandex.ru](mailto:vozm-ivan@yandex.ru)

<sup>3</sup>[daria.ivanovs.4@mail.ru](mailto:daria.ivanovs.4@mail.ru)

<sup>4</sup>[smykovaanna77@gmail.com](mailto:smykovaanna77@gmail.com)

**Abstract.** The article examines the influence of electromagnetic radiation – microwaves, infrared, visible and ultraviolet – on water molecules, which make up

about 95% of plant cells. The study was conducted using the PhET Interactive Simulations interactive simulator. As a result, an analysis of the mechanisms of the impact of these types of electromagnetic radiation on the water molecule was conducted.

**Keywords:** electromagnetic radiation, plants, infrared radiation, visible light, ultraviolet, protected soil, ecology.

**For citation:** Pospelova, I.G. The influence of electromagnetic radiation on plants / I.G. Pospelova, I.V. Vozmishchev, D.A. Ivanova, A.S. Shmykova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Вода и свет являются ключевыми элементами для жизни растений. Вода, составляющая до 95% массы зеленых организмов, необходима для их роста и жизненных процессов. Свет, в свою очередь, обеспечивает растения энергией для фотосинтеза, преобразуя солнечную энергию в химическую и выделяя кислород [1, 2].

Изучение различных спектров электромагнитного излучения имеет важное значение для повышения эффективности сельского хозяйства и садоводства, особенно в условиях глобальных климатических изменений и растущей потребности в продовольствии. Разработка новых технологий облучения электромагнитным излучением позволит улучшить условия выращивания овощей и фруктов в защищенном грунте. Таким образом, изучение влияния электромагнитного излучения на растения актуально как для науки, так и для практического применения в агрономии и экологии [3-5].

Целью работы стало исследование влияния различного электромагнитного излучения на растения.

**Материалы и методы.** Работа построена воспроизведении на интерактивном симуляторе PhET Interactive Simulations различного спектра электромагнитного излучения, действующего на молекулу воды [6].

Так как выше уже было сказано, что растения состоят на 95% воды, поэтому рассмотрим влияние некоторого спектра излучения на молекулу воды.

**Результаты исследования.** Микроволны представляют собой электромагнитное излучение с длиной волны примерно от 1 мм до 1 м. На рис. 1 изображено как происходит воздействие микроволн на молекулу воды. Из наблюдений видно, что микроволны заставляют молекулу воды интенсивно вращаться. При поглощении микроволнового излучения полярные молекулы воды, обладающие разницей в электроотрицательности между атомами водорода и кислорода, начинают совершать вращательные движения. Микроволновое излучение изменяет заряд на клеточных мембранах растений и разность потенциалов, что влияет на ионные каналы, вызывает физиологические изменения и биохимические процессы.

Инфракрасное излучение имеет длину волны от 780 нм до 1 мм, а источником являются молекулы и атомы нагретых тел. Человеческий глаз не способен воспринимать инфракрасное излучение.



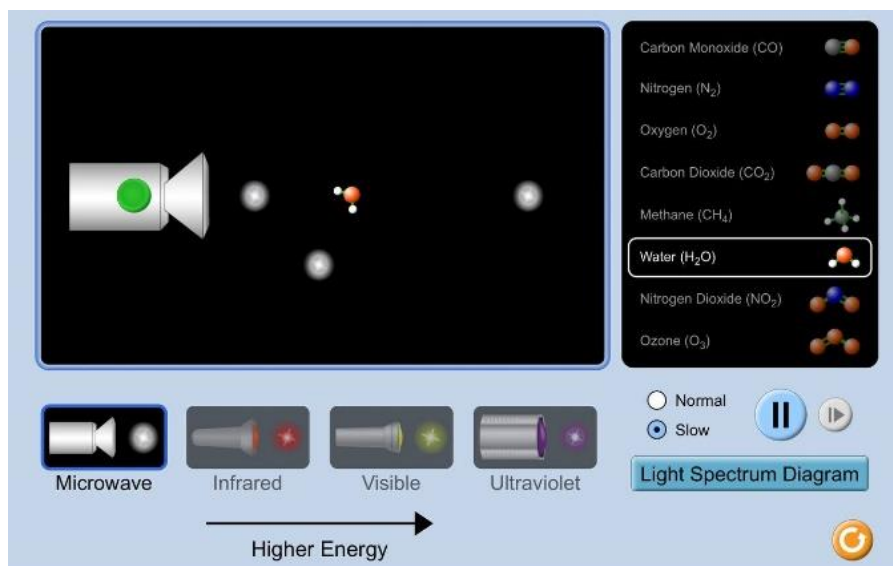


Рисунок 1 – Влияние микроволн на молекулу воды

На рис. 2 показано, как ИК-излучение взаимодействует с молекулой воды, вызывая вибрацию и вращение.

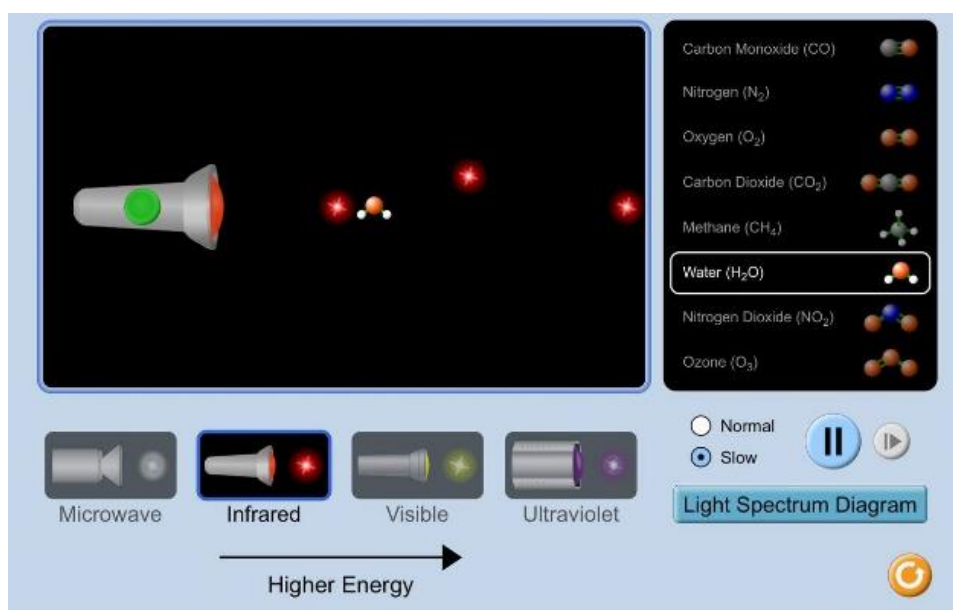


Рисунок 2 – Влияние инфракрасного света на молекулу воды

Поглощая инфракрасные фотоны молекулы воды, увеличивают амплитуду колебаний связей между атомами, что способствует интенсификации таких процессов, как парообразование и теплообмен. В растениях это приводит к изменениям в окислении липидов, pH и активности АТФ, что усиливает биоэнергетические и биосинтетические процессы [7, 8].

Видимый свет находится в диапазоне длин волн от 380 нм до 780 нм и воспринимается человеческим глазом. На рис. 3 показано, что молекула воды пропускает видимый свет. Свет не оказывает влияния на молекулы воды, так как энергия фотонов в этом диапазоне (1,77...3,26 эВ) недостаточна для возбуждения молекул или изменения их химической структуры. Видимый свет в растительных клетках участвует в процессе фотосинтеза, где фотонная энергия

используется для возбуждения молекул хлорофилла, что приводит к фотолизу воды [9, 10].

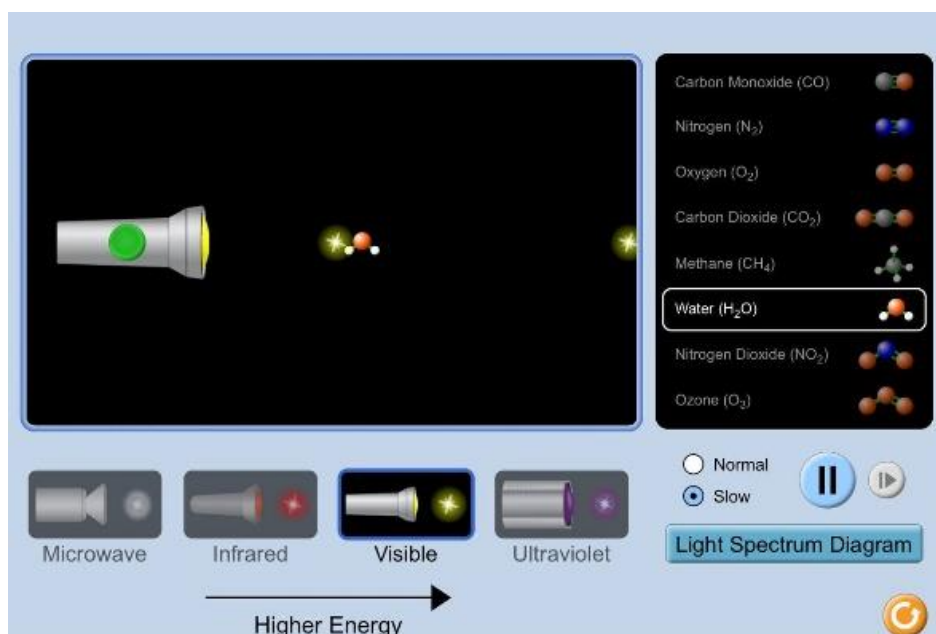


Рисунок 3 – Влияние видимого света на молекулу воды

Ультрафиолетовому излучению соответствуют длины волн от 10 нм до 380 нм, основным источником является Солнце. Человеческий глаз не воспринимает ультрафиолетовое излучение. Рис. 4 показывает, что, как и видимый свет, ультрафиолетовое излучение не оказывает значительного воздействия на молекулы воды. В диапазонах УФ-А (315...400 нм) и УФ-Б (280...315 нм) молекулы воды поглощают часть энергии, но этого недостаточно для изменений их структуры, поскольку энергия фотонов в этих диапазонах слишком мала для разрыва химических связей в воде. УФ-С ( $\lambda < 200$  нм) частично способен влиять на молекулы.

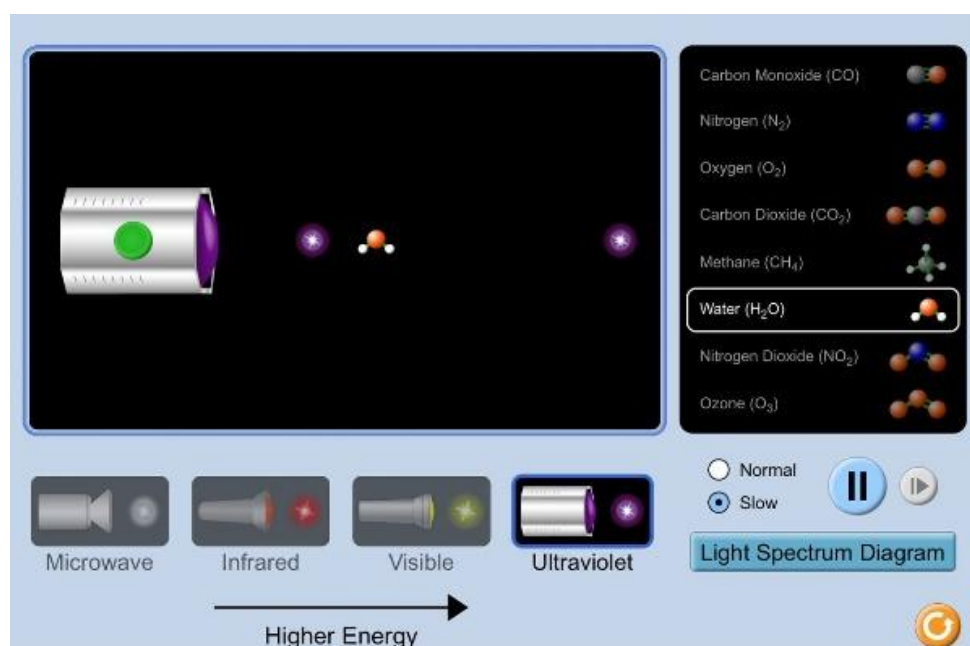


Рисунок 4 – Влияние ультрафиолетового света на молекулу воды

Ультрафиолет не разрушает молекулы воды напрямую, но вызывает образование активных форм кислорода (АФК) из воды и других веществ в клетке. Эти АФК повреждают клеточные структуры, нарушают водный баланс и усиливают стресс. Также УФ может повышать испарение воды и мешать нормальному водному обмену [11].

**Заключение.** Изучив влияние некоторого спектра электромагнитного излучения на растения, мы убедились, что они оказывают различный эффект. Микроволны и инфракрасное излучение активно воздействуют на молекулы воды, вызывая их вращение и колебания, что влияет на физиологические процессы. Видимый свет не изменяет структуру воды, но играет важную роль в фотосинтезе. Ультрафиолетовое излучение может вызывать клеточный стресс, образуя активные формы кислорода. Таким образом, наибольшее влияние на молекулы воды оказывают микроволновое и инфракрасное излучения, тогда как видимый и ультрафиолетовый свет в большей степени влияют на общие биохимические процессы растений.

### **Список источников**

1. Пospelова, И.Г. Факторы, влияющие на процесс накопления энергии при фотосинтезе / И.Г. Пospelова, Г.А. Кораблев, В.Н. Костылев // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2-2(36). – С. 49. – EDN UICJCN.

2. Широбокова, Т.А. Предпосевная обработка семян ярового рапса при помощи электромагнитного поля сверхвысокой частоты / Т.А. Широбокова, И.Г. Пospelова, Г.Н. Чирков // Современные энергетические аспекты развития аграрной сферы : Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной Дню энергетика, Ижевск, 22 декабря 2023 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2023. – С. 155-157. – EDN OHMLPW.

3. Применение инфракрасного нагрева при обеззараживании почвы в защищенном грунте и механизм распространения тепла / П.В. Дородов, И.Г. Пospelова, И.В. Возмищев [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2022. – Т. 69, № 2(47). – С. 59-64. – DOI 10.22314/2658-4859-2022-69-2-59-64. – EDN VTKZNA.

4. Пospelова, И.Г. ИК-нагрев для обеззараживания почвы в защищенном грунте / И.Г. Пospelова, И.В. Возмищев // Развитие инженерного образования и его роль в технической модернизации АПК : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию подготовки инженеров-механиков Ижевской государственной сельскохозяйственной академией, Ижевск, 11–13 ноября 2020 года. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. – С. 158-160. – EDN HNENAG.

5. Патент на полезную модель № 197880 U1 Российская Федерация, МПК А01М 17/00, А01М 21/04. Устройство для обеззараживания почвы ИК-излучением : № 2019141928 : заявл. 13.12.2019 : опубл. 03.06.2020 / И.Г. Пospelова, И.В. Возмищев, А.М. Ниязов, И.М. Новоселов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия». – EDN EQQKJP.

6. Электрическая цепь постоянного тока: Виртуальная лаборатория [Электронный ресурс]. – URL: [https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab\\_ru.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_ru.html)

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022680067 Российская Федерация. Исследование температурного поля в почве при обеззараживании защищенного грунта : № 2022669324 : заявл. 20.10.2022 : опубл. 27.10.2022 / П.В. Дородов, И.Г. Поспелова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия». – EDN BVWJHF.

8. Поспелова, И.Г. Разработка экспериментальной установки для обеззараживания почвы ИК-излучением в защищенном грунте / И.Г. Поспелова, И.В. Возмищев // Наука без границ и языковых барьеров : Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Орел, 27-28 апреля 2023 года. – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2023. – С. 346-350. – EDN OMIOV.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024616800 Российская Федерация. Программа освещения с учетом уровня естественного освещения : № 2024610433 : заявл. 16.01.2024 : опубл. 25.03.2024 / Т.А. Широбокова, П.В. Дородов, С.М. Бакиров [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный аграрный университет». – EDN DZHJFQ.

10. 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. Поспелова, И.И. Иксанов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия». – EDN URRRQK.

11. Вострокнутова, М.В. Спектры излучения для облучения саженцев хвойных пород в условиях защищенного грунта / М.В. Вострокнутова, К.А. Загуменова, И.Г. Поспелова // Аграрная наука – 2022 : материалы Всероссийской конференции молодых исследователей, Москва, 22-24 ноября 2022 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 324-326. – EDN HPHOBI.

© Поспелова И.Г., Возмищев И.В., Иванова Д.А., Шмыкова А.С., 2025

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ЭЛЕКТРОДАХ ПРОТОЧНЫХ МНОГОЗОННЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Михаил Александрович Прищепов<sup>1</sup>, Иосиф Геннадьевич Рутковский<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>1</sup>[pma.eshp@gmail.com](mailto:pma.eshp@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5359-3861>

<sup>2</sup>[rutkouski.i@gmail.com](mailto:rutkouski.i@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9634-5334>

**Аннотация.** В статье сформулирована методика исследования образования отложений на электродах проточных многозонных электродных электронагревателей. Приведена зависимость распределения толщины отложений по длине электродов, в зависимости от времени наработки.

**Ключевые слова:** электронагрев, температура, отложения, электрод, многозонный электродный электронагреватель, коэффициент парной корреляции.

**Для цитирования:** Прищепов, М.А. Исследование формирования отложений на электродах проточных многозонных электродных электронагревателей / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## INVESTIGATION OF THE FORMATION OF DEPOSITS ON THE ELECTRODES OF FLOW-THROUGH MULTI-ZONE ELECTRODE ELECTRIC HEATERS

Mikhail Alexandrovich Prishchepov<sup>1</sup>, Iosif Gennadievich Rutkouski<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

<sup>1</sup>[pma.eshp@gmail.com](mailto:pma.eshp@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-5359-3861>

<sup>2</sup>[rutkouski.i@gmail.com](mailto:rutkouski.i@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9634-5334>

**Annotation.** The article formulates a methodology for studying the dynamics of sediment growth on the electrodes of flow-through multi-zone electrode electric heaters. The dependence of the distribution of the deposit thickness along the length of the electrodes, depending on the operating time, is shown.

**Keywords:** electric heating, temperature, deposits, electrode, multi-zone electrode electric heater, pair correlation coefficient.

**For citation:** Prishchepov, M.A. Investigation of the formation of deposits on the electrodes of flow-through multi-zone electrode electric heaters / M.A. Prishchepov, I.G. Rutkouski // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Для тепловых нужд в технологических процессах на производстве и в коммунально-бытовом секторе, широко используется электрическая энергия. Электронагревательные установки большой мощности целесообразно реализовывать на основе электродных электронагревателей (ЭЭН), которые обеспечивают объемный ввод энергии в нагреваемую среду. Их применение особенно актуально при обработке термолабильных сред [1, 2]. Вместе с тем, при электродном нагреве, на термообработку с.-х. термолабильных сред существенное влияние оказывают отложения на электродах. При обработке фруктовых и овощных соков, молочных продуктов и кормов на электродах неизбежны отложения [3]. Под действием высоких температур на компоненты обрабатываемой среды происходят необратимые физико-химические изменения, например, денатурация белка или карамелизация сахаров. В зависимости от вида продукта и режима обработки отложения бывают нескольких видов. По механической прочности припекания к электродам их можно разделить на две группы [4]:

- мягкий пушистый налет из денатурированного белка, который образуется при небольшом перегреве, а при очистке электродов он легко удаляется;
- пригар, похожий на камень, который состоит из денатурированного белка и волокон клетчатки, сцементированных солями, который образуется при сильном перегреве и плохо удаляется при очистке электродов.

При электротепловой обработке воды на количество отложений влияют примеси трех групп:

- грубодисперсные (взвешенные частицы песка, глины и других частиц минерального и органического происхождения);
- коллоидно-дисперсные (соединения кремния, алюминия, железа, а также некоторые органические вещества);
- молекулярно- и ионодисперсные (растворенные в воде соли, кислоты, щелочи и газы, в природных водах химический состав определяется в основном ионами  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HSiO}_3^-$ ).

Интенсивность образования отложений зависит от следующих факторов: плотности тока, температуры нагрева обрабатываемой среды, наличия застойных зон, скорости движения обрабатываемой среды в межэлектродном пространстве, кислотности и содержания газов [4, 5].

По растворимости в воде и в соляной кислоте все отложения можно разделить на три типа. К первому типу относятся отложения, нерастворимые в воде и неразлагаемые соляной кислотой. В эту группу попадает большинство котельных накипей, а также продукты коррозии металла под действием перегретого водяного пара. Второй тип составляют отложения, практически нерастворимые в воде, но легко разлагаемые соляной кислотой. К ним относятся так называемые низкотемпературные накипи, в том числе накипи, образующиеся в электрических аппаратах. Третий тип составляют отложения, в значительной степени растворимые в воде (например, отложения в пароперегревателях котлов и проточной части паровых турбин) [4, 6].

Образование отложений приводит к трудностям в эксплуатации электронагревательной установки (ЭНУ), так как отложения образуют дополнительное электрическое сопротивление на границе электрод-среда и

приводят к уменьшению межэлектродного расстояния. Это приводит к перераспределению напряжения и мощности по длине ЭЭН и, соответственно, плотности тока на электродах по всей длине электронагревателя, что вызывает неравномерный нагрев и способствует лавинообразному росту количества отложений на электродах. И в конечном итоге это приводит к нарушению режима нагрева (определенного технологическими требованиями). Кроме того, отложения ухудшают качество обрабатываемых продуктов: изменяется их цвет, запах и т.д.

Цель данной статьи – исследовать распределение отложений по длине электродов проточных многозонных электродных электронагревателей в зависимости от времени наработки.

**Материалы и методы.** Обзор литературных источников [4, 6] показывает, что распределение образующихся отложений практически не поддается теоретическому моделированию. Исследования должны проводиться экспериментально, на реальной установке, для конкретных режимов работы, так как при разработке ЭЭН невозможно учесть все факторы, которые влияют на образование отложений на электродах. Некоторые факторы определяются технологическими требованиями, другие зависят от свойств продукта. Несмотря на неравномерное распределение толщины отложений по длине ЭЭН (рис. 1), информация о закономерности их образования делает возможность рассчитывать рост толщины отложений на электродах и, при достижении их определенного (допустимого) количества, отключать установку для очистки электродов. Очевидно, что если своевременно удалять отложения, то это повысит надежность работы электронагревательной установки (ЭНУ), улучшит ее эксплуатацию и повысит качество обработки термолабильных сред. Для выполнения этой задачи необходимо исследовать изменение толщины отложений на электродах ЭЭН.

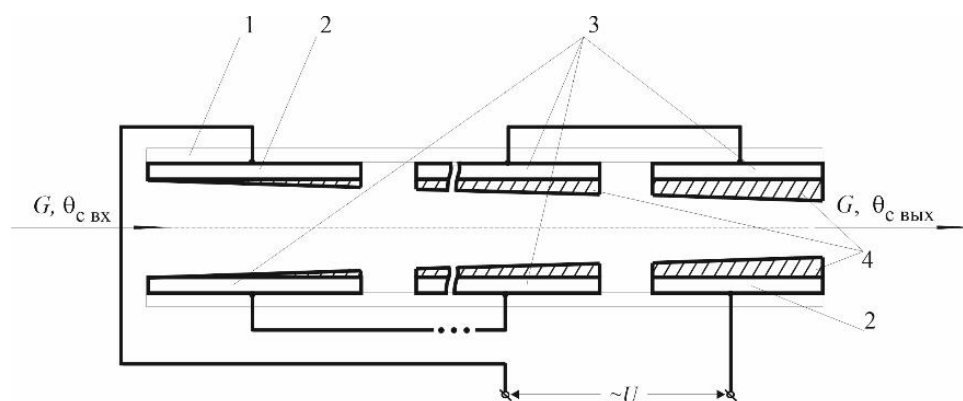


Рисунок 1 – Схема проточного многозонного ЭЭН с отложениями на электродах:

- 1 – корпус; 2 – электроды основные токоподводящие;
- 3 – электроды промежуточные; 4 – отложения на электродах

Для моделирования работы проточного многозонного ЭЭН, при наличии отложений, была изготовлена экспериментальная установка электродного нагревателя для подогрева воды [7]. При ее эксплуатации, на электродах происходило образование отложений карбонатов кальция и магния. Поскольку толщина отложений на электродах зависит от различных факторов и, как правило, возрастает с увеличением температуры к выходу из ЭЭН,



то для определения распределения толщины отложений на электродах по длине ЭЭН необходимо выделить участки электродов для проведения измерений. Для этого каждый из электродов ЭЭН был разбит на четыре одинаковых участка (рис. 2). Электроды разработанного ЭЭН имели следующие размеры  $H = 0,006$  м;  $\Pi = 0,04$  м;  $L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = 0,04$  м;  $L_5 = L_6 = L_7 = L_8 = 0,0315$  м;  $L_9 = L_{10} = L_{11} = L_{12} = 0,03$  м.

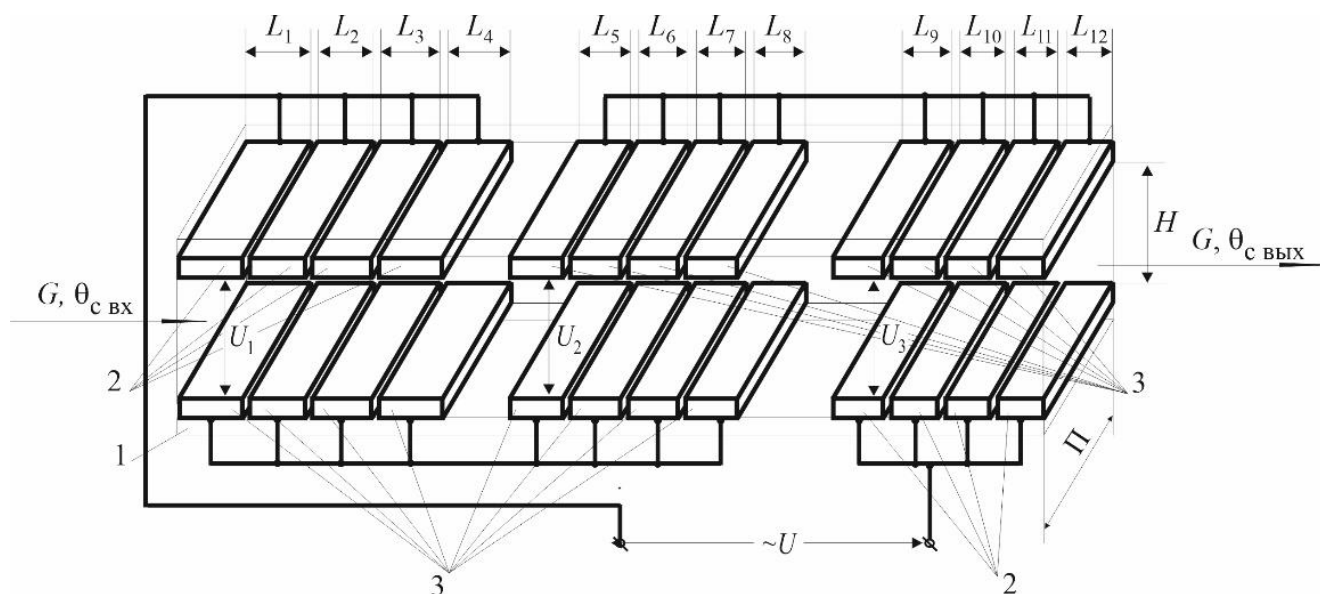


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки проточного многозонного ЭЭН для исследования электротепловой обработки при образовании отложений на электродах: 1 – корпус; 2 – электроды основные токоподводящие; 3 – электроды промежуточные

При моделировании образования отложений на электродах проточного многозонного ЭЭН первоначально проводили замер значений температуры  $\theta_{свых}$  на выходе, при работе ЭЭН без наличия отложений на электродах, а затем в период их образования. При экспериментальных исследованиях подавали водопроводную воду с электрической проводимостью  $\gamma_{0с} = 0,02149$  (Ом·м)<sup>-1</sup> и температурным коэффициентом проводимости  $\alpha_{пс} = 0,0274$  1/°С, теплоемкостью  $C_p = 4174$  кДж/(кг·°С) и плотностью  $\rho_c = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, через промежуточный бак таким образом, чтобы поддерживать постоянной величину массового расхода воды  $G = 0,003$  кг/с. Постоянная величина потока воды поддерживалась путем стабилизации ее уровня в напорном баке.

При этом температура воды в баке поддерживалась при помощи вмонтированных в бак ТЭНов, подключенных к питающей электрической сети через терморегулятор. При значении температуры обрабатываемой среды (воды)  $\theta_{свх} = 20$  °С на входе в ЭЭН и величине массового расхода обрабатываемой среды  $G = 0,003$  кг/с температура на выходе  $\theta_{свых} = 70$  °С поддерживалась путем регулирования напряжения питания. При работе ЭЭН без отложений обрабатываемой среды на электродах напряжение питания составило  $U = 220$  В.

В ходе эксперимента на электродах ЭЭН образовывались отложения, что привело к изменению напряжений  $U_1, U_2, U_3$  на зонах нагрева и увеличению тока

$I$  через ЭЭН. Для стабилизации температуры  $\theta_{с.вых}$  на выходе из ЭЭН регулировалось (увеличивалось) напряжение питания  $U$ .

Результаты измерения температуры  $\theta_{с.вх}$  на входе в ЭЭН, температуры  $\theta_{с.вых}$  на выходе ЭЭН, напряжений  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  на зонах нагрева, напряжения питания  $U$ , тока нагревателя  $I$  через время наработки  $T_S$  ЭЭН, от включения без отложений на электродах, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Электротепловые характеристики ЭЭН-Д при наличии отложений на электродах

| № измерения | Время наработки ЭЭН $T_S$ , ч | Ток ЭЭН $I$ , А | Температура $\theta_{с.вх}$ , на входе ЭЭН, °С | Температура $\theta_{с.вых}$ , на выходе ЭЭН, °С | Напряжение $U_1$ на 1-й зоне ЭЭН, В | Напряжение $U_2$ на 2-й зоне ЭЭН, В | Напряжение $U_3$ на 3-й зоне ЭЭН, В | Напряжение $U$ питания ЭЭН, В |
|-------------|-------------------------------|-----------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1           | 0                             | 3,12            | 20                                             | 70                                               | 77                                  | 76                                  | 67                                  | 220                           |
| 2           | 30                            | 3,14            | 20                                             | 70                                               | 77                                  | 77                                  | 68                                  | 222                           |
| 3           | 60                            | 3,16            | 20                                             | 70                                               | 78                                  | 78                                  | 69                                  | 225                           |
| 4           | 90                            | 3,18            | 20                                             | 70                                               | 78                                  | 79                                  | 70                                  | 227                           |
| 5           | 120                           | 3,20            | 20                                             | 70                                               | 79                                  | 80                                  | 71                                  | 230                           |
| 6           | 150                           | 3,23            | 20                                             | 70                                               | 79                                  | 81                                  | 72                                  | 232                           |
| 7           | 180                           | 3,26            | 20                                             | 70                                               | 80                                  | 81                                  | 74                                  | 235                           |
| 8           | 210                           | 3,29            | 20                                             | 70                                               | 80                                  | 82                                  | 75                                  | 237                           |
| 9           | 240                           | 3,32            | 20                                             | 70                                               | 81                                  | 83                                  | 76                                  | 240                           |
| 10          | 270                           | 3,36            | 20                                             | 70                                               | 82                                  | 84                                  | 77                                  | 243                           |
| 11          | 300                           | 3,40            | 20                                             | 70                                               | 83                                  | 85                                  | 78                                  | 246                           |

Анализ данных табл. 1 показывает, что при образовании отложений на электродах, за 300 ч работы, для компенсации снижения мощности ЭЭН, напряжение питания  $U$  было увеличено до величины  $U = 246$  В.

При проведении экспериментальных исследований, через прозрачные боковые стенки ЭЭН из оргстекла, была возможность проводить визуальный контроль образования отложений. Периодически проводилась разборка нагревателя, с последующим контролем отложений на входе ЭЭН (электрод с длиной  $L_1$ ) и измерением расстояния между образовавшимися отложениями на выходе каждой зоны нагрева между электродами с длиной  $L_4$ ,  $L_8$  и  $L_{12}$  (рис. 2) при помощи нутромера микрометрического с боковыми губками НМГ-5-30 0,01 и микрометра МК-25 0,01. Результаты контроля образования отложений на электродах представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты контроля образования отложений на электродах

| № измерения, $m$ | Время наработки $T_S$ ЭЭН, ч | Текущая координата $x$ по длине ЭЭН, м | Толщина отложений $H_{э.ос}$ на одном электроде, м | Участок электрода с длиной |
|------------------|------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------|
| 1                | 0                            | 0                                      | 0                                                  | $L_1$                      |
| 2                | 300                          | 0                                      | 0                                                  |                            |

|    |     |       |          |          |
|----|-----|-------|----------|----------|
| 3  | 0   | 0,16  | 0        | $L_4$    |
| 4  | 100 | 0,16  | 0,000 10 |          |
| 5  | 200 | 0,16  | 0,000 23 |          |
| 6  | 300 | 0,16  | 0,000 39 |          |
| 7  | 0   | 0,286 | 0        | $L_8$    |
| 8  | 100 | 0,286 | 0,000 19 |          |
| 9  | 200 | 0,286 | 0,000 40 |          |
| 10 | 300 | 0,286 | 0,000 69 |          |
| 11 | 0   | 0,406 | 0        | $L_{12}$ |
| 12 | 100 | 0,406 | 0,000 27 |          |
| 13 | 200 | 0,406 | 0,000 58 |          |
| 14 | 300 | 0,406 | 0,000 98 |          |

Проведенные экспериментальные исследования показали, что распределение отложений на электродах, при работе электронагревателя, происходит неравномерно (табл. 2). Их количество увеличивается к выходу из электронагревателя. Через 300 ч работы толщина отложений на выходе электронагревателя достигла 0,98 мм.

Для оценки линейной взаимосвязи исследуемого параметра от совокупности других используется коэффициент множественной корреляции. Однако при исследовании образования отложений на электродах, при работе ЭЭН, для выбора вида уравнения регрессии, необходима независимая оценка линейности распределения отложений по длине ЭЭН и в зависимости от времени его наработки. Поэтому оценку линейности проводили при помощи коэффициентов парной корреляции  $R$  [8]. Для оценки отклонения зависимости  $R(x, T_S)$  толщины отложений на электродах по длине ЭЭН от линейной, при различном времени работы, использовалось выражение:

$$R(x, T_S) = \frac{N_{m(x)} \cdot \sum (x \cdot H_{\text{эос } m(x)}) - \left( \sum x \cdot \sum H_{\text{эос } m(x)} \right)}{\sqrt{N_{m(x)} \cdot \sum (x^2) - \left( \sum x \right)^2} \cdot \sqrt{N_{m(x)} \cdot \sum (H_{\text{эос } m(x)}^2) - \left( \sum H_{\text{эос } m(x)} \right)^2}}, \quad (1)$$

где  $m(x)$  – номер измерения в эксперименте на расстоянии  $x$  от начала ЭЭН (табл. 3);

$H_{\text{эос } m(x)} = H_{\text{эос}}$  – толщина отложений на одном электроде, полученная в результате измерения  $m(x)$  эксперимента, на расстоянии  $x$  от начала ЭЭН (см. табл. 2);

$N_{m(x)}$  – количество измерений в эксперименте на расстоянии  $x$  от начала ЭЭН ( $N_{m(x)} = 3$ , см. табл. 2).

Корреляционный анализ данных изменения толщины отложений по длине ЭЭН (см. табл. 2) приведен в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты расчета коэффициентов парной корреляции зависимости толщины отложений на электродах Нэ ос по длине х ЭЭН от времени наработки TS и толщины отложений во времени его работы TS, на различной длине х ЭЭН, при нагреве воды

| Номер измерения по длине ЭЭН, $m(x)$                                                                                | Координата длины х от начала ЭЭН, м | Номер измерения во времени наработки $m(T_S)$           |                                                         |                                                         | Коэффициенты парной корреляции зависимости толщины отложений во времени наработки $T_S$ на различной длине ЭЭН х |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                     |                                     | $H_{э ос m(x)}, \text{м},$<br>при $T_S = 100 \text{ ч}$ | $H_{э ос m(x)}, \text{м},$<br>при $T_S = 200 \text{ ч}$ | $H_{э ос m(x)}, \text{м},$<br>при $T_S = 300 \text{ ч}$ |                                                                                                                  |
|                                                                                                                     |                                     | 1                                                       | 2                                                       | 3                                                       |                                                                                                                  |
| 1                                                                                                                   | 0,16                                | 0,000 10                                                | 0,000 23                                                | 0,000 39                                                | $R(T_S, 0,16) = 0,994 72$                                                                                        |
| 2                                                                                                                   | 0,286                               | 0,000 19                                                | 0,000 40                                                | 0,000 69                                                | $R(T_S, 0,286) = 0,994 88$                                                                                       |
| 3                                                                                                                   | 0,406                               | 0,000 27                                                | 0,000 58                                                | 0,000 98                                                | $R(T_S, 406) = 0,995 91$                                                                                         |
| Коэффициенты парной корреляции зависимости толщины отложений по длине ЭЭН х, для различного времени наработки $T_S$ |                                     | $R(x, 100) = 0,999 64$                                  | $R(x, 200) = 0,999 84$                                  | $R(x, 300) = 0,999 99$                                  |                                                                                                                  |

При расчете коэффициента парной корреляции  $R(T_S, x)$ , зависимости толщины отложений на электродах во времени наработки на различной длине ЭЭН использовалась формула

$$R(T_S, x) = \frac{N_{m(T_S)} \cdot \sum (H_{э ос m(T_S)} \cdot T_S) - \left( \sum H_{э ос m(T_S)} \cdot \sum T_S \right)}{\sqrt{N_{m(T_S)} \cdot \sum (H_{э ос m(T_S)}^2) - \left( \sum H_{э ос m(T_S)} \right)^2} \cdot \sqrt{N_{m(T_S)} \cdot \sum (T_S^2) - \left( \sum T_S \right)^2}}, \quad (2)$$

где  $N_{m(T_S)}$  – количество измерений в эксперименте за время наработки  $T_S$  ЭЭН ( $N_{m(T_S)} = 3$ , см. табл. 2);  $m(T_S)$  – номер измерения в эксперименте за время наработки  $T_S$  ЭЭН (табл. 3);  $H_{э ос m(T_S)} = H_{э ос}$  – толщина отложений на одном электроде, полученная в результате измерения  $m(T_S)$  эксперимента, за время наработки  $T_S$  ЭЭН (см. табл. 2);  $T_S$  – время наработки ЭЭН от его включения без отложений до соответствующего замера отложений на электродах, ч.

Корреляционный анализ данных изменения толщины отложений во времени наработки ЭЭН (см. табл. 2) приведен в табл. 3.

Для математического описания изменения распределения толщины отложений  $H_{r\text{ oc}}$  по длине электродов  $x$  и в зависимости от времени наработки ЭЭН-Д  $T_S$  можно использовать уравнение регрессии второго порядка с двумя независимыми переменными  $x$  и  $T_S$ , которое в общем виде запишется следующим образом:

$$H_{r\text{ oc}} = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot x^2 + A_3 \cdot T_S + A_4 \cdot T_S^2 + A_5 \cdot x \cdot T_S \quad (3)$$

где  $A_0, A_1, A_2, \dots, A_5$  – коэффициенты уравнения регрессии распределения отложений по длине электродов для различного времени наработки ЭЭН;  $x$  – координата длины от начала ЭЭН, м.

Для нахождения коэффициентов  $A_0, A_1, A_2, \dots, A_5$  (выражение (3)), математическая формулировка задачи будет сводиться к минимизации суммы квадратов отклонений  $Z_{x, T_S}$  толщины отложений на электроде, полученных в результате эксперимента  $H_{\text{э oc m}}$  (см. табл. 2) и толщины отложений на электроде, полученных при расчете  $H_{r\text{ oc m}}$  по формуле (3) [9]:

$$Z_{x, T_S} = \sum_{m=1}^{N(x, T_S)} (H_{\text{э oc m}} - H_{r\text{ oc m}})^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

где  $N(x, T_S)$  – количество измерений в эксперименте ( $N(x, T_S) = 14$ );  $m$  – номер измерения в эксперименте (см. табл. 2);  $H_{\text{э oc m}} = H_{\text{э oc}}$  – толщина отложений на одном электроде, полученная в результате  $m$ -го измерения эксперимента (см. табл. 2);  $H_{r\text{ oc m}} = H_{r\text{ oc}}$  – толщина отложений на одном электроде, полученная при расчете по формуле (3).

При поиске значений коэффициентов распределения отложений по длине электродов, для различного времени наработки ЭЭН, необходимо варьировать значениями  $A_0, A_1, A_2, \dots, A_5$  таким образом, чтобы толщина отложений, рассчитанных по уравнению (3) с определенной погрешностью, приблизилась к толщине отложений, полученных в эксперименте (см. табл. 2). Поиск значений  $A_0, A_1, A_2, \dots, A_5$  произведен при помощи функции «Поиск решения» в пакете Excel.

Относительное несовпадение экспериментальных и расчетных значений толщины отложений обрабатываемой среды на электродах  $\delta_H$  определялось по формуле:

$$\delta_H = \left( |H_{r\text{ oc}} - H_{\text{э oc}}| / H_{\text{э oc}} \right) 100 \% \quad (5)$$

**Результаты исследования.** Результаты расчета коэффициентов уравнения (3) представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты расчета коэффициентов уравнения

| Коэффициент | Значение коэффициента |
|-------------|-----------------------|
| $A_0$       | 0                     |
| $A_1$       | -1,31302E-04          |
| $A_2$       | 0                     |

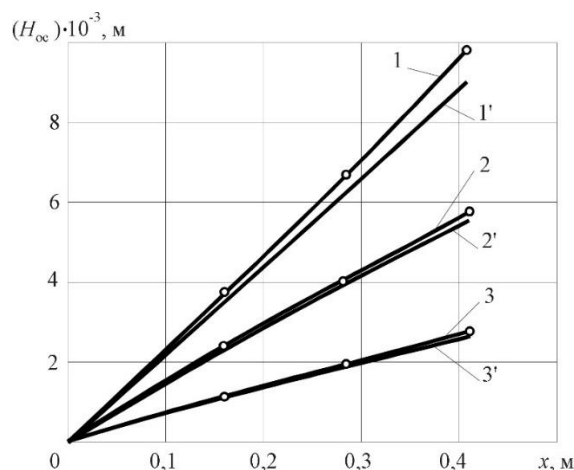
|       |                       |
|-------|-----------------------|
| $A_3$ | $-4,12754\text{E-}09$ |
| $A_4$ | $1,25701\text{E-}10$  |
| $A_5$ | $7,58279\text{E-}06$  |

С учетом численных значений коэффициентов (табл. 4), толщина отложений на одном электроде ЭЭН  $H_{r\text{ос}}$  описывается следующим уравнением:

$$H_{r\text{ос}} = -1,313\,02 \cdot 10^{-4} \cdot x - 4,127\,54 \cdot 10^{-9} \cdot T_S + 1,257\,01 \cdot 10^{-10} \cdot T_S^2 + 7,582\,79 \cdot 10^{-6} \cdot x \cdot T_S. \quad (6)$$

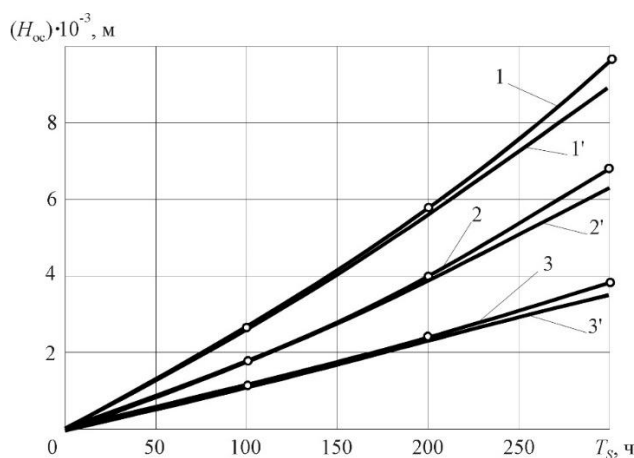
Графики изменения толщины отложений на электродах  $H_{\text{ос}}$  ( $H_{\text{э ос}}$  и  $H_{r\text{ос}}$ ) многозонного ЭЭН по его длине  $x$  при нагреве воды приведены на рис. 3.

Графики изменения толщины отложений на электродах  $H_{\text{ос}}$  ( $H_{\text{э ос}}$  и  $H_{r\text{ос}}$ ) 1-й, 2-й и 3-й зон нагрева ЭЭН во время его наработки  $T_S$  при нагреве воды, приведены на рис. 4.



1, 1' –  $T_S = 300$  ч; 2, 2' –  $T_S = 200$  ч; 3, 3' –  $T_S = 100$  ч

Рисунок 3 – Экспериментальные 1, ..., 3 и расчетные 1', ..., 3' графики изменения толщины отложений на электродах  $H_{\text{ос}}$  ( $H_{\text{э ос}}$  и  $H_{r\text{ос}}$ ) 1-, 2- и 3-й зон нагрева многозонного ЭЭН по его длине  $x$  при нагреве воды



1, 1' –  $x = 0,406$  м; 2, 2' –  $x = 0,286$  м; 3, 3' –  $x = 0,16$  м

Рисунок 4 – Экспериментальные 1, ..., 3 и расчетные 1', ..., 3' графики изменения толщины отложений на электродах  $H_{\text{ос}}$  ( $H_{\text{э ос}}$  и  $H_{r\text{ос}}$ ) 1-, 2- и 3-й зон нагрева многозонного ЭЭН во время его наработки  $T_S$ , при нагреве воды

**Заключение.** Исследование формирования отложений на электродах проточных многозонных электродных электронагревателей показало, что отложения на электродах ЭЭН распределяются неравномерно, их толщина увеличивается по длине  $x$ , к выходу из ЭЭН, в течении времени наработки  $T_s$ . Разработанная зависимость распределения толщины отложений по длине  $x$  и времени наработки  $T_s$  ЭЭН обеспечила высокую точность расчета толщины отложений, при относительном несовпадении  $\delta_H$  экспериментальных и расчетных значений толщины отложений обрабатываемой среды на электродах до 10,2%, что может быть использовано для расчета предельнодопустимой толщины отложений и своевременного отключения ЭНУ с ЭЭН для очистки электродов.

### 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. – Минск: БАТУ, – 1999. – 295 с.
3. Прищепов, М.А. Математическое моделирование работы проточных многозонных электродных электронагревателей-датчиков при наличии отложений на электродах / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Агропанорама. – 2023. – №5. – С. 23-31.
4. Маслов, А.М. Аппараты для термообработки высоковязких жидкостей / А.М. Маслов. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1980. – 208 с.
5. Ушаков, Г.В. Химизм и условия выделения накипи из воды в тепловых сетях / Г.В. Ушаков // Вестник Кузбас. гос. тех. ун-та. – 2009. – № 3. – С. 109-111.
6. Балабан-Ирменин, Ю.В. Закономерности накипеобразования в водогрейном оборудовании систем теплоснабжения (обзор) / Ю.В. Балабан-Ирменин [и др.] // Энергосбереж. и водоподгот. – 2004. – Т. 30. – № 3. – С. 10-16.
7. Прищепов, М.А. Моделирование образования отложений на электродах проточных многозонных электродных электронагревателей / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : матер. Междунар. науч.-техн. конф. / БГАТУ. – Минск, 2023. – С. 228-231.
8. Елисеева, И.И. Общая теория статистики: учебник / И.И. Елисеева, М.М.Юзбашев; под ред. И.И. Елисеевой. – Москва: Финансы и Статистика, 2002. – 480 с.
9. Турчак, Л.И. Основы численных методов / Л.И. Турчак. – Москва: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., – 1987. – 320 с.

© Прищепов М.А., Рутковский И.Г., 2025



## СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРОБНЫХ ЗУБЦОВЫХ ОБМОТОК В СИНХРОННЫХ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Алексей Андреевич Раджапов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия.

<sup>1</sup>[aleksej.radzhapov@bk.ru](mailto:aleksej.radzhapov@bk.ru)

**Аннотация.** В статье приводится перечень специальных вопросов внедрения дробных зубцовых обмоток в синхронные реактивные электрические машины.

**Ключевые слова:** дробные зубцовые обмотки, гармоники, электрические машины.

**Для цитирования:** Раджапов, А.А. Специальные вопросы использования дробных зубцовых обмоток в синхронных реактивных электрических машинах / А.А. Раджапов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФБГОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## SPECIAL ISSUES OF USING FRACTIONAL SLOT CONCENTRATED WINDINGS TO SYNCHRONOUS RELUCTANCE ELECTRIC MACHINES

Alexey Andreevich Radzhapov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.

<sup>1</sup>[aleksej.radzhapov@bk.ru](mailto:aleksej.radzhapov@bk.ru)

**Annotation.** The article provides a list of special issues of the introduction to fractional slot concentrated windings in synchronous reluctance electric machines.

**Keywords:** fractional slot concentrated windings, harmonics, electric machines.

**For citation:** Radzhapov, A.A. Special issues of the use to fractional slot concentrated windings in synchronous reluctance electric machines/A.A. Radzhapov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Синхронные реактивные двигатели (СРД) становятся всё более популярной областью исследований для низкоскоростных промышленных применений и в форме варианта с постоянными магнитами для автомобильных тяговых приводов. Недавние работы фокусировались на традиционном варианте распределенной обмотки СРД, который пользовался некоторым коммерческим

успехом в течение этого десятилетия. Но СРД такого типа имеют длинный вылет лобовых частей, следствием чего является большая избыточная масса и соответствующие потери в меди в лобовой части, которую потом трудно охлаждать. Эти обмотки также имеют обычно низкий коэффициент заполнения пазов от 0,3 до 0,4, что приводит к низкой плотности крутящего момента, высоким потерям в меди и трудоёмкому изготовлению катушек статора.

**Материалы и методы. Исследовательская часть.** Спарго и др. предложили использовать однозубцовые ДЗО (обычно встречающиеся в СРД), и было показано, что эффективность преобразования энергии двигателя увеличивается за счёт более высоких коэффициентов заполнения паза и различных вариаций конструкции [1]. Данный тип обмотки широко применяется в бесщёточных двигателях постоянного тока и синхронных двигателях с постоянными магнитами. Как показывают исследования, данная комбинация обеспечивает высокий КПД, но сопровождается высокой пульсацией крутящего момента и относительно низкого коэффициента мощности, которые являются барьерами для коммерческого успеха.

В [2] впервые представлен шести-пазовый четырёх-полюсный СРД с ДЗО. 3D модель представлена на рис. 1. Разработанная машина надёжна, относительно дешева и проще в изготовлении чем обычный СРД. Машина демонстрирует высокую плотность крутящего момента, эффективность и перегрузочную способность. Обнаружено, что индуктивности осей d-q пространственно изменяются с углом ротора, характеризуя основные предположения о преобразовании d-q. Обнаружено, что на качество крутящего момента в машине влияют паразитные выступающие части ротора и асинхронные поля воздушного зазора.

В [3] представлены преимущества четырехслойного распределения обмоток для СРД. Такое распределение обмоток используется для устранения субгармонических компонентов МДС в распределении обмоток 12-пазовых и 10-полюсных машин. Это изменение в распределении обмоток увеличивает взаимную индуктивность между фазами, что приводит к снижению пиковых и среднеквадратичных значений индуцированного напряжения. Эти преимущества наблюдаются при обеспечении более высокой выходной мощности. 4-слойная и 12-пазовая конструкция сравнивается с 12-пазовой 8-полюсной конструкцией, которая используется только 2-слойное распределение ДЗО, чтобы избежать субгармоники МДС. Показано, что четырехслойное распределение обмоток имеет значительно меньшую пульсацию крутящего момента. Машины имеют низкий коэффициент мощности.

В [4] представлен первый обзор аспектов проектирования СРМ с ДЗО. Преимущества разработки СРМ с неперекрывающимися ДЗО очевидны. Этот тип обмотки позволяет увеличить плотность крутящего момента и эффективность, одновременно упрощая конструкцию машины, повышая надёжность и улучшая тепловые характеристики. Обмотки с короткими концами и модульность статора способствуют повышению производительности. В отличие от реактивного двигателя с переключением, СРМ с ДЗО может приводиться в действие от готового трехфазного обратного преобразователя

привода с переменной скоростью вращения, но при этом сохраняет преимущества однозубчатых катушек.

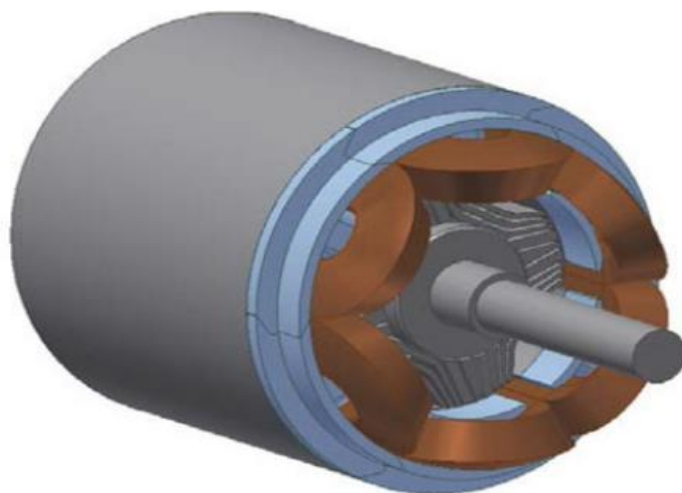


Рисунок – 3D модель синхронного реактивного двигателя

**Результаты исследования.** Однако были также обозначены связанные с этим проблемы при проектировании машины. Высокое содержание пространственных гармоник магнитодвижущей силы снижает КПД из-за паразитных эффектов. Пульсации крутящего момента, низкий коэффициент мощности и повышенные потери железа заслуживают особого внимания при проектировании СРМ с ДЗО. Отсутствие доступных комбинаций пазов и полюсов в сочетании с требованием к небольшому количеству полюсов ротора существенно ограничивает топологию. При условии достижения высокого коэффициента заполнения, несмотря на большую ширину пазов, можно добиться значительного увеличения плотности крутящего момента, а также повышения эффективности и теплопроводности.

**Заключение.** Серьезной проблемой является низкий коэффициент мощности у такого типа машин. Таким образом, требуется дальнейшая разработка, чтобы максимально использовать его потенциал в качестве автомобильного тягового двигателя или там, где в будущем потребуются недорогие и надежные электрические машины для промышленного применения. Однако, как показывает практика, в последнее десятилетие активно ведутся работы по всему миру. Авторы предлагают ряд перспективных решений, которые помогут решить данные проблемы.

#### Список источников

1. Donaghy-Spargo, C.M. Electromagnetic Analysis of a Synchronous Reluctance Motor With Single-Tooth Windings / C.M. Donaghy-Spargo, B.C. Mecrow, J.D. Widmer // IEEE Transactions on Magnetics. – 2017. – Vol. 53, no. 11. – P. 1-7.
2. Design and Validation of a Synchronous Reluctance Motor With Single Tooth Windings / C.M. Spargo, B.C. Mecrow, J.D. Widmer [et al.] // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2015. – Vol. 30, no. 2. – P. 795-805.

3. Veeramaneni, N.D. Synchronous Reluctance Motor design with multi-layer fractional slot concentrated winding / N.D. Veeramaneni, A. Saxena // 2021 National Power Electronics Conference (NPEC), Bhubaneswar, India, 2021. – Bhubaneswar, India, 2021. – P. 01-05.

4. Spargo, C.M. Application of fractional slot concentrated windings to synchronous reluctance machines / C.M. Spargo, B.C. Mecrow, J.D. Widmer // 2013 International Electric Machines & Drives Conference, Chicago, IL, USA, 2013. – Chicago, IL, USA, 2013. – P. 618-625.

© Раджапов А.А., 2025

Научная статья  
УДК 621.382

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И СПОСОБ НАНЕСЕНИЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ**

Вадим Игоревич Редкоzubов<sup>1</sup>, Сергей Владимирович Бахтеев<sup>2</sup>, Юлия Викторовна Иванкина<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[vad.redckozubow@yandex.ru](mailto:vad.redckozubow@yandex.ru)

<sup>2</sup>[s.v.bakhteev@yandex.ru](mailto:s.v.bakhteev@yandex.ru)

<sup>3</sup>[lexsi2007@yandex.ru](mailto:lexsi2007@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье описаны перспективы применения фотолюминесцентных покрытий на солнечные панели с целью повышения их эффективности, также описан возможный способ равномерного нанесения этих покрытий.

**Ключевые слова:** фотолюминесценция, повышение эффективности, солнечные панели, солнечные батареи.

**Для цитирования:** Редкоzubов, В.И. Перспективы применения и способ нанесения фотолюминесцентных покрытий на солнечные панели / В.И. Редкоzubов, С.В. Бахтеев, Ю.В. Иванкина // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **PROSPECTS FOR APPLICATION AND METHOD OF APPLYING PHOTOLUMINESCENT COATINGS TO SOLAR PANELS**

**Vadim Igorevich Redkozubov<sup>1</sup>, Sergey Vladimirovich Bakhteev<sup>2</sup>, Yulia Viktorovna Ivankina<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[vad.redckozubow@yandex.ru](mailto:vad.redckozubow@yandex.ru)

<sup>2</sup>[s.v.bakhteev@yandex.ru](mailto:s.v.bakhteev@yandex.ru)

<sup>3</sup>[lexsi2007@yandex.ru](mailto:lexsi2007@yandex.ru)

**Abstract.** The article describes the prospects for using photoluminescent coatings on solar panels to improve their efficiency, and also describes a possible method for uniformly applying these coatings.

**Keywords:** photoluminescence, efficiency improvement, solar panels, solar batteries.

**For citation:** Redkozubov, V.I. Prospects for application and method of applying photoluminescent coatings to solar panels / V.I. Redkozubov, S.V. Bakhteev, Yu.V. Ivankina // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Солнечная энергетика – одно из бурно развивающееся направление возобновляемых источников энергии. Прямое получение электрической энергии из солнечного излучения является наиболее перспективным из всех способов получения энергии. КПД солнечных панелей, используемых в коммерческих целях, не превышает 22%. Повышение эффективности таких батарей является перспективной задачей. Для получения значительных мощностных характеристик солнечной станции ее размер может варьироваться от 4 000 м<sup>2</sup> до 20 000 м<sup>2</sup>, повышение эффективности солнечной панели хотя бы на 1% может снизить срок окупаемости от 3 года до 6 месяцев, при сроке окупаемости всей солнечной электростанции (СЭС) от 3 до 5 лет.

**Основная часть.** Одним из способов повышения эффективности солнечной панели (СП) является нанесение фотoluminesцентного покрытия на лицевую поверхность СП. Применение фотoluminesцентного покрытия позволяет увеличить КПД солнечной монокристаллической или поликристаллической кремневой солнечной батареи на 3-6%.

Проблемой данного способа повышения эффективности СП является сложность равномерного нанесения на поверхность панели. Фотoluminesцентные компоненты имеют кристаллическую структуру и способ их нанесения является актуальной задачей.

Одним из способов решения данной задачи является использование бесцветного лака, наносимого вместе с люминофором с помощью аэрографии (покраска распылением). Проблемой данного способа является постоянное осаждение люминофора на дно емкости, во избежание чего требуется постоянное перемешивание состава. Было разработано и предложено устройство, позволяющее добиться желаемого эффекта (рис.). Устройство состоит из краскопульта с расходной емкостью, в которой происходит постоянное перемешивание состава за счет движения металлического стержня под воздействием вращающего магнитного поля.

Главными особенностями устройства является возможность строгого соблюдения концентрации позволяет обеспечить равномерность нанесения.

Оказание услуг по нанесению данного состава на уже действующие или строящиеся солнечные станции, позволит повысить выработку электроэнергии, а следовательно, снизить срок окупаемости солнечной электростанции.

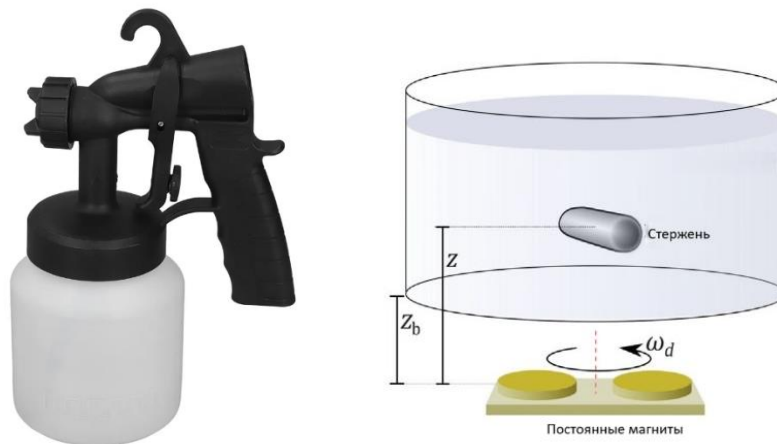


Рисунок – Краскопульт с предполагаемым устройством для перемешивания содержимого

**Заключение.** В будущем внедрения нанесения фотолюминесцентных покрытия на этапе производства солнечной батареи позволит снизить себестоимость вырабатываемого киловатта мощности, и, следовательно, повысит привлекательность использования солнечной энергетики как для частных случаев, так и коммерческих.

#### Список источников

- 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.
- 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 общ. ред. С.М. Бакирова. – Саратов, 2023. – С.
- Трушкин, В.А. Эксплуатация электроэнергетического оборудования / В.А. Трушкин, Ю.В. Иванкина, М.А. Левин ; ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им Н.И. Вавилова. – Саратов : ИЦ ООО «Амирит», 2016. – 93 с. – (Учебное пособие для бакалавров 35.03.06 – Агроинженерия профиля подготовки «Электрооборудование и электротехнологии», 13.03.01 – «Теплотехника и теплоэнергетика» и слушателей курсов повышения квалификации).

Редкозубов В.И., Бахтеев С.В., Иванкина Ю.В., 2025



## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ПРИ ОПТИМИЗАЦИОННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕНТИЛЬНОГО СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Софья Сергеевна Розова<sup>1</sup>, Владислав Евгеньевич Верещагин<sup>2</sup>,  
Владимир Николаевич Овсянников<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

<sup>1</sup>[sonyarozova@mail.ru](mailto:sonyarozova@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-1547-5386>

<sup>2</sup>[wereschagin3079@mail.ru](mailto:wereschagin3079@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0009-1677-7037>

<sup>3</sup>[ovsyannikov0512@mail.ru](mailto:ovsyannikov0512@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3028-6073>

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности применения постоянных магнитов в вентильных синхронных реактивных двигателях (ВСРД). Анализируются различные типы магнитов, такие как неодимовые, ферритовые и самарий-кобальтовые, их магнитные характеристики и области применения. Особое внимание уделяется конструктивным решениям ротора с постоянными магнитами, а также расчету ключевых параметров, таких как магнитный поток, электродвижущая сила и магнитное сопротивление. Описываются методы оптимизации размещения магнитов, которые способствуют повышению плотности мощности и крутящего момента двигателя. Приводятся рекомендации по выбору материалов в зависимости от условий эксплуатации и требований к эффективности, а также рассматриваются проблемы, такие как размагничивание и перегрев, и пути их решения. Предлагаемые подходы направлены на улучшение эксплуатационных характеристик ВСРД и расширение их применения в различных отраслях.

**Ключевые слова:** вентильный синхронный реактивный электродвигатель, постоянные магниты, магнитный поток, оптимизация, крутящий момент, материалы для магнитов, электродвигатель.

**Для цитирования:** Розова, С.С. Особенности применения постоянных магнитов в вентильных синхронных реактивных электродвигателях / С.С. Розова, В.Н. Овсянников, В.Е. Верещагин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## FEATURES OF USING PERMANENT MAGNETS IN THE OPTIMIZATION DESIGN OF A SWITCHED RELUCTANCE SYNCHRONOUS MOTOR

Sofya Sergeevna Rozova<sup>1</sup>, Vladislav Evgenievich Vereshchagin<sup>2</sup>, Vladimir Nikolaevich Ovsyannikov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Samara State Technical University, Samara, Russia



<sup>1</sup>[sonyarofova@mail.ru](mailto:sonyarofova@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-1547-5386>

<sup>2</sup>[wereshhagin3079@mail.ru](mailto:wereshhagin3079@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0009-1677-7037>

<sup>3</sup>[ovskyannikov0512@mail.ru](mailto:ovskyannikov0512@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3028-6073>

**Abstract.** This article explores the features of using permanent magnets in switched reluctance synchronous motors (SRSМ). Various types of magnets – such as neodymium, ferrite, and samarium-cobalt – are analyzed in terms of their magnetic properties and areas of application. Special attention is given to rotor design solutions with permanent magnets, as well as the calculation of key parameters such as magnetic flux, electromotive force, and magnetic reluctance. The article describes methods for optimizing magnet placement that contribute to increasing power density and torque of the motor. Recommendations are provided for material selection depending on operating conditions and efficiency requirements. Issues such as demagnetization and overheating are also addressed, along with possible solutions. The proposed approaches are aimed at improving the performance characteristics of SRSМs and expanding their application across various industries.

**Keywords:** switched reluctance synchronous motor, permanent magnets, magnetic flux, optimization, torque, magnet materials, electric motor.

**For citation:** Rozova, S.S. Features of Using Permanent Magnets in Switched Reluctance Synchronous Motors / S.S. Rozova, V.N. Ovsyannikov, V.E. Vereshhagin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

### ***Введение. Особенности применения постоянных магнитов в ВСРД***

Вентильные синхронные реактивные электродвигатели (ВСРД) являются важным компонентом современных электрических приводов благодаря своей простой конструкции и высокой надежности. Однако их применение ограничивается относительно низкой плотностью мощности и крутящего момента. Интеграция постоянных магнитов в конструкцию ВСРД представляет собой перспективное направление для улучшения их эксплуатационных характеристик [4].

Применение постоянных магнитов в конструкции современных электрических машин становится нормой, в связи с преимуществами, которые они могут обеспечить. Как правило, именно постоянные магниты, оказывают немаловажное влияние на стоимость электродвигателя и на эксплуатационные характеристики. Поэтому в работе над совершенствованием методики оптимизационного проектирования ВСРД одной из основных задач является разработка подходов к расчету и выбору постоянных магнитов в зависимости от требуемых эксплуатационных характеристик к электрической машине и условий эксплуатации. Целью работы является оптимизация конструкции электрической машины за счет совершенствования методики проектирования подобных машин.

**Материалы и методы.** Особенности применения постоянных магнитов в вентильных синхронных реактивных электродвигателях связаны с определением необходимого объема постоянного магнита и обоснованного выбора материала

магнита с учетом условий эксплуатации и режимов работы электрической машины.

Традиционно ВСРД состоят из статора с обмотками и ротора без обмоток и постоянных магнитов, выполненного из магнитомягкого материала с выраженной анизотропией магнитной проницаемости. Введение постоянных магнитов в конструкцию ротора приводит к появлению дополнительного магнитного поля, что увеличивает общий магнитный поток и, соответственно, крутящий момент двигателя [4].

Существует несколько распространенных вариантов размещения магнитов:

поверхностное расположение магнитов – магниты крепятся на поверхности ротора. Такой метод обеспечивает простоту конструкции, но ограничивает механическую прочность [4].

встроенные магниты – магниты размещаются внутри ротора в специально предусмотренных полостях, что увеличивает их защиту от внешних воздействий и механических нагрузок [4].

сегментированное расположение – магниты располагаются в несколько слоев, что позволяет лучше контролировать магнитный поток и снижает риск размагничивания [4].

Одним из ключевых аспектов проектирования двигателя является расчет основных магнитных характеристик [3].

1. Определение магнитного потока постоянных магнитов ( $\Phi$ ): Магнитный поток определяется произведением магнитной индукции ( $B$ ) на площадь поперечного сечения магнита ( $A$ ):

$$\Phi = B \cdot A. \quad (1)$$

2. Расчет электродвижущей силы (ЭДС): ЭДС, индуцируемая в обмотках статора, рассчитывается по формуле:

$$E = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi, \quad (2)$$

где  $f$  – частота,  $N$  – число витков обмотки [3].

3. Определение магнитодвижущей силы (МДС): МДС постоянных магнитов вычисляется как:

$$F = H \cdot l, \quad (3)$$

где  $H$  – коэрцитивная сила материала магнита,  $l$  – длина магнита.

4. Расчет магнитного сопротивления ( $R$ ): Магнитное сопротивление определяется как:

$$R = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}, \quad (4)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная,  $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость материала магнита.

5. Определение магнитного потока в воздушном зазоре ( $\Phi_g$ ): Магнитный поток в воздушном зазоре рассчитывается с учетом магнитного сопротивления магнита и воздушного зазора:

$$\Phi_g = \frac{F}{R_m + R_g}, \quad (5)$$

где  $R_g$  – магнитное сопротивление воздушного зазора.

6. Расчет электромагнитного момента ( $T$ ): Электромагнитный момент определяется как:

$$T = \frac{3}{2} * \frac{P}{2} * (\Phi_g * I_q - \Phi_q * I_d), \quad (6)$$

где  $P$  – число пар полюсов,  $\Phi_g$  и  $\Phi_q$  – потоки по осям  $d$  и  $q$  соответственно,  $I_q$  и  $I_d$  – токи по осям  $d$  и  $q$ .

Оптимизация размещения магнитов позволяет увеличить потокосцепление ротора и соответственно, повысить крутящий момент [2].

Для определения габаритов постоянных магнитов использованы следующие основные формулы:

1. Определение площади поперечного сечения магнита ( $A$ )

Площадь магнита рассчитывается на основе требуемого магнитного потока:

$$A = \frac{\Phi}{B} \quad (7)$$

где  $\Phi$  – магнитный поток магнита, Вб;  $B$  – индукция в магните, Тл.

2. Определение длины магнита ( $L$ )

Длина магнита зависит от магнитного напряжения и коэрцитивной силы материала:

$$L = \frac{F}{H}, \quad (8)$$

где  $F$  – магнитодвижущая сила магнита, А;  $H$  – коэрцитивная сила магнита, А/м.

3. Определение объема магнита ( $V$ )

Объем магнита определяется произведением площади и длины:

$$V = A \cdot L \quad (9)$$

4. Определение массы магнита ( $m$ )

Масса магнита рассчитывается по формуле:

$$m = \rho \cdot V, \quad (10)$$

где  $\rho$  – плотность материала магнита, кг/м<sup>3</sup>.

5. Определение ширины и высоты магнита

Если магнит имеет прямоугольную форму, то его размеры можно определить так:

$$b = \sqrt{A}, \quad h = \frac{A}{b}, \quad (11)$$

где  $b$  – ширина магнита, м;  $h$  – высота магнита, м.

6. Проверка работоспособности магнитной системы

Для проверки того, что магнитный поток в воздушном зазоре соответствует расчетному, используется баланс магнитных сопротивлений:

$$R_m = \frac{L}{\mu_0 \mu_r A}, \quad R_g = \frac{g}{\mu_0 A}, \quad (12)$$

где  $g$  – ширина воздушного зазора, м;  $A$  – площадь воздушного зазора, м<sup>2</sup>.

Эти формулы позволяют оптимально подобрать размеры магнита с учетом его характеристик и требуемых параметров двигателя.

Для ВСРД в работе рассматривались различные материалы постоянных магнитов, каждый из которых обладает своими характеристиками и особенностями применения [5]:

1. Неодим-железо-бор (NdFeB):

- ✓ Магнитная индукция ( $B_r$ ): 1,0-1,4 Тл;
- ✓ Коэрцитивная сила ( $H_c$ ): 750-2000 кА/м;
- ✓ Максимальная температура эксплуатации: 80-200°C;
- ✓ Энергетический продукт ( $BH_{max}$ ): 200-450 кДж/м³.

Особенности применения: используются в высокоэффективных ВСРД, обеспечивая максимальную плотность магнитного потока. Требуют термостабильных покрытий или охлаждения из-за чувствительности к высоким температурам [5].

## 2. Ферритовые магниты ( $SrFe_{12}O_{19}$ , $BaFe_{12}O_{19}$ ):

- ✓ Магнитная индукция ( $B_r$ ): 0,2-0,45 Тл;
- ✓ Коэрцитивная сила ( $H_c$ ): 100-300 кА/м;
- ✓ Максимальная температура эксплуатации: до 250°C;
- ✓ Энергетический продукт ( $BH_{max}$ ): 10-40 кДж/м³.

Особенности применения: применяются в недорогих ВСРД, устойчивы к температурным и коррозионным воздействиям, но имеют низкую магнитную энергию, что снижает эффективность двигателя [5].

## 3. Самарий-кобальт ( $SmCo_5$ , $Sm_2Co_{17}$ ):

- ✓ Магнитная индукция ( $B_r$ ): 0,8-1,2 Тл;
- ✓ Коэрцитивная сила ( $H_c$ ): 600-2000 кА/м;
- ✓ Максимальная температура эксплуатации: 250-350°C;
- ✓ Энергетический продукт ( $BH_{max}$ ): 120-250 кДж/м³.

Особенности применения: используются в ВСРД, работающих при высоких температурах. Обладают высокой температурной стабильностью и коррозионной стойкостью, но дорогие и хрупкие.

Параметрами оптимизации при выборе материала магнита стали рабочие условия двигателя и оптимальное соотношение цена/качество.

**Результаты исследования.** Сравнительная характеристика материалов постоянных магнитов для ВСРД представлены в табл.

Неодимовые магниты ( $NdFeB$ ) обеспечивают наивысшую магнитную индукцию и энергетический продукт, что делает их лучшим выбором для ВСРД с высокой мощностью. Однако они подвержены размагничиванию при нагреве и коррозии, требуя дополнительных мер защиты.

Ферритовые магниты имеют низкую магнитную индукцию и энергетический продукт, но выигрывают в долговечности, температурной устойчивости и низкой стоимости, что делает их оптимальными для бюджетных решений.

Самарий-кобальтовые магниты ( $SmCo$ ) обладают высокой температурной стабильностью и лучшей устойчивостью к размагничиванию, но дороги и хрупки, поэтому их применяют только в случаях, где требуется работа при экстремальных температурах.

Таблица – Сравнительная характеристика материалов постоянных магнитов для ВСРД

| Характеристика                 | Неодимовые магниты | Ферритовые магниты | Самарий-кобальтовые магниты |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|
| Магнитная индукция ( $B$ ), Тл | 1,0-1,4            | 0,2-0,45           | 0,8-1,2                     |

|                                  |                                                                      |                                       |                                                    |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Температурная устойчивость, °С   | 80-200                                                               | До 250                                | 250-350                                            |
| Сопротивляемость размагничиванию | Высокая                                                              | Низкая                                | Очень высокая                                      |
| Коррозионная стойкость           | Низкая (нуждается в покрытии)                                        | Очень высокая                         | Высокая                                            |
| Механическая прочность           | Низкая (хрупкость)                                                   | Высокая                               | Низкая(ломкость)                                   |
| Стоимость                        | Высокая                                                              | Низкая                                | Очень высокая                                      |
| Применение в ВСРД                | Высокая мощность и крутящий момент, но требуется защита от перегрева | Бюджетный вариант с меньшей мощностью | Для высокотемпературных и ответственных применений |

Выбор конкретного типа магнитов зависит от требований к эффективности двигателя, условий эксплуатации и бюджета.

Проблемы при использовании постоянных магнитов в ВСРД и их решения:

1. Размагничивание.

Неодимовые магниты теряют магнитные свойства при нагреве выше 80-200°C. Решение: использование термостойких сплавов или принудительное охлаждение [1].

2. Перегрев двигателя.

Магниты могут перегреваться из-за токов Фуко. Решение: применение тонких ламинированных конструкций ротора и эффективного теплоотвода.

3. Механическая прочность магнитов.

Неодимовые магниты хрупкие и могут разрушаться при высоких механических нагрузках. Решение: защитное покрытие и размещение в углублениях ротора [1].

4. Управление и синхронизация.

Необходимо учитывать влияние магнитного поля на систему управления. Решение: использование высокоточных датчиков положения и адаптивных алгоритмов управления.

Таким образом интеграция постоянных магнитов в конструкцию ВСРД открывает новые возможности для повышения их эффективности. Однако для успешного применения необходимо учитывать расположение магнитов, тепловые и механические характеристики, а также возможные сложности с управлением. Оптимизация конструкции и использование современных материалов позволяют улучшить характеристики двигателя, снижая его недостатки.

### Список источников

1. Ледовский, А.Н. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами / А.Н. Ледовский. – Энергоатомиздат, 2012. – 480 с.

2. Овчинников, И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность). Курс лекций / И.Е. Овчинников. – Наука, 2015. – 320 с.

3. Сычев, Е.К. Вентильные двигатели с постоянными магнитами на базе асинхронных машин / Е.К. Сычев. – Высшая школа, 2018. – 398 с.

4. Краснопевцев, А.И. Синхронный реактивный электродвигатель обращенного исполнения / А.И. Краснопевцев. – Машиностроение, 2017. – 450 с.

5. Зиннер, Л.Я., Скороспешкин, А.И. Вентильные двигатели постоянного и переменного тока / Л.Я. Зиннер, А.И. Скороспешкин. – Энергоиздат, 2016. – 550 с.

© Розова С.С., Овсянников В.Н., Верещагин В.Е., 2025

Научная статья

УДК 621.313

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ЧЕРЕЗ ИОТ, РОБОТОТЕХНИКУ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Семен Дмитриевич Россошанский<sup>1</sup>, Оксана Владимировна Логачёва<sup>2</sup>,  
Александр Владимирович Загвоздкин<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии  
и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов

<sup>1</sup>[simon.rise2033@gmail.com](mailto:simon.rise2033@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0001-2756-0206>

<sup>2</sup>[sgauoksana@mail.ru](mailto:sgauoksana@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-2906-3141>

<sup>3</sup>[zagvozdkin\\_90\\_00@mail.ru](mailto:zagvozdkin_90_00@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-2906-3141>

**Аннотация.** В статье представлен обзор современных тенденций цифровой трансформации агропромышленного комплекса (АПК) на основе умных электротехнологий. Рассматриваются ключевые направления применения Интернета вещей (IoT), робототехники, автономных энергетических систем и интеллектуального управления в агроинженерии. Подчёркнута роль энергоэффективности и интеллектуального анализа данных в повышении устойчивости и продуктивности сельскохозяйственных производств. Приведены примеры действующих решений, проанализированы вызовы и перспективы масштабируемого внедрения цифровых технологий в АПК.

**Ключевые слова:** агроинженерия, IoT, робототехника, энергоэффективность, цифровое сельское хозяйство, интеллектуальные технологии, устойчивое производство.

**Для цитирования:** Россошанский, С.Д. Цифровая трансформация сельского хозяйства через IoT, робототехнику и энергоэффективность / С.Д. Россошанский, О.В. Логачёва, А.В. Загвоздкин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## DIGITAL TRANSFORMATION OF AGRICULTURE THROUGH IOT, ROBOTICS AND ENERGY EFFICIENCY

Semyon Dmitrievich Rossoshansky<sup>1</sup>, Oksana Vladimirovna Logacheva<sup>2</sup>,  
Alexander Vladimirovich Zagvozdkin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[simon.rise2033@gmail.com](mailto:simon.rise2033@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0001-2756-0206>

<sup>2</sup>[sgauoksana@mail.ru](mailto:sgauoksana@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-2906-3141>

<sup>3</sup>[zagvozdkin\\_90\\_00@mail.ru](mailto:zagvozdkin_90_00@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-2906-3141>

**Annotation.** The article presents an overview of modern trends in the digital transformation of the agro-industrial complex (AIC) based on smart electrical technologies. It considers key areas of application of the Internet of Things (IoT), robotics, autonomous energy systems and intelligent control in agricultural engineering. The role of energy efficiency and intelligent data analysis in increasing the sustainability and productivity of agricultural production is emphasized. Examples of existing solutions are given, challenges and prospects for scalable implementation of digital technologies in the AIC are analyzed.

**Keywords:** agroengineering, IoT, robotics, energy efficiency, digital agriculture, smart technologies, sustainable production.

**For citation:** Rossoshansky, S.D. Digital transformation of agriculture through iot, robotics and energy efficiency / S.D. Rossoshansky, O.V. Logacheva, A.V. Zagvozdkin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современное сельское хозяйство переживает эпоху цифровой трансформации, вызванной необходимостью повышения производительности, устойчивости к климатическим изменениям и эффективного управления ресурсами. Ведущую роль в этом процессе играют умные электротехнологии, встраиваемые в инфраструктуру агропредприятий. К ним относятся системы на базе Интернета вещей (IoT), роботизированные комплексы, модули интеллектуального управления и энергоэффективные решения [1-4].

Такие технологии позволяют перейти от реактивного к предиктивному управлению агросистемами, формируя основу для устойчивого сельского хозяйства будущего.

#### **Материалы и методы.**

Цифровые электротехнологии в агроинженерии:

##### **1. IoT (Интернет вещей)**

IoT в агросекторе включает датчики температуры, влажности, освещённости, pH почвы, а также устройства мониторинга поголовья и работы техники [3-6]. Они объединяются в единую сеть, данные которой обрабатываются в облаке и визуализируются в реальном времени.

Преимущества:

- Точное внесение удобрений и ирригация;
- Своевременное выявление аномалий (вредители, болезни растений);
- Удалённое управление технологическими процессами.

##### **2. Робототехнические комплексы**



Внедрение автономных тракторов, дронов, роботов для доения, сортировки, посадки и уборки продукции становится всё более массовым. Робототехника снижает зависимость от сезонной рабочей силы и повышает точность операций [7, 9].

### 3. Энергоэффективные электротехнологии

Современные фермы внедряют солнечные панели, системы накопления энергии и микрогриды. Они снижают потребление сетевой энергии, позволяют использовать возобновляемые источники и обеспечивают автономность хозяйств [8].

#### **Результаты исследования.**

Сравнение эффективности технологий:

IoT-мониторинг – +15% урожайность, –12% затраты;

Робототехника – +18% урожайность, –20% затраты;

СЭС + микрогрид – снижение затрат на 25%.

Исходя из собранных данных, можно составить сравнительную диаграмму эффективности внедрения интеллектуальных систем в АПК.

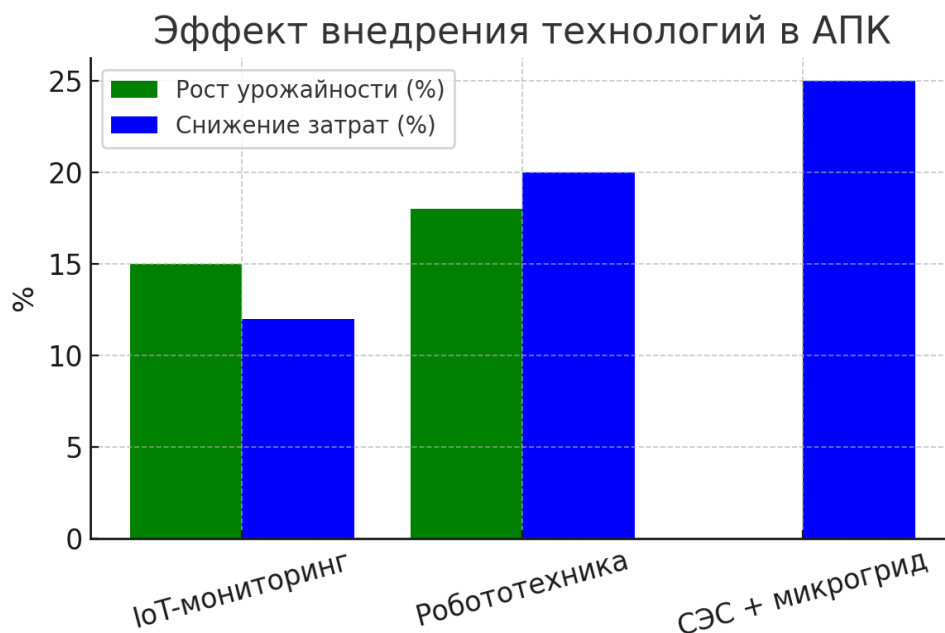


Рисунок – Эффект внедрения технологий в АПК

Проблемы и ограничения:

- Высокие стартовые затраты;
- Нехватка специалистов по ИТ и робототехнике в сельской местности;
- Зависимость от интернет-соединения;
- Недостаток единых стандартов и протоколов обмена данными.

Перспективы развития:

- Внедрение цифровых двойников ферм и культур;
- Интеграция ИИ в агроаналитику;
- Развитие автономных энергоэффективных сенсоров;
- Усиление мер кибербезопасности в цифровом АПК.

**Заключение.** Цифровая трансформация АПК с использованием умных электротехнологий – неотъемлемый этап на пути к устойчивому сельскому

хозяйству. Внедрение IoT, робототехники и энергоэффективных решений позволяет повысить производительность, снизить издержки и обеспечить продовольственную безопасность.

#### **Список источников**

1. Брагин, А.П. Умные технологии в АПК: от интернета вещей до автономных роботов // Вестник агроинженерии. – 2022. – №4. – С. 15-21.
2. Лошкарев, И.Ю. Стратегии технического обслуживания и ремонта асинхронных двигателей / И.Ю. Лошкарев, О.В. Логачева, А.В. Волгин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов : Саратовский ГАУ, 2017. – С. 162-164. – EDN ZQZBIJ
3. Internet of Things in Agriculture. FAO Report. – 2023. – URL: <https://www.fao.org/digital-agriculture/iot>
4. John Deere Operations Center. – URL: <https://operationscenter.deere.com/>
5. Intelligent farming powered by solar: Case studies. – SolarPower Europe, 2022. – URL: <https://www.solarpowereurope.org>
6. Robotics and AI in Smart Farming. – IEEE Spectrum, 2023. – URL: <https://spectrum.ieee.org/robotics-agriculture>
7. Новиков, А.И. Микросети и автономная энергетика в сельском хозяйстве // Энергетика будущего. – 2023. – №2. – С. 42-48.
8. Сохинов, Д.Ю. Надежность функционирования электрических систем / Д.Ю. Сохинов, О.В. Логачёва // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В.А. Трушкина. – Саратов : ООО «ЦеСАин», 2019. – С. 208-211. – EDN NRSOCS
9. Россошанский, С.Д. Современные способы повышения надежности электрооборудования / С.Д. Россошанский, О.В. Логачёва, С.В. Косолапов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы XV Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под общ. ред. С.М. Бакирова. – Саратов, 2024. – С. 259-265. – EDN WMAIVH

Россошанский С.Д., Логачёва О.В., Загвоздкин А.В., 2025

Научная статья  
УДК 621.313

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ (AR) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОКОММУНИКАЦИЙ В ЗДАНИЯХ**

**Семен Дмитриевич Россошанский<sup>1</sup>, Оксана Владимировна Логачёва<sup>2</sup>, Александр Владимирович Загвоздкин<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов

<sup>1</sup>[simon.rise2033@gmail.com](mailto:simon.rise2033@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0001-2756-0206>

<sup>2</sup>[sgauoksana@mail.ru](mailto:sgauoksana@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-2906-3141>

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность применения технологий дополненной реальности (AR) для визуализации и идентификации электрокоммуникаций в зданиях. Анализируется проблема точного определения местоположения скрытых кабелей, розеток, щитов и иных элементов электросети. Представлен прототип AR-приложения, интегрированного с планами BIM-моделей зданий. Проведено сравнение эффективности по точности и времени выполнения работ с традиционными методами (сверка с чертежами, использование трассоискателей). Приведены графики, иллюстрирующие преимущества AR-технологий в инженерной диагностике и строительстве.

**Ключевые слова:** дополненная реальность, электрокоммуникации, AR-приложение, BIM, инженерные сети, цифровое проектирование.

**Для цитирования:** Россошанский, С.Д. Применение технологий дополненной реальности (AR) для определения электрокоммуникаций в зданиях / С.Д. Россошанский, О.В. Логачёва, А.В. Загвоздкин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференция с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## APPLICATION OF AUGMENTED REALITY (AR) TECHNOLOGIES TO DETERMINE ELECTRICAL COMMUNICATIONS IN BUILDINGS

**Semyon Dmitrievich Rossoshansky<sup>1</sup>, Oksana Vladimirovna Logacheva<sup>2</sup>, Alexander Vladimirovich Zagvozdkin<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[simon.rise2033@gmail.com](mailto:simon.rise2033@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0001-2756-0206>

<sup>2</sup>[sgauoksana@mail.ru](mailto:sgauoksana@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-2906-3141>

<sup>3</sup>[zagvozdkin\\_90\\_00@mail.ru](mailto:zagvozdkin_90_00@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-2906-3141>

**Annotation.** The article considers the possibility of using augmented reality (AR) technologies for visualization and identification of electrical communications in buildings. The problem of precise determination of the location of hidden cables, sockets, panels and other elements of the electrical network is analyzed. A prototype of an AR application integrated with BIM plans of buildings is presented. A comparison of the efficiency in terms of accuracy and time of work with traditional methods (verification with drawings, use of route finders) is made. Graphs are provided illustrating the advantages of AR technologies in engineering diagnostics and construction.

**Keywords:** augmented reality, electrical communications, AR application, BIM, engineering networks, digital design.

**For citation:** Rossoshansky, S.D. Application of augmented reality (AR) technologies to determine electrical communications in buildings / S.D. Rossoshansky, O.V. Logacheva, A.V. Zagvozdkin // Actual problems of energy in the agro-industrial

complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Скрытые электрокоммуникации – одна из ключевых составляющих любой современной инфраструктуры. Ошибки в их обнаружении при ремонтах и реконструкциях приводят к рискам поражения током, повреждению кабелей, простоем и материальным убыткам [1, 2].

Традиционные методы выявления местоположения коммуникаций основаны на сопоставлении проектной документации с визуальным осмотром или применением специализированных приборов – трассоискателей. Эти подходы имеют ряд недостатков: длительность, зависимость от наличия и точности документации, ограниченная зона охвата [3, 4].

Развитие технологий дополненной реальности (AR) позволяет выводить инженерные элементы на экран мобильного устройства или планшета в виде виртуальных наложений на реальные объекты. Это открывает новые возможности в области инжиниринга, технического надзора и эксплуатации зданий [5].

**Методы и материалы.** Разработанный прототип AR-приложения использует следующие компоненты:

- Мобильный клиент на базе ARKit (iOS) и ARCore (Android);
- Интеграция с BIM-моделью здания в формате IFC/REVIT;
- GPS и LiDAR-ориентирование для точного позиционирования в пространстве;
- Функция сканирования стен и потолков для сопоставления с чертежами;
- База данных меток (маркировка элементов на этапе строительства).

Прототип позволяет пользователю навести камеру устройства на стену или пол и получить точное визуальное расположение кабель-каналов, щитков, выключателей, точек питания и т.д. [6, 7]. В тестировании участвовали здания жилого и офисного назначения 2020-2023 годов постройки.

**Результаты исследования.** Тестирование проводилось по следующим параметрам:

- Точность совпадения с фактическим расположением коммуникаций (по итогам вскрытия стен (рис. 1, 2);
- Среднее время идентификации элемента;
- Субъективная оценка удобства работы со стороны инженеров и электромонтажников.

Технология AR показала высокую эффективность при работах в помещениях, где имеется BIM-проект или ранее сделанные замеры. Преимущества включают:

- Ускорение работ, особенно при массовом анализе инженерных решений;
- Минимизация ошибок, вызванных человеческим фактором;
- Наглядность, полезная как для инженеров, так и для заказчиков;
- Интеграция в процессы технического обслуживания, включая взаимодействие с сервисными заявками.

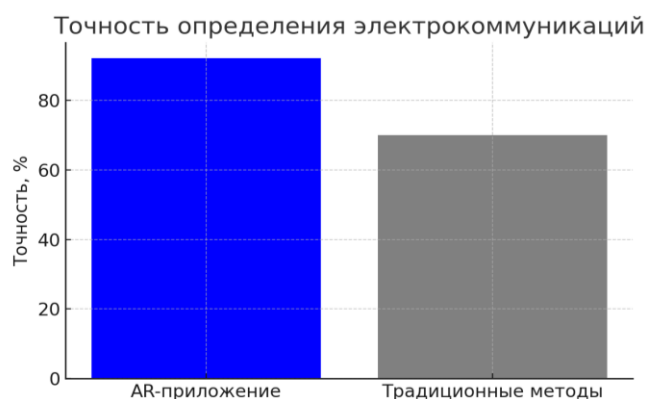


Рисунок 1 – Точность определения электрокоммуникаций

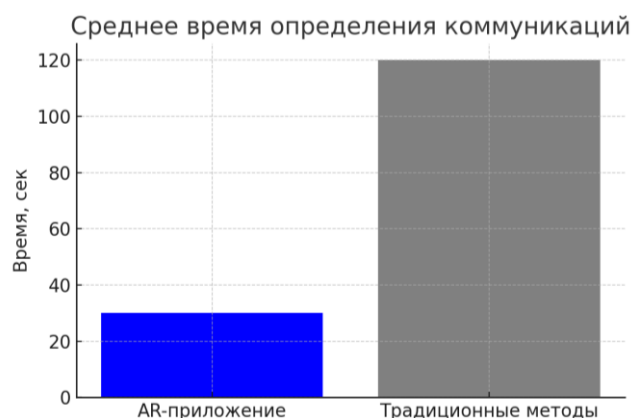


Рисунок 2 – Время идентификации элементов

Ограничения:

- Зависимость от наличия BIM-моделей;
- Погрешности позиционирования в зонах с плохим освещением или узкими пространствами;
- Требовательность к вычислительным ресурсам и совместимым устройствам.

**Заключение.** Применение AR-приложений в инженерной практике открывает новые горизонты для визуального контроля и управления инженерной инфраструктурой зданий. Результаты тестирования демонстрируют высокую точность, снижение времени работы и улучшение безопасности [8, 9].

Дальнейшее развитие возможно в направлении автоматического сканирования и построения модели на лету, объединения с ИИ-аналитикой и цифровыми двойниками зданий.

### Список источников

1. Гордеев, А.В. Информационное моделирование зданий (BIM) в строительстве. – М. : Стройиздат, 2021. – 180 с.
2. Azuma, R.T. A Survey of Augmented Reality // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 1997. – Vol. 6(4). – P. 355-385.
3. Milgram, P., Kishino, F. A taxonomy of mixed reality visual displays // IEICE Trans. Information Systems. – 1994. – Vol. E77-D(12).
4. Apple Inc. ARKit Developer Documentation. – URL: <https://developer.apple.com/augmented-reality/>

5. Google. ARCore Developer Guide. – URL: <https://developers.google.com/ar>
6. BIM Collaboration Format (BCF) and IFC: International Standard. – URL: <https://technical.buildingsmart.org/>
7. Трошин, Д.В. Визуализация инженерных коммуникаций средствами AR и VR // Инженерные системы. – 2023. – №1. – С. 28-34.
8. Лошкарев, И.Ю. Стратегии технического обслуживания и ремонта асинхронных двигателей / И.Ю. Лошкарев, О.В. Логачева, А.В. Волгин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов : Саратовский ГАУ, 2017. – С. 162-164. – EDN ZQZBIJ
9. Сохинов, Д.Ю. Надежность функционирования электрических систем / Д.Ю. Сохинов, О.В. Логачёва // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы X Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В.А. Трушкина. – Саратов : ООО «ЦеСАин», 2019. – С. 208-211. – EDN NRSOCS
10. Россошанский, С.Д. Современные способы повышения надежности электрооборудования / С.Д. Россошанский, О.В. Логачёва, С.В. Косолапов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы XV Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием / под общ. ред. С.М. Бакирова. – Саратов, 2024. – С. 259-265. – EDN WMAIVN

Россошанский С.Д., Логачёва О.В., Загвоздкин А.В., 2025

Научная статья  
УДК 62.523

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В УСТАНОВКЕ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ АФРИКАНСКОГО КЛАРИЕВОГО СОМА**

**Илья Алексеевич Савельев<sup>1</sup>, Денис Петрович Евстафьев<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[ilya-savelev-2001@mail.ru](mailto:ilya-savelev-2001@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-3155-664X>

<sup>2</sup>[evstafevdp@yandex.ru](mailto:evstafevdp@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0000-4709-3847>

**Аннотация.** В статье приводится разработанная схема системы мониторинга температуры воды в установке замкнутого водоснабжения при выращивании африканского клариевого сома.

**Ключевые слова:** африканский клариевый сом, устройство замкнутого водоснабжения, мониторинг воды.

**Для цитирования:** Савельев, И.А. Разработка системы мониторинга температуры воды в установке замкнутого водоснабжения при выращивании африканского клариевого сома / И.А. Савельев, Д.П. Евстафьев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.



Original article

## DEVELOPMENT OF A WATER TEMPERATURE MONITORING SYSTEM IN A CLOSED-CIRCUIT WATER SUPPLY SYSTEM FOR THE CULTIVATION OF AFRICAN CLARY CATFISH

Ilya Alekseevich Saveliev<sup>1</sup>, Denis Petrovich Evstaf'ev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[ilya-savelev-2001@mail.ru](mailto:ilya-savelev-2001@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-3155-664X>

<sup>2</sup>[evstafevdp@yandex.ru](mailto:evstafevdp@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0000-4709-3847>

**Annotation.** The article presents the developed scheme of a water temperature monitoring system in a closed-circuit water supply installation for the cultivation of African clary catfish.

**Keywords:** African clary catfish, closed-circuit water supply system, monitoring.

**For citation:** Saveliev, I.A. Development of a Water Temperature Monitoring System in a closed-circuit Water Supply Installation for growing African clary catfish / I.A. Saveliev, D.P. Evstaf'ev // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*) – один из наиболее перспективных объектов аквакультуры благодаря своей устойчивости к стрессу, высокой плотности посадки, быстрому росту и способности дышать атмосферным воздухом. Этот вид рыбы адаптирован к интенсивному выращиванию в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), что особенно актуально в условиях ограниченных водных ресурсов [0].

Оптимальные темпы роста достигаются при температуре воды 26-30 °С, высокобелковом кормлении и стабильных параметрах среды [0]. Благодаря высокой выживаемости и быстрой окупаемости, выращивание клариевого сома становится всё более востребованным среди производителей.

На основе анализа биологических особенностей и требований вида была разработана эффективная схема обвязки инженерного оборудования УЗВ, направленная на поддержание стабильных условий содержания и автоматизацию технологических процессов. Ниже представлены ключевые элементы и логика построения данной схемы.

**Материалы и методы.** В ходе работы была разработана схема обвязки установки замкнутого водоснабжения (УЗВ), предназначенной для интенсивного выращивания объектов аквакультуры. Разработка велась на базе производственного предприятия, с учётом реальных условий эксплуатации, существующей инфраструктуры и требований к технологическому процессу.

Основными объектами исследования стали технологические элементы УЗВ, включающие:



- рыбоводные бассейны;
- механические и биологические фильтры;
- ультрафиолетовые установки обеззараживания;
- насосное оборудование;
- трубопроводы подачи и отвода воды;
- системы аэрации и контроля параметров среды.

Сбор исходной информации осуществлялся путём анализа действующих схем аналогичных установок, технической документации оборудования, а также нормативных требований в области водоочистки и аквакультуры. Были использованы данные о гидравлических характеристиках оборудования, пропускной способности трубопроводов, биологических потребностях выращиваемого объекта и санитарных нормах [0].

**Результаты исследования.** В результате проведённых проектно-аналитических работ была разработана интегрированная схема обвязки установки замкнутого водоснабжения (УЗВ), оптимизированная для промышленного выращивания клариевого сома (*Clarias gariepinus*). Схема учитывает биологические и поведенческие особенности данного объекта аквакультуры, а также требования к качеству воды на различных стадиях производственного цикла.

#### *Общая структура системы.*

Разработанная схема включает следующие ключевые узлы:

- Рыбоводные емкости (производственные бассейны);
- Механическая фильтрация (барабанный или сетчатый фильтр);
- Биофильтр (с движущимся слоем загрузки для нитрификации);
- Ультрафиолетовая установка (дезинфекция воды);
- Нагреватель воды (для поддержания температуры 27-29 °С);
- Аэрация и подача кислорода (мелкопузырчатые диффузоры);
- Циркуляционные насосы и разводящий трубопровод.

Важным моментом является цикличность движения воды – из рыбоводных емкостей она поступает на механическую очистку, затем – на биофильтрацию, после чего проходит деаэрацию, дезинфекцию и подогрев, и снова возвращается в бассейны [0].

#### *Особенности обвязки и технические решения.*

• Компактное размещение оборудования позволяет экономить производственные площади.

• Трубопроводы выполнены из ПВХ и ППР, устойчивых к воздействию воды, химических реагентов и УФ-облучения.

• Регулирующиеся клапаны и байпасные линии обеспечивают аварийную защиту и удобство технического обслуживания.

• Система контроля оснащена датчиками уровня кислорода, температуры и pH, с возможностью дистанционного мониторинга через ПЛК.

#### *Преимущества схемы.*

• Поддержание стабильной гидрохимии без резких колебаний.

• Энергоэффективность: оптимизированы расходы на подогрев и циркуляцию.

- Гибкость: возможно подключение дополнительных емкостей или смена назначения (инкубация, подращивание, дорашивание).
- Удобство эксплуатации и технического обслуживания.

На (рис. 1) представлена схема обвязки инженерного оборудования УЗВ. На рис. 2 графические обозначения оборудования УЗВ.

*Общий принцип работы УЗВ по схеме.* Система УЗВ организована как замкнутый цикл циркуляции воды с многоступенчатой фильтрацией, обеззараживанием и контролем параметров. Это позволяет эффективно выращивать рыбу с минимальными затратами воды [0].

*Технологический процесс обработки воды в УЗВ.* В установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), предназначенных для выращивания клариевого сома, качество водной среды напрямую влияет на темпы роста, здоровье рыбы и эффективность хозяйства [0]. Для поддержания оптимальных условий в системе была реализована комплексная схема очистки воды, спроектированная и собранная на базе нашего предприятия с использованием собственного оборудования.

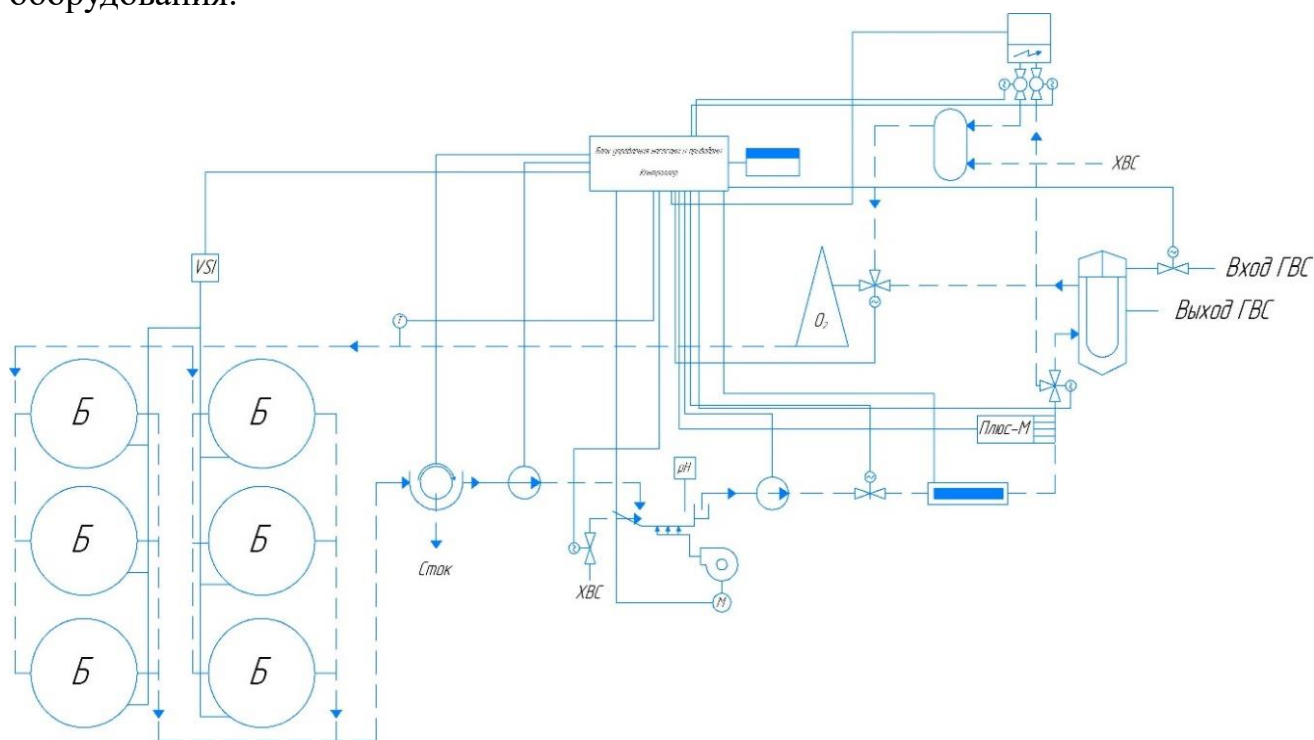


Рисунок 1 – Обвязка УЗВ с оборудования: барабанный фильтр, насос, биофильтр, задвижка с приводом, клапан с приводом, УФ лампа, теплообменник, оксигенатор, датчик температуры, пульт управления, пульт управления, электроцифровая, система автоматического контроля pH, Воздуходувка, аэрация, система автоматического мониторинга параметров воды, бассейн с рыбой, ТермоПлюс-М, электронагреватель, бойлер, задвижка с приводом, клапан с приводом, трёхходовой регулирующий клапан, кран с электроприводом

Вода из бассейнов с рыбой, содержащая остатки корма, экскременты и продукты метаболизма, самотёком поступает на первичную очистку. Барабанный фильтр, разработанный в нашей производственной линейке, выполняет механическую очистку – он эффективно задерживает крупные загрязнения, предотвращая их попадание в последующие модули. Очищенная от твёрдых частиц вода подаётся насосом на следующие стадии очистки.

На этапе биологической фильтрации применяется биофильтр, заселённый специализированными нитрифицирующими бактериями. Эти микроорганизмы перерабатывают аммиак и нитриты, образующиеся в результате жизнедеятельности рыбы, в менее токсичные нитраты. Для поддержки жизнедеятельности бактерий используется система аэрации, включающая оксигенатор и воздухоподувку, которые насыщают воду кислородом, а также подают воздух как в биофильтр, так и непосредственно в бассейны.

После биологической очистки вода проходит через УФ-лампу, где подвергается обеззараживанию ультрафиолетовым излучением. Это позволяет эффективно устранять патогенные микроорганизмы, снижая риск вспышек инфекций при высокой плотности посадки.

| Наименование                                        | Графическое обозначение                                                             |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Барабанный фильтр                                   |    |
| Насос                                               |    |
| Биофильтр                                           |    |
| Задвижка с приводом                                 |    |
| Клапан с приводом                                   |    |
| УФ лампа                                            |    |
| Теплообменник                                       |    |
| Оксигенатор                                         |  |
| Датчик температуры                                  |  |
| Пульт управления                                    |  |
| Электроцистовая                                     |  |
| Система автоматического контроля pH                 |  |
| Воздухоподувка                                      |  |
| Аэрация                                             |  |
| Система автоматического мониторинга параметров воды |  |
| Бассейн с рыбой                                     |  |
| ТермоПлюс-М                                         |  |
| Электронагреватель                                  |  |
| Трёхходовой регулирующий клапан с электроприводом   |  |
| Бойлер косвенного нагрева                           |  |
| Кран с электроприводом                              |  |

Рисунок 2 – Графические обозначения оборудования УВЗ

Для поддержания стабильных температурных условий в системе используется теплообменник, обеспечивающий необходимый тепловой режим в зависимости от внешних условий. В случае понижения температуры на входе задействуется электронагреватель и бойлер косвенного нагрева, которые автоматически включаются при необходимости. Кроме того, применён модуль ТермоПлюс-М, позволяющий предотвращать образование накипи, шлака и

ржавчины в трубопроводах и теплообменных поверхностях, тем самым увеличивая срок службы оборудования и повышая надёжность всей системы.

Контроль всех процессов в системе осуществляется с помощью системы автоматизации и управления, которая включает датчики температуры, pH и других параметров, а также электрощитовую с пультом управления. Благодаря установленным задвижкам и клапанам с электроприводами, система может оперативно регулировать потоки воды, автоматически реагировать на изменения и поддерживать стабильную работу всех модулей.

Таким образом, созданная нами схема обеспечивает замкнутый цикл качественной очистки и обработки воды, минимизируя потребление свежих водных ресурсов и обеспечивая стабильные условия для выращивания клариевого сома.

**Заключение.** Разработанная схема обвязки УЗВ с учетом специфики выращивания африканского клариевого сома, должна показать свою эффективность в условиях практического использования. Она обеспечивает устойчивость производственного процесса, снижает операционные затраты и позволяет добиться высоких биологических и экономических показателей. Минимизировать ручное управление, стабилизировать параметры воды, поддерживать здоровье и рост рыбы, существенно снизить расход свежей воды.

#### Список источников

1. Африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*) [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная энциклопедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Африканский\\_клариевый\\_сом](https://ru.wikipedia.org/wiki/Африканский_клариевый_сом)
2. Гуркина, О.А. Выращивание рыбы в установках замкнутого водоснабжения: методические рекомендации для обучающихся направления подготовки «Водные биоресурсы и аквакультура» / О.А. Гуркина, О.Н. Руднева, М.Е. Рубанова – Саратов: Саратовский источник, 2024. – 62 с. Режим доступа: [https://www.vavilovsar.ru/files/pages/60973/1716546923\\_Метод.%20рекомендаци%20Выращивание%20рыбы%20в%20УЗВ.pdf](https://www.vavilovsar.ru/files/pages/60973/1716546923_Метод.%20рекомендаци%20Выращивание%20рыбы%20в%20УЗВ.pdf)
3. Медведев, А.Ю. Технологические и биологические аспекты выращивания рыб в установках замкнутого водоснабжения / А.Ю. Медведев, Н.В. Волгина, С.Н. Тресницкий – Москва: МОРКНИГА, 2023 – 159 с. Режим доступа: <https://animal-ration.ru/wp-content/uploads/2023/08/Kniga-po-vyrashhivaniyu-ryb-v-UZV-soderzhanie.pdf>
4. Козлов, В.И. Аквакультура в установках замкнутого водообмена (УЗВ): экономические решения : учебное пособие для вузов / В.И. Козлов. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 344 с. – ISBN 978-5-507-50160-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/439931>
5. Пономарев, С.В. Индустриальное рыбоводство : учебник / С.В. Пономарев, Ю.Н. Грозеску, А.А. Бахарева. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 448 с. – ISBN 978-5-8114-1367-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/211118>.

6. Козырь, А.В. Рыбоводно-технологическая оценка установок замкнутого водоснабжения и пути повышения их ресурсоэффективности / А.В. Козырь, Т.В. Козлова // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. – 2022. – № 1. – С. 55-65. – ISSN 2078-5461. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/322418>.

© Савельев И.А., Евстафьев Д.П., 2025

Научная статья  
УДК 378.02

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Лязат Анатольевна Садыкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г.Уральск, Казахстан

<sup>1</sup>[archisad@mail.ru](mailto:archisad@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматривается важность интеграции высшего образования и производственной сферы как одного из ключевых факторов подготовки конкурентоспособных специалистов в условиях цифровой экономики. Необходимо тесное взаимодействие вузов с предприятиями для обеспечения соответствия образовательных программ потребностям рынка труда. На примере взаимодействия Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета (ЗКИТУ) с Уральским трансформаторным заводом демонстрируется успешная практика сотрудничества, подчеркивается значение стратегического партнерства для развития научной, учебной и инновационной деятельности.

**Ключевые слова:** предприятие, участие, вуз, взаимосвязь, сотрудничество, производство, качество.

**Для цитирования:** Садыкова, Л.А. Трансформация высшего образования в условиях современной реальности / Садыкова Л.А. // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференция с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## TRANSFORMATION OF HIGHER EDUCATION IN THE CONDITIONS OF MODERN REALITY

Lyazat Anatolievna Sadykova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Kazakhstan

<sup>1</sup>[archisad@mail.ru](mailto:archisad@mail.ru)

**Annotation.** The article discusses the importance of integrating higher education and the industrial sector as one of the key factors in training competitive specialists in the digital economy. Close interaction between universities and enterprises is necessary to ensure that educational programs meet the needs of the labor market. The example of interaction between the West Kazakhstan Innovation and Technology University and the Ural Transformer Plant demonstrates successful cooperation practices, and emphasizes the importance of strategic partnership for the development of scientific, educational and innovative activities.

**Key words:** company, university, relationship, cooperation, production, quality.

**For citation:** Sadykova L.A. Transformation of higher education in the context of modern reality / L.A. Sadykova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Одним из ключевых элементов экономического развития страны является подготовка квалифицированных специалистов. Современным вузам поручена важная миссия – выпуск кадров, способных определить будущее государства.

Для достижения этой цели необходимо реформировать систему высшего образования. В этом заинтересованы не только учебные заведения и обучающиеся, но также государственные органы и производственные предприятия, заинтересованные в приеме эффективных работников, способных приносить прибыль в условиях цифровой экономики. Поэтому становится все более актуальной идея тесного взаимодействия между университетами и предприятиями.

**Методы и материалы.** Одним из факторов, способствующих качественной подготовке специалистов, выступает взаимодействие вузов с производством. Университеты выступают как центры знаний, а предприятия – как потребители подготовленных кадров. Эффективность их взаимодействия напрямую влияет на соответствие качества образования потребностям работодателей.

Если подготовка специалистов не соответствует ожиданиям бизнеса, возникает разрыв между учебной и производственной сферами, что приводит к снижению востребованности выпускников и конкурентоспособности вуза.

Для решения данной проблемы необходимо проведение анализа кадровых потребностей предприятий и корректировка образовательных программ вуза в соответствии с количественными и качественными параметрами спроса.

Сотрудничество между вузами и производственными организациями позволяет создавать совместные образовательные и производственные площадки, расширяющие возможности прохождения практики студентами.

По мнению Эдит Крессон, члена Европейской комиссии, основной задачей высшего образования является формирование у молодежи полноценного представления о производственной деятельности [1].

В ЗКИТУ взаимодействие с предприятиями осуществляется в рамках долгосрочных соглашений, охватывающих образовательную, научную и



инновационную сферы. Примером может служить создание филиалов кафедры «Энергетика, автоматизация и вычислительная техника» на базе Уральского трансформаторного завода, где совместно с инженерами проводятся практические занятия, способствующие профессиональной адаптации студентов.

Интеграция вузов и производства представляет собой классическую модель инновационного развития, обеспечивающую обмен знаниями и ресурсами. Только в тесном сотрудничестве возможно точно определять потребности индустрии, разрабатывать соответствующие учебные программы и достигать высокой эффективности образовательного процесса.

Представители предприятий-партнеров принимают участие в разработке программ, входят в состав академических комитетов и комиссий по итоговой аттестации, а также участвуют в мероприятиях формата «Приглашенный профессор», делясь опытом и рассказывая о вызовах и перспективах своей отрасли [2]. Преимуществами университета как партнера являются его устойчивость, стабильность, признание в образовательной среде, длительное существование и наличие нормативной базы [3].

Однако степень развития партнерства определяется экономической моделью государства, политической ситуацией и требованиями рынка труда. Необходимы системные изменения в высшем образовании Казахстана. Примером служит Франция, где создан специальный координирующий орган для взаимодействия университетов и промышленности – Высший комитет «Образование – Экономика».

**Результаты исследования.** Необходимы перемены в системе высшего образования Казахстана. Во Франции в 1986 году был создан «орган, координирующий сотрудничество университетов с промышленностью, в частности Высший комитет «Образование – Экономика». Комитет, в который входят представители деловых кругов и образования, имеет представителей в каждом университете. Основная его задача – развитие отношений между системой образования и промышленностью [4].

Инновационная деятельность становится важной частью миссии университетов и требует как государственной, так и частной финансовой поддержки.

**Заключение.** Стратегическое партнерство позволяет решать важные задачи: разрабатывать модели интеграции научной, учебной и инновационной деятельности; реализовывать целевые межвузовские программы подготовки специалистов; создавать конкурентоспособные технологии и продукцию; формировать эффективные механизмы прогнозирования потребностей рынка труда.

#### Список источников

1. Крессон, Э. Образование и развитие. – Европа, 1996. – 12 с.
2. Садыкова, Л.А. Развивающийся тренд в современном высшем образовании»: «Вестник ЗКИТУ», N2-3-2023. – 107 с.
3. Светлов, И.Е. Образовательное пространство как область взаимодействия предприятий и вузов. // Инженерный журнал. – 2017. – № 8(125). – 55 с.
4. Auduc, J.-L. L'école en France: De la maternelle à l'Université. – Nathan, 1997. – 150 с.

© Садыкова Л.А., 2025



## РОЛЬ ГЕЙМИФИКАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ

Акбаян Максимкызы Сарсенгалиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г.Уральск, Казахстан

<sup>1</sup>[asarsengaliyeva92@gmail.com](mailto:asarsengaliyeva92@gmail.com), <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0008-1033-6030>

**Аннотация.** В статье рассматриваются возможности применения геймификации в образовательном процессе при подготовке студентов технических направлений. Представлены теоретические основы геймификации, выделены ключевые игровые элементы, а также приведён пример практического внедрения геймифицированных подходов в преподавании инженерных дисциплин. Проведен анализ влияния игровых механизмов на мотивацию, вовлечённость и учебные результаты студентов. Автор отмечает, что использование геймификации способствует повышению интереса к учебному процессу, формированию профессиональных компетенций и развитию навыков командной работы.

**Ключевые слова:** геймификация, инженерное образование, игровые механики, вовлеченность студентов, цифровые технологии в обучении.

**Для цитирования:** Сарсенгалиева, А.М. Роль геймификации в формировании профессиональных компетенций студентов / А.М. Сарсенгалиева // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под редакцией С.В. Бахтева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## THE ROLE OF GAMIFICATION IN THE FORMATION OF STUDENTS' PROFESSIONAL COMPETENCIES

Sarsengaliyeva Akbayan Maksimkyzy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>West Kazakhstan Innovation and Technological University, Uralsk, Kazakhstan

<sup>1</sup>[asarsengaliyeva92@gmail.com](mailto:asarsengaliyeva92@gmail.com), <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0009-0008-1033-6030>

**Annotation.** The article discusses the possibilities of using gamification in the educational process in the preparation of technical students. The theoretical foundations of gamification are presented, key game elements are highlighted, and an example of the practical implementation of gamified approaches in teaching engineering disciplines is given. The analysis of the influence of game mechanisms on motivation, engagement and learning outcomes of students is carried out. The author

notes that the use of gamification helps to increase interest in the educational process, the formation of professional competencies and the development of teamwork skills.

**Keywords:** gamification, engineering education, game mechanics, student engagement, digital technologies in learning.

**For citation:** Sarsengaliyeva A.M. The role of gamification in the formation of students' professional competencies / A.M. Sarsengaliyeva // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современное инженерное образование находится на этапе активной трансформации, обусловленной стремительным развитием технологий, цифровизацией производственных процессов и изменением требований к профессиональным компетенциям выпускников. В этих условиях образовательные организации сталкиваются с необходимостью повышения эффективности обучения и вовлеченности студентов.

Одним из актуальных подходов к решению данной задачи становится геймификация – использование игровых элементов и механик в неигровом контексте обучения. Этот подход позволяет не только повысить мотивацию обучающихся, но и способствует формированию практико-ориентированных навыков, развитию командной работы и критического мышления.

Особую актуальность геймификация приобретает в контексте преподавания технических дисциплин, требующих высокой степени абстрактного мышления и логики. Внедрение игровых технологий в образовательный процесс позволяет сделать обучение более интерактивным, наглядным и увлекательным, что особенно важно для поколений студентов, выросших в цифровой среде.

Цель данной статьи – рассмотреть теоретические основы геймификации, проанализировать возможности ее применения в подготовке студентов, а также представить практический опыт внедрения игровых методов в учебный процесс.

#### Теоретические основы геймификации

Геймификация (от англ. gamification) [1] – это использование игровых элементов, механик и мышления в неигровых контекстах, в том числе в образовании, бизнесе, маркетинге и управлении. В образовательной среде геймификация направлена на повышение интереса студентов к обучению, стимулирование активности, формирование устойчивой учебной мотивации и развитие ключевых компетенций.

**Методы и материалы.** Ключевые игровые механики, применяемые в учебном процессе, включают: [2].

- Систему баллов и уровней (за выполнение заданий, активность, участие);
- Бейджи и награды (виртуальные или реальные);
- Лидерборды (рейтинги студентов);
- Миссии и квесты (в виде лабораторных работ, практических задач);
- Соревновательные элементы (между командами или индивидуально);
- Сюжет и персонажи (для создания контекста, приближенного к профессиональной деятельности).

Геймификация не является полноценной игрой [3]. Она лишь использует отдельные элементы игровой среды для увеличения вовлеченности, при этом основное содержание остаётся академическим. В отличие от традиционных форм обучения, геймифицированные занятия способствуют активации внутренней мотивации студентов: стремления к самореализации, самосовершенствованию и признанию.

Для технических дисциплин геймификация может играть роль своеобразного «моста» между теорией и практикой. Например, симуляционные игры позволяют моделировать работу электростанции или промышленного робота, что делает сложные процессы более наглядными и доступными.

Согласно современным педагогическим исследованиям, геймифицированные подходы особенно эффективны в сочетании с цифровыми образовательными платформами, а также в среде проблемного, проектного и практико-ориентированного обучения.

#### Применение геймификации в техническом образовании

Техническое образование традиционно ассоциируется [4] с высокой степенью абстракции, необходимостью усвоения большого объёма теоретических знаний и освоения сложных практических навыков. Это делает задачу повышения вовлечённости студентов особенно актуальной. Геймификация, как инструмент формирования интереса и стимулирования активности, оказывается эффективной именно в таких условиях.

Одним из ключевых преимуществ геймификации в обучении инженерным дисциплинам является возможность моделирования реальных производственных и проектных ситуаций [5] в игровой форме. Это позволяет студентам не только лучше понять материал, но и применять его на практике, развивая навыки критического мышления, анализа, командного взаимодействия и принятия решений.

В обучении студентов технических направлений геймификация может быть реализована через следующие подходы:

- Сценарные симуляции: моделирование аварийных ситуаций на электростанции или неисправностей в системе автоматизации с возможностью принятия решений в реальном времени.

- Проектно-игровые задания: разработка и презентация собственного энергетического объекта или робототехнического устройства в виде соревнования между командами.

- Использование цифровых платформ: применение сервисов Kahoot [6], Quizizz, Socrative для проведения геймифицированных опросов и контрольных работ.

- Элементы RPG и сюжетности: освоение курсов в формате «прохождения уровней», где каждый модуль – это «миссия», выполнение которой открывает доступ к следующему этапу.

- Лаборатории в виртуальной реальности: взаимодействие с виртуальным оборудованием позволяет «без риска» исследовать сложные процессы.

В рамках практики были протестированы следующие инструменты:

- Kahoot и LearningApps – для текущего контроля и повторения теоретических тем;

- CodeCombat и Tinkercad – в качестве интерактивных платформ для изучения логики, алгоритмизации и моделирования систем;

- Конкурс «Инженерный вызов» – внутренняя соревновательная форма в рамках дисциплины «Основы автоматизации».

Результаты применения геймифицированных подходов показали:

- рост вовлечённости студентов (по результатам опроса – на 30-40%);
- повышение успеваемости;
- улучшение посещаемости занятий;
- рост интереса к самостоятельному обучению.

Таким образом, геймификация становится действенным инструментом, позволяющим оживить учебный процесс и приблизить его к будущей профессиональной деятельности студентов.

#### Анализ и обсуждение

Проведённый анализ теоретических основ геймификации и практического опыта её внедрения в образовательный процесс позволяет выделить ряд преимуществ и ограничений, с которыми сталкиваются преподаватели и студенты.

Преимущества геймифицированного подхода:

- Повышение вовлечённости студентов. Игровые элементы способствуют активации внутренней мотивации, вовлекая студентов в учебный процесс через элементы соревнования, любопытства и достижения целей.

- Развитие практико-ориентированных компетенций. Симуляции и игровые сценарии позволяют моделировать реальные производственные ситуации, в которых будущие энергетики будут действовать в своей профессиональной деятельности.

- Укрепление командной работы и коммуникации. Командные игровые форматы способствуют развитию «гибких» навыков – soft skills, востребованных в современной инженерной среде.

- Гибкость и адаптивность. Геймификация может быть встроена в различные этапы учебного процесса – от вводных лекций до итоговой аттестации.

- Вместе с тем, существуют и определённые ограничения:

- Повышенные требования к подготовке преподавателя. Разработка качественного геймифицированного контента требует времени, цифровых навыков и педагогического мастерства.

- Ограниченность цифровой инфраструктуры. Не все учебные заведения имеют техническую базу для реализации интерактивных платформ или виртуальных лабораторий.

- Разноуровневая восприимчивость студентов. Не все обучающиеся одинаково воспринимают игровые форматы – часть студентов предпочитает классические формы обучения.

- Риск смещения акцентов. При чрезмерной геймификации возможна потеря фокуса на содержательной стороне дисциплины.

**Результаты исследования.** Тем не менее, по результатам наблюдений и обратной связи от студентов применение геймифицированных элементов

положительно влияет на уровень усвоения материала и интерес к предмету. Более того, такие подходы поддерживают междисциплинарность и способствуют осмысленному обучению, ориентированному на практику.

Таким образом, геймификация не заменяет традиционное обучение, но усиливает его, делая процесс подготовки будущих специалистов более эффективным, интерактивным и современным.

### **Заключение**

Современное техническое образование требует постоянного обновления подходов и инструментов обучения, чтобы соответствовать ожиданиям студентов и требованиям быстро меняющейся профессиональной среды. Геймификация в этом контексте выступает не как модный тренд, а как действенный педагогический инструмент, способный оживить учебный процесс, повысить вовлечённость студентов и способствовать формированию как профессиональных, так и надпрофессиональных компетенций.

Анализ теоретических основ и практических кейсов применения геймификации в обучении студентов технических направлений показал, что игровые элементы способны повысить интерес к дисциплине, активизировать познавательную деятельность и сделать обучение более осмысленным. При этом важно помнить, что эффективность геймификации во многом зависит от её грамотной интеграции в структуру курса, баланса между развлекательной и содержательной составляющей, а также уровня цифровой подготовки преподавателя.

Внедрение геймифицированных методов требует педагогического творчества, методической гибкости и постоянной обратной связи со студентами. Однако даже при ограниченных ресурсах частичное использование игровых механизмов способно принести значимые положительные результаты. Следовательно, геймификация должна рассматриваться как перспективное направление развития инженерного образования, особенно в условиях цифровой трансформации.

### **Список источников**

1. Богуславский, М.В., Пискунова И.В. Геймификация образования как современная педагогическая технология // Педагогика. – 2020. – № 4. – С. 3-13.
2. Зинченко, А.А. Игровые технологии в обучении студентов технических направлений // Вестник современного образования. – 2021. – № 2. – С. 45-51.
3. Deterding S. et al. From Game Design Elements to Gamefulness: Defining “Gamification” // Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference. – 2011. – P. 9–15.
4. Кузнецова, Е.Л. Применение геймификации в инженерном образовании // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 6.
5. Аверкиев, А.В. Геймификация в цифровом образовании: возможности и ограничения // Образование и наука. – 2021. – Т. 23, № 3. – С. 95-119.
6. Мальцева, А.Р. Применение платформы Kahoot в образовательном процессе / А.Р. Мальцева, А.Н. Соловьёва // Электронное обучение и дистанционные образовательные технологии. – 2022. – № 1. – С. 67-74.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИГОДНОСТИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ С МАЛЫМИ АЛГОРИТМАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Кирилл Андреевич Семеновых<sup>1</sup>, Дмитрий Иванович Владыкин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Ижевский государственный технический университет имени  
М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия.

<sup>1</sup>[Kiryha1seim@gmail.com](mailto:Kiryha1seim@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0005-6476-4784>

<sup>2</sup>[dima.vladykin.04@mail.ru](mailto:dima.vladykin.04@mail.ru)

**Аннотация.** В статье приводится исследование пригодности микроконтроллеров для применения их в области контроля качества продукции на основе небольших алгоритмов машинного обучения. Представлен макет устройства определения элементов некачественного монтажа и его работа.

**Ключевые слова:** ИИ, печатные платы, пайка, сквозной монтаж, проверка качества.

**Для цитирования:** Семеновых, К.А. Исследование пригодности микроконтроллеров с малыми алгоритмами машинного обучения в области контроля качества / К.А. Семеновых Д.И. Владыкин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## STUDY OF THE SUITABILITY OF MICROCONTROLLERS WITH SMALL MACHINE LEARNING ALGORITHMS IN THE FIELD OF QUALITY CONTROL

Kirill Andreevich Semenov<sup>1</sup>, Dmitry Ivanovich Vladykin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Izhevsk, Russia.

<sup>1</sup>[Kiryha1seim@gmail.com](mailto:Kiryha1seim@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0005-6476-4784>

<sup>2</sup>[dima.vladykin.04@mail.ru](mailto:dima.vladykin.04@mail.ru)

**Annotation.** The article presents a study of the suitability of microcontrollers for their use in the field of product quality control based on small machine learning algorithms. A model of a device for identifying poor-quality installation elements and its operation is presented.

**Key words:** AI, printed circuit boards, soldering, through-hole mounting, quality control.

**For citation:** Semenovikh, K.A. Study of the suitability of microcontrollers with small machine learning algorithms in the field of quality control / K.A. Semenovikh, D.I. Vladykin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В данный момент в мире активное применение во всех пригодных для этого областях получает применение искусственного интеллекта. Этот инструмент на основе весомого объёма обработанных данных может с лёгкостью выполнять рутинные задачи, а также задачи, связанные с творчеством.

В этой работе рассматривается работа алгоритм на основе машинного обучения для выявления областей некачественной пайки на печатных платах при сквозном монтаже элементов. Конкретно применяемый алгоритм выявляет места случайных сплавлений контактных площадок. Весь алгоритм работает на энергоёмком микроконтроллере ESP32-CAM.

Данный макет применим в области, где идёт экономия на производственных этапах (искомые дефекты чаще появляются при дуговой пайке, которая намного дешевле пайки с применением паяльной пасты), и активно требуется качественное выявление брака, для его скорейшего исправления или исключения из торговой партии.

**Материалы и методы.** Наш макет состоит из комплекса печатных плат: две платы-драйвера на микросхеме A4988, одна плата ESP32-CAM, а также понижающий DC-DC преобразователь на базе микросхемы LM2596.

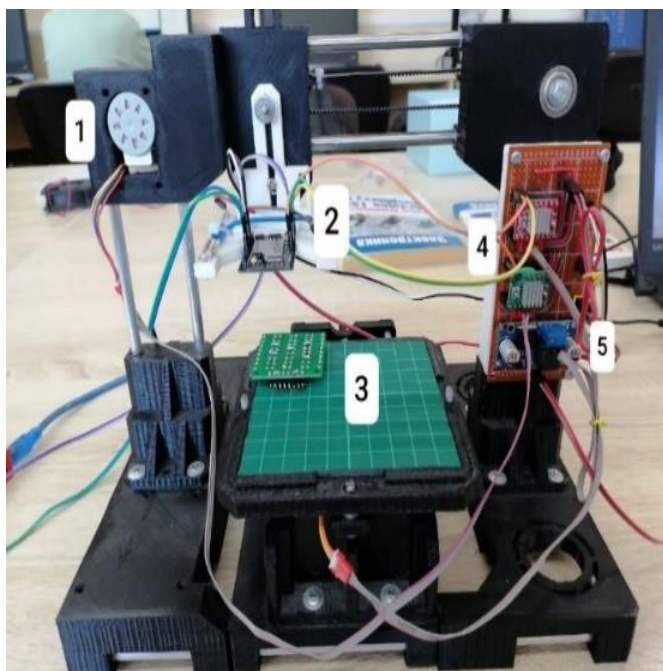


Рисунок 1 – Внешний вид макета: 1 – двигатель, отвечающий за передвижение камеры с микроконтроллером; 2 – микроконтроллер ESP32-CAM; 3 – подложка для плат, передвигающаяся перпендикулярно камере; 4 – два драйвера для двигателей; 5 – понижающий DC-DC преобразователь

Для динамического рассмотрения печатных плат используется распечатанный на 3D принтере конструкт и два двигателя 28byj-28.

Алгоритм для работы был создан на веб-сервисе Edge Impulse [1] и в полном объёме занял 5281 КБ. На обучение алгоритма было допущено 300 фотографий печатных плат с дефектной пайкой. Фотографии создавались самим модулем ESP32-CAM уже установленной в макет устройство, что облегчило и ускорило алгоритмизацию кода.



**Результаты исследования.** По данным Edge Impulse алгоритм выявляет дефект пайки с точностью 87,5%:

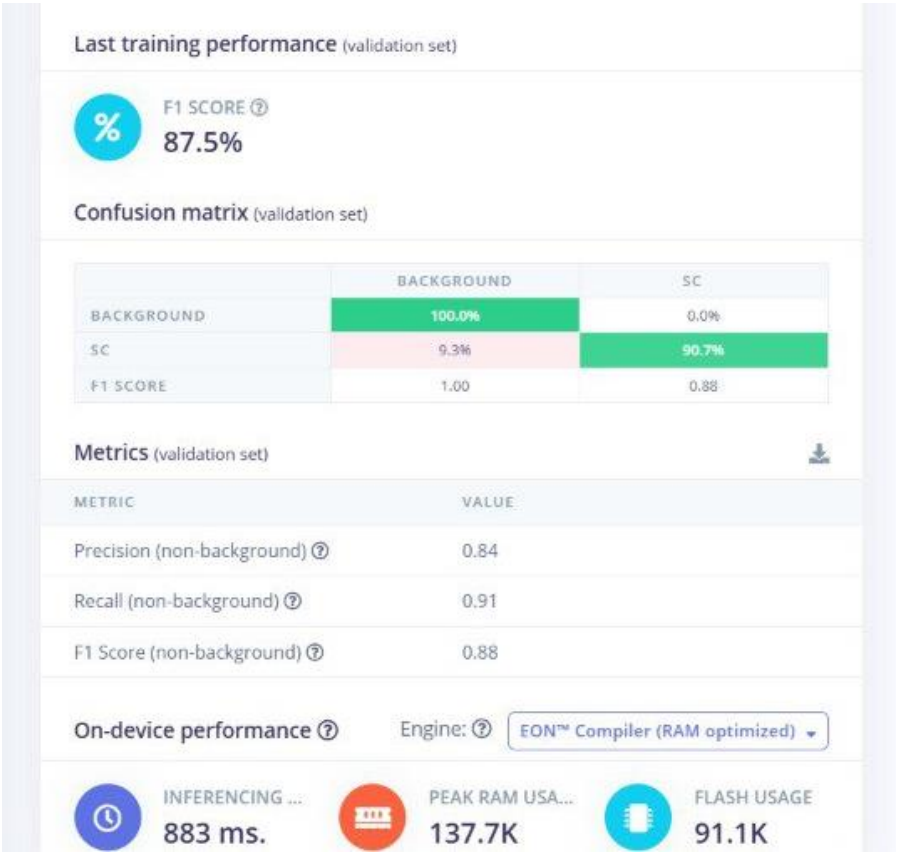


Рисунок 2 – Информация об эффективности алгоритма

Далее для контрольного тестирования был выбран опытный образец с 7 дефектными пайками. Из 7 возможных макет определил 6, что соответствует уровню ~85%.

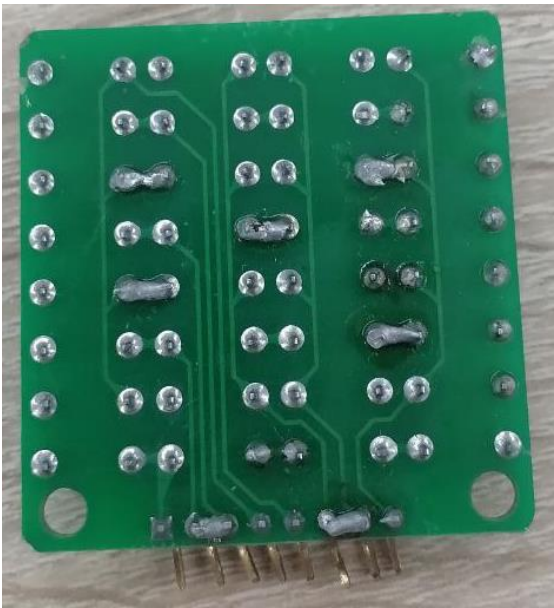


Рисунок 3 – Опытный образец

Для отслеживания работы программы была написана программа на языке Processing.

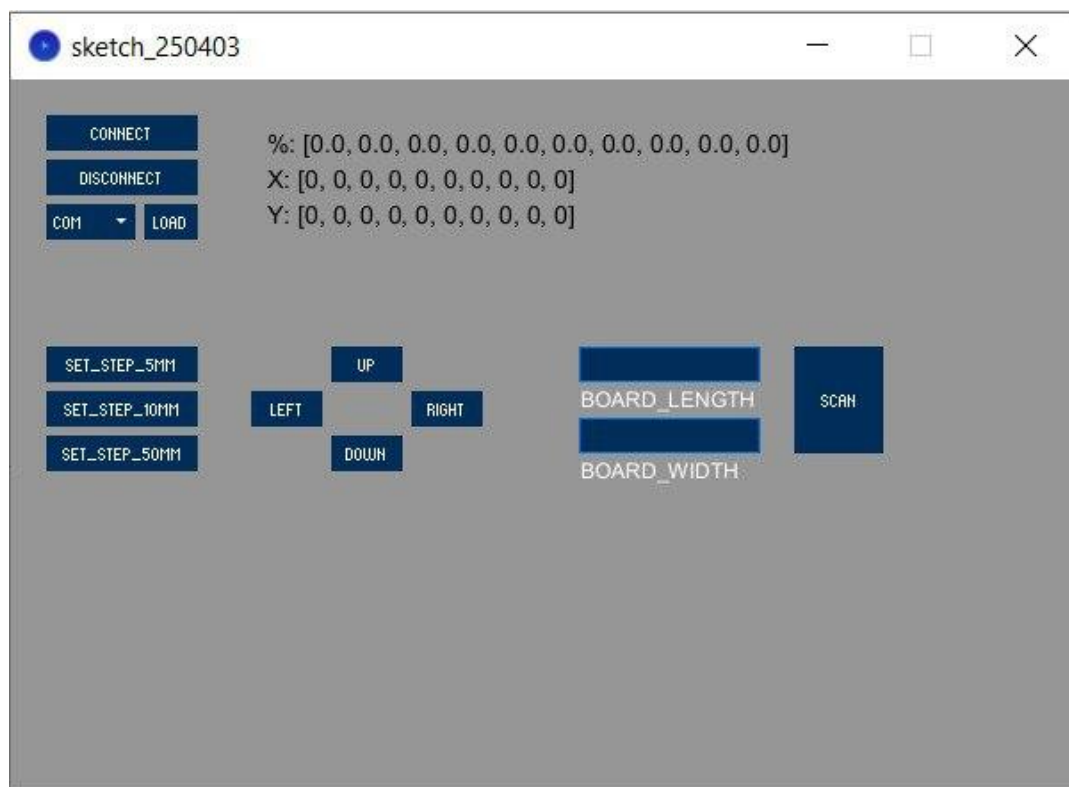


Рисунок 4 – Экран работы программы связи макета устройства с ПК

Вначале работы задаются к какому порту подключено устройство и какие размеры имеет.

В ней в центре сверху выводятся массивы объектов, похожих на искомые: верхний массив показывает вероятность, что найденный объект является искомым, двое последующих массива отображают координаты объекта.

Потребление мощности. Микроконтроллер ESP32-CAM потреблял в ходе работы в среднем мощность 900мВт, на двигатели 28byj-28 приходилось максимальные 20Вт в пике. Стоит сказать, что двигатели работают только короткими промежутками для передвижения камеры на нужные координаты (что происходит до 8 раз за полный рабочий цикл), что снижает весомость их потребляемой мощности.

**Заключение.** Применение микроконтроллера ESP32-CAM показало, что применение подобных сборок на основе малых алгоритмов машинного обучения является достаточно эффективным в условиях удешевления производства и в общих задачах отслеживания бракованных изделий.

### Список источников

1. Edge Impulse [Электронный ресурс] : Machine Learning Platform for Embedded Devices / Edge Impulse Inc. — Режим доступа: <https://www.edgeimpulse.com>

© Семеновых К.А., Владыкин Д.И., 2025

## ОЦЕНКА ПРОВАЛОВ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ПРИ РАБОТЕ В ИЗОЛИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ НА ПРИМЕРЕ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Дмитрий Валерьевич Сивицкий<sup>1</sup>, Александр Андреевич Барсуков<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[sivitskiy@mail.ru](mailto:sivitskiy@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5999-6995>

<sup>2</sup>[aleksandr02032001@mail.ru](mailto:aleksandr02032001@mail.ru)

**Аннотация.** В статье приводится анализ вероятности распределения пасмурных и безветренных дней для целей энергообеспечения от возобновляемых источников энергии. Определены с заданной вероятностью количество безветренных и пасмурных дней подряд как по отдельности, так и поочередно и совместно.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, надежность энергообеспечения, ветроэнергетика, солнечная энергетика.

**Для цитирования:** Сивицкий, Д.В. Оценка провалов выработки энергии от возобновляемых источников энергии при работе в изолированной энергосистеме на примере саратовской области / Д.В. Сивицкий, А.А. Барсуков // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## ASSESSMENT OF FAILURES IN ENERGY GENERATION FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES WHEN OPERATING IN AN ISOLATED POWER SYSTEM USING THE EXAMPLE OF THE SARATOV REGION

Dmitry Valerievich Sivitskiy<sup>1</sup>, Alexander Andreevich Barsukov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[sivitskiy@mail.ru](mailto:sivitskiy@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5999-6995>

<sup>2</sup>[aleksandr02032001@mail.ru](mailto:aleksandr02032001@mail.ru)

**Annotation.** The article provides an analysis of the probability of distribution of cloudy and windless days for the purposes of energy supply from renewable energy sources. The number of windless and cloudy days in a row is determined with a given probability, both individually and alternately and jointly.

**Keywords:** renewable energy sources, reliability of energy supply, wind energy, solar energy.

**For citation:** Sivitskiy, D/V. Assessment of failures in energy generation from renewable energy sources when operating in an isolated power system using the

example of the saratov region / D.V. Sivitskiy, A.A. Barsukov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Устойчивое функционирование предприятия невозможно без надежного и качественного обеспечения энергоресурсами [1]. В условиях высоких цен на энергоносители все чаще рассматривается вопрос об использовании возобновляемых источников энергии для обеспечения электрической энергией как малых потребителей, так и более крупных [2].

Основным препятствием распространения возобновляемых источников энергии является их высокая стоимость и непостоянство выработки энергии. И если стоимость источников энергии постепенно снижается, то непостоянство выработки можно преодолеть исключительно накоплением необходимого количества энергии.

Таким образом прогнозирование, на какой промежуток времени необходимо запастись энергией из-за ее отсутствия или недостаточной выработки способно существенно повысить надежность энергообеспечения.

**Материалы и методы.** Согласно прогностической модели при вероятности бесперебойного энергообеспечения при использовании солнечной энергетики равной 0,95 необходимо учитывать возможность того, что следующие 6,53 дня будут пасмурными [3]. При автономной работе энергосистемы это означает, что при заданной вероятности бесперебойного энергообеспечения необходимо запасти в аккумуляторах такое количество энергии, чтобы его хватило на все количество пасмурных дней, что можно учесть, введя поправку в расчеты в виде коэффициента запаса, численного равным количеству пасмурных дней при заданной вероятности.

Проводя анализ распределения пасмурных дней в соответствии с показательным законом распределения случайных величин можно получить зависимость, характеризующую вероятность количества безветренных дней подряд в зависимости от вероятности бесперебойного энергообеспечения, показанную на рис. 1.

Приведенные результаты показывают, что необходимо рассмотреть возможность решения задач ветроэнергетики на основе предположения, что количество безветренных дней подряд – случайная функция. Таким образом, при вероятности бесперебойного энергообеспечения при использовании ветровой энергетики равной 0,95 необходимо учитывать возможность того, что следующие 5,74 дня будут безветренными [4].

Проводя анализ распределения безветренных дней в соответствии с показательным законом распределения случайных величин можно получить зависимость, характеризующую вероятность количества безветренных дней подряд в зависимости от вероятности бесперебойного энергообеспечения, показанную на рис. 2.

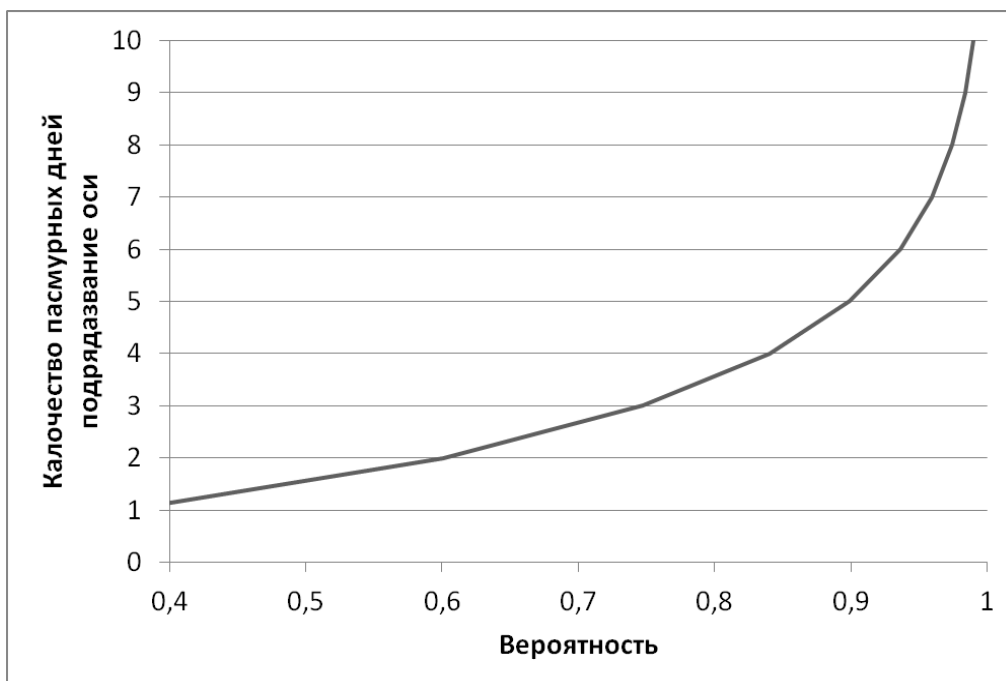


Рисунок 1 – Зависимость количества пасмурных дней подряд от вероятности бесперебойного энергообеспечения

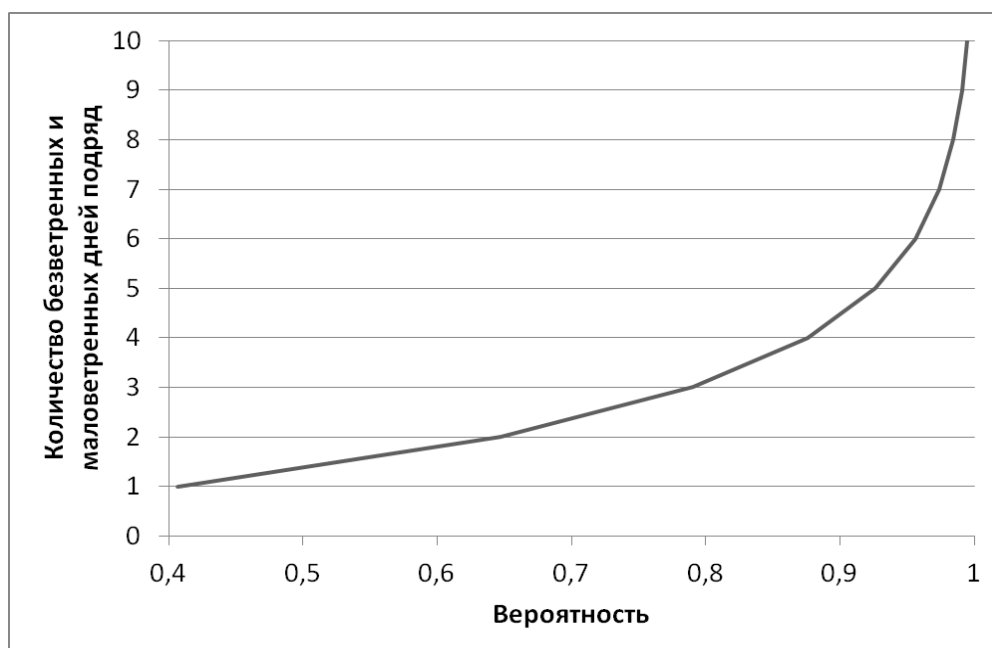


Рисунок 2 – Зависимость количества безветренных дней подряд от вероятности бесперебойного энергообеспечения

**Результаты исследования.** Существенный интерес представляет собой надежность энергоснабжения при комбинированном применении солнечной и ветровой энергетики, так как провал одной может быть скомпенсирован наличием второй.

Опираясь на имеющиеся вероятности пасмурный и безветренных дней подряд можно оценить вероятность недостаточного или полного отсутствия выработки энергии от возобновляемых источников, выработки только от солнечных панелей или ветрогенераторов по отдельности или совместной выработки от солнечных панелей и ветрогенераторов.

Для этого необходимо проанализировать вероятности по следующим зависимостям:

– для случая раздельной выработки:

$$P=1-(1-P_C)(1-P_B); \quad (1)$$

– для случая отсутствия выработки

$$P=1-P_C P_B; \quad (2)$$

– для случая совместной выработки

$$P=(1-P_C)(1-P_B), \quad (3)$$

где  $P_C$  – вероятность пасмурной погоды за расчетный период;  $P_B$  – вероятность безветренной погоды за расчетный период.

Результаты приведены в табл.

Таблица – Вероятности отсутствия выработки энергии, совместной выработки энергии и раздельной выработки энергии от возобновляемых источников

| Количество дней подряд | Функция распределения пасмурных дней | Функция распределения безветренных дней | Вероятность раздельной выработки | Вероятность отсутствия выработки | Вероятность совместной выработки |
|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1                      | 0,368045                             | 0,406317                                | 0,624819                         | 0,850457                         | 0,375181                         |
| 2                      | 0,600633                             | 0,647541                                | 0,85924                          | 0,611065                         | 0,14076                          |
| 3                      | 0,747618                             | 0,790751                                | 0,947189                         | 0,40882                          | 0,052811                         |
| 4                      | 0,840506                             | 0,875773                                | 0,980186                         | 0,263908                         | 0,019814                         |
| 5                      | 0,899207                             | 0,926248                                | 0,992566                         | 0,167111                         | 0,007434                         |
| 6                      | 0,936303                             | 0,956215                                | 0,997211                         | 0,104693                         | 0,002789                         |
| 7                      | 0,959747                             | 0,974006                                | 0,998954                         | 0,065201                         | 0,001046                         |
| 8                      | 0,974562                             | 0,984568                                | 0,999607                         | 0,040478                         | 0,000393                         |
| 9                      | 0,983924                             | 0,990838                                | 0,999853                         | 0,025091                         | 0,000147                         |
| 10                     | 0,989841                             | 0,994561                                | 0,999945                         | 0,015543                         | $5,53 \cdot 10^{-5}$             |

**Заключение.** Таким образом, при степени вероятности бесперебойного энергообеспечения 0,95 можно считать, что при наличии и солнечных панелей и ветрогенераторов будут провалы в выработке до 3,085 дней по одному из источников энергии. При этом полное отсутствие генерации может длиться до 0,535 суток, а возможность одновременной генерации от ветротурбин и солнечных панелей возможна вообще менее 0,1 дня.

Понимание возможностей генерации от возобновляемых источников энергии с их провалами позволит существенно повысить надежность энергоснабжения за счет оптимального распределения выработки между различными источниками, а так же за счет накопления достаточного количества энергии для покрытия потребностей в периоды провалов в генерации.

#### Список источников

1. Шевченко, Ю.Н. Факторы, влияющие на надежность объектов энергообеспечения / Ю.Н. Шевченко, Е.А. Тринеев, А.В. Звягинцева // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2011. – № 1(2). – С. 147-149.

2. Дробышев, А.Д. Климатические параметры ветра для задач ветроэнергетики: специальность 11.00.09: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук / Дробышев Анатолий Данилович. – Санкт-Петербург, 1996. – 36 с.

3. Сивицкий, Д.В. Вероятностный подход к определению необходимого количества запасаемой энергии от солнечных панелей при автономной работе энергосистемы на примере Саратовской области / Д.В. Сивицкий, А.А. Барсуков // 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. 242-245.

4. Сивицкий, Д.В. Надежность энергоснабжения от ветровых установок при работе в изолированной энергосистеме / Д.В. Сивицкий, А.А. Барсуков // Трансформация методологии исследований в области технических наук: Сборник научных статей. – Волгоград: Сфера, 2025. – 74 с.

© Сивицкий Д.В., Барсуков А.А., 2025

Научная статья

УДК 621.311.243:004.8

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ**

**Михаил Игоревич Синягин<sup>1</sup>, Михаил Александрович Левин<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[m\\_sinyagin@mail.ru](mailto:m_sinyagin@mail.ru)

<sup>2</sup>[M.a.levin@mail.ru](mailto:M.a.levin@mail.ru)

**Аннотация.** В данной статье рассматривается использование интеллектуальных систем управления энергопотреблением (ИСУЭ) в контексте интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Анализируются ключевые компоненты ИСУЭ, такие как мониторинг в реальном времени, прогнозирование с использованием искусственного интеллекта и автоматическое управление. Приводятся примеры успешных внедрений интеллектуальных систем, а также рассматривается их экономический потенциал и влияние на повышение эффективности энергетических систем с ВИЭ. Также мною была предложена идея реализации пункта технического осмотра и ремонта, работающего от солнечных батарей с интеграцией интеллектуальных систем управления энергопотреблением.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы управления энергопотреблением (ИСУЭ), возобновляемые источники энергии (ВИЭ), прогнозирование, энергетическая система, мониторинг, искусственный интеллект, автоматизация.



**Для цитирования:** Синягин, М.И. Интеллектуальные системы управления энергопотреблением от возобновляемого источника энергии / М.И. Синягин, М.А. Левин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025

Original article

## INTELLIGENT ENERGY CONSUMPTION MANAGEMENT SYSTEMS FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES

**Mikhail Igorevich Sinyagin<sup>1</sup>, Mikhail Aleksandrovich Levin<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[m\\_sinyagin@mail.ru](mailto:m_sinyagin@mail.ru)

<sup>2</sup>[M.a.levin@mail.ru](mailto:M.a.levin@mail.ru)

**Annotation.** This article discusses the use of intelligent energy consumption management systems (IECMS) in the context of integrating renewable energy sources (RES). Key components of IECMS are analyzed, such as real-time monitoring, forecasting using artificial intelligence, and automated control. Examples of successful implementations of intelligent systems are provided, as well as an examination of their economic potential and impact on improving the efficiency of energy systems with RES. I have also proposed the idea of implementing a technical inspection and repair point powered by solar panels, integrated with intelligent energy consumption management systems.

**Keywords:** intelligent energy consumption management systems (IECMS), renewable energy sources (RES), forecasting, energy system, monitoring, artificial intelligence, automation.

**For citation:** Sinyagin, M.I. Intelligent Energy Management Systems from a Renewable Energy Source / M.I. Sinyagin, M.A. Levin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современный этап развития цивилизации характеризуется устойчивым ростом потребления электроэнергии, обусловленным как ростом численности населения, так и активной цифровизацией всех сфер жизнедеятельности. Это приводит к возрастающей нагрузке на традиционные энергетические системы и обостряет экологические и экономические проблемы, связанные с использованием ископаемых источников энергии. В этих условиях переход к устойчивой энергетике на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) приобретает стратегическую значимость [1, 2].

Возобновляемые источники, такие как солнечная, ветровая, гидро- и геотермальная энергия, демонстрируют высокий потенциал экологической и

экономической эффективности. Однако их повсеместное внедрение сопряжено с рядом технологических проблем, основной из которых является высокая степень нестабильности и непредсказуемости выработки энергии, связанная с природной нестабильностью.

В ответ на эти вызовы на первый план выходят интеллектуальные системы управления энергопотреблением (ИСУЭ), способные обеспечить адаптивность, автономность и оптимальность функционирования энергетической инфраструктуры.

Таким образом, актуальность исследования обусловлена необходимостью перехода от традиционных моделей энергоснабжения в сторону децентрализованных, интеллектуально управляемых систем, способных эффективно интегрировать ВИЭ и обеспечивать устойчивое развитие энергетической отрасли. Данная статья направлена на анализ принципов функционирования, технологических компонентов и перспектив применения ИСУЭ в контексте использования возобновляемых источников энергии [1, 2].

**Методы и материалы.** Интеллектуальные системы управления энергопотреблением (ИСУЭ) представляют собой комплексно интегрированную совокупность аппаратных и программных средств, предназначенных для автоматизированного мониторинга, анализа, прогнозирования и оптимизации процессов генерации, распределения, хранения и потребления электроэнергии. Такие системы особенно актуальны в условиях активного внедрения децентрализованных источников энергии, прежде всего возобновляемых.

ИСУЭ опираются на современные цифровые технологии и реализуют принципы киберфизических систем, обеспечивая интеллектуальное взаимодействие между компонентами энергетической инфраструктуры и конечными пользователями. Рассмотрим основные модули таких систем с конкретными примерами:

#### 1. Мониторинг и сбор данных в реальном времени (IoT)

На всех уровнях энергосистемы – от производства до конечного потребителя – устанавливаются сенсоры, «умные» счётчики и телеметрические устройства, обеспечивающие непрерывный поток данных о параметрах работы оборудования, погодных условиях, нагрузках и прочих переменных.

Пример: Компания «Энергосфера» реализует IoT-платформу для мониторинга солнечных и ветряных электростанций (рис. 1), включая установку датчиков инсоляции, температуры панелей и уровня заряда аккумуляторов. Система применяется в удалённых районах Республики Алтай и позволяет отслеживать в реальном времени уровень генерации энергии и состояние оборудования.

#### 2. Прогнозирование на основе искусственного интеллекта (ИИ)

Модели машинного обучения и нейронные сети используются для прогнозирования уровня производства энергии (на основе погодных и других данных) и потребления (с учётом поведения пользователей и суточных циклов). Это позволяет оптимизировать нагрузку на оборудование, минимизировать потери и повысить стабильность системы.

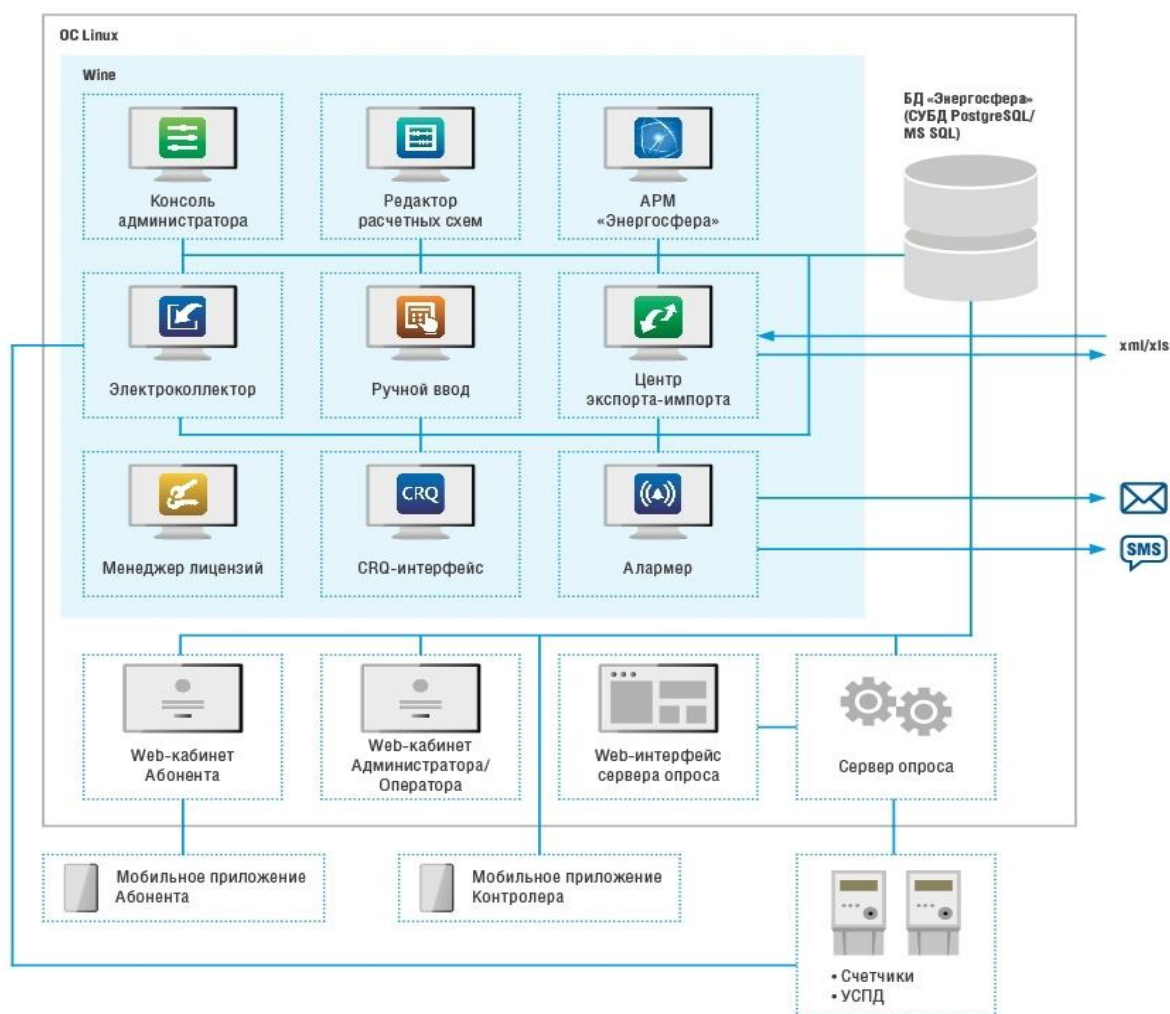


Рисунок 1 – Структура программного комплекса «Энергосфера 9»

Пример: Резидент инновационного центра «Сколково» – компания EnLab – разработала программно-аппаратный комплекс «Цифровой двойник энергосистемы» (ЦДЭС) (рис. 2), представляющий собой виртуальную модель энергетического объекта, функционирующую в режиме реального времени. Данный комплекс предназначен для:

- динамического моделирования режимов работы микросетей;
- интеграции с данными от IoT – устройств и SCADA-систем;
- прогнозирования генерации электроэнергии и потребления на основе погодных данных;
- анализа сценариев развития аварийных и нестандартных ситуаций.

Особенностью платформы является использование гибридных алгоритмов ИИ, совмещающих машинное обучение с физическими моделями процессов, что позволяет достигать высокой точности в прогнозах.

### 3. Автоматическое управление нагрузками, источниками и накопителями

На основе собранных данных и прогнозов система автоматически принимает решения о перераспределении потоков энергии. Это включает переключение между источниками, оптимизацию времени работы приборов, управление зарядом аккумуляторов и взаимодействие с внешней сетью.

Пример: Компания «Хевел» внедрила в своих проектах в Забайкалье автоматические системы управления нагрузкой: днём энергия поступает от солнечных электростанций, а ночью – от аккумуляторов (рис. 3).

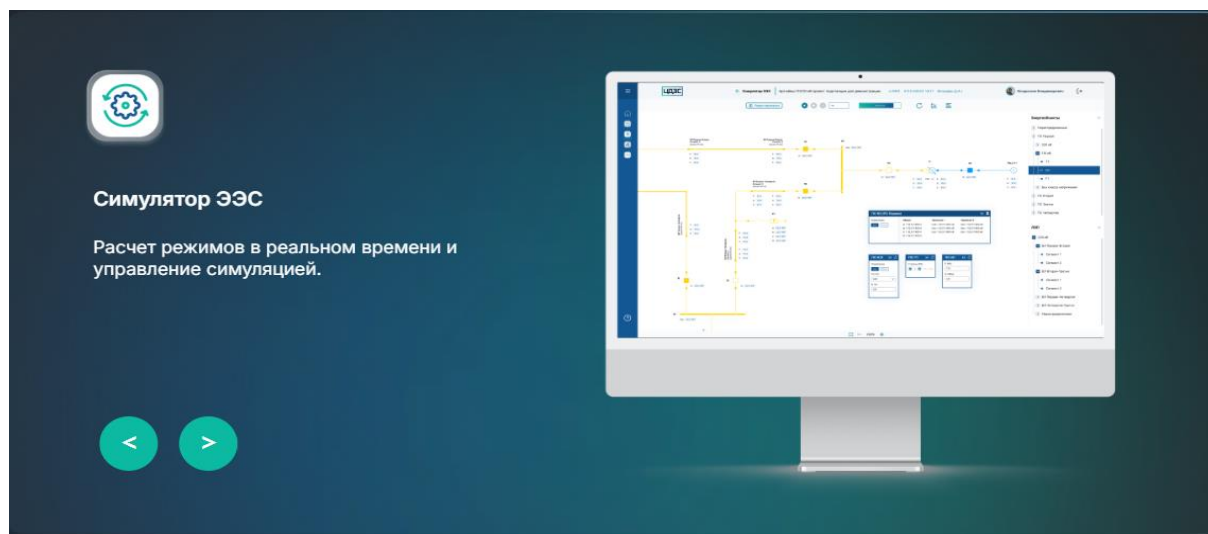


Рисунок 2 – Симулятор ЭЭС в ПАК «Цифровой двойник энергосистемы»

Система учитывает текущий уровень генерации энергии и приоритет потребления (например, освещение и насосы работают в приоритетном режиме).

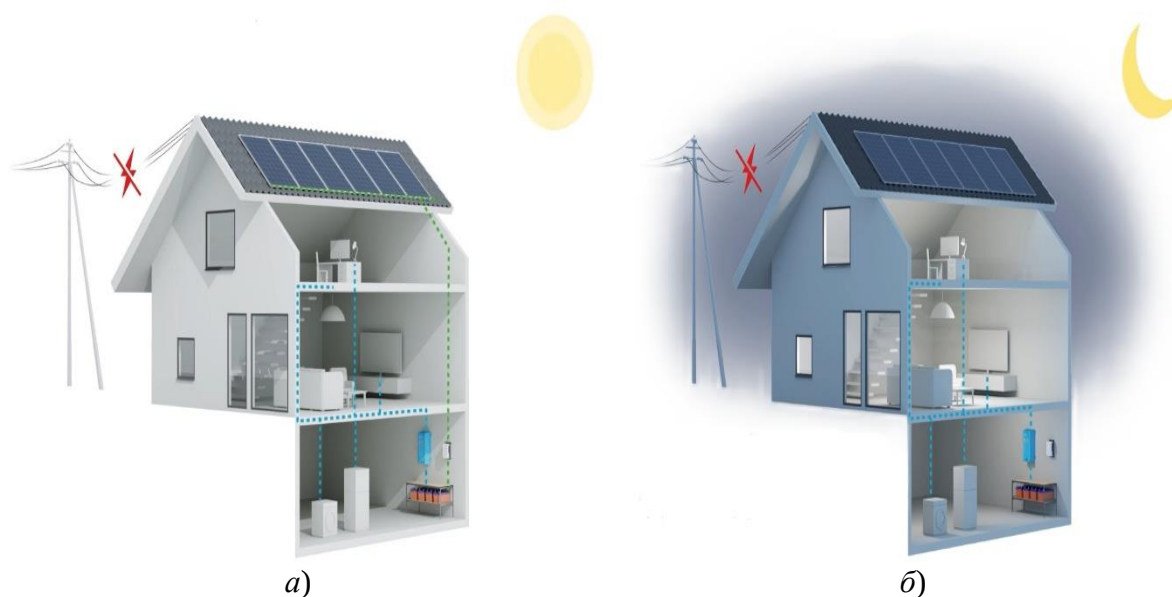


Рисунок 3 – а) генерация электроэнергии солнечными панелями в дневное время,  
б) обеспечение электроснабжения посредством аккумуляторов  
в условиях отсутствия солнечной генерации

Экономический потенциал возобновляемых источников энергии с интеграцией ИСУЭ.

Интеграция интеллектуальных систем управления энергопотреблением (ИСУЭ), функционирующих на базе возобновляемых источников энергии, открывает широкий спектр возможностей для оптимизации расходов энергетических ресурсов. Помимо повышения надёжности энергетических

систем, такие решения обладают значительным потенциалом в части снижения затрат как для конечного потребителя, так и для оператора энергосети.

Одним из ключевых экономических эффектов внедрения ИСУЭ является возможность перераспределения потребления электроэнергии на временные интервалы с минимальной тарифной нагрузкой, что приобретает особую актуальность в условиях динамического ценообразования. Интеллектуальная система обладает функциональностью автоматизированного управления нагрузкой, позволяя синхронизировать работу бытового и промышленного оборудования с текущими объёмами выработки электроэнергии, тарифной политикой и прогнозируемыми значениями потребления, что способствует снижению пиковых нагрузок и уменьшению расходов на электроэнергию.

Дополнительно, при наличии накопителей энергии, ИСУЭ обеспечивают рациональное использование аккумуляторных систем: аккумуляторы заряжаются в периоды избыточной генерации ВИЭ или при низких тарифах, а разряд – в часы максимального спроса. Такая логика управления существенно повышает уровень автономности объектов, снижает потребность в резервных источниках и минимизирует экономические потери.

Экономия достигается и за счёт снижения эксплуатационных затрат. Использование аналитических и предиктивных модулей ИСУЭ позволяет оперативно выявлять нештатные режимы работы и потенциальные неисправности оборудования, что сокращает время простоя и минимизирует необходимость в техническом обслуживании.

Идея реализации пункта технического осмотра и ремонта электрооборудования (ПТОРЭ), работающего от солнечных панелей с интеграцией интеллектуальных систем управления энергопотреблением

Для обеспечения стабильной работы пункта технического осмотра и ремонта, в котором размещены пять цехов, применяется интеллектуальный контроллер управления нагрузкой, интегрированный с солнечными батареями, которые генерируют энергию, и аккумуляторными накопителями энергии.

Описание инфраструктуры ПТОРЭ:

- Пять цехов (Разборочный, слесарно-механический, обмоточный, пропитки и сушки, испытательный), каждый из которых оснащён оборудованием, потребляющим значительное количество электроэнергии.

- Солнечные панели на крыше обеспечивают выработку электроэнергии в светлое время суток.

- Аккумуляторные батареи, служащие для накопления избыточной энергии и функционирования объекта в периоды низкой генерации электроэнергии (облачные дни, ночное время).

- Интеллектуальный контроллер, осуществляющий мониторинг, управление и распределение мощности между цехами.

В качестве примера максимально необходимой мощности при работе всего оборудования в каждом цехе возьмём следующие данные:

Таблица – Суммарная мощность используемого оборудования в цехах

| № | Название              | $P_{max}$ , кВт |
|---|-----------------------|-----------------|
| 1 | Разборочный           | 3,5             |
| 2 | Слесарно-механический | 18,84           |
| 3 | Обмоточный            | 0,52            |
| 4 | Пропитки и сушки      | 8,2             |
| 5 | Испытательный         | 2               |

Установим ограничение по мощности в 20 кВт (из-за ограниченного свободного пространства на крыше ПТОРЭ, на которой будут размещены солнечные батареи), то есть одновременно смогут работать 2 или 3 цеха.

Работа интеллектуального контроллера

1. Мониторинг и расчёт доступной мощности

Интеллектуальный контроллер (например, Schneider Electric PowerLogic или Siemens SICAM Q100) непрерывно анализирует:

- Мощность, вырабатываемую солнечными панелями.
- Уровень заряда аккумуляторов.
- Текущее энергопотребление каждого цеха.
- Состояние включения/выключения оборудования.

2. Алгоритм допуска к включению оборудования

При попытке включить оборудование в одном из цехов, контроллер:

- Считывает текущую нагрузку.
- Определяет, сколько мощности доступно в данный момент.
- Сравнивает сумму уже потребляемой и запрашиваемой мощности с лимитом в 20 кВт.

Если включение приведёт к превышению лимита, контроллер блокирует запуск оборудования, отправляя сигнал на отключение питания или блок управления.

Примеры разрешённых и запрещённых комбинаций:

- Цех 2 (18,84 кВт) + Цех 3 (0,52 кВт) = 19,36 кВт (Разрешено);
- Цех 4 (8,2 кВт) + Цех 5 (2,0 кВт) + Цех 1 (3,5 кВт) = 13,7 кВт (Разрешено);
- Цех 2 (18,84 кВт) + Цех 4 (8,2 кВт) = 27,04 кВт (Запрещено контроллером).

3. Приоритет и блокировка

Контроллер позволяет настроить приоритеты цехов.

Например:

- В рабочие часы приоритет получают цеха 1 и 2.
- В ночное время допускается работа маломощных цехов (3 и 5) от аккумуляторов.

Если лимит достигнут:

- Контроллер отображает предупреждение: «Ограничение мощности – запуск невозможен».
- Оператор может вручную отключить один из работающих цехов, чтобы освободить ресурс для другого.

Работа от аккумуляторов при отсутствии солнечного света

- При отсутствии поступающей энергии от солнечных панелей контроллер автоматически переключает питание на аккумуляторные батареи.

- Энергопотребление строго контролируется: запускаются только цеха с суммарной мощностью, которую могут поддерживать аккумуляторы.

- Например:

- Если аккумуляторы обеспечивают до 10 кВт, разрешена работа цехов 3 и 4 или 1 и 5.

- Цех 2 (18,84 кВт) при этом может быть полностью недоступен без внешнего питания или высокой степени заряда аккумуляторов.

**Результаты исследования.** Интеграция интеллектуальных систем управления энергопотреблением в энергетическую инфраструктуру, основанную на возобновляемых источниках энергии, представляет собой перспективное направление устойчивого развития энергетики. Проведённый анализ показывает, что ИСУЭ позволяют эффективно управлять энергетическим предприятием и решать задачи, связанные с нестабильностью поступления энергии от возобновляемых источников, за счёт применения современных цифровых технологий, включая IoT, искусственный интеллект и автоматизированные модули управления [3,4].

Использование интеллектуальных платформ обеспечивает оптимизацию режимов потребления и генерации электроэнергии, снижает пиковые нагрузки, повышает надёжность и автономность энергосистем, а также способствует снижению как эксплуатационных, так и капитальных затрат. Особую значимость данные решения приобретают в условиях децентрализации энергетики и формирования микросетей [5].

**Заключение.** Таким образом, ИСУЭ формируют основу новой парадигмы энергетического менеджмента, обеспечивая комплексный подход к управлению энергопотреблением, способствующий экологической безопасности, экономической эффективности и цифровой трансформации энергетической отрасли.

### Список источников

1. Станкевич, Л.А. Интеллектуальные системы и технологии : учебник и практикум для вузов / Л.А. Станкевич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 478 с.

2. Удалов, С.Н. Возобновляемая энергетика : учебное пособие / С. Н. Удалов. – Новосибирск : НГТУ, 2016. – 607 с. – ISBN 978-5-7782-2915-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/118065>

3. Энергетика технологических процессов в АПК : учебное пособие / сост. М.М. Беззубцева, В.С. Волков, А.Г. Пиркин [и др.]. – Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2011. – 265 с. – ISBN 978-5-85-983-146-3. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1901957>

4. Беззубцева, М.М. Нетрадиционная и возобновляемая энергетика : конспект лекций для обучающихся по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия», профиль «Энергетический менеджмент и инжиниринг энергосистем» / М.М. Беззубцева, В.С. Волков. – Санкт-Петербург : СПбГАУ,



2016. – 127 с. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1901998>

5. Сибикин, Ю.Д. Альтернативные источники энергии : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – 2-е изд., стер. – Москва : ИНФРА-М, 2025. – 247 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-16-020240-2. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2164049>

© Синягин М.И., Левин М.А. 2025

Научная статья  
УДК 697.34

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СХЕМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**Софья Андреевна Скобелева<sup>1</sup>, Анна Сергеевна Ларионова<sup>2</sup>,  
Гузель Мневеровна Ахмерова<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г.Казань, Россия

<sup>1</sup>[sonyaskobeleva2002@gmail.com](mailto:sonyaskobeleva2002@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0005-2610-7628>

<sup>2</sup>[anna.larionova04@mail.ru](mailto:anna.larionova04@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-0783-8412>

<sup>3</sup>[akhmerovaag@mail.ru](mailto:akhmerovaag@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4030-8264>

**Аннотация.** В статье поднимается проблема энергоэффективности. Приведён сравнительный анализ водоподогревателей, с учётом него представлен анализ эффективности схем подключения современных водоподогревателей систем горячего водоснабжения на базе здания торгово-административного назначения, расположенного в г.Казань.

**Ключевые слова.** Энергоэффективность, анализ эффективности, водоподогреватель, схемы подключения, одноступенчатая схема, двухступенчатая схема, горячее водоснабжение, теплообменник, индивидуальный тепловой пункт

**Для цитирования:** Скобелева, С.А. Анализ эффективности схем подключения современных водоподогревателей систем горячего водоснабжения / С.А. Скобелева, Ларионова А. С., Г.М. Ахмерова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF CONNECTION SCHEMES FOR MODERN WATER HEATERS OF HOT WATER SUPPLY SYSTEMS**

**Sofya Andreevna Skobeleva<sup>1</sup>, Anna Sergeevna Larionova<sup>2</sup>, Guzel Mneverovna Akhmerova<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

<sup>1</sup>[sonyaskobeleva2002@gmail.com](mailto:sonyaskobeleva2002@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0005-2610-7628>

<sup>2</sup>[anna.larionova04@mail.ru](mailto:anna.larionova04@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-0783-8412>

<sup>3</sup>[akhmerovaag@mail.ru](mailto:akhmerovaag@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4030-8264>

**Annotation.** The article raises the issue of energy efficiency. A comparative analysis of water heaters is given, taking into account it, an analysis of the effectiveness of connection schemes for modern water heaters of hot water supply systems based on a commercial and administrative building located in Kazan is presented.

**Keywords.** Energy efficiency, efficiency analysis, water heater, connection schemes, single-stage scheme, two-stage scheme, hot water supply, heat exchanger, individual heating point.

**For citation:** Skobeleva S.A. Analysis of the effectiveness of connection schemes for modern water heaters of hot water supply systems / S.A. Skobeleva, G.M. Akhmerova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современное общество стремится к устойчивому развитию и снижению различных воздействий на окружающую среду. В настоящее время имеет место проблема энергоэффективности, так как именно неэффективное использование энергии негативно влияет на экономику и окружающую среду. Теплоснабжение играет важную роль в обеспечении комфортных условий жизни и работы людей, однако устаревшие традиционные методы организации тепла часто приводят к значительным потерям энергии и увеличению тарифов, оказывая нагрузку на бюджеты всех уровней.

Актуальность модернизации тепловых сетей подтверждается исследованиями, выделяющими индивидуальные тепловые пункты (ИТП) как перспективные объекты для внедрения энергосберегающих решений [1]. Анализ эффективности таких методов позволяет не только систематизировать их, но и количественно оценить вклад каждого в снижение потребления энергии. В табл. 1 представлен обобщённый перечень подходов с расчётными показателями их потенциала, выраженными в процентах от общего объёма экономии. Эти данные служат основой для разработки стратегий, направленных на переход к ресурсоэффективным моделям теплоснабжения.

Таблица 1 – Методы повышения энергоэффективности в ИТП

| Методы                                                  | Процент повышения энергоэффективности | Описание                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Установка автоматизированных систем управления (АСУ) | 15-30%                                | Автоматизация управления температурой и режимами работы оборудования позволяет оптимизировать потребление энергии. |

|                                       |        |                                                                                                                                              |
|---------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2. Замена устаревшего оборудования    | 20-40% | Установка современных котлов, насосов и теплообменников с высоким КПД значительно снижает потребление энергии.                               |
| 3. Утепление трубопроводов            | 10-20% | Утепление трубопроводов снижает теплопотери, что позволяет уменьшить потребление энергии для отопления.                                      |
| 4. Использование теплоаккумуляторов   | 10-25% | Теплоаккумуляторы позволяют накапливать теплоту в периоды низкой нагрузки и использовать её в пиковые часы, что оптимизирует работу системы. |
| 5. Внедрение систем рекуперации тепла | 15-30% | Системы рекуперации позволяют использовать отходящее тепло для подогрева поступающей воды, что снижает потребление энергии.                  |
| 6. Оптимизация гидравлических режимов | 5-15%  | Регулировка потоков воды в системе отопления позволяет снизить потери и улучшить распределение тепла.                                        |

Примечание: Эти данные являются ориентировочными и могут варьироваться в зависимости от конкретных условий эксплуатации и реализации мероприятий.

**Материалы и методы.** Мероприятия энергетической деятельности способны повлиять на повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, например, на горячее водоснабжение. Рассматривая Приказ Минстроя России от 15 февраля 2017 г. № 98/пр «Об утверждении примерных форм перечня мероприятий, проведение которых в большей степени способствует энергосбережению и повышению эффективности использования энергетических ресурсов в многоквартирном доме», в перечне дополнительных мероприятий по повышению эффективности именно системы горячего водоснабжения требуют более точного рассмотрения и улучшения [2].

Во многих городах уже подходят к концу первоочередные мероприятия по энергосбережению, поэтому необходимо сфокусироваться на второй очереди. Их необходимо внедрить, но разница лишь в том, что финансово и технически на данный момент сложно реализовать масштабное изменение. Из всех мероприятий в связи с растущими требованиями к качеству и надёжности горячего водоснабжения, а также с необходимостью оптимизации затрат на энергоресурсы, модернизация ИТП с заменой теплообменника ГВС и установкой аппаратуры управления ГВС занимает приоритетное место для скорейшей реализации мероприятия энергетической деятельности [3]. Поэтому актуальность исследования схем подключения водоподогревателей становится все более очевидной.

*Выбор типа водоподогревателя горячего водоснабжения.*

Выбор энергоэффективного типа водоподогревателя горячего водоснабжения основан на нескольких факторах, которые необходимо учитывать для обеспечения максимальной эффективности и экономии энергии. Ключевыми из них являются эффективность водоподогревателя, стоимость и срок службы, технические характеристики и удобство обслуживания.

Начиная с середины 20 века были разработаны кожухотрубные водоподогреватели, которые были популярными из-за своей эффективности и долговечности. Потом было налажено производство пластинчатых теплообменников, которые стали заменять кожухотрубные. Пластинчатые теплообменники чаще выбирают для компактных и высокоэффективных систем, в то время как кожухотрубные подходят для более мощных и надёжных решений. Оба типа имеют свои уникальные преимущества, и их использование может быть оптимальным в зависимости от конкретной ситуации.

Ниже представлена табл. 2, сравнивающая параметры каждого типа теплообменного аппарата.

Таблица 2 – Параметры кожухотрубного и пластинчатого теплообменников

| Параметр                  | Кожухотрубный теплообменник                                                                                                   | Пластинчатый теплообменник                                                                                  |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Надежность                | Устойчивы к гидроударам, перепадам температур и давления                                                                      | Надёжны из-за применения коррозионностойких материалов – стали, никели, титана                              |
| Габариты                  | Внушительные габариты за счёт установки новых теплообменных труб                                                              | Компактнее, так как вставка дополнительных пластин не увеличивает объём оборудования                        |
| Вес                       | Установка дополнительных весовых элементов рамы                                                                               | Пластины из тонких листов                                                                                   |
| Теплопередача             | Подходит для повышенных температур, давлений                                                                                  | Подходят для различных температур, для повышенных используют пластины из титана или других дорогих металлов |
| Теплоизоляция             | Требования ГОСТ не позволяют использовать трубное оборудование без дополнительного слоя                                       | Не требуется дополнительного изоляционного слоя                                                             |
| В случае аварии / очистка | Полный разбор при обнаружении аварийных мест, замена труб / частая очистка теплообменника, требуется большой запас для накипи | Протечка выявляется и устраняется мгновенно, замена пластин                                                 |

Анализируя таблицу, можно сделать вывод о том, что современные пластинчатые теплообменники для систем горячего водоснабжения эффективнее кожухотрубных. Это связано с тем, что пластинчатые теплообменники имеют более высокую теплопередачу, имеют компактную конструкцию, что позволяет занимать меньше места в системе ГВС, а также имеют низкую потребность в обслуживании, благодаря чему в целом работают более эффективно и экономично [4, 5]. Поэтому для дальнейшего анализа будет использоваться данный тип водоподогревателя.

*Анализ схем подключения водоподогревателей горячего водоснабжения.*

Согласно СП 510.1325800.2022 «Тепловые пункты и системы внутреннего теплоснабжения» [6] подключение водонагревателей для горячего водоснабжения в закрытых системах теплоснабжения может быть осуществлено тремя разными способами: параллельной схемой присоединения водоподогревателей, двухступенчатой смешанной схемой и последовательной схемой.

Рассмотрев три различные схемы присоединения водоподогревателей ГВС была составлена табл. 3.

Таблица 3 – Анализ схем подключения водоподогревателей ГВС

| Схема        | Одноступенчатая параллельная                                                                                             | Двухступенчатая смешанная                                                                                                                                                                                                                                 | Двухступенчатая последовательная                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Условие      | $0,2 \geq Q_{\text{ГВС}}/Q_{\text{СО}} \geq 1$                                                                           | $0,2 < Q_{\text{ГВС}}/Q_{\text{СО}} < 1$                                                                                                                                                                                                                  | $0,2 < Q_{\text{ГВС}}/Q_{\text{СО}} < 1$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|              | где $Q_{\text{ГВС}}$ – нагрузка на систему гвс, $Q_{\text{СО}}$ – нагрузка на систему отопления                          |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|              |                                                                                                                          | требует обязательной установки температурного регулятора                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Преимущества | Отличается простой в реализации и экономит пространство помещения                                                        | Теплота обратной воды расходуется на подогрев входного потока, что позволяет экономить теплоноситель                                                                                                                                                      | Позволяет более рационально использовать теплоноситель и сгладить суточную тепловую нагрузку в сети, что идеально подходит для систем с несколькими абонентскими вводами.                                                                                                                                                                                                                  |
| Недостатки   | Нет подогрева холодной воды, из-за этого использование теплоносителя неэффективно, трубопровод имеет увеличенный диаметр | Требуется профессиональная и тщательная подборка оборудования; понадобятся два теплообменника сразу, что увеличит стоимость; при таком подключении система горячего водоснабжения и система отопления будут оказывать значительное влияние друг на друга. | Сильное взаимное влияние системы горячего водоснабжения и системы отопления, что может привести к перегреву воды в отопительной сети и, соответственно, сокращению её срока службы. Для реализации данной схемы потребуется выполнять ещё более точные и сложные расчёты по сравнению с подключением по смешанной схеме. Также возникают трудности, а порой и невозможность автоматизации. |

Согласно рекомендациям СП 41-101-95 [7], при корректном технико-экономическом обосновании можно реализовать подключение системы горячего водоснабжения по любой схеме, которая обеспечит максимальную техническую эффективность и удовлетворит потребности пользователей в горячей воде.

**Результаты исследования.** Анализ эффективности схем подключения водоподогревателей ГВС здания административно-торгового значения.

Рассмотрим, как влияют на энергоэффективность схемы подключения водоподогревателя горячего водоснабжения на основе реального объекта, расположенного в Республике Татарстан, г.Казань. Объект является зданием административно-торгового назначения с общей тепловой нагрузкой  $Q_{\text{общ}} = 0,933164$  Гкал/ч, в том числе на отопление –  $Q_{\text{от}} = 0,439779$  Гкал/ч, на вентиляцию –  $Q_{\text{вент}} = 0,336033$  Гкал/ч, на горячее водоснабжение –  $Q_{\text{гвс}} = 0,157352$  Гкал/ч.

Параметры теплоносителя в точке подключения: источник теплоснабжения – Казанская ТЭЦ-2; теплоноситель в системе отопления – горячая вода; температурный график тепловых сетей от источника в отопительный период 130/65°C (со срезкой 115/65°C). Для расчёта оборудования теплового пункта в переходный и летнее время принята точка излома температурного графика 72,2/44°C при температуре наружного воздуха выше +2°C; система теплоснабжения – закрытая; категория надежности – II; рабочее давление в подающем трубопроводе  $P_1 = 7,3$  кгс/см<sup>2</sup>; рабочее давление в обратном трубопроводе  $P_2 = 4,9$  кгс/см<sup>2</sup>; линия статического давления на отметке 123,0 м.вод.ст.; расчетное давление испытания  $P_1, P_2 = 1,6$  МПа; расчётная температура наружного воздуха  $t_{нв} = -29^\circ\text{C}$ ; схема присоединения отопления – зависимая, температурный график в системе отопления –  $T_{11}/T_{21} = 90/65^\circ\text{C}$ . Схема присоединения ГВС – закрытая, то есть через теплообменник.

Во всех случаях максимальный расход теплоносителя из тепловых сетей в зимний период определяется в соответствии с формулой:

$$G_{\text{общ.зима}} = Q_{\text{общ}} / (t_1 - t_2) \cdot 1000, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{общ}}$  – общая тепловая нагрузка, Гкал/час;  $t_1$  – температура теплоносителя в подающем трубопроводе, °C;  $t_2$  – температура теплоносителя в обратном трубопроводе, °C.

$$G_{\text{общ.зима}} = 0,933164 / (115 - 65) \cdot 1000 = 18,66 \text{ м}^3/\text{час}$$

Максимальный расход теплоносителя из тепловых сетей в летний период определяется в соответствии с формулой:

$$G_{\text{общ.лето}} = Q_{\text{ГВС}} / (t_1 - t_2) \cdot 1000, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{ГВС}}$  – тепловая нагрузка на ГВС, Гкал/час.

$$G_{\text{общ.лето}} = 0,157352 / (72,2 - 44) \cdot 1000 = 5,58 \text{ м}^3/\text{час}$$

Минимальный расход теплоносителя из тепловых сетей в летний период определяется в соответствии с формулой:

$$G_{\text{ГВС.макс}} = Q_{\text{ГВС}} \cdot 1000 / (t_{\text{ТЗ}} - t_{\text{В1}}) \quad (3)$$

где  $t_{\text{ТЗ}}$  – температура в подающем трубопроводе горячего водоснабжения, °C;  $t_{\text{В1}}$  – температура в трубопроводе холодного водоснабжения, °C.

$$G_{\text{ГВС.макс}} = 0,157352 \cdot 1000 / (65 - 5) = 2,62 \text{ м}^3/\text{час}$$

Согласно существующим данным, различным производителям был направлен запрос на подбор разборного пластинчатого теплообменника [8]. Результаты подбора сведены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты подбора водоподогревателей ГВС, присоединённых по одноступенчатой и двухступенчатой схемам

| Фирма | Исходные и расчётные данные             | Одноступенчатая схема | Двухступенчатая схема |
|-------|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| ЭТРА  | Массовый расход, т/ч                    | 5,59                  | 2,88                  |
|       | Температура на входе, °C                | 72,2                  | 72,2                  |
|       | Температура на выходе, °C               | 44                    | 36                    |
|       | Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup> | 2,25                  | 3,75+1,95=5,7         |
| Ридан | Массовый расход, т/ч                    | 5,59                  | 3,28                  |
|       | Температура на входе, °C                | 72,2                  | 72,2                  |
|       | Температура на выходе, °C               | 44                    | 37,71                 |

|       |                                         |       |                  |
|-------|-----------------------------------------|-------|------------------|
|       | Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup> | 2,618 | 3,85+2,926=6,776 |
| БРАНТ | Массовый расход, т/ч                    | 5,59  | 2,63             |
|       | Температура на входе, °С                | 72,2  | 72,2             |
|       | Температура на выходе, °С               | 44    | 36,8             |
|       | Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup> | 2,55  | 3,92+1,4=5,32    |

Анализируя полученные показатели, можно сделать вывод, что наиболее эффективной является двухступенчатая схема подключения, так как экономия по теплоносителю достигает 48%, 41% и 53%, в сравнении с параллельной схемой. Кроме того, в таких схемах температура обратной воды существенно ниже, чем необходимо по температурному графику. Из этого следует, что КПД теплообменного аппарата значительно выше. Также важно обратить внимание на температуру на выходе – при двухступенчатой схеме она значительно ниже (на 6-8°С), чем при одноступенчатой схеме. Но необходимо правильно выбирать теплообменники, так как для двухступенчатой они будут больше и дороже, чем в одноступенчатой системе. Обязка становится более сложной и затратной, но такие схемы оказываются более экономичными по сравнению с одноступенчатыми.

**Заключение.** Основываясь на проведенных исследованиях, можно утверждать, что выбор схем подключения водоподогревателей в системах горячего водоснабжения должен учитывать множество факторов – от типа установленных водонагревателей до специфики эксплуатации. Новые технологии и высокоэффективные материалы позволяют создавать гибкие системы с высокой рентабельностью и надежностью. При грамотном подходе к проектированию и внедрению таких схем возможно существенно оптимизировать работу как отдельных объектов, так и целых комплексов.

### Список источников

1. Самигуллин, Р.Р. Внедрение ИТП для энергоэффективности и энергосбережения в сфере жилищно-коммунального хозяйства / Р.Р. Самигуллин, А.Р. Самигуллина, И.И. Низамов, Г.М. Ахмерова // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 44-6. – С. 55-56.

2. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 15 февраля 2017 г. № 98/пр «Об утверждении примерных форм перечня мероприятий, проведение которых в большей степени способствует энергосбережению и повышению эффективности использования энергетических ресурсов в многоквартирном доме».

3. Ахмерова, Г.М. Использование современной лабораторной базы в подготовке магистров профиля «Системы теплогазоснабжения и вентиляции» / Г.М. Ахмерова, Р.Г. Сафиуллин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – Вып. 3(80). – С. 191-199.

4. Замалтдинова, Р.И. Исследование изменения коэффициента теплопередачи пластинчатого теплообменника / Р.И. Замалтдинова, Г.М.



Ахмерова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы XIII Нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Саратов, 2022. – С. 58-61.

5. Сафиуллин, Р.Г. Экспериментальное исследование теплотехнических характеристик пластинчатого теплообменника на примере установки «блочный тепловой пункт» центра «SYSTEMS/СИСТЕМЫ» КГАСУ / Р.Г. Сафиуллин, Г.М. Ахмерова // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции: сб. докл. VIII Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. столетию МИСИ-МГСУ. – Москва, 2020. – С. 127-132.

6. СП 510.1325800.2022. Тепловые пункты и системы внутреннего теплоснабжения : (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25 января 2022 г. № 42/пр). – С. 13-20.

7. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. – М. : Минстрой России, 1997. – С. 6-17.

8. Завод Брант: официальный сайт / Подбор теплообменника. – URL: <https://programsphe.brant.ru/Calculation> (дата обращения: 16.05.2025).

© Скобелева С.А., Ларионова А.С., Ахмерова Г.М., 2025

Научная статья

УДК 621

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС С ВКЛЮЧЕНИЕМ ПРОИЗВОДСТВА «ЗЕЛЁНОГО» ВОДОРОДА ДЛЯ АПК**

**Мерием Слиманоу<sup>1</sup>, Калинин Вячеслав Федорович<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

<sup>1</sup>[Slimanou.meriem@gmail.com](mailto:Slimanou.meriem@gmail.com)

<sup>2</sup>[Kalinin@tstu.ru](mailto:Kalinin@tstu.ru)

**Аннотация:** Электротехнические комплексы и системы с функцией получения «Зеленого водорода» путем электролиза воды с использованием возобновляемых источников энергии (солнечной, ветряной, гидравлической) выступают ключевым фактором для декарбонизации агропромышленного комплекса. «Зелёный водород» является заменой проблемного водорода, получаемого при производстве аммиака, позволяет осуществить своё хранение при его производстве с помощью возобновляемых источников энергии и обеспечивать энергией сельскохозяйственную технику, одновременно повышая энергетическую устойчивость сельских хозяйств. Однако его широкое внедрение сдерживается высокой стоимостью производства, нехваткой соответствующей инфраструктуры и проблемами хранения и распределения. Для того чтобы «зеленый» водород стал центральным элементом энергетического перехода агропромышленного сектора с созданием соответствующих электротехнических комплексов, необходимы стимулирующие государственные поддержки и технологические достижения.

**Ключевые слова:** Электротехнические комплексы, «зелёный водород», энергетический переход, агропромышленный комплекс, декарбонизация, хранение энергии, возобновляемые источники энергии, электролиз воды, чистые технологии.

**Для цитирования:** Слиманоу, М. Электротехнический комплекс с включением производства «зелёного» водорода для АПК / М. Слиманоу, В.Ф. Калинин // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **ELECTRICAL COMPLEX WITH THE INCLUSION OF THE PRODUCTION OF «GREEN» HYDROGEN FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

**Meriem Slimanou<sup>1</sup>, Kalinin Vyacheslav Fedorovich<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Tambov State Technical University, Tambov, Russia

<sup>1</sup>[Slimanou.meriem@gmail.com](mailto:Slimanou.meriem@gmail.com)

<sup>2</sup>[Kalinin@tstu.ru](mailto:Kalinin@tstu.ru)

**Annotation:** «Electrical complexes and systems with the function of producing "Green hydrogen" by electrolysis of water using renewable energy sources (solar, wind, hydraulic) are a key factor in the decarbonization of the agro-industrial complex. Green hydrogen is a replacement for the problematic hydrogen produced in ammonia production, allowing it to be stored in its production using renewable energy sources and providing energy to agricultural machinery, while increasing the energy sustainability of farms. However, its widespread adoption is constrained by the high cost of production, the lack of appropriate infrastructure, and storage and distribution problems. In order for green hydrogen to become a central element of the energy transition of the agro-industrial sector with the creation of appropriate electrical complexes, stimulating state support and technological advances are needed.

**Keywords:** Electrical complexes, «green» hydrogen, energy transition, agribusiness, decarbonization, energy storage, renewable energy, water electrolysis, clean technologies.

**For citation:** Slimanau, M. Electrotechnical complex with the inclusion of the production of "green" hydrogen for the agro-industrial complex/ M. Slimanou, V.F Kalinin // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Агропромышленный комплекс (АПК) занимает ключевую позицию в экономике многих стран, однако он также является значительным источником выбросов парниковых газов. Это связано, в первую очередь, с использованием ископаемого топлива для производства удобрений и других сельскохозяйственных ресурсов. Одним из основных источников выбросов

являются химические процессы, связанные с производством аммиака, который затем используется для производства удобрений. Увеличение спроса на устойчивые сельскохозяйственные практики побуждает этот сектор активно искать альтернативные способы снижения углеродного следа." Зеленый водород, производимый методом электролиза воды с использованием возобновляемых источников энергии, представляет собой перспективную технологию для поддержки энергетического перехода агропромышленного сектора. Этот переход требует значительных улучшений в технологиях хранения и преобразования энергии, особенно для микросетей, которые являются ключевыми для интеграции децентрализованного производства энергии [1].

В отличие от «серого» водорода, получаемого из углеводородов, зеленый водород способен сократить выбросы CO<sub>2</sub>, связанные с его производством, до 100 %. В этом контексте зеленый водород рассматривается как важнейший элемент декарбонизации производства аммиака и, в более широком смысле, всего агропромышленного комплекса.

***Материалы и методы.** Энергетический контекст агропромышленного комплекса.*

Агропромышленный сектор является важным звеном в мировой экономике, но также относится к числу крупнейших потребителей энергии. Сельское хозяйство, например, в значительной степени зависит от ископаемого топлива для работы сельхозтехники, производства удобрений и промышленных процессов переработки сырья для получения продуктов питания. Прямые и косвенные выбросы, связанные с этими видами деятельности, существенно способствуют изменению климата.

Основные источники выбросов CO<sub>2</sub> в этом секторе включают:

- Производство азотных удобрений: около 1,8 % глобальных выбросов CO<sub>2</sub> приходится на производство аммиака – основного компонента удобрений.
- Транспорт: значительная часть выбросов связана с транспортировкой сельскохозяйственной продукции и распределением продовольствия.
- Промышленные процессы: предприятия по переработке продуктов питания и сельхозпродукции используют большое количество энергии, как правило, из невозобновляемых источников.

Такая ситуация подчеркивает необходимость радикального преобразования энергетической системы этого сектора с созданием соответствующих электротехнических комплексов и систем. Возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая, могут сыграть ключевую роль в этом переходе. «Зеленый» водород становится особенно привлекательной альтернативой для декарбонизации аграрного сектора экономики благодаря своим возможностям длительного хранения его энергии и в целом способности сокращать выбросы углерода во многих промышленных процессах переработки и логистики.

*Роль «зелёного» водорода в энергетическом переходе.*

• *Как «зелёный» водород поддерживает возобновляемые источники энергии*

«Зелёный» водород производится методом электролиза воды с использованием электроэнергии, полученной из возобновляемых источников,

таких как солнечная, ветровая или гидроэнергия. Этот процесс играет ключевую роль в энергетическом переходе по нескольким причинам:

- Децентрализация производства энергии: электролиз позволяет производить водород вблизи мест потребления, тем самым уменьшая потери энергии, связанные с её транспортировкой.

- Хранение энергии: одна из главных проблем возобновляемых источников энергии – их непостоянство. Применение водорода, при его хранении, позволяет накапливать избыточную энергию, вырабатываемую во время пиков производства (например, в солнечные или ветреные дни), и использовать её позже – в периоды повышенного спроса или при низкой генерации возобновляемой энергии.

- *Декарбонизация промышленных процессов*

- Производство «зелёного» аммиака

Процесс Габера-Боша, традиционно основанный на использовании ископаемого водорода, полученного паровым риформингом метана, производит от 1,6 до 1,8 тонны CO<sub>2</sub> на каждую тонну аммиака. При замене его на «зелёный» водород заводы могут сократить выбросы CO<sub>2</sub> до 90%.

- Гидрогенизация в агропищевой промышленности

- Процессы гидрогенизации масел и жиров, проводимые под давлением, могут использовать зелёный водород для снижения углеродного следа готовой продукции.

- Сельскохозяйственный транспорт

Сельскохозяйственные тракторы и грузовики на водородных топливных элементах уже обеспечивают производительность, сопоставимую с дизельными аналогами. Однако отсутствие инфраструктуры заправки остаётся серьёзным препятствием.

- *«Зелёный» водород для сельскохозяйственной техники и точного земледелия*

Водород также может способствовать более эффективному управлению энергопотреблением на сельскохозяйственных предприятиях использующих соответствующие электротехнические комплексы, особенно с помощью сельхозтехники на «водородном» топливе, что позволяет снизить эксплуатационные расходы и зависимость от ископаемого топлива. Кроме того, точное земледелие, использующее технологии, такие как датчики и дроны для оптимизации использования ресурсов, может выиграть от внедрения систем, работающих на «зелёном» водороде, за счёт повышения энергетической эффективности.

#### Проблемы и возможности

- *Технические и экономические проблемы*

Интеграция «зелёного» водорода в агропромышленный сектор сталкивается с рядом технических и экономических трудностей:

- Высокая стоимость производства водорода: В настоящее время «зелёный» водород дороже водорода, полученного из ископаемого топлива. Это объясняется затратами на электролизные установки и производство электроэнергии из возобновляемых источников. Однако по мере развития

технологий электролиза и удешевления возобновляемых источников энергии ожидается снижение этих затрат.

- **Недостаток инфраструктуры:** Отсутствие инфраструктуры для производства и распределения водорода в агропромышленном секторе является серьёзным препятствием. Для её развития потребуются значительные инвестиции.

- **Хранение:** Хранение водорода под высоким давлением или в жидкой форме требует сложного и дорогостоящего оборудования [2].

- *Возможности для устойчивого развития и устойчивости*

Несмотря на существующие трудности, «зелёный» водород открывает значительные возможности для агропромышленного комплекса:

- **Устойчивая энергетическая трансформация:** «Зелёный» водород позволяет сократить зависимость от ископаемого топлива и декарбонизировать ключевые отрасли, способствуя достижению климатических целей.

- **Снижение затрат в долгосрочной перспективе:** Хотя начальная стоимость производства «зелёного» водорода остаётся высокой, его долгосрочное использование может привести к снижению энергетических расходов в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, особенно за счёт повышения энергетической эффективности промышленных процессов.

**Результаты исследования.** Результаты данного теоретического анализа подчеркивают значительный потенциал «зелёного» водорода для декарбонизации агропромышленного сектора. «Зелёный» водород действительно является жизнеспособной альтернативой традиционным ископаемым топливам и может значительно трансформировать промышленные процессы, особенно в производстве аммиака, в сельскохозяйственном транспорте и в управлении энергетическими ресурсами сельскохозяйственных предприятий.

Во-первых, «зелёный» водород играет важнейшую роль в производстве аммиака, который является ключевым компонентом удобрений, используемых в сельском хозяйстве. Традиционно производство аммиака основано на водороде, получаемом из природного газа, что сопровождается значительными выбросами CO<sub>2</sub>. Заменив ископаемый водород на зелёный водород, произведённый из возобновляемых источников энергии, можно значительно сократить выбросы углекислого газа в этом секторе. Это позволит уменьшить углеродный след индустрии удобрений, способствуя глобальной декарбонизации агропромышленного комплекса.

Далее, «зелёный» водород представляет собой важнейший ресурс для сельскохозяйственного транспорта. В транспортных средствах, используемых в сельском хозяйстве (тракторах, грузовиках, машинах для уборки), в основном используются ископаемые топлива, что приводит к значительным выбросам парниковых газов. Введение в этот сектор транспортных средств на водороде может не только сократить прямые выбросы, но и предоставить устойчивую альтернативу ископаемым топливам, особенно в сельских районах, где доступ к инфраструктуре зарядных станций может быть ограничен. Кроме того, водород

может сыграть ключевую роль в производстве биотоплива, открывая путь для более экологичного сельского хозяйства.

Что касается управления энергией, «зелёный» водород позволяет хранить избыточную энергию, получаемую из возобновляемых источников, таких как солнечная или ветровая энергия. Нерегулярность этих источников энергии является одной из главных проблем энергетической трансформации. Водород, как энергетический носитель, позволяет хранить эту избыточную энергию для её использования, когда спрос возрастает или когда производство возобновляемой энергии становится недостаточным. Это помогает сделать энергетическую систему агропромышленного комплекса с более стабильной и гибкой, облегчая интеграцию возобновляемых источников энергии в энергетический баланс промышленности.

Однако, несмотря на все эти преимущества, существует несколько проблем при создании соответствующих электротехнических комплексов и систем, которые необходимо преодолеть для широкомасштабного внедрения «зелёного» водорода в агропромышленный сектор. Одной из главных проблем является высокая стоимость производства «зелёного» водорода, которая по-прежнему дороже водорода, получаемого из ископаемых источников, из-за высокой стоимости электролизеров и возобновляемых источников энергии, необходимых для его производства. Однако по мере развития технологий электролиза и снижения стоимости возобновляемых источников энергии, вероятно, эта производственная стоимость снизится, что сделает «зелёный» водород более конкурентоспособным в будущем.

Другой важной проблемой является отсутствие инфраструктуры для производства, хранения и распределения зелёного водорода. Развитие этой инфраструктуры в электротехнических комплексах и системах требует значительных инвестиций как в технологическом, так и в инфраструктурном плане. Необходимо сотрудничество публичного и частного секторов для решения этих инфраструктурных проблем и обеспечения доступности «зелёного» водорода для сельхозпроизводителей и промышленников. Без подходящей инфраструктуры «зелёный» водород рискует остаться дорогим и неудобным решением для широкомасштабного применения.

Таким образом, хотя «зелёный» водород представляет собой перспективное решение для декарбонизации агропромышленного комплекса, его широкое внедрение зависит от преодоления этих технических, экономических и инфраструктурных проблем. Поддержка инноваций, снижение производственных затрат и создание благоприятной нормативно-правовой базы будут решающими факторами для того, чтобы «зелёный» водород стал важной частью электротехнических комплексов и систем энергетической трансформации агропромышленного сектора в ближайшие годы.

**Заключение.** «Зелёный» водород становится всё более реальной и перспективной стратегией для энергетического перехода агропромышленного комплекса. С его помощью можно декарбонизировать ключевые промышленные процессы и предложить альтернативу ископаемым топливам в транспорте, открывая новые возможности для более экологически чистой экономики. Тем не

менее, необходима тесная кооперация между государственным и частным секторами экономики для преодоления технических и экономических препятствий на пути внедрения соответствующих электротехнических комплексов и систем в АПК. Реализация политики поддержки инноваций, снижение производственных затрат и улучшение инфраструктуры позволят интегрировать «зелёный» водород как ключевую составляющую энергетического перехода агропромышленного сектора в ближайшие годы.

### Список источников

1. Слиманов, М. Разработка системы преобразования и хранения энергии для микросетей агропромышленного комплекса с использованием суперконденсаторов и зеленого водорода / М. Слиманов, В.Ф. Калинин // Цифровизация агропромышленного комплекса: Сборник научных статей IV Международной научно-практической конференции, Тамбов, 23-25 октября 2024 года. Том 3. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО “Тамбовский государственный технический университет”, 2024.

2. Egeland-Eriksen, T. Hydrogen-based systems for integration of renewable energy in power systems: Achievements and perspectives/ T. Egeland-Eriksen, A. Hajizadeh, S. Sartori // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – Vol. 46.

© Слиманов М., Калинин В.Ф., 2025

Научная статья  
УДК 621

## ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ГИБРИДНЫХ МИКРОСЕТЯХ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ И ЗЕЛЁНЫМ ВОДОРОДОМ В АГРОПРОМЫШЛЕННОСТИ

Мерием Слиманов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия

<sup>1</sup>[Slimanou.meriem@gmail.com](mailto:Slimanou.meriem@gmail.com)

**Аннотация:** В статье рассматриваются гибридные микросети, которые объединяют возобновляемые источники энергии с применением получаемого «зеленого» водорода, предлагая устойчивое решение для энергетических потребностей агропромышленного сектора. Эти системы обеспечивают стабильное питание, адаптируются к различным климатическим условиям и преобразуют избытки энергии в водород. Они усиливают энергетическую автономию сельскохозяйственных предприятий и способствуют экологической трансформации. «Зеленый» водород играет ключевую роль в длительном хранении энергии и обеспечении непрерывности обслуживания. Интеграция этих технологий и адаптивное планирование открывают путь создания устойчивого электроэнергетического комплекса для сельских и агропромышленных территорий.



**Ключевые слова:** гибридные микросети, «зелёный» водород, энергетическая автономия, экологическая трансформация, хранение энергии, устойчивость, сельские районы.

**Для цитирования:** Слиманоу, М. Эффективное управление в гибридных микросетях с возобновляемыми источниками энергии и зелёным водородом в агропромышленности / М. Слиманоу // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## EFFICIENT MANAGEMENT IN HYBRID MICROGRIDS WITH RENEWABLE ENERGY AND GREEN HYDROGEN IN AGROINDUSTRY

Meriem Slimanou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tambov State Technical University, Tambov, Russia

<sup>1</sup>[Slimanou.meriem@gmail.com](mailto:Slimanou.meriem@gmail.com)

**Annotation:** The article discusses hybrid microgrids that combine renewable energy sources with the application of the resulting green hydrogen, offering a sustainable solution to the energy needs of the agro-industrial sector. These systems provide stable power, adapt to different climatic conditions, and convert excess energy into hydrogen. They strengthen the energy autonomy of agricultural enterprises and contribute to the ecological transformation. Green hydrogen plays a key role in long-term energy storage and ensuring continuity of service. The smart integration of these technologies, combined with adapted planning, paves the way for a more sustainable energy model for rural and agro-industrial areas. Green hydrogen plays a key role in long-term energy storage and ensuring continuity of service. The integration of these technologies and adaptive planning pave the way for the creation of a sustainable electricity complex for rural and agro-industrial areas.

**Keywords:** hybrid microgrids, «green» hydrogen, energy autonomy, ecological transformation, energy storage, sustainability, rural areas.

**For citation:** Slimanou, M. Efficient management in hybrid microgrids with renewable energy and green hydrogen in agroindustry / M Slimanou // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Экологические вызовы требуют быстрого и эффективного энергетического перехода. В современных условиях растущая зависимость от ископаемого топлива приводит к серьезным последствиям, таким как загрязнение воздуха, истощение природных ресурсов и ускорение изменения климата. Переход к возобновляемым источникам энергии является ключевым для решения глобальных энергетических проблем и смягчения последствий

изменения климата [1]. Агропромышленный сектор сталкивается с серьёзными энергетическими вызовами, усугублёнными нестабильностью ископаемых источников энергии, экологическим давлением и необходимостью обеспечения непрерывного производства. В этом контексте гибридные микросети, объединяющие возобновляемые источники энергии и производимый с их помощью «зелёный» водород, предлагают устойчивую и адаптируемую альтернативу. Эти системы позволяют не только сократить зависимость от традиционного углеводородного топлива, но и обеспечить энергетическую автономию в сельских и промышленных районах. Цель данного исследования – проанализировать стратегии такой технологической интеграции в гибридные микросети и их значимость для удовлетворения специфических потребностей агропромышленного сектора.

***Материалы и методология.*** Принятый подход основан на сравнительном анализе научных, технических и промышленных данных из последних исследований в области гибридных электроэнергетических систем, технологий электролиза, стратегий хранения и способов интеграции получаемого «зелёного» водорода в автономные системы. Исследование организовано по трём направлениям: эффективность используемых технологий, схемы энергетической интеграции и условия стабильности систем в агропромышленном секторе.

*Возобновляемые энергетические технологии и «зелёный» водород.* Солнечные и ветровые технологии являются наиболее распространёнными в гибридных микросетях благодаря своей доступности и постоянному улучшению эффективности. Фотоэлектрические системы обеспечивают КПД от 18 до 22%, а ветряные установки могут достигать более 35% в зависимости от местных условий [2, 3].

Для краткосрочного хранения энергии предпочтение отдаётся литий-ионным аккумуляторам из-за их высокой скорости отклика и долговечности.

«Зелёный» водород производится методом электролиза воды с использованием электроэнергии из возобновляемых источников. Применяются щелочные электролизёры и электролизёры с протон-обменной мембраной (РЕМ), с энергетическим КПД от 60 до 75%. Полученный водород хранится под давлением (350-700 бар) или в жидкой форме для последующего использования, в частности, через топливные элементы, преобразующие водород обратно в электричество с КПД от 40 до 60%.

*Схемы энергетической интеграции в микросетях.* Было выделено несколько эффективных конфигураций гибридных микросетей для агропромышленных условий. Среди них: комбинации «солнечная + ветровая энергия + водородная энергия», «солнечная энергия + биомасса + водородная энергия», а также «солнечная энергия + аккумуляторы + водородная энергия».

- *Солнечная энергия + ветровая энергия + энергия от водородного топлива.* Избыток энергии от солнечных панелей и ветряных турбин направляется на питание электролизёра, который производит водород ( $H_2$ ), а затем газ сжимается и хранится. При низкой выработке возобновляемых источников водород через топливные элементы вновь преобразуется в электричество, при этом часть потерь компенсируется за счёт утилизации тепла.

Такая схема способна покрывать более 95% потребностей типичного агропромышленного предприятия с высокой надёжностью.

- *Солнечная энергия + биомасса + водородное топливо.* В этой конфигурации биомасса из сельскохозяйственных остатков обеспечивает стабильную базовую выработку, тогда как солнечная энергия и водород сглаживают колебания энергетической системы. Использование биомассы снижает зависимость от электролиза и уменьшает объёмы  $H_2$ , одновременно позволяя эффективно утилизировать местные отходы. При этом суммарные показатели энергоэффективности остаются сопоставимыми, а затраты на оборудование для электролиза снижаются.

- *Солнечная энергия + аккумуляторы + водород ( $H_2$ ).* Здесь совмещаются краткосрочное хранение энергии в литий-ионных аккумуляторах и долгосрочное – в виде водородного топлива. Аккумуляторные батареи сглаживают суточные колебания нагрузки, а водородное топливо обеспечивает энергоснабжение при длительном дефиците возобновляемых источников: общий КПД таких систем часто превышает 40% благодаря сочетанию двух типов хранения и утилизации тепла. Такая максимальная гибкость особенно полезна для агропромышленных операций с переменным профилем потребления.

**Стратегическая роль водорода.**  $H_2$  выступает в роли буферного накопителя, способного хранить энергию от нескольких дней до нескольких месяцев, обеспечивая абсолютную непрерывность для критически важных нагрузок (насосы, промышленное охлаждение). Топливные элементы включаются практически мгновенно и стабильно выдают мощность, исключая риск перебоев в работе чувствительного оборудования.

**Стабильность и адаптация к агропромышленному сектору.** Энергетические потребности агропромышленного сектора включают перекачку воды, термообработку, упаковку и охлаждение. Гибридные системы с использованием «зелёного» водорода доказали свою способность надёжно удовлетворять эти потребности, обеспечивая энергетическую надёжность более 95 % и снижая экологическое воздействие на природу.

Гибкость систем позволяет адаптировать их к различным масштабам хозяйств благодаря модульности и возможности расширения. Кроме того, тепло, вырабатываемое во время электролиза или работы топливных элементов, может использоваться для отопления или получения горячей воды, повышая общую энергетическую эффективность системы.

**Результаты исследования.** Результаты данного исследования показывают, что интеграция «зелёного» водорода в гибридные энергетические системы значительно повышает стабильность и эффективность микросетей, предназначенных для агропромышленного сектора. Сравнительный анализ различных технологических конфигураций выявил, что системы, сочетающие солнечную и ветровую энергию, литий-ионные аккумуляторы и «зелёный» водород, обеспечивают надёжное энергоснабжение, покрывающее более 95% потребностей среднего хозяйства. Совместное использование электролиза и хранения водорода в газообразной форме позволяет гарантировать подачу электроэнергии даже при отсутствии прямой выработки из возобновляемых

источников, в то время как аккумуляторы компенсируют кратковременные колебания.

Конфигурация с использованием биомассы обеспечивает стабильную энергетическую базу и снижает нагрузку на систему электролиза, одновременно позволяя эффективно утилизировать сельскохозяйственные отходы. Кроме того, тепло, вырабатываемое электролизёрами и топливными элементами, может использоваться для отопления или нагрева воды, что повышает общий КПД системы. Все эти решения показали адаптивность к хозяйствам разного масштаба, обеспечивая гибкость и возможность масштабирования в зависимости от роста потребностей, а также эффективно отвечая на специфические требования агропромышленности, такие как перекачка воды, холодильное хранение или тепловая обработка. Эти результаты подтверждают актуальность гибридных систем на основе «зелёного» водорода как устойчивого и надёжного решения для энергетического перехода в агропромышленном секторе.

**Заключение.** Гибридные микросети, интегрирующие возобновляемые источники энергии и «зелёный» водород, представляют собой жизнеспособное, гибкое и устойчивое решение для удовлетворения энергетических потребностей агропромышленного сектора. Их способность обеспечивать стабильное электроснабжение, адаптироваться к различным климатическим условиям и преобразовывать излишки энергии в водород делает их перспективной альтернативой традиционным централизованным моделям.

Помимо укрепления энергетической автономии сельскохозяйственных предприятий, такие системы способствуют переходу к более экологически чистой агропромышленной отрасли. «Зелёный» водород, в частности, играет ключевую роль в этом преобразовании, предлагая эффективное решение для долгосрочного хранения энергии и обеспечения непрерывности энергоснабжения. Интеллектуальная интеграция этих технологий в сочетании с адаптированным планированием открывает путь к более устойчивым и надёжным энергетическим комплексам в сельских и агропромышленных регионах.

### **Список источников**

1. Слиманоу, М. Улучшение энергетической эффективности преобразователей напряжения и управления мощностью электрического оборудования в микросетях агропромышленного комплекса с использованием гибридных источников возобновляемой энергии и хранением получаемого водорода / М. Слиманоу, В.Ф. Калинин // Цифровизация агропромышленного комплекса: Сборник научных статей IV Международной научно-практической конференции, Тамбов, 23–25 октября 2024 года. Том 3. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2024. – С. 86-88.

2. Takyi, G. Comparative study of the performance of solar photovoltaic module technologies installed in Kumasi, Ghana, in Sub-Saharan Africa / G. Takyi, O. G. Laryea // Scientific African. – 2021. – №13. – P. e00877.

3. Firoozi, A.A. Advancing Wind Energy Efficiency: A Systematic Review of

Научная статья  
УДК 537.312.5

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АПК

Александра Андреевна Смолина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Челябинск, Россия

<sup>1</sup>[smolina\\_a@internet.ru](mailto:smolina_a@internet.ru), <https://orcid.org/0009-0005-1156-9969>

**Аннотация:** В статье рассмотрены наиболее популярные методы сушки сельскохозяйственного сырья. Выделены их преимущества и недостатки. Предложен метод инфракрасной сушки. Определена проблема выбора генератора инфракрасного излучения. Предложен низкотемпературный пленочный электронагреватель. Сделан вывод об эффективности инфракрасного излучения.

**Ключевые слова:** Инфракрасное излучение, сушка, генератор, полезные свойства, эффективность.

**Для цитирования:** Смолина, А.А. Особенности применения инфракрасного излучения в АПК / А.А. Смолина // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П.Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## FEATURES OF THE USE OF INFRARED RADIATION IN AGRICULTURE

Alexandra Andreevna Smolina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russia

<sup>1</sup>[smolina\\_a@internet.ru](mailto:smolina_a@internet.ru), <https://orcid.org/0009-0005-1156-9969>

**Annotation:** The article discusses the most popular methods of drying agricultural raw materials. Their advantages and disadvantages are highlighted. The method of infrared drying is proposed. The problem of choosing an infrared radiation generator is determined. A low-temperature film electric heater is proposed. A conclusion is made about the effectiveness of infrared radiation.

**Keywords:** Infrared radiation, drying, generator, useful properties, efficiency.

**For citation:** Smolina, A.A. Features of the use of infrared radiation in agriculture / Smolina A.A. // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Сушка – это сложный технологический процесс, направленный на удаления влаги из материала. В настоящее время крупные предприятия АПК постоянно находятся в поиске новых более эффективных способов сушки сельскохозяйственного сырья, поскольку с помощью сушки можно добиться положительного экономического эффекта [1]. Также процесс сушки необходим для получения продукта нужного качества. Так, например семена гречихи должны иметь влажность не выше 10%, однако собранные с поля семена имеют высокую влажность, которая может достигать до 80%, что не благоприятно сказывается на дальнейшем технологическом цикле продукта. Одним из новых способов сушки является сушка с помощью инфракрасного излучения. Такой способ позволяет проводить процесс сушки без вреда для высушиваемого сырья за счет низких температур процесса, при этом инфракрасного излучения потребляет меньше энергии, по сравнению с привычными видами сушки [2].

**Материалы и методы.** На сегодняшний день АПК нашей страны имеет зависимость от зарубежного оборудования, и особенно важно разрабатывать новые подходы к созданию российских аналогов зарубежного оборудования.

Сушка играет важную роль в технологическом процессе получения готовой продукции. Для хранения и транспортировки сырья в сухом виде требуется значительно меньше затрат, тем самым снижается себестоимость продукции для предприятия и возрастает получаемая прибыль. На сегодняшний день наиболее распространены несколько методов сушки [3].

Первый метод – конвективная сушка. Это способ сушки, при котором удаление влаги из сырья происходит за счет циркуляции горячего воздуха, который проходя через материал поглощает в себя влагу.

Такой тип сушки прост в использовании, однако имеет ряд недостатков, таких как потеря полезных компонентов в конечном сырье, большая длительность сушки и высокие энергозатраты.

Еще один широко используемый метод сушки – сублимационная сушка. Это процесс, при котором влага, содержащаяся в продукте, удаляется с помощью заморозки и вакуумной обработки. Такой метод сушки сложный в использовании, требует специально обученного человека, а также оборудование для сублимационной сушки имеет большую стоимость ремонта и обслуживания.

Инфракрасное излучения имеет ряд преимуществ перед традиционными методами сушки. Данный способ обезвоживания сырья не требует использования теплоносителя. Это значительно упрощает конструкцию сушильных установок и снижает потенциальные загрязнения обрабатываемого продукта [4]. Также температура материала в процессе инфракрасной сушки превышает температуру рядом со стенками, что говорит о том, что тепловыделение при таком методе сушки происходит во всем объеме рабочей камеры. И еще одно преимущество инфракрасного излучения – это дезинсекционные свойства. При таком методе сушки снижается риск развития патогенной микрофлоры [5].

**Результаты исследования.** При использовании инфракрасного излучения важно правильно подобрать генератор ИК-излучения. На сегодняшний день существует несколько типов генераторов (рис. 1) [6].

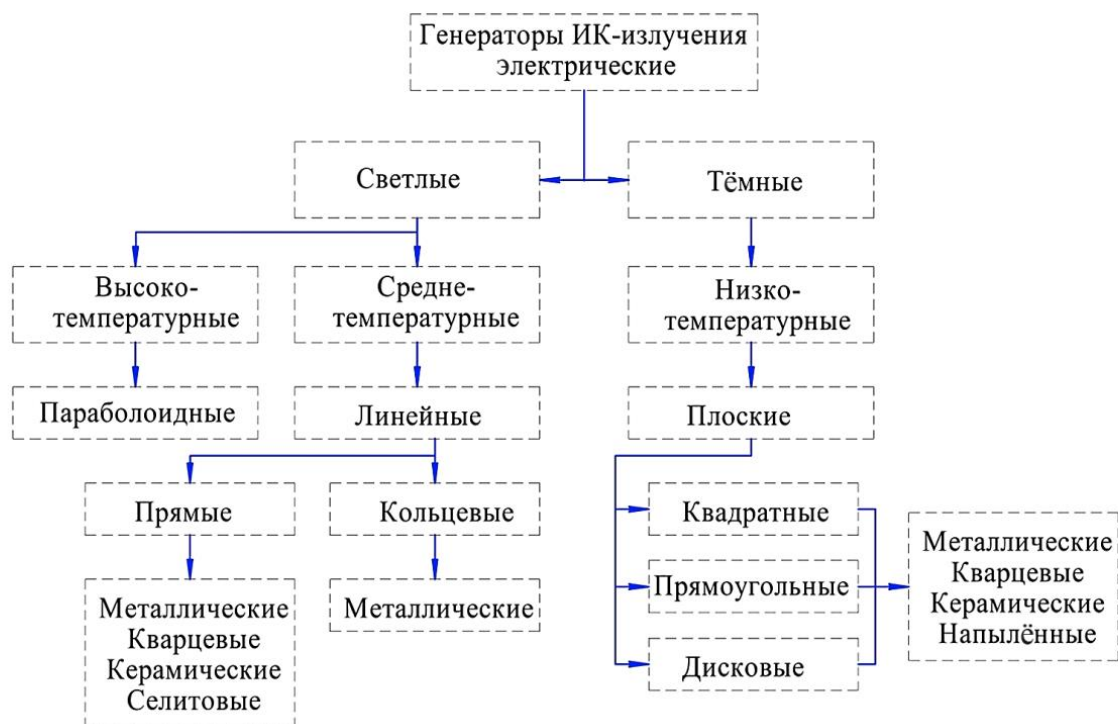


Рисунок 1 – Классификация электрических ИК-генераторов

В ходе исследования было определено, что перспективным является применения низкотемпературных пленочных электронагревателей, которые неоднократно показали свою эффективность при сушке различных пищевых продуктов. Внешний вид и параметры представлены на рис. 2 и табл. соответственно [7].



Рисунок 2 – Низкотемпературный пленочный электронагреватель



Таблица – Параметры низкотемпературного пленочного электронагревателя

| № | Технические характеристики                | Значения                       |
|---|-------------------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Номинальное напряжение, $U_n$             | 12 – 220В, 380В, 50Гц          |
| 2 | Удельная мощность                         | до 500 Вт/м <sup>2</sup>       |
| 3 | Номинальный ток нагрузки, $I_n$           | от 0,5 до 2,3 А/м <sup>2</sup> |
| 4 | Диапазон длины волны излучения, $\lambda$ | 8,5-9,5 мкм                    |
| 5 | Диапазон температуры поверхности, $T$     | 35-70°C                        |
| 6 | Долговечность                             | 50 лет                         |
| 7 | Ширина полотна                            | 0,35; 0,51 м                   |
| 8 | Размерный ряд по длине                    | от 0,5 до 7 м                  |
| 9 | Наличие передающего элемента              | Алюминиевая фольга             |

**Заключение.** Таким образом, в ходе исследования было определено, что сушка с помощью инфракрасного излучения является перспективным и эффективным методом сушки, который способен значительно снизить затраты предприятия на производство готовой продукции, при этом важно правильно подобрать генератор ИК-излучения. В наших дальнейших исследований будет использован низкотемпературный пленочный электронагреватель.

#### Список источников

1. Органическая продукция. Перспективы развития / В.М. Попов, В.А. Афонькина, А.В. Медведев [и др.] // Современные тенденции агроинженерных наук и инновационные технологии в сельском хозяйстве : Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Института агроинженерии, Челябинск, 17–19 нояб. 2021 г. – Челябинск : Южно-Уральский гос. аграрный ун-т, 2021. – С. 234-242. – EDN RUKTXX.
2. Study of the process of infrared drying of lactic starter cultures / V.M. Popov, V.A. Afonkina, V.N. Levinsky [et al.] // E3S Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference “Ensuring the Technological Sovereignty of the Agro-Industrial Complex: Approaches, Problems, Solutions” (ETSAIC2023), Yekaterinburg City, Russian Federation, 16–17 febr. 2023. – Vol. 395. – Yekaterinburg City, Russian Federation : EDP Sciences, 2023. – P. 01004. – DOI 10.1051/e3sconf/202339501004. – EDN QENXPC.
3. Медведев, А.В. Технология инфракрасной сушки жидких материалов / А.В. Медведев // Дальневосточный аграрный вестник. – 2024. – Т. 18, № 1. – С. 74-82. – DOI 10.22450/1999-6837-2024-18-1-74-82. – EDN MEUADP.
4. Медведев, А.В. Перспективы применения инфракрасной сушки томатной пасты / А.В. Медведев // Идеи молодых ученых - агропромышленному комплексу: энергетические и экономические науки : Материалы студенческой научной конференции Института агроинженерии, Челябинск, 27 февр. – 03 марта 2023 г. / под ред. Н.С. Низамутдиновой. – Челябинск : Южно-Уральский гос. аграрный ун-т, 2023. – С. 79-85. – EDN DAMEHA.
5. Краткий аналитический обзор проблем и перспектив развития отечественного рынка молочных заквасок / В.М. Попов, В.А. Афонькина, В.Н. Левинский [и др.] // Актуальные вопросы агроинженерных наук в сфере технического сервиса машин и энергетики: теория и практика : Материалы Нац. (Всерос.) науч. конф. Института

агроинженерии, Челябинск, 06–09 дек. 2022 г. / под ред. Н.С. Низамутдиновой. – Челябинск : Южно-Уральский гос. аграрный ун-т, 2022. – С. 238-244. – EDN CYKZVB.

6. К вопросу инфракрасной сушки соков / В.М. Попов, В.А. Афонькина, В.Н. Левинский [и др.] // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : Материалы междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 21–23 апр. 2020 г. / отв. за вып.: В.Л. Бопп, Сорокатая Е.И. – Красноярск : Красноярский гос. аграрный ун-т, 2020. – Т. 2. – С. 128-131. – EDN ZQHWXJ.

7. Медведев, А.В. Разработка ресурсосберегающей технологии переработки вторичного сырья плодово-ягодных производств / А.В. Медведев, В.А. Афонькина, В.Н. Левинский // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : Материалы междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 20–22 апр. 2021 г. – Красноярск : Красноярский гос. аграрный ун-т, 2021. – Т. 1, ч. 2. – С. 238-242. – EDN HMBVHR.

© Смолина А.А., 2025

Научная статья  
УДК 631.371

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖЕНИЯ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Алексей Иванович Стерхов<sup>1</sup>, Игорь Юрьевич Лошкарёв<sup>2</sup>, Сергей Мударисович Бакиров<sup>3</sup>, Сергей Владимирович Домнышев<sup>4</sup>, Данила Николаевич Лукашов<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ООО «Соларжи 18»

<sup>2</sup>Московского университета МВД РФ им. В.Я. Кикотя, г. Москва, Россия

<sup>3,4,5</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[Aist@solargy.ru](mailto:Aist@solargy.ru)

<sup>2</sup>[igyulo@mail.ru](mailto:igyulo@mail.ru)

<sup>3</sup>[s.m.bakirov@mail.ru](mailto:s.m.bakirov@mail.ru)

**Аннотация.** Отражение света в теории передачи его на расстояние подразумевает использование замкнутого пространства с отражающей поверхностью с целью сохранения фотонной энергии. В работе представлены результаты гипотезы снижения потерь световой энергии при его передаче конкретному растению в замкнутом пространстве (куполе) с покрытием материалом с наилучшими характеристиками. Для тепличных хозяйств в весенне-осенний период предложенная теория позволит снизить количество энергоёмких источников излучения системы досветки на 18-26% при сохранении эффекта досветки и урожайности растений.

**Ключевые слова:** отражающий материал, источник излучения, досветка теплиц закрытого грунта, фотонная энергия, потери светового потока

**Для цитирования:** Стерхов, А.И. Исследование отражения световой волны в замкнутом пространстве / А.И. Стерхов, И.Ю. Лошкарев, С.М. Бакиров, С.В. Домнышев, Д.Н. Лукашов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко. – Саратов. ФГБОУ ВО Вавиловский университет. – 2025.

Original article

## STUDY OF LIGHT WAVE REFLECTION IN A CLOSED SPACE

**Alexey Ivanovich Sterkhov<sup>1</sup>, Igor Yuryevich Loshkarev<sup>2</sup>, Sergey Mudarisovich Bakirov<sup>3</sup>, Sergey Vladimirovich Domnyshev<sup>4</sup>, Danila Nikolaevich Lukashov<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>ООО Solargy 18

<sup>2</sup>Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V. Ya. Kikot, Moscow, Russia

<sup>3,4,5</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[Aist@solargy.ru](mailto:Aist@solargy.ru)

<sup>2</sup>[igyulo@mail.ru](mailto:igyulo@mail.ru)

<sup>3</sup>[s.m.bakirov@mail.ru](mailto:s.m.bakirov@mail.ru)

**Abstract.** Reflection of light in the theory of its transmission over a distance implies the use of a closed space with a reflective surface in order to conserve photon energy. The paper presents the results of a hypothesis for reducing the loss of light energy during its transmission to a specific plant in a closed space (dome) coated with a material with the best characteristics. For greenhouse farms in the spring-autumn period, the proposed theory will reduce the number of energy-intensive radiation sources of the supplementary lighting system by 18-26% while maintaining the effect of supplementary lighting and plant yield.

**Keywords:** reflective material, source of heating, supplementary lighting of greenhouses of closed ground, photon energy, losses of luminous flux.

**For citation:** Sterkhov, A.I. Study of light wave reflection in a closed space / A.I. Sterkhov, I.Yu. Loshkarev, S.M. Bakirov, S.V. Domnyshev, D.N. Lukashov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В тепличных хозяйствах использование досветки повышает урожайность огурца и томата в 2 раза по сравнению с возделыванием без системы досвечивания и позволяет собирать до 100 кг овощей с 1 м<sup>2</sup>. Однако в весенне-осенний период на досветку предприятия затрачивают около 10000 кВт·ч на 1 м<sup>2</sup>. Энергоемкость досветки определена большим количеством излучателей [1-4] как светодиодными, так и натриевыми лампами высокого давления. Анализ процесса досветки показывает, что большая часть световой,

фотонной энергии излучается в пространство и создает зарево вокруг теплицы, как показано на рис. 1.

Визуально видно, что часть энергии теряется в пространство, освещая пространство вокруг теплиц. Гипотеза данной работы заключается в том, что ограничение потерь фотонной энергии за счет применения светоотражающих материалов позволит сократить количество источников излучения и повысить энергетическую эффективность досветки.



Рисунок 1 – Потери световой энергии при досветки растений

Для проверки гипотезы необходимо провести исследования по отражающей способности света и его взаимодействие с материалом.

**Материалы и методы.** В работы используются данные теории законов отражения и преломления света из раздела оптики. Свет, проходящий перпендикулярно через светопрозрачный материал, на выходе снижает значение освещенности и светового потока (фотонной энергии).

**Результаты исследований.** Световой поток снижается при прохождении света через разные изделия: поликарбоната снижается до 32%, из стекла до 20%; из органического стекла (Plexiglass) до 18% [5-6]. При этом под разными углами потери светового потока увеличиваются, а в какой-то момент свет вообще не может пройти сквозь материал. Это связано с предельным углом отражения и показателем преломления материала (рис. 2).

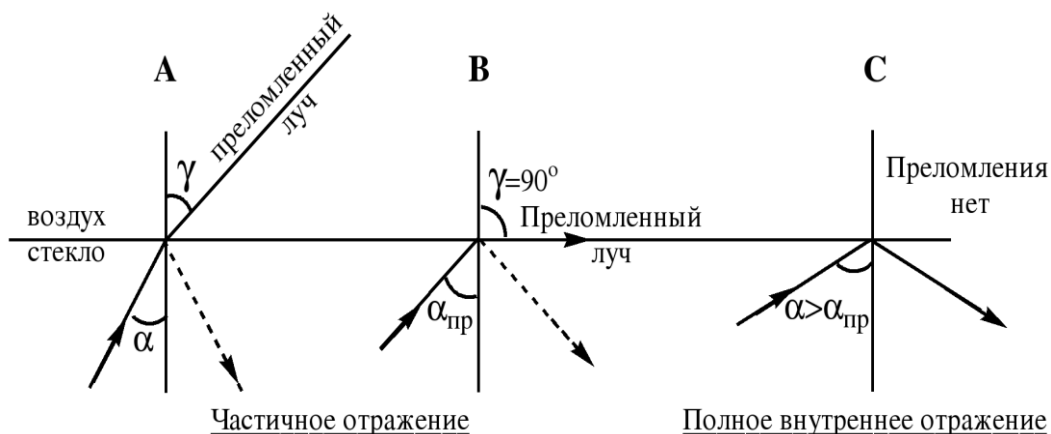


Рисунок 2 – Предельный угол отражения

Для некоторых отражающих материалов ниже в таблице представлены результаты предварительных испытаний по отражающим способностям [6].

В зависимости от формы отражающей камеры значение освещенности может как увеличиваться, так и уменьшаться по условиям интерференции света. Введение новой переменной, зависящей от формы купола и материала, позволит более точно оценить количество света отражающегося от конкретной поверхности.

Таблица – Параметры отражающих материалов

|              | Материал отражателя                  |                                       |                                       |                                                       |                                                                          |
|--------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|              | Алюминий, анодированный серебром     | Алюминий, анодированный алюминием     | Алюминий, анодированный марганцем     | Алюминий с мультиполимерной пленкой                   | Полированная нержавеющая сталь                                           |
| Зеркальность | $\geq 0,998$                         | $\geq 0,95$                           | $\geq 0,92$                           | $\geq 0,92$                                           | $\geq 0,90$                                                              |
| Покрытие     | Серебро, оксид кремния, оксид титана | Алюминий, оксид кремния, оксид титана | Марганец, оксид кремния, оксид титана | Зеркальная мультиполимерная пленка на подложке из ПЭТ |                                                                          |
| Спектр       | Не искажается                        | Не искажается                         | Фото пик смещается к 600 нм (желтеет) | Полностью сохраняется                                 | Материал сильно нагревается, так как не отражает инфракрасное излучение. |

**Заключение.** Исследование передачи света по зеркальному и акриловому отражателю показало, что при равных условиях транспортировки света (одинаковая мощность источника света, одинаковая апертура, равная длина отражающего купола, одинаковый диаметр купола) преимущество имеет акриловый световод. Потери при длине купола 1000 мм составляют 14 % акрилового и 25% зеркального материала. Однако зеркальный материал не имеет ограничения в диаметре купола, то есть, предпочтительнее использовать зеркальный, при изменении диаметра купола в 2 раза потери изменятся не более чем на 13%. Однако при использовании акрилового материала даже при небольшом изменении диаметра на 10 мм, резко снижается взаимодействие излучения со стенками акрилового материала, что приводит к увеличению оптического пути.

### Список источников

1. Фитотрон для светодиодной досветки растений в теплицах и на дому / Т. Астафурова и др.// Полупроводниковая светотехника. – 2010. – Т. 3, № 5. – С. 36-38.
2. Организация освещения и досветки в тепличных комплексах / Е.Э. Тетёркин и др.// Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока. – 2020. – С. 162-167.
3. Левин, М.А. Сравнение типов систем освещения в теплице / М.А. Левин, Т.И. Третьякова // Актуальные проблемы энергетики АПК. – 2023. – С. 173-176.

4. Бакиров, С.М. Методика расчета и моделирования светодиодных осветительных приборов / С.М. Бакиров, Т.А. Широбокова // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 4 (131). – С. 31-40.

5. Стерхов, А.И. Исследование систем освещения с полыми протяжёнными световодами / А.И. Стерхов, А.В. Палагин, И.Ю. Лошкарёв // Светотехника. – 2019. – № 6. – С. 31-36.

6. Способы снижения энергопотребления в животноводческом помещении за счет применения светоаэраторов и систем перенаправления света / А.Г. Возмилов и др. // АПК России. – 2020. – Т. 27, № 3. – С. 459-465.

© Стерхов А.И., Лошкарёв И.Ю., Бакиров С.М., Домнышев С.В., Лукашов Д.Н. 2025

Научная статья  
УДК 004.056.5(045)

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТЫ ПО ЗАЩИТЕ ДАННЫХ

**Татьяна Николаевна Стерхова<sup>1</sup>, Дарья Андреевна Васильченко<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет» г. Ижевск, Россия

<sup>1</sup>[tatiana.sterh@mail.ru](mailto:tatiana.sterh@mail.ru)

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются правила поведения пользователями электронной почтой, т.к. ее широкое использование приводит к появлению нежелательных массовых сообщений (спамов), приводящих к распространению вирусов, фишинговых атак, и других вредоносных сообщений.

**Ключевые слова:** защита информации, интернет ресурсы, безопасность электронной почты, антивирус.

**Для цитирования:** Стерхова, Т.Н. Рекомендации пользователям электронной почты по защите данных / Т.Н. Стерхова, Д.А. Васильченко // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П.Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF LIGHTING DEVICES WHEN RAISING PIGS

**Tatyana Nikolaevna Sterkhova<sup>1</sup>, Daria Andreevna Vasilchenko<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State University" Izhevsk, Russia

<sup>1</sup>[tatiana.sterh@mail.ru](mailto:tatiana.sterh@mail.ru)

**Abstract.** This paper examines the rules of conduct for users of e-mail, since its widespread use leads to the emergence of unwanted mass messages (spam), leading to the spread of viruses, phishing attacks, and other malicious messages.

**Keywords:** information security, internet resources, email security, antivirus

**For citation:** Sterhova, T.N. Recommendations for e-mail users on data protection / T.N. Sterhova, D.A. Vasilchenko // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В современном мире электронная почта пользуется огромной популярностью среди пользователей интернета. Через неё регулярно отправляются конфиденциальные данные, которые имеют большую ценность для злоумышленников, поэтому необходимо знать базовые правила по защите пересылаемой информации.

Цель работы – разработать доступные правила по защите информации пользователей электронной почты.

Задачи: рассмотреть мероприятия, обеспечивающие безопасное использование электронной почты как способа общения, так и для защиты пересылаемой информации.

**Материалы и методы. Основная часть.** Широкое распространение интернета и рост числа пользователей сети сделали электронную почту неотъемлемой частью повседневной жизни. Она стала ключевым инструментом коммуникации, обмена информацией и получения уведомлений от организаций и сервисов. Сегодня миллиарды людей по всему миру используют один или несколько почтовых адресов, ежедневно обрабатывающих колоссальный объём писем [1, 3].

Структура пересылки электронных писем представлена на рис.

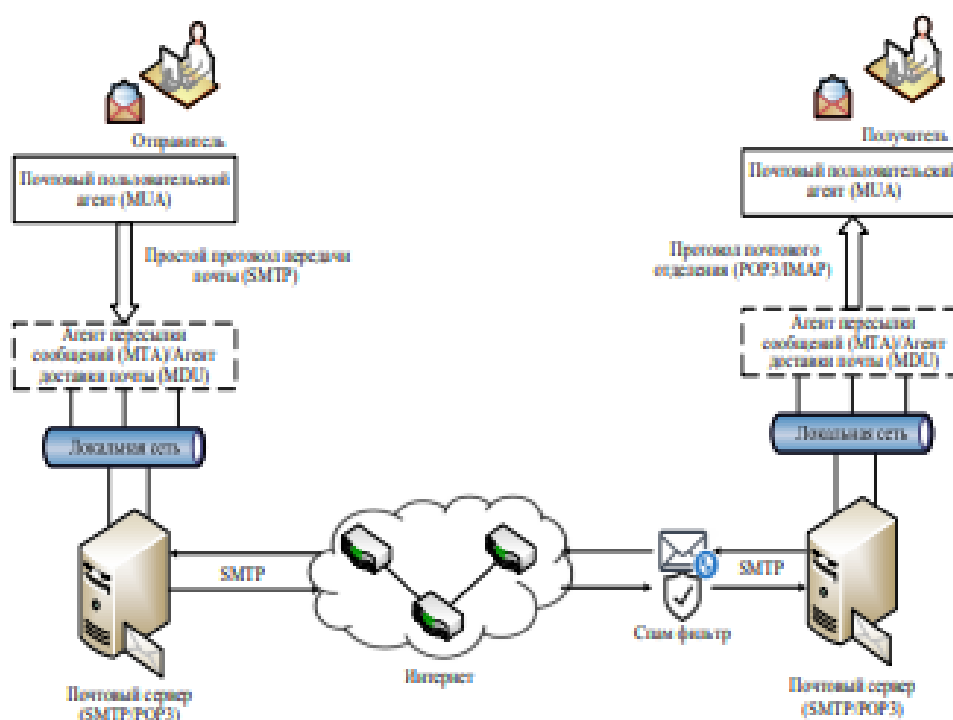


Рисунок – Архитектура пересылки электронными письмами



Кроме обмена сообщениями, она используется для хранения данных, создания учетных записей на различных онлайн-сервисах, включая платежные системы и онлайн-банкинг [2].

Ежедневно на аккаунты электронной почты совершаются атаки при помощи спама, фишинга, вредоносных вложений или недостатков защиты паролей [3].

Несмотря на наличие технических средств защиты, таких как, например, антивирус, фильтрация, чёрные и серые списки, безопасность электронной почты во многом зависит от соблюдения правил поведения пользователями. Поэтому необходимо обучать правилам этикета в сети, то есть, «сетикету». Это обучение должно проводиться на нескольких уровнях, например, в образовательных учреждениях, когда ребёнок первый раз регистрирует свой почтовый адрес, так и в корпоративном секторе, где сотрудники организаций, используют электронную почту в качестве средства коммуникации друг с другом [4].

**Результаты исследования.** Для предотвращения угроз безопасности пользователям электронной почты необходимо соблюдать несколько ключевых рекомендаций:

- избегать переходов по ссылкам и загрузку неизвестных файлов, содержащихся в письмах неизвестных отправителей;
- избегать передачу конфиденциальной информации через электронную почту. Например, персональных данных, паролей, данных банковских карт и др.;
- использовать сильные пароли, длина которых превышает 12 знаков. Пароль должен быть составлен из всех типов знаков: строчных и прописных букв, цифр и специальных символов. Крайне не рекомендуется составлять пароль, основанный на личной информации, включающий дату рождения, фамилию, имя и т.д.;
- в целях безопасности необходимо разделять личную и корпоративную почту;
- также нужно регулярно обновлять программное обеспечение, используемое для работы с электронной почтой;
- необходимо уточнять у известных адресантов с помощью других доступных способов связи (телефонного звонка, сообщения в мессенджере или личного разговора) действительно ли ими было отправлено электронное письмо;
- проверять реально существующие адреса гиперссылок, которые содержатся в электронном письме, путём наведения на них курсора. Адрес, куда ведёт ссылка, будет отображён в строке состояния почтовой программы. Особое внимание следует обратить на длинные ссылки, ссылки, созданные с помощью сервисов сокращения (например, bit.ly, tinyurl.com), либо на гиперссылки, привязанные к тексту;
- считать подозрительными письма, у которых в поле «Тема» содержится призыв к действиям (например: «открой», «прочитай», «ознакомься»), а также упоминаются финансы, банки, геополитическая обстановка или содержатся угрозы.

- считать подозрительными письма, которые содержат в себе вложения. А именно. если это документы с макросами, архивы с паролями, а также файлы с расширениями .rtf, .lnk, .chm, .vhd.;

- следует считать подозрительными электронные письма со следующими признаками: орфографические ошибки, письма на иностранных языках, письма, распространённые на большое количество получателей;

- регулярно повышать уровень пользовательской компетентности.

Повышение грамотности пользователей в области угроз безопасности электронной почты и методов защиты снижает вероятность успешных атак на электронную почту.

- помимо технических методов защиты, важно обучать пользователей безопасному использованию электронной почты [5, 6].

**Заключение.** Подводя итог, необходимо выделить главное: повышение грамотности пользователей в области угроз безопасности электронной почты и соблюдение правил безопасного использования электронной почты снижают вероятность успешных атак и обеспечивают защиту от различных угроз. Для повышения безопасности электронной почты необходимо обучать пользователей этикету в сети, избегать подозрительных писем, использовать сильные пароли, регулярно обновлять программное обеспечение и обращать внимание на признаки подозрительных писем.

#### Список источников

1. Брумштейн, Ю.М., Балбаев Ж.Т., Пригаро С.В. Информационная безопасность использования электронных почтовых ящиков. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnaya-bezopasnost-ispolzovaniya-elektronnyh-pochtovyh-yaschikov>

2. В Московском Политехе представили эффективный метод защиты электронной почты от нежелательных сообщений. – URL: <https://forum.sources.ru/index.php?showtopic=446429>

3. Ганиев, С.К., Хамидов Ш. Ж. Безопасность систем электронной почты: проблемы и решения. – URL: <https://clck.ru/3AwZcq>

4. Журнал ИКС медиа. – URL: <https://www.iksmedia.ru/news/5721720-V-2020-godu-kolichestvo-vyyavlenney.html>

5. Исследование рынка email-сервисов в России. – URL: <https://www.cossa.ru/DashaMail/327811/>

6. Стерхова, Т.Н. Защита информации от утечки по акустическим каналам на предприятиях энергетики / Т.Н. Стерхова // Менеджмент безопасности жизнедеятельности: перспективы развития и проблемы преподавания: Сборник материалов V открытой Республиканской научно-практической интернет-конференции, Минск, 14 декабря 2023 года. – Минск : Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь, 2024. – С. 101-104. – EDN LBUYZW.

© Стерхова Т.Н., Васильченко Д.А., 2025

## ОСОБЕННОСТИ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ БПЛА

Валентина Дампиловна Сультимова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Восточно-Сибирский университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, Россия

<sup>1</sup>[elektrotexnika1962@mail.ru](mailto:elektrotexnika1962@mail.ru)

**Аннотация.** Статья посвящена особенностям бесколлекторных двигателей с постоянными магнитами, которые широко применяются в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА). Рассмотрены принцип работы таких двигателей, их ключевые преимущества, включая высокий коэффициент полезного действия, малый вес, надежность и плавность работы, а также недостатки, такие как сложность управления и высокая стоимость. Особое внимание уделено применению этих двигателей в различных типах БПЛА: от малых дронов до грузовых и военных аппаратов. Статья также затрагивает перспективы развития технологии, включая улучшение характеристик магнитов и интеграцию с системами автономного управления. В заключение подчеркивается важность бесколлекторных двигателей с постоянными магнитами для повышения эффективности и расширения функциональных возможностей современных БПЛА.

**Ключевые слова:** бесколлекторный двигатель, постоянные магниты, статор, ротор

**Для цитирования:** Сультимова, В.Д. Особенности бесколлекторного двигателя с постоянными магнитами для БПЛА / Сультимова, В.Д. // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П.Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## FEATURES OF A PERMANENT MAGNET BRUSHLESS MOTOR FOR UAVS

Valentina Dampilovna Sultimova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>East Siberian University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

<sup>1</sup>[elektrotexnika1962@mail.ru](mailto:elektrotexnika1962@mail.ru)

**Annotation.** The article is devoted to the features of brushless motors with permanent magnets, which are widely used in unmanned aerial vehicles (UAVs). The principle of operation of such engines, their key advantages, including high efficiency, low weight, reliability and smooth operation, as well as disadvantages such as control complexity and high cost, are considered. Special attention is paid to the use of these engines in various types of UAVs: from small drones to cargo and military vehicles. The article also touches on the prospects for the development of technology, including

improving the characteristics of magnets and integration with autonomous control systems. In conclusion, the importance of permanent magnet brushless motors is emphasized for improving the efficiency and expanding the functionality of modern UAVs.

**Keywords:** brushless motor, permanent magnets, stator, rotor.

**For citation:** Sultimova, V.D. Features of a Brushless Permanent Magnet Engine for UAVS / Sultimova, V.D. // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали неотъемлемой частью современной техники, применяясь в различных сферах: от военных операций до сельского хозяйства и мониторинга окружающей среды. Одним из ключевых моментов, обеспечивающих эффективную работу БПЛА, является двигательная установка. В последующие годы бесколлекторные двигатели с постоянными магнитами получили широкое распространение благодаря своим уникальным характеристикам. В данной статье рассмотрены особенности таких двигателей, их преимущества и недостатки, а также их роль в развитии беспилотных технологий. Бесколлекторный двигатель с постоянными магнитами представляет собой электродвигатель, в котором ротор оснащен постоянными магнитами, а статор содержит обмотки. В отличие от коллекторных двигателей, где используется механический коммутатор (щетки), в этих двигателях коммутация осуществляется электронным способом с помощью контроллера. Это позволяет устранить основные недостатки коллекторных двигателей, такие как износ щеток и искрение.

**Материалы и методы.** Бесколлекторные двигатели обладают высоким коэффициентом полезного действия, что особенно важно для БПЛА, где энергоэффективность напрямую влияет на продолжительность полета. Отсутствие механических потерь трение на коллекторе позволяет достичь КПД до 90-95%. Отсутствие щеток и коллектора значительно увеличивают срок службы двигателя. Это особенно важно для БПЛА, которые часто эксплуатируются в сложных условиях, включая высокие нагрузки, вибрации и перепады температур. Бесколлекторные двигатели с постоянными магнитами обладают высокой удельной мощностью, что позволяет создавать компактные и легкие двигательные установки. Это критически важно для БПЛА, где каждый грамм веса влияет на летные характеристики. Отсутствие узла устраняет основной источник износа в традиционных двигателях. Эти двигатели имеют более длительный срок службы и требуют минимального обслуживания, что делает их идеальными для использования в БПЛА, особенно в труднодоступных местах. Благодаря электронной системе управления, обеспечивают точное регулирование скорости вращения и момента. Это важно для БПЛА, где требуется высокая маневренность и стабильность [1, с. 54-58].

Электронная коммутация позволяет точно контролировать скорость вращения и момент двигателя. Это обеспечивает плавность работы и

возможность адаптации, к различным режимам полета, таким как взлет, крейсерский режим и посадка. Бесколлекторные двигатели работают значительно тише, чем коллекторные, что делает их идеальными для БПЛА, используемых в разведывательных и наблюдательных миссиях, где важно оставаться незамеченным.

Ротор бесколлекторного двигателя для БПЛА обычно изготавливаются из редкоземельных магнитов (например, неодимовых), которые обладают высокой магнитной энергией. Это позволяет создавать мощные магнитные поля при минимальных размерах и весе. Статор двигателя для БПЛА часто изготавливается из легких материалов, таких как алюминий или композиты, чтобы минимизировать вес. Обмотки выполняются из меди или алюминия с высокой теплопроводимостью для эффективного отвода тепла. Для управления используется электронный регулятор скорости, который преобразует сигналы от системы управления БПЛА в токи, подаваемые на обмотки статора. Современные регуляторы скорости обеспечивают высокую точность управления и защиту от перегрузок.

Высокий коэффициент полезного действия позволяет максимально эффективно использовать энергию аккумуляторов, что важно для БПЛА с ограниченным запасом энергии. Отсутствие изнашиваемых компонентов, таких как щетки, увеличивают срок службы двигателя. Эти двигатели имеют меньше движущихся частей, что снижает вероятность поломок. Возможность работы в широком диапазоне скоростей и нагрузок делает бесколлекторные двигатели с постоянными магнитами универсальными для различных типов БПЛА.

Принцип работы этих двигателей основан на взаимодействии магнитных полей ротора и статора. Контроллер, получая данные о положении ротора (обычно с помощью датчиков Холла или энкодеров), подает ток в соответствующие обмотки статора, создавая вращающееся магнитное поле. Это поле взаимодействует с постоянными магнитами ротора, заставляя его вращаться.

**Результаты исследования.** Несмотря на множество преимуществ, бесколлекторные двигатели с постоянными магнитами имеют и некоторые недостатки, к ним можно отнести сложность управления. Для работы этих двигателей требуется специализированный контроллер, который увеличивает стоимость системы и требует точной настройки. Это увеличивает сложность системы и может привести к проблемам с надежностью, особенно в условиях вибраций и ударов, характерных для БПЛА. Постоянные магниты могут терять свои свойства при высоких температурах, что ограничивает применение бесколлекторных двигателей с постоянными магнитами в условиях экстремальных нагрузок. Необходимо отметить, что использование неодимовых магнитов делает двигатель дороже по сравнению с другими типами двигателей.

А, кроме того, сложная электроника, необходимая для управления, также увеличивает общую стоимость системы [2, с. 90-103]. Эти двигатели могут быть подвержены перегреву, особенно при длительной работе на высоких оборотах. Перегрев может привести к размагничиванию постоянных магнитов, что значительно снижает эффективность двигателя может привести к его выходу из

строю. Это особенно критично для БПЛА, которые работают в условиях высокой температуры окружающей среды. Ремонт бесколлекторных двигателей с постоянными магнитами может быть сложным и дорогостоящим процессом. В случае повреждения магнитов или обмоток, зачастую проще заменить двигатель целиком, чем пытаться его восстановить. Это увеличивает эксплуатационные расходы и может быть проблемой для операторов БПЛА, особенно в полевых условиях. Эти двигатели могут создавать электромагнитные помехи, которые могут влиять на работу других электронных систем БПЛА, таких как связь и навигация. Это требует дополнительных мер по экранированию и фильтрации, что увеличивает сложность и стоимость системы. В бесколлекторных двигателях используются подшипники, которые подвержены износу, особенно при высоких оборотах. Это может привести к необходимости регулярного обслуживания и замены подшипников, что увеличивает эксплуатационные расходы и снижает общую надежность системы.

Несмотря на свои недостатки, бесколлекторные двигатели с постоянными магнитами остаются популярным выбором для БПЛА, благодаря их высокой эффективности и надежности. Однако, при выборе двигателя для конкретного применения, необходимо учитывать все перечисленные недостатки и принимать меры для их минимизации. Это может включать в себя использование систем охлаждения, улучшенных материалов для магнитов и подшипников, а также более современных систем управления.

Бесколлекторные двигатели с постоянными магнитами широко используются в различных типах БПЛА, включая мультикоптеры, где обеспечивают высокую тягу и точное управление каждым винтом, что необходимо для стабилизации и маневрирования. В самолетных БПЛА также двигатели используются для тяги с минимальным расходом энергии, что увеличивает дальность полета. Бесколлекторные двигатели с постоянными магнитами широко используются в малых и средних БПЛА, идеально подходят для небольших дронов, где важны малый вес, высокая эффективность и надежность. В грузовых БПЛА: высокий коэффициент полезного действия и мощность позволяют использовать их в дронах для доставки грузов. Военные БПЛА: низкий уровень шума и высокая надежность делают эти двигатели привлекательными для военных применений [3, с. 57-72].

**Заключение.** Бесколлекторные двигатели с постоянными магнитами являются оптимальным выбором для БПЛА благодаря своей высокой эффективности, надежности и компактности. Их применение позволяет значительно улучшить летные характеристики беспилотников, увеличить продолжительность полета и снизить эксплуатационные затраты. С развитием технологий производства магнитов и электронных систем управления, бесколлекторные двигатели с постоянными магнитами будут продолжать играть ключевую роль в развитии БПЛА, открывая новые возможности для их применения в различных отраслях. Ожидается, что в будущем такие двигатели станут еще более легкими, мощными и энергоэффективными.

Бесколлекторные двигатели с постоянными магнитами представляют собой современное и эффективное решение для силовых установок БПЛА. С

развитием технологий такие двигатели будут играть все более важную роль в авиации будущего, обеспечивая новые возможности для беспилотных систем.

### Список источников

1. Инновационные технологии, применяемые в разработке беспилотных летательных аппаратов / С.С. Иванов, М.Ю. Захаров, А.А. Алимский [и др.] // Актуальные исследования. – 2024. – №44 (226). – Ч. 1. – С. 54-58.
2. Зубков, Ю.В. Оценка механических напряжений ротора и электромагнитных показателей электрической машины с постоянными магнитами / Ю.В. Зубков, Ю.Н. Иванников // Электричество. – 2023. – №5. – С. 90-103.
3. Легконогих, Д.С. Современное состояние и перспективы развития силовых установок беспилотных летательных аппаратов / Д.С. Легконогих, А.А. Крылов, М.С. Иванов // Военная мысль. – 2019. – №4. – С. 57-72.

© Сульимова В.Д., 2025

Научная статья  
УДК 621.313

## СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РУЧНОГО ЭЛЕКТРОИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ

Кирилл Алексеевич Сысуев<sup>1</sup>, Юрий Александрович Макаричев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

<sup>1</sup>[kirillsysuev92@gmail.com](mailto:kirillsysuev92@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0008-0830-7679>

<sup>2</sup>[makarichev2801@mail.ru](mailto:makarichev2801@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8374-8185>

**Аннотация.** В статье описан способ улучшения характеристик ручного электроинструмента для применения в сельскохозяйственной отрасли. Представлен краткий анализ средств малой механизации в агропромышленном комплексе.

**Ключевые слова:** синхронный двигатель, электропривод, крутящий момент, ротор, магнитное поле, однонаправленный пусковой момент, вентильно-индукторный реактивный двигатель.

**Для цитирования:** Сысуев, К.А. Способ улучшения характеристик ручного электроинструмента для применения в сельскохозяйственной отрасли / К.А. Сысуев, Ю.А. Макаричев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## A METHOD FOR IMPROVING THE PERFORMANCE OF HAND-HELD POWER TOOLS FOR USE IN THE AGRICULTURAL INDUSTRY.

Kirill Alekseevich Sysuev<sup>1</sup>, Yuri Aleksandrovich Makarychev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Samara State Technical University, Samara, Russia



<sup>1</sup>[kirillsysuev92@gmail.com](mailto:kirillsysuev92@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0008-0830-7679>

<sup>2</sup>[makarichev2801@mail.ru](mailto:makarichev2801@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8374-8185>

**Annotation.** The article describes a way to improve the performance of hand-held power tools for use in the agricultural sector. A brief analysis of the means of small-scale mechanization in the agro-industrial complex is presented.

**Keywords:** synchronous motor, electric drive, torque, rotors, magnetic field, unidirectional starting torque, valve-inductor jet engine.

**For citation:** Sysuev, K.A. A method for improving the performance of hand-held power tools for use in the agricultural industry / K.A. Sysuev, Yu.A. Makarichev // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** По мере повышения уровня развития агропромышленного комплекса следует ожидать совершенствования способов производства, и эффективности технологических процессов [1]. Отсутствие надёжного, дешёвого электроинструмента для сельскохозяйственных работ накладывает определенные ограничения на повышение производительности. В настоящее время высокую эффективность показывает внедрение энергосберегающих вентильно-индукторных реактивных двигателей (ВИРД) [2]. Эти двигатели отличаются простотой конструкции ротора, отсутствием дорогостоящих постоянных магнитов, отличными регулировочными свойствами и высоким КПД. Передовые зарубежные и российские компании разрабатывают и успешно внедряют ВИРД в различных областях агропромышленного комплекса: приводы лебедок, насосов, компрессорного оборудования, мельниц и др. Существует множество классов широко распространенных механизмов, в том числе и среди ручного электроинструмента, в которых ВИРД способствует повышению производительности труда, экономии трудозатрат и эффективности работ.

**Материалы и методы.** ВИРД традиционно изготавливаются в трехфазном исполнении. Однако, вариант конструкции с однофазной обмоткой статора в ряде случаев имеет преимущество перед трехфазным за счет сокращения числа силовых вентиляей, а, следовательно, и стоимости преобразователя. В ручном электроинструменте, выпускающемся массовыми тиражами, это преимущество может оказаться решающим при выборе конструкции двигателя.

К недостаткам однофазного ВИРД можно отнести невозможность создания однонаправленного пускового момента. При пуске такого двигателя в зависимости от положения, в котором остановился ротор, может начаться вращение в сторону, противоположную заданной.

Как известно, принцип действия синхронных реактивных электрических машин основан на способности ферромагнитных тел ориентироваться под действием внешнего магнитного поля [3]. Основной магнитный поток в такой электрической машине создается за счет магнитодвижущей силы со стороны

статора, а вращающий момент возникает из-за разницы в магнитных проводимостях по продольной и поперечным осям [4]. При этом магнитопровод ротора стремится занять по отношению к магнитному полю статора такое положение, при котором магнитное сопротивление для силовых линий магнитного поля было бы минимальным [5].

**Результаты исследования.** Решить проблему создания однонаправленного пускового момента возможно выполнением на одной стороне каждого полюса ротора фаски величиной от  $1/4$  до  $1/3$  полюсной дуги, которая обеспечивает несимметричный путь для замыкания линий магнитного поля, и тем самым дает возможность создавать пусковой момент гарантировано в одну сторону – в сторону, противоположную имеющимся фаскам.

На рис. 1 представлен продольный разрез вентильно-индукторного реактивного двигателя. Двигатель содержит статор 1 и вращающийся в магнитном поле ротор 2. Полюса ротора со стороны противоположной направлению вращения имеют фаски 3.

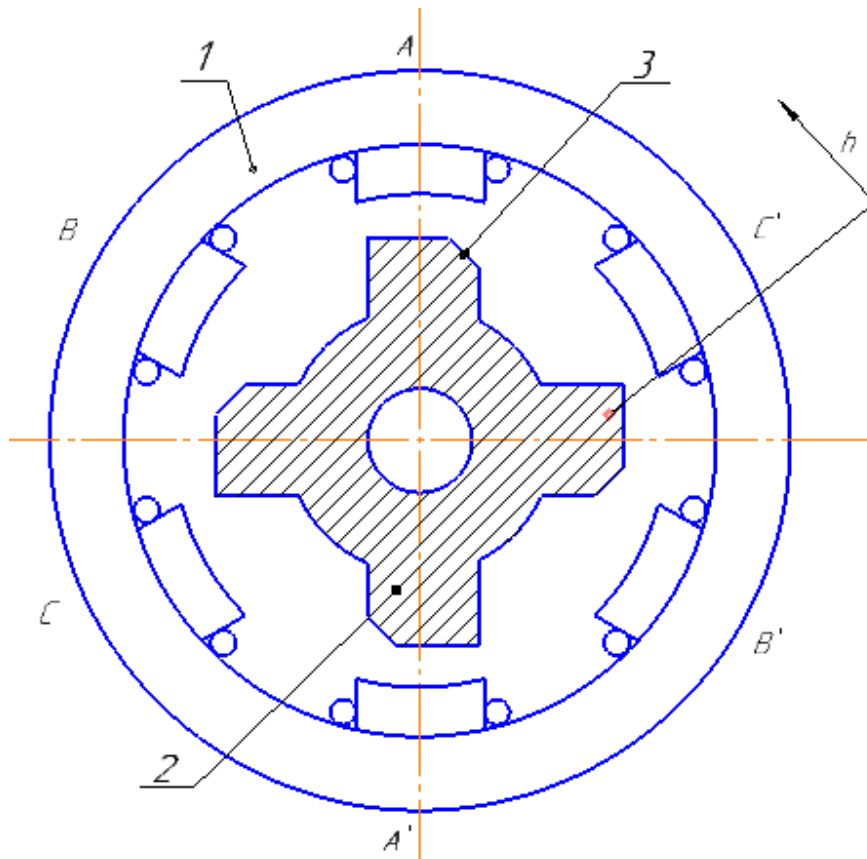


Рисунок 1 – Продольный разрез вентильно-индукторного реактивного двигателя

Размеры фасок зависят от количества полюсов ротора и лежат в диапазоне (рис. 2):  $a = (0,25 \dots 0,33)b_{\pi}$ ,  $b = (1,5 \dots 2)a$

**Заключение.** Данная конструкция ротора может применяться кроме вентильно-индукторных реактивных двигателей (ВИРД) и в синхронных реактивных двигателях [6]. Принцип создания однонаправленного пускового момента остается в синхронных реактивных двигателях таким же, как и в ВИРД.

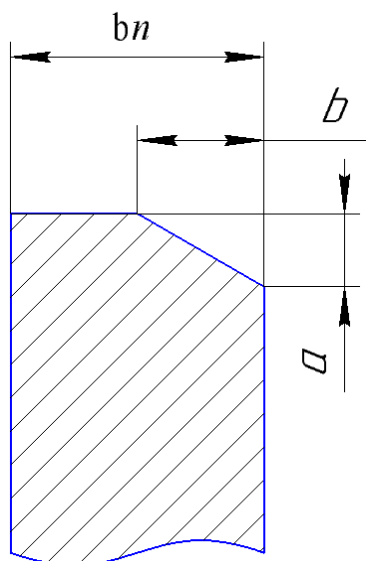


Рисунок 2 – Фаска полюса ротора

### **Вывод:**

1. Синхронные реактивные двигатели и вентильно-индукторные реактивные двигатели при использовании в приводах ручного инструмента, в том числе, в средствах малой механизации для сельскохозяйственного производства, составляют конкуренцию другим типам электрических машин (синхронных с постоянными магнитами, асинхронных и двигателей постоянного тока) за счет отсутствия дорогостоящих постоянных магнитов, простоты и надежности.

2. Однофазные реактивные и вентильно-реактивные двигатели выигрывают по цене у трехфазных за счет сокращения силовых вентилях – самого дорогого компонента силового преобразователя.

3. Конструктивное решение формы полюсов ротора со специальными фасками позволяет исключить недостаток однофазных реактивных двигателей, заключающийся в неопределенности направления действия пускового момента.

### **Список источников**

1. Калинин, А.Ф. Основные направления использования средств малой механизации в сельском хозяйстве / А.Ф. Калинин, Т.В. Ерёмкина // Ползуновский вестник. – 2014. – №4-1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-ispolzovaniya-sredstv-maloy-mehanizatsii-v-selskom-hozyaystve>.

2. Птах, Г.К. Вентильно-индукторный реактивный электропривод средней и большой мощности: зарубежный и отечественный опыт / Г.К. Птах // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2015. – Т. 2, № 3. – С. 23-33.

3. Кацман, М.М. Электрические машины: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. – 16-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2017. – 496 с.

4. Самосейко, В.Ф. Перспективы использования реактивных электрических машин в электроприводе / В.Ф. Самосейко, Ф.А. Гельвер,

И.В. Белоусов // Труды IX Международной (XX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу (АЭП-2016). – Пермь : ПНИПУ, 2016. – С. 359-363.

5. Чавычалов, М.В. Оптимизация формы зубца ротора вентильноиндукторной электрической машины / М.В. Чавычалов, А.В. Шевкунова, Н.М. Яицкова // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2023. – № 4. – С. 119-126.

6. Кашуба, А.В. Конструктивные изменения ротора вентильно-индукторного двигателя для снижения пульсаций электромагнитного момента / А.В. Кашуба, А.В. Шевкунова // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Пермь : Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2020. – Т. 2. – С. 9-14.

© Сысуюев К.А., Макаричев Ю.А., 2025

Научная статья  
УДК 631.5

## АВТОМАТИЗАЦИЯ БАРАБАННОЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ

**Виктор Васильевич Троценко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

<sup>1</sup>[trotsenko@spbgau.ru](mailto:trotsenko@spbgau.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2772-9657>

**Аннотация.** Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований барабанной зерносушилки СЗПБ-2,5 как объекта автоматизации. Составлены дифференциальные уравнения объекта, определены его параметры и получены передаточные функции для различных каналов «вход-выход».

**Ключевые слова:** зерносушилка, система автоматического регулирования, влажность зерна, объект управления.

**Для цитирования:** Троценко, В.В. Автоматизация барабанной зерносушилки / В.В. Троценко // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## AUTOMATION OF THE DRUM GRAIN DRYER

**Viktor Vasilyevich Trotsenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>St. Petersburg State Agrarian University,

<sup>1</sup>[trotsenko@spbgau.ru](mailto:trotsenko@spbgau.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2772-9657>

**Annotation.** The results of theoretical and experimental studies of the NWPB-2,5 drum grain dryer as an automation object are presented. The differential equations of

the object are compiled, its parameters are determined, and transfer functions for various input-output channels are obtained.

**Keywords:** grain dryer, automatic control system, grain moisture, control object.

**For citation:** Trotsenko, V.V. Automation of the drum grain dryer / V.V. Trotsenko // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Для сушки зерна в сельском хозяйстве имеют применяются барабанные зерносушилки СЗПБ-2,5 [1, 2, 3, 4]. Однако, несмотря на большое распространение сушилок этого типа, они не имеют средств контроля и регулирования процесса сушки [5, 6, 7].

**Материалы и методы.** Объектом исследования системы автоматического регулирования (САР) при сушке зерна является барабанная сушилка СЗПБ-2,5, в которой процесс регулирования условно разделен на два последовательно соединенных звена: топочное устройство и собственно сушильный барабан. Топочное устройство отдельно как объект автоматизации не рассматривалось. Расход топлива устанавливали таким, чтобы обеспечить требуемый диапазон изменения температуры сушильного агента на входе в сушильный барабан.

На основании анализа работы СЗПБ-2,5 в производственных условиях установлено, что на сушильный барабан как объект автоматизации в режиме нормальной эксплуатации действует значительное число различных по амплитуде и частоте возмущающих воздействий, носящих случайный характер.

Классификация возмущающих воздействий по степени их влияния на процесс сушки позволила установить, что наибольшее влияние оказывают изменения следующих входных параметров: подачи зерна  $G_z$ , его влажности  $W_z$  и температуры сушильного агента на входе в барабан  $T_{ca}$ . Исходя из этого, объект исследования был представлен в виде упрощенной динамической модели с тремя этими входами.

В качестве регулируемого параметра процесса сушки принята температура нагрева зерна на выходе из сушильного барабана, так как величина ее определяет качественные показатели зерна семенного и продовольственного назначений (всхожесть, энергию прорастания, силу роста, количество и качество клейковины, цвет, запах и т.д.) [8, 9, 10, 12].

При определении динамических характеристик объекта были приняты следующие допущения:

- объект считали линейным;
- параметры датчиков и приборов контроля входов и выходов объекта рассматривали как единое целое с объектом;
- воздействия на входах объекта не коррелируют между собой.

В соответствии с принятыми допущениями входные воздействия совершенно независимы и, следовательно, собственно сушильный барабан может быть разделен по числу независимых параллельных каналов на три независимых объекта.

Испытательными сигналами при экспериментах были приняты типовые

сигналы: ступенчатое возмущение и периодическое возмущение в виде прямоугольной волны. Основные параметры процесса сушки контролировали и регистрировали с помощью многоканального осциллографа с соответствующими датчиками. Подачу зерна в сушилку контролировали с помощью лоткового датчика расхода сыпучего материала с записью на осциллографе Rigol DS7034 и меняли изменением скорости загрузочного шнека путем регулирования частоты вращения асинхронного двигателя частотным преобразователем LC640 OR75G. Температуру сушильного агента на входе и выходе сушильного барабана, а также температуру зерна измеряли термодатчиками ТХК с записью на осциллографе (пределы измерений 0 – 400° С и 0 – 100° С соответственно). Влажность зерна измеряли прибором А-315.

**Результаты исследования.** По исследуемым каналам «влажность зерна на входе – температура зерна на выходе» и «температура сушильного агента на входе – температура зерна на выходе» снимали разгонные характеристики, обработка которых позволила получить амплитудно-фазовые характеристики, а также параметры объекта и передаточные функции [11].

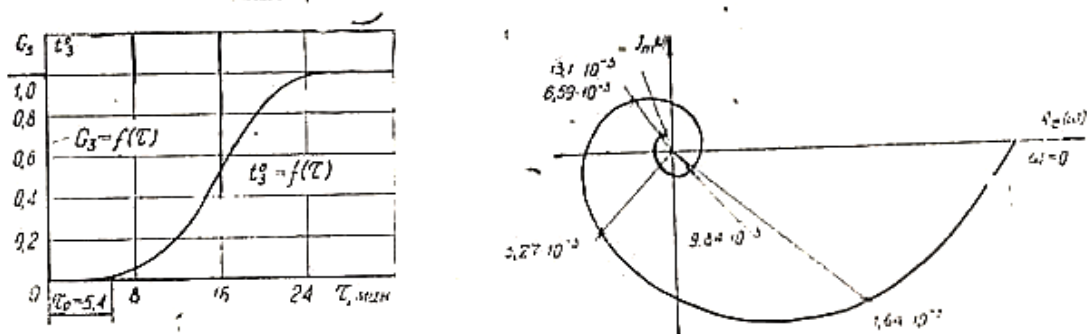


Рисунок 1 – Временная и амплитудно-фазовая характеристики зерносушилки по каналу «влажность зерна на входе – температура зерна на выходе»

На рис. 1 представлена временная характеристика по каналу «влажность зерна на входе – температура зерна на выходе». Влажность зерна на входе изменяли скачком с 7 до 20%, остальные параметры на входе стабилизировали и поддерживали на следующих уровнях: подача зерна 2 т в час, температура сушильного агента 170° С. Температура поступающего па сушку зерна была  $14 \pm 1^\circ \text{С}$ . Обработка экспериментальной кривой показала, что время чистого запаздывания  $T_{oi}$  составляет по данному каналу 6,9 мин при коэффициенте усиления  $k = 1,94^\circ \text{С}/\%$  относительной влажности зерна. По временной характеристике была рассчитана амплитудно-фазовая характеристика (рис. 1), на основании которой исследуемый объект может быть описан линейным дифференциальным уравнением третьего порядка. При подстановке коэффициентов, определенных из графика временной характеристики однократным интегрированием, уравнение объекта по исследованному каналу можно записать в виде:

$$52,7t_3''' + 43,2t_3'' + 9,23t_3' + t_3 = 1 \quad (1)$$

Временная характеристика может быть удовлетворительно аппроксимирована типовым уравнением первого порядка с запаздыванием



$$T_1 \frac{dt_3(\tau)}{d\tau} + t_3(\tau) = k_1 W(\tau - \tau_{p1}) \quad (2)$$

Обработка временной характеристики интерполяционным методом дала следующие значения расчетного времени запаздывания и постоянной времени объекта  $\tau_{p1} = 13,4$  мин ;  $T_1 = 5,4$  мин.

Передаточная функция объекта по каналу «влажность зерна на входе – температура зерна на выходе» может быть записана в следующем виде

$$W(p)_1 = \frac{1,94e^{-6.9p}}{52,7p^3 + 43,2p^2 + 9,23p + 1} \quad (3)$$

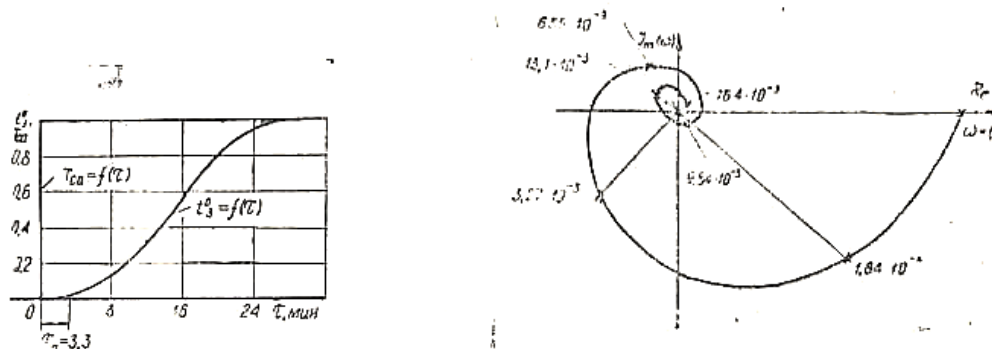


Рисунок 2 – Временная и амплитудно-фазовая характеристики зерносушилки по каналу «температура сушильного агента на входе – температура зерна на выходе»

На рис. 2 представлена временная характеристика по каналу «температура сушильного агента на входе – температура зерна на выходе». Время чистого запаздывания по этому каналу меньше, чем по другим каналам и составляет 3,3 мин, коэффициенте усиления  $k_2 = 0,272^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$ . Дифференциальное уравнение, описывающее работу зерносушилки по указанному каналу

$$43,4t_3''' + 31,1t_3'' + 8,43t_3' + t_3 = 1 \quad (4)$$

Временная характеристика с достаточной степенью точности аппроксимируется типовым уравнением первого порядка с запаздыванием

$$T_2 \frac{dt_3(\tau)}{d\tau} + t_3(\tau) = k_2 T_{ca}(\tau - \tau_{p2}) \quad (5)$$

Расчетное время запаздывания  $\tau_{p2} = 6,4$  мин, постоянная времени объекта  $T_2 = 10$  мин. Отклонения типовой кривой от экспериментальной временной характеристики значительны только на начальном участке.

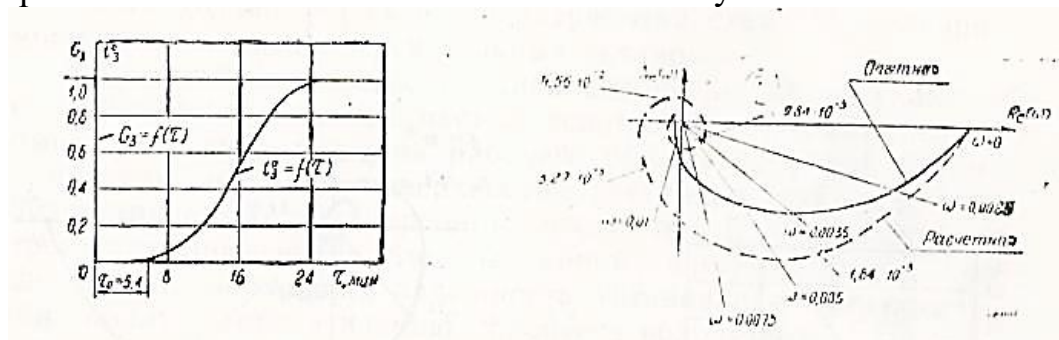


Рисунок 3 – Временная и амплитудно-фазовая характеристики зерносушилки по каналу «подача зерна на входе – температура зерна на выходе»



Передаточная функция объекта исследования по рассматриваемому каналу может быть представлена в следующем виде

$$W(p)_2 = \frac{0,272e^{-3.3p}}{43,4p^3 + 31,1p^2 + 8,43p + 1} \quad (6)$$

По третьему каналу «подача зерна на входе – температура зерна на выходе» снимали частотные и временные характеристика (рис. 3). При снятии кривой разгона чистое запаздывание в объекте составило 5,4 мин.

Коэффициент усиления по третьему каналу  $k_3 = 8,5^\circ\text{C}/\text{m в час}$ . Объект по данному каналу может быть описан так же, как и по двум рассмотренным выше связям, дифференциальным уравнением третьего порядка, которое можно представить в виде

$$48,8t_3''' + 39,6t_3'' + 8,92t_3' + t_3 = 1 \quad (7)$$

Временная характеристика удовлетворительно аппроксимируется типовым уравнением первого порядка с запаздыванием при следующих значениях расчетного времени запаздывания и постоянной времени объекта по данному каналу  $\tau_{p2} = 11,5\text{мин}$ ,  $T_3 = 5,25\text{мин}$  и при подстановке найденных значений принимает вид

$$5,25 \frac{dt_3(\tau)}{d\tau} + t_3(\tau) = 8,5G_3(\tau - 11,5) \quad (8)$$

Передаточная функция объекта по рассматриваемому каналу может быть записана в виде

$$W(p)_3 = \frac{0,272e^{-3.3p}}{48,8p^3 + 39,6p^2 + 8,02p + 1} \quad (9)$$

Непосредственное снятие частотных характеристик по третьему каналу позволило выявить «частоту среза»: при колебаниях входной величины – подачи зерна на входе в сушилку с частотой  $\omega = 0,012 \text{ Гц}$ , колебаний выходной величины – температуры нагрева зерна – практически не наблюдалось.

Вид графиков расчетной и опытной амплитудно-фазовых характеристик (рис. 3) подтверждает, что объект по рассматриваемому каналу может быть описан дифференциальным уравнением не выше третьего порядка.

**Заключение.** Анализируя результаты экспериментов и обработки экспериментальных данных, можно сделать следующие выводы:

а) Барабанная зерносушилка как объект автоматизации по любому каналу может быть описана дифференциальным уравнением не выше третьего порядка.

б) По всем трем каналам существует транспортное запаздывание: 6,9 мин, 3,3 мин и 5,4 мин соответственно по рассмотренным каналам.

с) Наибольшее влияние на процесс сушки оказывает величина подачи зерна в сушилку, так как коэффициент усиления по каналу «подача зерна на входе – температура зерна на выходе» имеет наибольшее значение и составляет  $8,5^\circ \text{C}/\text{m в час}$ .

### Список источников

1. Системы управления технологическими процессами и информационные

технологии: Учебное пособие / В.В. Троценко, В.К. Федоров, А.И. Забудский [и др.] – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2018. – 136 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-04910-7. – EDN ADTSAK.

2. Троценко, В.В. Пути снижения повреждений семян фасоли при уборке и послеуборочной обработке / В.В. Троценко, Н.В. Комендантова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2021. – № 4(44). – С. 240-250. – DOI 10.48136/2222-0364\_4\_240. – EDN RJRRCB.

3. Троценко, В.В. Снижение механических повреждений семян гречихи при послеуборочной обработке: специальность 05.20.01 “Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / В.В. Троценко // – Новосибирск, 2003. – 22 с. – EDN XNPZCH.

4. Троценко, В.В. Патент на полезную модель № 25257 U1 Российская Федерация, МПК A01F 25/08. Вентилируемый бункер: № 2001126202/20 : заявл. 01.10.2001: опубл. 27.09.2002 / В.В. Троценко; заявитель Омский государственный аграрный университет. – EDN CGKOKT.

5. Троценко, В.В. Устройство для транспортировки сыпучего материала / В.В. Троценко, А.И. Забудский, В.В. Комендантов // Новая наука: Стратегии и векторы развития. – 2016. – № 5-2(82). – С. 265-267. – EDN TSOMJU.

6. Троценко, В.В. Патент на полезную модель № 219226 U1 Российская Федерация, МПК B65G 11/20. Устройство для транспортировки сыпучего материала: № 2023101419: заявл. 23.01.2023: опубл. 05.07.2023 / В.В. Троценко, А.И. Забудский, Н.В. Комендантова; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина”. – EDN BSLGKZ.

7. Гулин, С.В. Системный подход к анализу энерготехнологического оборудования в агропромышленном комплексе / С.В. Гулин, Г.В. Медведев, А.Г. Пиркин // Известия Международной академии аграрного образования. – 2024. – № 70. – С. 19-26. – EDN PJFBTY.

8. Лягина, Л.А. Система автоматического управления процессом сушки растительного сырья / Л.А. Лягина, В.А. Каргин, А.П. Моисеев // Аграрный научный журнал, № 7, 2017. – С.78-82.

9. Автоматизация систем управления технологическими процессами: учебное пособие / В.А. Каргин, А.П. Моисеев, А.В. Волгин [и др.] – Саратов: Амирит, 2018. – 177 с.

10. Моисеев, А.П. Электрооборудование технологий производства и обработки сельскохозяйственной продукции: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, Л.А. Лягина, В.А. Каргин. – ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» – Саратов: Амирит, 2018. – 141 с.

11. Моисеев, А.П. Электротехнологическое оборудование в сельскохозяйственном производстве: учебное пособие / А.П. Моисеев, А.В. Волгин, В.А. Каргин, Л.А. Лягина. – ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» – Саратов: Амирит, 2018. – 103 с.

12. Четвериков, Е.А. Совершенствование способов возбуждения электромагнитного поля СВЧ-диапазона в установках сушки

сельскохозяйственной продукции стационарного типа / Е.А. Четвериков, А.П. Моисеев, Л.А. Лягина. – Аграрный научный журнал, Саратов, №6, 2016 – с.70-72.

© Троценко В.В., 2025

Научная статья

УДК 631.5

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПРИВОДЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УСТАНОВОК

Виктор Васильевич Троценко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет

<sup>1</sup>[trotsenko@spbgau.ru](mailto:trotsenko@spbgau.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2772-9657>

**Аннотация.** Приведены основные сведения о сущности применения преобразователей частоты для автоматизированного электрического привода сельскохозяйственных агрегатов. В частности, указывается, что преобразователи частоты позволяют устанавливать разные варианты законов регулирования, что удовлетворяет требованиям большой группы машин и механизмов.

**Ключевые слова:** частотный преобразователь, электропривод, система автоматического управления, скалярное управление, векторное управление, механическая характеристика рабочей машины.

**Для цитирования:** Троценко, В.В. Особенности применения частотных преобразователей в приводе сельскохозяйственных установок / В.В. Троценко // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## FEATURES OF THE USE OF FREQUENCY CONVERTERS IN THE DRIVE OF AGRICULTURAL INSTALLATIONS

Viktor Vasilyevich Trotsenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg State Agrarian University

<sup>1</sup>[trotsenko@spbgau.ru](mailto:trotsenko@spbgau.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2772-9657>

**Annotation.** The basic information about the essence of the use of frequency converters for automated electric drive of agricultural units is given. In particular, it is indicated that frequency converters allow you to set different variants of regulatory laws, which meets the requirements of a large group of machines and mechanisms.

**Keywords:** frequency converter, electric drive, automatic control system, scalar control, vector control, mechanical characteristics of the working machine.

**For citation:** Trotsenko V.V. Features of the use of frequency converters in the drive of agricultural installations / V.V. Trotsenko // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical

**Введение.** В агропромышленном комплексе электропривод является основным потребителем электрической энергии – более 60% от общего потребления. До тех пор, пока стоимость электрической энергии была низкой и автоматизированные установки использовались редко, преобладал нерегулируемый электропривод на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором [1, 2, 3, 4].

Для сельского хозяйства характерно большое разнообразие машин по условиям их пуска, режиму нагрузки, механическим характеристикам.

Номинальную мощность электродвигателя привода машин с тяжелым пуском и неравномерной нагрузкой выбирают с запасом, что приводит к значительным недогрузкам при эксплуатации и перерасходу электрической энергии [5, 6, 7, 8].

Сейчас обстановка изменилась: с одной стороны, резко возросла стоимость электроэнергии, с другой – за последние 10...15 лет в мире наблюдается широкое и успешное внедрение частотно-регулируемых электроприводов (ЧРП) с использованием асинхронных двигателей.

**Материалы и методы.** Основным элементом электропривода является преобразователь частоты (ПЧ), позволяющий плавно и в больших пределах регулировать частоту вращения электродвигателя. Применение ЧРП дает экономический эффект за счет:

- снижения расхода электрической энергии. Так, при неполной загрузке насосов, вентиляторов, компрессоров и ряда других машин снижение частоты их вращения позволяет экономить до 50...70% электроэнергии;
- увеличения объема и повышения качества выпускаемой продукции;
- снижения износа механических звеньев и увеличения срока службы технологического оборудования вследствие плавного пуска и остановки, исключения гидравлических ударов;
- исключения механических систем регулирования частоты вращения (вариаторов, редукторов и т. д.).

Стоимость современных ПЧ зависит от их мощности и составляет около 200 долларов на 1 кВт. Рынок предлагает, как импортные, так и отечественные преобразователи частоты. Как правило, все они могут использоваться в системах автоматического регулирования технологического параметра при помощи встроенного пропорционально-интегрального регулятора и от внешней системы управления.

Выбирая тип преобразователя частоты необходимо знать особенности механической характеристики рабочей машины и законы регулирования частоты и амплитуды напряжения на зажимах электродвигателя. От этого будет зависеть величина пускового и максимального моментов двигателя и его экономические показатели – КПД и коэффициент мощности  $\cos \varphi$ .

Механические характеристики рабочих машин описываются эмпирическим уравнением [5]:

$$M_{c.np} = \frac{M_c}{i \cdot \eta_n} \left[ M_{mp} + (M_{c.H.} - M_{TP}) \left( \frac{\omega_M}{\omega_{MH}} \right)^x \right] \quad (1)$$

где  $M_c$  – момент статического сопротивления рабочей машины при ее угловой скорости  $\omega_M$ ;  $M_{mp}$  – момент трогания рабочей машины при  $\omega_M = 0$ ;  $M_{c.H.}$  – номинальный момент сопротивления при угловой скорости  $\omega_{MH}$ ;  $i$  – передаточное отношение;  $\eta_n$  – КПД передачи;  $x$  – показатель степени, зависящий от вида машины;  $M_{c.np}$  – момент статического сопротивления, приведенный к валу электродвигателя.

На рис., а приведены механические характеристики наиболее распространенных в сельском хозяйстве машин. Так, у грузоподъемных и транспортирующих машин момент сопротивления не зависит от угловой скорости ( $x = 0$ ). Решетные зерноочистительные машины, грохоты имеют линейно-возрастающую механическую характеристику ( $x = 1$ ). Вентиляторам, центробежным насосам, центрифугам, сепараторам и другим машинам с ротационными рабочими органами присуща квадратичная зависимость  $M_{c.np}$  от угловой скорости ( $x = 2$ ). Линейно-падающую характеристику имеют металлорежущие станки, зерновые нории ( $x = -1$ ).

**Результаты исследования.** В преобразователях частоты обычно поддерживается постоянное соотношение максимального вращающего момента двигателя  $M_{max.дв}$  к величине  $M_{c.np}$ .

$$\frac{M_{max.дв}}{M_{c.np}} = const \quad (2)$$

Чтобы при этом обеспечить экономическую работу двигателя, необходимо, чтобы его нагрузка была близка к номинальной

$$M_{c.np} \approx M_{H.дв} \quad (3)$$

Максимальный момент двигателя определяется зависимостью

$$M_{max.дв} = K \frac{U^2}{f^2} \quad (4)$$

где  $K$  – постоянный коэффициент;  $U$  – напряжение;  $f$  – частота переменного тока на выходе преобразователя.

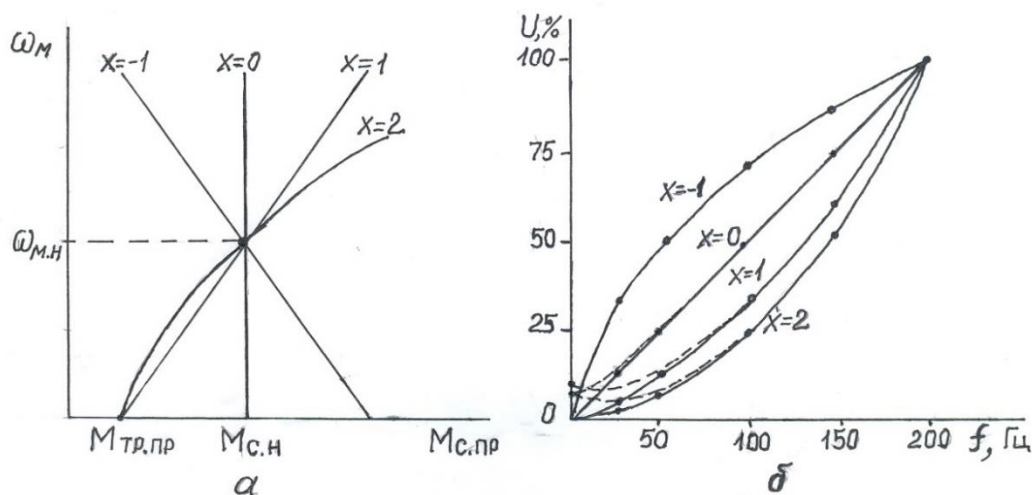


Рисунок – Механические характеристики рабочих машин (а) и законы регулирования соотношения напряжения и частоты ПЧ (б)

Для выполнения условия (2) необходимо регулировать величину  $M_{max,дв}$  по закону изменения  $M_{с.пр} \approx F_{H,дв}(\omega_M)$ , т.е. механической характеристике рабочей машины. С учетом зависимости (4) соотношения напряжения и частоты тока должны поддерживаться преобразователем частоты соответственно

$$\begin{cases} x = 0; \frac{U}{f} = const; \\ x = 1; \frac{U}{f^{\frac{2}{3}}} = const; \\ x = 2; \frac{U}{f^2} = const; \\ x = -1; \frac{U}{f^{\frac{1}{2}}} = const; \end{cases} \quad (5)$$

Задаваясь значениями частоты  $f$  в диапазоне  $2,5 \dots 200 \text{Гц}$ , по выражениям (5) определены необходимые значения напряжений  $U$ . Они показаны на рис.,б в процентах от  $U_n$  сплошными линиями. Однако, на малых частотах тока максимальный момент двигателя начинает падать. Для его компенсации и увеличения пускового момента в ПЧ используется повышение уровня напряжения. На рис.,б эти участки выделены штриховой линией. Исходные данные взяты для преобразователей частоты типа *DFE* и *FC*. [9, 10].

**Заключение.** Таким образом, преобразователи частоты позволяют устанавливать несколько вариантов законов регулирования (у ПЧ *DFE* – с  $x = 0$ ,  $x = 1$ ,  $x = 2$ ), что удовлетворяет требованиям большой группы машин и механизмов. Такое частотное управление называется скалярным. Оно позволяет получить диапазон регулирования частоты вращения двигателя до 1:40, а также управлять группой электродвигателей от одного ПЧ. Там, где требуется увеличить диапазон регулирования (до 1:1000), повысить точность регулирования и быстродействие электропривода, используют векторное управление. Например, ПЧ типа *FC* позволяют осуществить как скалярное управление по любому закону регулирования  $U/f$ , так и векторное.

Необходимо отметить, что практически любой преобразователь частоты обеспечивает плавный пуск и остановку (торможение) электродвигателя с регулируемым временем; реверсирование; защиту электродвигателя и ПЧ от аварийных режимов; диагностику неисправностей; автоматическое регулирование технологического параметра (температуры, давления и т.д.) как с помощью встроенного в ПЧ регулятора, так и внешней системой управления.

### Список источников

1. Епифанов, А.П. Электропривод в сельском хозяйстве: учебное пособие / А.П. Епифанов, А.Г. Гущинский, Л.М. Малайчук. – 3-е издание, стереотипное. – Санкт-Петербург: Издательство “Лань”, 2020. – 224 с. – ISBN 978-5-8114-1020-0. – EDN BKSSJS.

2. Аношенкова, Е.В. Математическая модель электротехнических систем с частотно-регулируемыми асинхронными двигателями в режимах детерминированного хаоса / Е.В. Аношенкова, В.В. Федянин, Д.В. Федоров, В.В.

Троценко // Омский научный вестник. – 2018. – № 1(157). – С. 50-53. – DOI 10.25206/1813-8225-2018-157-50-53. – EDN YSCCYL.

3. Троценко, В.В. Системы управления технологическими процессами и информационные технологии: Учебное пособие / В.В. Троценко, В.К. Федоров, А.И. Забудский [и др.] – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2017. – 136 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-05788-1. – EDN ZTFGVD.

4. Косарев, Б.А. Оценка качества электроэнергии электротехнической системы с распределенной генерацией без использования корректирующих устройств / Б.А. Косарев, Г.А. Кошук, В.К. Федоров, В.В. Троценко // Динамика систем, механизмов и машин. – 2019. – Т. 7, № 2. – С. 44-50. – DOI 10.25206/2310-9793-7-2-44-50. – EDN MMOFNN.

5. Троценко, В.В. Выбор преобразователя частоты для регулируемого электропривода сельскохозяйственных установок / В.В. Троценко, А.П. Епифанов, Г.В. Медведев, В.А. Шик // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития: Сборник XIII Международной научно-практической конференции, Омск, 27 февраля 2025 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2025. – С. 356-361. – EDN CFLZNQ.

6. Епифанов, А.П. Стенд для исследования электроприводов механизмов с большим моментом инерции / А.П. Епифанов, И.А. Анпилогов // Проблемы энергообеспечения предприятий АПК и сельских территорий: сборник научных трудов / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2008. – С. 61-69. – EDN UIZUAL.

7. Шубин, С.В. Выбор рациональных режимов работы электропривод молотковой дробилки с целью повышения энергетической эффективности / С.В. Шубин, А.П. Епифанов // Вестник Студенческого научного общества. – 2010. – № 1. – С. 377-381. – EDN UIOLCT.

8. Троценко, В.В. Анализ электрической цепи, содержащей выпрямительный диод / В.В. Троценко, А.З. Нугманов // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО Омский ГАУ, Омск, 19 апреля 2018 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2018. – С. 42-43. – EDN XTQFCX.

9. Епифанов, А.П. Расчет асинхронных двигателей / А.П. Епифанов. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2001. – 145 с. – EDN TYAYFH.

10. Гулин, С.В. Системный подход к анализу энерготехнологического оборудования в агропромышленном комплексе / С.В. Гулин, Г.В. Медведев, А.Г. Пиркин // Известия Международной академии аграрного образования. – 2024. – № 70. – С. 19-26. – EDN PJFBTY.

© Троценко В.В., 2025



## АЛГОРИТМЫ ДВИЖЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ГАЗОНОКОСИЛОК

Алена Александровна Усталкова<sup>1</sup>, Оксана Николаевна Чурляева<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[alena\\_saltykova\\_2018@mail.ru](mailto:alena_saltykova_2018@mail.ru)

<sup>2</sup>[oksana.churlyayeva@mail.ru](mailto:oksana.churlyayeva@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-7472-0465>

**Аннотация.** Автоматизированные газонокосилки, как ключевой элемент роботизации сельского хозяйства, повышают эффективность работ, но их производительность зависит от алгоритмов движения, влияющих на энергозатраты и время обработки участка. В работе систематизированы основные стратегии (хаотичные, круговые, гоновые) обоснован выбор оптимального типа для различных условий эксплуатации и разработан алгоритм движения для дальнейшей автоматизации работы газонокосилки.

**Ключевые слова:** автоматизированная газонокосилка, алгоритмы движения.

**Для цитирования:** Усталкова А.А. Алгоритмы движения автоматизированных газонокосилок / А.А. Усталкова, О.Н. Чурляева // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## MOTION ALGORITHMS FOR AUTOMATED LAWN MOWERS

Alena Aleksandrovna Ustalkova<sup>1</sup>, Oksana Nikolaevna Churlyayeva<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[alena\\_saltykova\\_2018@mail.ru](mailto:alena_saltykova_2018@mail.ru)

<sup>2</sup>[oksana.churlyayeva@mail.ru](mailto:oksana.churlyayeva@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0003-7472-0465>

**Annotation.** Automated lawn mowers, as a key element of agricultural robotization, increase work efficiency, but their performance depends on motion algorithms that affect energy consumption and site processing time. The paper systematizes the main strategies (chaotic, circular, and rolling), substantiates the choice of the optimal type for various operating conditions, and develops a motion algorithm for further automating the operation of the lawn mower.

**Keywords:** automated lawn mower, motion algorithms.

**For citation:** Ustalkova, A.A. Motion algorithms for automated lawn mowers / A.A. Ustalkova, O.N. Churlyayeva // Actual problems of energy in the agro-industrial

complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современные тенденции в области робототехники и автоматизации активно трансформируют подходы к обслуживанию сельскохозяйственных и ландшафтных территорий. Автоматизированные газонокосилки, как интеллектуальные мобильные системы, занимают важное место в этом процессе, обеспечивая снижение трудозатрат и повышение эффективности работ. Однако ключевым фактором, определяющим их производительность и адаптивность, остаётся алгоритм движения, который напрямую влияет на качество выполнения задач, энергопотребление и время обработки участка. Эффективность таких устройств напрямую зависит от выбранной стратегии движения: одни модели полагаются на хаотичные паттерны, другие – на системные схемы вроде спиралей или зигзагов. Целью данной статьи является описание и систематизация основных типов движения автоматизированной газонокосилки, а также выбор наиболее оптимального из них.

**Материалы и методы.** Алгоритмом движения определяются маршрут и способ движения агрегата для наиболее эффективной с точки зрения затраченной энергии и времени, и полной обработки участка. Автоматизированные газонокосилки движутся циклично, повторяя определённые действия [1]. Обычно при классификации по способу движения автоматизированных агрегатов выделяют следующие группы (рис. 1) [1-3]:

1. Гоновый способ движения;
2. Круговое движение;
3. хаотичное движение.

Гоновый способ движения представляет собой такой алгоритм, при котором колесный робот выполняет прямолинейное движение вдоль одной из сторон обрабатываемого участка. При достижении края участка автоматизированный агрегат осуществляет поворот на 180 градусов.

Обычно для уменьшения числа поворотов и достижения наибольшего эффекта направление прямолинейного движения (гона) выбирается длинная сторона участка. Как видно из описания, данный способ передвижения достаточно простой и, в связи с этим, является наиболее распространённым. Однако, поскольку требуются периодические развороты на 180 градусов у краев участка, данный способ движения наилучшим образом выполняется высокоманевренными аппаратами. Кроме того, если обрабатываемый участок имеет форму отличную от прямоугольной, тогда будут оставаться области, на которых агрегат не осуществлял работу.

Круговой способ движения реализуется следующим образом. Роботизированная машина выполняет непрерывные прямолинейные движения параллельно сторонам участка. В зависимости от того, куда помещается агрегат перед началом осуществления работ – к краю обрабатываемого участка или в его центр – движение описывается спиралью от периферии к центру, либо от центра к периферии.

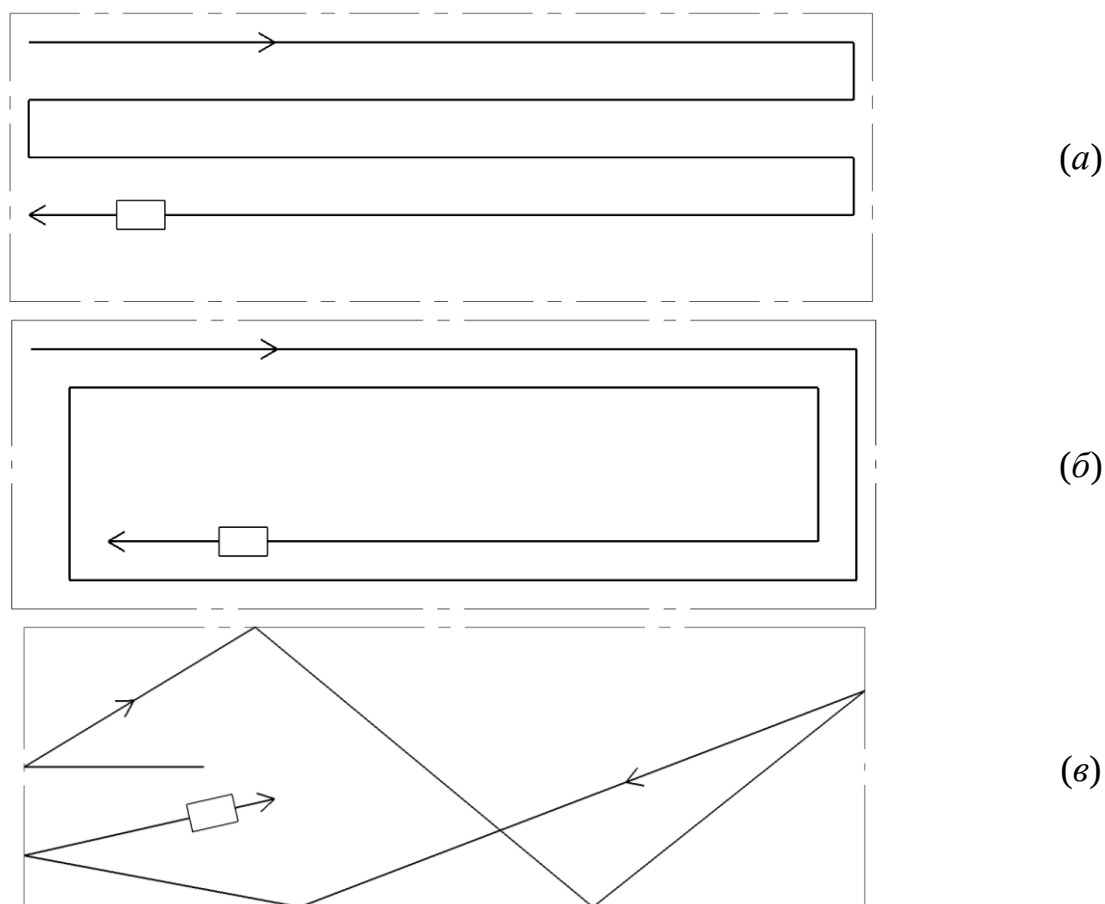


Рисунок 1 – Способы движения автоматизированной газонокосилки:  
а) гоновый способ; б) круговой способ; в) хаотичный способ

Такой способ движения позволяет наиболее быстро охватить всю площадь участка. Кроме того, поскольку при таком движении количество холостых ходов сводится к минимуму, а рабочий орган задействован все время движения агрегата, выполнение работ осуществляется максимально эффективно с точки зрения энергетических и временных затрат.

Хаотичный способ движения подразумевает беспорядочное движение агрегата таким образом, чтобы маршрут движения не повторялся. При таком способе движения работы охватывают весь участок, не оставляя «слепых зон». Однако, данный способ движения считается малоэффективным из-за больших затрат ресурсов и времени.

Исходя из представленного выше, наибольшими преимуществами обладает круговой способ движения. Данный выбор обосновывается следующими факторами. Во-первых, круговое движение обеспечивает равномерное покрытие всей площади участка, минимизируя пропуски и перекрытия. Во-вторых, постепенное сужение кругов сокращает дистанцию, которую необходимо преодолеть газонокосилке, тем самым экономя заряд батареи. И в-третьих, круговой путь представляется достаточно простым в плане реализации с точки зрения программирования и навигации, так как требует только постоянного изменения длины прямолинейного движения [4].

**Результаты исследования.** Поскольку круговой способ движения выделяется своими преимуществами по сравнению с остальными способами, в рамках данной работы предлагается реализовать следующий алгоритм (рис. 2):

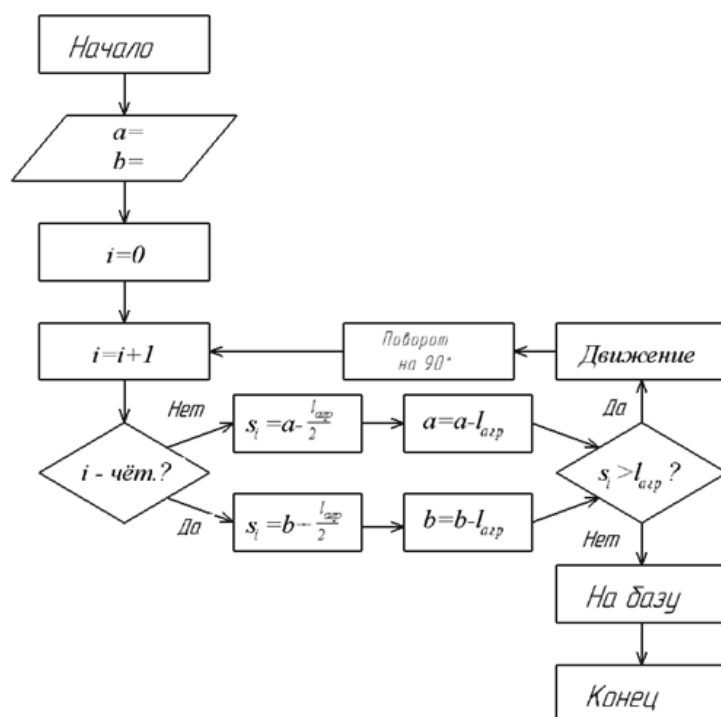


Рисунок 2 – Алгоритм кругового движения автоматизированной газонокосилки

1. Задается длина ( $a$ ) и ширина ( $b$ ) участка.

1.1. Агрегат рассчитывает расстояние:  $s = a - \frac{l_{агр}}{2}$ .

1.2. Длина обновляется:  $a = a - l_{агр}$ .

1.3. Выполняется проверка:  $s > l_{агр}$ .

1.4. При удовлетворении проверки агрегат движется на рассчитанное расстояние  $s$ .

1.5. При преодолении рассчитанного расстояния совершается поворот агрегата на  $90^\circ$ .

1.6. Агрегат рассчитывает расстояние:  $s = b - \frac{l_{агр}}{2}$ .

1.7. Ширина обновляется:  $b = b - l_{агр}$ .

1.8. Выполняется проверка:  $s > l_{агр}$ .

1.9. При удовлетворении проверки агрегат движется на рассчитанное расстояние  $s$ .

1.10. При преодолении рассчитанного расстояния совершается поворот агрегата на  $90^\circ$ .

2. Шаги 1.1-1.10 повторяются, пока проверка на шаге 1.3 или на шаге 1.8 будет не удовлетворена.

3. Возврат на базу.

**Заключение.** Представленный алгоритм может быть использован для разработки и совершенствования системы управления работой автоматизированных газонокосилок.

### Список источников

1. 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. – 2018. – С. 8-10.

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. Молочников, Д.Е. Оптимальные режимы работы машино-тракторного агрегата / Д.Е. Молочников // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. – 2017. – С. 156-159.

4. Чурляева, О.Н. Обоснование структурной схемы автоматизированного агрегата для кошения травы / О.Н. Чурляева, А.А. Усталкова, А.В. Спиченок // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий. Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием. Саратов, 2025. С. 318-323.

© Усталкова А.А., Чурляева О.Н., 2025

Научная статья  
УДК 697.34

## ОРГАНИЗАЦИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ С ВОДОПОДГРЕВАТЕЛЯМИ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Диляра Ильгамовна Фатыхова<sup>1</sup>, Гузель Мневеровна Ахмерова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.Казань, Россия

<sup>1</sup>[dilyara.fatykhova@mail.ru](mailto:dilyara.fatykhova@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-6586-8145>

<sup>2</sup>[akhmerovaag@mail.ru](mailto:akhmerovaag@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4030-8264>

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос организации рационального использования тепловой энергии. В настоящее время всё чаще применяется подогрев воды с помощью теплообменников при закрытых систем горячего водоснабжения, что свидетельствует о необходимости качественного обслуживания теплообменных устройств. Полученные значения коэффициента теплопередачи существенно ниже паспортных характеристик теплообменника.

**Ключевые слова:** тепловой пункт, пластинчатый теплообменник, накипь, коэффициент теплопередачи.

**Для цитирования:** Фатыхова, Д.И. Организация рационального использования тепловой энергии в тепловых пунктах с водоподогревателями горячего водоснабжения / Д.И. Фатыхова, Г.М. Ахмерова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

## ORGANIZING THE RATIONAL USE OF HEAT ENERGY IN HEATING STATIONS WITH HOT WATER HEATERS

Dilyara Ilgamovna Fatykhova<sup>1</sup>, Guzel Mneverovna Akhmerova<sup>2</sup>

<sup>1,2,3</sup>Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

<sup>1</sup>[dilyara.fatykhova@mail.ru](mailto:dilyara.fatykhova@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-6586-8145>

<sup>2</sup>[akhmerovaag@mail.ru](mailto:akhmerovaag@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4030-8264>

**Annotation.** The article examines the issue of organizing the rational use of thermal energy. Currently, water heating using heat exchangers in closed hot water supply systems is increasingly used, which indicates the need for high-quality maintenance of heat exchange devices. The obtained values of the heat transfer coefficient are significantly lower than the passport characteristics of the heat exchanger.

**Keywords:** heating point, plate heat exchanger, scale, heat transfer coefficient.

**For citation:** Fatykhova, D.I. Organization of rational use of thermal energy in heating points with hot water supply heaters / D.I. Fatykhova, G.M. Akhmerova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В настоящее время теплоснабжение в нашей стране имеет значительное социальное и экономическое значение, поскольку для удовлетворения потребностей потребителей в тепловой энергии требуется стабильная и надежная работа всех систем. Модернизация теплоснабжения включает в себя не только улучшение надежности и безопасности этих систем, но и повышение качества обслуживания конечных пользователей. Энергоэффективность зданий во многом зависит от внедрения систем рационального использования энергии и создания оптимальных условий для их эксплуатации.

Эффективность водяных систем теплоснабжения во многом зависит от схемы присоединения абонентского ввода, который является связующим звеном между наружными сетями и местными потребителями теплоты. В крупных системах централизованного теплоснабжения используют два метода горячего водоснабжения потребителей: первый – подготовка воды нужного качества и последующий нагрев её на ТЭЦ с подачей горячей воды непосредственно из теплосети в открытых системах; второй – предварительный нагрев питьевой водопроводной воды перед её подачей потребителям в поверхностных теплообменниках на местных тепловых пунктах в закрытых системах [1, 2].

Современные материалы и конструктивные решения позволяют теплообменникам в закрытой системе достигать более высокого уровня теплообмена, что способствует более эффективной экономии энергии.

Однако в процессе эксплуатации систем горячего водоснабжения, систем отопления, наблюдается постепенное сокращение напора и снижение

температуры воды. Одновременно с этим потребляемая системой энергия на подогрев воды и работу насосов остается на прежнем уровне или даже возрастает.

Как правило, причиной этих процессов оказывается зарастание системы водоснабжения известковыми отложениями (накипью), которая в свою очередь ведет к уменьшению теплопередачи  $k$  Вт/м $^{\circ}$ С. Теоретический коэффициент теплопередачи  $k$  Вт/м $^{\circ}$ С теплообменника по физическому смыслу  $k$  является термической проводимостью того пути, по которому тепло передаётся от горячего теплоносителя к нагреваемому [3].

Образование накипи приводит к «зарастанию» трубопроводов, что снижает расход на отдельных участках системы. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению теплоотдачи отопительных приборов и ведет к сокращению срока службы оборудования. Слой накипи мешает нагреву воды и одновременно затрудняет отвод тепла от нагревательных поверхностей. В результате этого нагревательные поверхности перегреваются и выходят из строя [4, 5].

**Материалы и методы.** Для исследования влияния накипи на коэффициент теплопередачи был взят пластинчатый теплообменник блочного теплового пункта в Центре «SYSTEMS» (рис. 1).

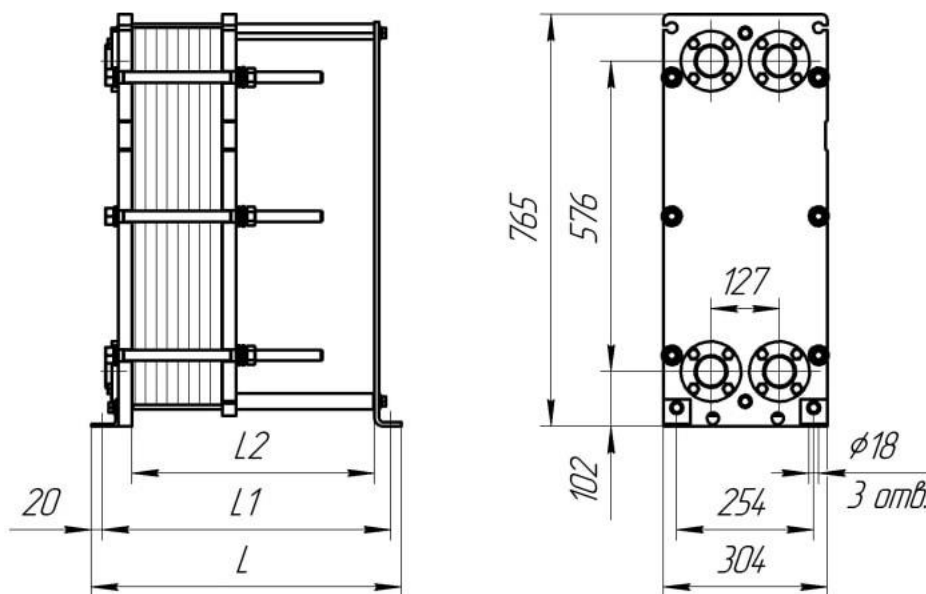


Рисунок 1 – Пластинчатый теплообменник

Сам аппарат состоит из 30 стальных пластин марки AISI316 толщиной 0,4 мм, шириной 254 мм и площадью теплообменной поверхности 0,111 м $^2$  каждая. В каждой пластине предусмотрено по 19 каналов для горячего и нагреваемого теплоносителей соответственно. Значения коэффициента теплопередачи в паспортных данных теплообменника составляет 5523 Вт/м $^{\circ}$ С [6, 7].

**Результаты исследования.** Для расчёта коэффициента теплопередачи теплообменника в течении трех дней производились замеры температур на входе и выходе из теплообменника, а также фиксировался его расход.

Таким образом, в результате расчета были выявлены такие коэффициенты теплопередачи, которые представлены в табл.



Таблица – Результаты расчета коэффициента теплопередачи

| № | $V, \text{ м}^3/\text{ч}$ | $t'_1, ^\circ\text{C}$ | $t''_1, ^\circ\text{C}$ | $t'_2, ^\circ\text{C}$ | $t''_2, ^\circ\text{C}$ | $h_1, \text{ Дж/кг}$ | $h_2, \text{ Дж/кг}$ | $M, \text{ кг}$ | $Q, \text{ Вт}$ | $k \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$ |
|---|---------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------------------|
| 1 | 0,4524                    | 62                     | 32                      | 31                     | 35                      | 259 532              | 133 696              | 452,4           | 15813,4         | 601,13                                       |
| 2 | 0,4853                    | 62                     | 32                      | 31                     | 35                      | 259 532              | 133 696              | 485,3           | 16963,4         | 644,82                                       |
| 3 | 0,4575                    | 62                     | 29                      | 28                     | 32                      | 259 532              | 121191               | 457,5           | 17580,8         | 618,94                                       |

Полученные значения коэффициента теплопередачи сравнивались с паспортными данными теплообменника, коэффициент теплопередачи которого равен 5523 Вт/м<sup>2</sup>·°C. Таким образом, спустя восемь лет эксплуатации, вследствие образования накипи, коэффициент теплопередачи снизился на 89%.

На рис. 2 видно, как в течении нескольких лет коэффициент теплопередачи постепенно уменьшался от 5523 Вт/м<sup>2</sup>·°C до 601 Вт/м<sup>2</sup>·°C. Накипь значительно снижает значение полного коэффициента теплопередачи.

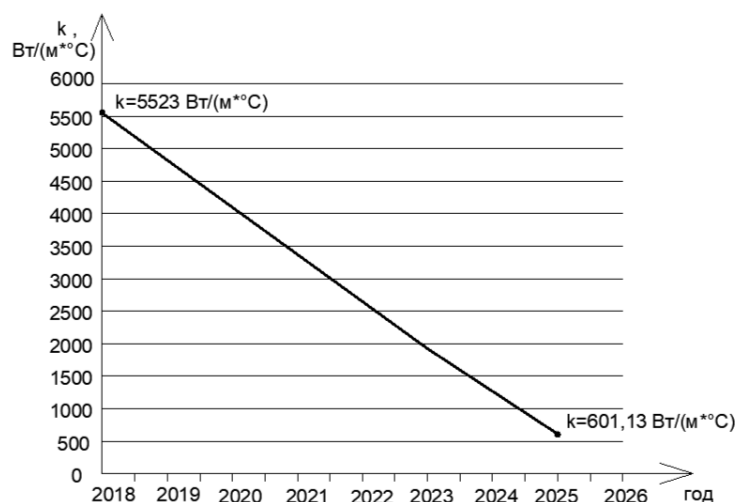


Рисунок 2 – Снижение коэффициента теплопередачи пластинчатого теплообменника

Существуют основные способы очистки теплообменного оборудования:

1. Химическая очистка;
2. Механическая очистка;
3. Комбинированная очистка.

В настоящее время используются преимущественно химические методы – химическая очистка. Химическая очистка теплообменника позволяет устранить налет, ржавчину, накипь и другие загрязнения с помощью специальных химических средств без необходимости разборки, что способствует восстановлению его эффективной работы [8].

**Заключение.** Накипь приводит к преждевременному износу теплообменного оборудования, выходу его из строя, поломкам, дополнительным гидравлическим и тепловым потерям в нагревателях и увеличению потребления энергии насосами, перекачивающими повышенный объем теплоносителя.

В связи с этим необходимо после каждого отопительного периода делать качественную и тщательную промывку теплообменника. Это сохранит долговечность, надежность и эффективность его работы.

### Список источников

1. Эффективность и перспективы применения секционного змеевикового водоподогревателя в системе индивидуального теплового пункта / П.О. Мартынов, Г.М. Ахмерова, Я.Д. Золотоносов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2018. – № 9 (717). – С. 66-74.
2. Дегтяренко, А.В. Теплоснабжение: учеб. пособие / А.В. Дегтяренко // Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. – 185 с.
3. Сафиуллин, Р.Г. Экспериментальное исследование теплотехнических характеристик пластинчатого теплообменника на примере установки «блочный тепловой пункт» центра «SYSTEMS/СИСТЕМЫ» КГАСУ / Р.Г. Сафиуллин, Г.М. Ахмерова // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции. Сборник докладов VIII Всероссийской научно-технической конференции, посвященной столетию МИСИ-МГСУ. – Москва, 2020. – С. 127-132.
4. Галковский, В.А. Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности / В.А. Галковский, М.В. Чупова // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2017. – Том 9, №2.
5. Влияние отложений на рабочих поверхностях системы отопления на показатели работы элементов системы / В.А. Минко, А.С. Семиненко, И.В. Гунько [и др.] // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. – 2014. – № 5.
6. Ахмерова, Г.М. Использование современной лабораторной базы в подготовке магистров профиля «Системы теплогазоснабжения и вентиляции» / Г.М. Ахмерова, Р.Г. Сафиуллин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – Вып. 3(80). – С. 191-199.
7. Замалтдинова, Р.И. Исследование изменения коэффициента теплопередачи пластинчатого теплообменника / Р.И. Замалтдинова, Г.М. Ахмерова // Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием. – Саратов, 2022. – С. 58-61.
8. Жаднов, О.В. Пластинчатые теплообменники – дело тонкое / О.В. Жаднов // Новости теплоснабжения. – 2005. – № 3. – С. 39.

© Фатыхова Д.И., Ахмерова Г.М., 2025

Научная статья  
УДК 631.313

## ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ: РОЛЬ ОЗОНА

Елена Николаевна Чернова<sup>1</sup>, Александра Денисовна Белохвостова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[elena-chernova-67@bk.ru](mailto:elena-chernova-67@bk.ru), <https://orcid.org/0009-0003-5980-0870>

<sup>2</sup>[belohvostovaaleksandra1@gmail.com](mailto:belohvostovaaleksandra1@gmail.com)/[8-987-806-01-35](https://orcid.org/0009-0003-5980-0870)

**Аннотация.** В статье рассматривается озонирование как современный и востребованный метод обработки фермерской продукции. Раскрываются

принципы действия озона, его антисептические свойства и преимущества использования в аграрной сфере. Особое внимание уделяется экологичности метода, его способности увеличивать срок хранения продукции, снижать микробную нагрузку и нейтрализовать остатки химических веществ. Также описаны практические аспекты внедрения озоновых технологий на фермерских хозяйствах, экономическая эффективность и перспективы дальнейшего распространения. Озонирование представляется как эффективное решение для устойчивого и безопасного сельскохозяйственного производства.

**Ключевые слова:** озон, фермерская продукция, агротехнологии, экопродукция, обработка пищевых продуктов.

**Для цитирования:** Чернова, Е.Н. Инновационные методы обработки плодоовощной продукции: роль озона / Е.Н. Чернова, А.Д. Белохвостова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **INNOVATIVE METHODS OF FRUIT AND VEGETABLE PROCESSING: THE ROLE OF OZONE**

**Elena Nikolaevna Chernova<sup>1</sup>, Alexandra Denisovna Belokhvostova<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia.

<sup>1</sup>[elena-chernova-67@bk.ru](mailto:elena-chernova-67@bk.ru), <https://orcid.org/0009-0003-5980-0870>

<sup>2</sup>[belokhvostovaaleksandra1@gmail.com](mailto:belokhvostovaaleksandra1@gmail.com)/[/8-987-806-01-35](https://orcid.org/0009-0003-5980-0870)

**Annotation.** This article explores ozonation as a modern and in-demand method for treating farm produce. It highlights the principles of ozone action, its antiseptic properties, and the advantages of its application in agriculture. Special attention is given to the method's environmental safety, its ability to extend the shelf life of products, reduce microbial contamination, and neutralize chemical residues. The article also discusses practical aspects of implementing ozone technologies on farms, their economic efficiency, and prospects for wider adoption. Ozonation is presented as an effective solution for sustainable and safe agricultural production.

**Keywords:** ozone, farm products, agrotechnologies, eco-products, food processing.

**For citation:** Chernova, E.N. Innovative methods of fruit and vegetable processing: the role of ozone / E.N. Chernova, A.D. Belokhvostova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В современном сельском хозяйстве и пищевой промышленности озонирование становится все более востребованным методом обработки фермерской продукции. Эта технология, основанная на использовании озона

(O<sub>3</sub>) – мощного окислителя, позволяет решить ряд важных задач, от дезинфекции до увеличения срока хранения.

**Материалы и методы.** В данной работе рассматривалась востребованность озонирования как метода обработки плодоовощной продукции.

**Результаты исследования.** Озонирование – это процесс обработки продуктов озоном (O<sub>3</sub>), особой формой кислорода, обладающей мощными окислительными свойствами. Озон эффективен против бактерий, грибков, плесени, вирусов и других микроорганизмов. При этом он безопасен, так как быстро распадается обратно в кислород, не оставляя вредных остатков. [1, 2]

### **Преимущества озонирования в аграрной сфере**

#### **1. Экологичность**

Озонирование не требует использования химикатов или консервантов. Это особенно важно для фермеров, стремящихся производить органическую или экологически чистую продукцию.

#### **2. Увеличение срока хранения**

Обработка озоном позволяет значительно снизить уровень микробной контаминации, благодаря чему фрукты, овощи, зелень и другие продукты дольше сохраняют свежесть без потери вкусовых качеств.

#### **3. Универсальность применения**

Озонирование можно применять к широкому спектру продукции: от овощей и фруктов до мяса, рыбы и молочных изделий. Также возможна обработка как в процессе хранения, так и после сбора урожая.

#### **4. Устранение запахов и токсинов**

Озон нейтрализует неприятные запахи и может разрушать некоторые токсины, включая остатки пестицидов и удобрений на поверхности плодов.

#### **5. Предотвращение перекрёстного заражения**

Особенно актуально при хранении разных видов продукции в одном помещении. Озон снижает риск распространения патогенной микрофлоры между партиями продуктов.

### **Практическое применение на фермерских хозяйствах**

Фермерские хозяйства всё активнее внедряют озоновые установки для обработки продукции непосредственно после сбора урожая или перед отправкой на реализацию. Оборудование может быть, как стационарным (в складах, холодильниках), так и портативным – для небольших объемов продукции [3, 4].

Некоторые хозяйства также используют озон для обработки воды, используемой для мытья овощей и фруктов, что повышает общую гигиену и качество товара. Озон также применяют в вентиляционных системах для обеззараживания воздуха в овощехранилищах и холодильниках.

### **Получение озона в агропромышленности**

В агропромышленном комплексе озон обычно получают с помощью озонаторов – устройств, которые производят озон (O<sub>3</sub>) из кислорода (O<sub>2</sub>) путём его электрического разложения. Этот процесс называется озонированием или озонаторной генерацией. Основные методы получения озона включают:

#### **1. Метод коронного разряда:**

Самый распространённый метод получения озона в агропромышленности. В этом процессе кислород пропускается через специальное устройство,

называемое озонатором, где происходит коронный разряд (электрический разряд высокого напряжения), который разрывает молекулы кислорода ( $O_2$ ), превращая их в озон ( $O_3$ ). Полученный озон затем используется для обработки плодоовощной продукции, воды, воздуха и т.д.

### *2. Метод ультрафиолетового излучения:*

В этом методе кислород подвергается воздействию ультрафиолетового (УФ) излучения, что вызывает его разложение на два атома кислорода, которые затем вступают в реакцию с молекулами кислорода, образуя озон. Это менее эффективный метод, чем коронный разряд, и чаще используется в лабораторных или небольших установках для озонирования воды.

### *3. Метод озонаторных систем с использованием кислорода из баллонов:*

В случае, если на предприятии нет возможности получать кислород непосредственно из воздуха, можно использовать кислородные баллоны, которые подают в озонатор для создания озона. Этот метод используется в тех случаях, когда требуется высокая концентрация озона или необходимо обеспечить бесперебойное производство.

### Экономическая эффективность

Несмотря на первоначальные затраты на установку оборудования, озонирование позволяет существенно сократить потери продукции при хранении, а также увеличить рентабельность фермерского бизнеса за счёт более длительного срока реализации и повышения привлекательности товара для потребителя.

Дополнительный плюс – отсутствие необходимости закупать и использовать химические дезинфектанты, что также снижает операционные издержки [4, 5].

### Вызовы и перспективы

Несмотря на очевидные преимущества, озонирование требует грамотного подхода: нужно правильно рассчитывать дозировки и длительность обработки, чтобы не повредить продукт. Кроме того, требуется обучение персонала и соблюдение техники безопасности. Неконтролируемое воздействие высоких концентраций озона может оказывать отрицательное влияние не только на продукцию, но и на здоровье работников.

Однако современные технологии позволяют автоматизировать процесс и точно контролировать параметры озонирования. С каждым годом установки становятся всё более компактными, надёжными и простыми в эксплуатации.

**Заключение.** Озонирование – это инновационный, безопасный и эффективный способ обработки фермерской продукции, позволяющий повысить её качество, продлить срок хранения и соответствовать высоким стандартам экопродукции. В условиях растущей конкуренции на рынке сельхозпродукции этот метод становится важным инструментом устойчивого и экологичного производства.

С учётом тенденций к «зелёному» потреблению и снижению химической нагрузки на окружающую среду, озонирование имеет все шансы стать стандартом в аграрной отрасли уже в ближайшие годы.

### Список источников

1. Wang, S. Effects of ozone treatment on pesticide residues in food: a review / S. Wang, J. Wang, T. Wang [et al.] // International Journal of Food Science & Technology. – 2019. – 54(2). – 301–312.
2. Кузнецова, Е.А. Влияние озонного воздействия на физиолого-биохимические процессы в проростках семян овощных культур / Е.А. Кузнецова, В.П. Смирнов // Агрохимия. – 2019. – 5. – 58-63.
3. Бурак, Л.Ч. Использование озонной технологии в пищевой промышленности / Л.Ч. Бурак. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – 144 с. ISBN 978-985-7172-84-9
4. Бахчевников, О.Н. Применение озона в хранении и переработке зерна (обзор) / О.Н. Бахчевников, А.В. Брагинец // Техника и технология пищевых производств. – 2024. – Т. 54, № 3. – С. 483-494.
5. Якияева, М.А. Влияние озонной обработки на физико-химические и микробиологические показатели сахарной свеклы / М.А. Якияева // Пищевая промышленность. – 2021. – № 7. – С. 24-26.

© Чернова Е.Н., Белохвостова А.Д., 2025

Научная статья  
УДК 621.313

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ БЛОКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ НАКАЧКИ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ФИРМЫ T-L IRRIGATION COMPANY

**Алексей Георгиевич Черных<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, Иркутская область, Иркутский район, поселок Молодежный, Россия

<sup>1</sup>[kandida2006@yandex.ru](mailto:kandida2006@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности конструкции электромеханического преобразователя на примере высокоэффективного (уровня IE2) двигателя с инверторным режимом работы в тяжелых условиях эксплуатации фирмы WEG, входящего в блок гидравлической накачки широкозахватной круговой дождевальной машины фирмы T-L Irrigation company. Анализ конструктивных особенностей рассматриваемого двигателя позволяет сформулировать требования, обеспечивающие возможность анализа его работы с учетом их адаптации к асинхронным двигателям стандартной конструкции.

**Ключевые слова:** электромеханический преобразователь, блок, гидропривод, высокоэффективный, дождевальная машина.

**Для цитирования:** Черных, А.Г. Особенности конструкции электромеханического преобразователя блока гидравлической накачки дождевальной машины фирмы T-L Irrigation company / А.Г. Черных //

Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **DESIGN FEATURES OF THE ELECTROMECHANICAL CONVERTER OF THE HYDRAULIC PUMPING UNIT OF THE SPRINKLER MACHINE FROM T-L IRRIGATION COMPANY**

**Alexey Georgievich Chernykh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement, Russia

<sup>1</sup>[kandida2006@yandex.ru](mailto:kandida2006@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>

**Annotation.** The article discusses the design features of an electromechanical converter using the example of a highly efficient (IE2 level) motor with an inverter mode of operation in severe operating conditions from WEG, which is part of the hydraulic pumping unit of a wide-range circular sprinkler from T-L Irrigation company. An analysis of the design features of the engine under consideration makes it possible to formulate requirements that make it possible to analyze its operation, taking into account their adaptation to asynchronous motors of standard design.

**Keywords:** electromechanical converter, block, hydraulic drive, high-efficiency, sprinkler machine.

**For citation:** Chernykh, A.G. Design features of the electromechanical converter of the hydraulic pumping unit of the sprinkler machine from T-L Irrigation company / A.G. Chernykh // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Высокоэффективные двигатели с инверторным режимом работы в тяжелых условиях эксплуатации фирмы WEG, входящего в блок гидравлической накачки широкозахватной круговой дождевальной машины (ШКДМ) фирмы T-L Irrigation company (США) в соответствии с требованиями стандарта «Электродвигатели-генераторы Национальной ассоциации производителей электротехники (NEMA) MG 1 – 2010», раздел «Двигатели и генераторы» [1]. В указанном разделе в п. «Типичные характеристики и применение асинхронных двигателей переменного тока с короткозамкнутым ротором малой и средней мощности с фиксированной частотой» приведена классификация такого рода двигателей исходя из особенностей их конструкции применительно к четырем типам (табл. 1).

Необходимо отметить, что двигатель с инверторным режимом работы относится к аналогичным терминам таким, как «совместимый с инвертором» и «готовый к работе с инвертором» и в большей степени является маркетинговым ходом и не взаимозаменяем с режимом работы двигателя с инвертором. Двигатели с инверторным приводом разработаны в соответствии с требованиями стандарта



NEMA MG 1, часть 31, «Определенное Назначение, двигатели с инверторным питанием» и обладают эксплуатационными характеристиками при широком диапазоне нагрузок с постоянным крутящим моментом. Инверторные двигатели имеют улучшенную систему изоляции, которая не так быстро разрушается при кратковременных скачках напряжения [2]. Улучшенные системы изоляции включают в себя устойчивый к резким перепадам напряжения магнитопровод инверторного класса, который позволяет двигателю выдерживать перепады напряжения в 1178 вольт на двигателе напряжением 380 В.

Таблица 1 – Краткое описание типов конструкций асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором в стандарте NEMA

| Тип/свойство       | тип А                                                            | тип В                                                                                     | тип С                                                                                     | тип D                                                                                                                                     |
|--------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Конструкция        | Аналогична конструкции типа В, но с более высоким пусковым током | Наиболее распространенная конструкция двигателя, называемая двигателями общего назначения | Конструкция обеспечивает высокий пусковой момент                                          | Конструкция обеспечивает высокий электромагнитный момент и скольжение                                                                     |
| Области применения | Вентиляторы, воздуходувки, центробежные насосы и компрессоры     | Вентиляторы, воздуходувки, центробежные насосы и компрессоры                              | Конвейеры, дробилки, двигатели для перемешивания, мешалки, поршневые насосы и компрессоры | Штамповочные прессы, ножницы, элеваторы, экстракторы, лебедки, подъемники, двигатели для перекачки нефти из скважин и волочения проволоки |

**Материалы и методы.** Для электромеханических преобразователей, конструктивно представленных асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором стандарта NEMA с уровнями эффективности IE2, IE3 и IE4 характерна увеличенная масса меди в статорных обмотках, использование в магнитопроводе статора тонких листов кремнистой стали. В свою очередь, сердечника ротора изготавливается из литого под высоким давлением алюминия марки 449Т и короткозамкнутой обмотки имеющей значительное удельное содержание электропроводящего материала.

Учитывая, что источником перенапряжений в магнитопроводе являются перенапряжения, возникающие в статорных обмотках двигателя, то целесообразно минимизировать влияние указанных перенапряжений на магнитопровод, непосредственно в «месте» их возникновения. Логично предположить, что в этом случае целесообразно применять в качестве обмоток статора провода, имеющие многослойную изоляцию. С учетом величины рабочего напряжения статорных обмоток, количество слоев изоляции, как правило, не превышает двух. В этом случае в качестве изолирующего материала для первого и второго слоев можно применять близкие по свойствам диэлектрики. Например, эмали NEMA 1000, MW35-C

добавляют в наружный слой изоляции провода из полиамида-имида и внутренний слой изоляции из полиэстера [3]. При этом, катушка статора покрыта негидроскопичным эпоксидным лаком на 100% твердой основе.

Что касается короткозамкнутой обмотки ротора несмотря на то, что общий поток рассеяния уменьшается за счет вихревых токов, глубокий паз обеспечивающий высокое удельное содержание электропроводящего материала создает довольно большой поток рассеяния на роторе и, следовательно, увеличивает коэффициент рассеяния  $\sigma$ , который представляет собой отношение рассеянного потока к общему потоку и обычно находится в диапазоне 8...10% [4].

В свою очередь, момент торможения уменьшится на величину  $(1-\sigma)/\sigma$ . Таким образом, увеличение пускового момента за счет изменения тока приводит к уменьшению максимальной нагрузки, которую двигатель способен выдержать при длительной работе без остановки или «момента пробоя». Применительно к двигателям, изготовленным в соответствии с требованиями стандарта NEMA MG 1 (часть 31) отмеченные особенности в изготовлении ротора позволяет результирующие кривые зависимости частоты вращения от крутящего момента классифицировать по так называемым классам роторов, которые определяют соотношение пускового и номинального крутящих моментов. При этом, кривой зависимости крутящего момента от частоты вращения имеется участок седловидной формы (рис. 1).

Приведенные на рис. 1 кривые по данным производителя соответствуют двигателю с инверторным режимом работы фирмы WEG уровня IE2 номинальной мощностью 5,5 кВт, количеством полюсов 4, номинальной скоростью 1450 об/мин, номинальным скольжением 3,33%, номинальным напряжением 380 В и пробивным моментом 200%.

**Результаты исследования.** Полевой эксперимент проводился на двигателе с инверторным режимом работы входящего в блок гидравлической накачки гидропривода опорных тележек ШКДМ фирмы T-L Irrigation company [5]. Паспортные данные исследуемого двигателя: номинальной мощностью 15,0 кВт, количеством полюсов 4, номинальной скоростью 1455 об/мин, номинальным скольжением 3,0%, номинальным током 29,4 А, номинальным напряжением 380 В и пробивным моментом 210%.

Блок гидравлической накачки кроме указанного выше двигателя включает в себя насос поршневого типа фирмы EATON. С помощью насоса гидравлическая жидкость (типа Phillips 66® Hydraulic Pivot Oil 22) подается в замкнутую гидростатическую систему.

Гидравлическая жидкость по прямому (рис. 2, поз. 1) и обратному маслопроводам (рис. 2, поз. 2), подается к каждой из несущих ферм ШКДМ к соответствующему выравнивающему узлу и паре гидравлических низкооборотные двигателей типа Parker модели TB065 привода колес опорных тележек [6].

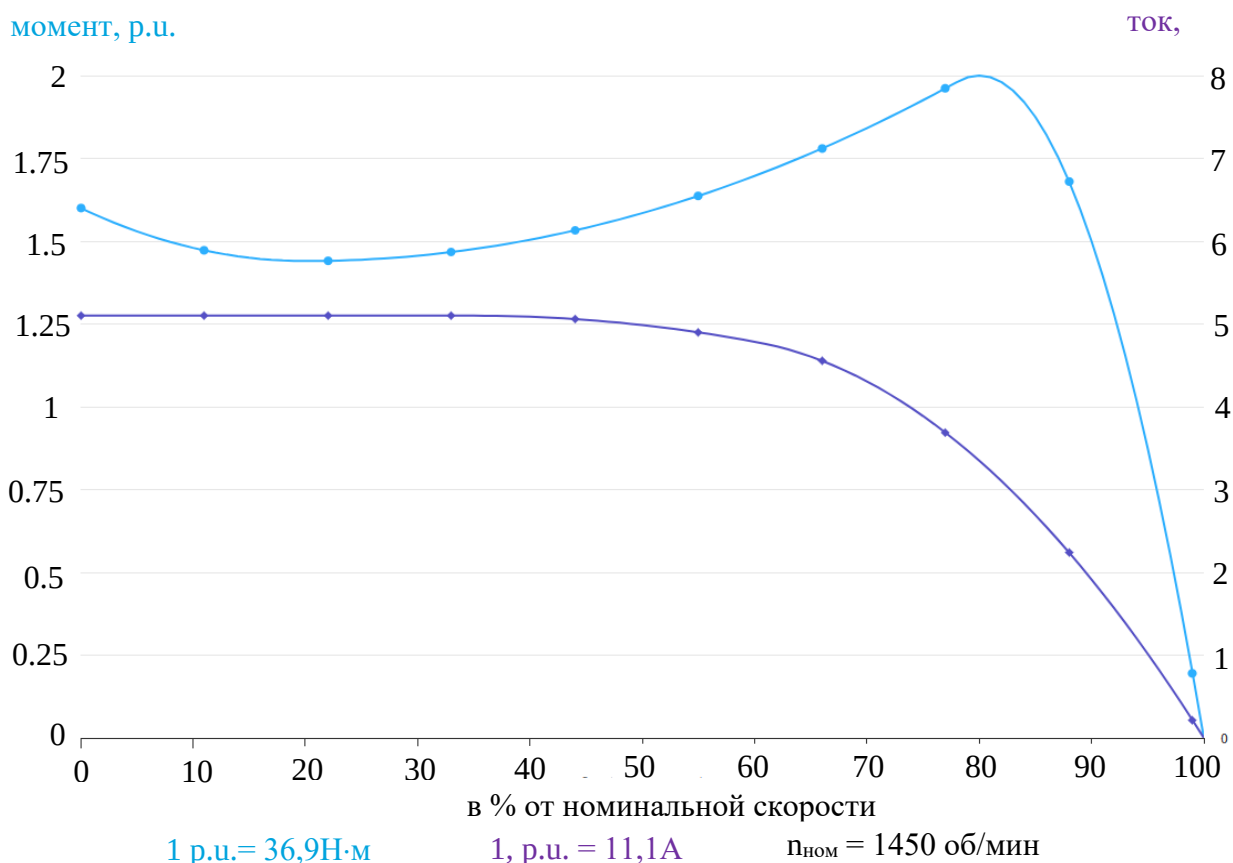


Рисунок 1 – кривая зависимости крутящего момента и тока от скорости

Суммарная длина маслопроводов, количество узлов выравнивания и гидравлических двигателей, на прямую влияют на мощность, потребляемую насосом для прокачки гидравлической жидкости в системе. В полной мере сказанное выше относится к мощности потребляемой приводным двигателем. Таким образом, меняя количество опорных башен (табл. 2) можно исследовать работу гидростатической системы на предмет потребляемой мощности приводным двигателем насоса и создаваемым им крутящего момента [7, 8].

Таблица 2 – Удаление самоходных тележек многоопорной широкозахватной дождевальной машины кругового действия от центральной поворотной башни

|                    |     |     |     |     |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| Количество тележек | 5   | 7   | 9   | 11  |
| Расстояние, м      | 264 | 372 | 480 | 588 |

Далее по ряду дискретных значений скольжений полученных экспериментально и сопутствующих вычислений момента можно сравнить полученные данные с каталожными данными. Результаты расчетов и экспериментальных данных заносим в табл. 3.



Рисунок 2 – Фрагмент несущей фермы опорной башни с маслопроводом

Таблица 3 – Расчетные и экспериментальные данные скорости и момента двигателя блока гидравлической накачки при различном числе опорных тележек ШКДМ

| Количество тележек              | 5    | 7    | 9    | 11    |
|---------------------------------|------|------|------|-------|
| Скорость вращения, об/мин       | 1470 | 1466 | 1462 | 1459  |
| Крутящий момент расчетный, Н·м  | 79,2 | 90,5 | 98,3 | 106,1 |
| Крутящий момент каталожный, Н·м | 74,4 | 86,1 | 96,9 | 104,7 |

Примечание. Скорость вращения вала двигателя определялась косвенным способом путем измерения соответствующей линейной скорости с помощью механического колеса диаметром 10 см входящего в комплект портативного цифрового тахометра testo 470.

**Заключение.** Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показывают, что используемый в блоке гидравлической накачки двигатель с инверторным режимом работы фирмы WEG производства Бразилии существенным образом по энергетическим и рабочим характеристикам отличается от аналогичных по номинальным данным и функциональному назначению двигателей отечественного производства. При необходимости исследования его статических характеристик нельзя использовать математический аппарат, связанный с Г-образной схемой замещения двигателя [9]. В частности, с учетом наличия седловидного участка на кривой естественной механической характеристики, приведенной в паспорте производителя. При решении задачи, позволяющей исследовать работу двигателя в статических

режимах путем его адаптации конструктивных особенностей к асинхронным двигателям с короткозамкнутым ротором типовой конструкции, необходимо, прежде всего, сосредоточить внимание на седлообразный участок. Другими словами, необходимо рассматривать типовые конструкции двигателей, у которых на механических характеристиках также присутствует участок аналогичной формы.

### Список источников

1. Черных, А.Г. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя гидропривода опорных тележек дождевальной машины / А.Г. Черных // Повышение эффективной эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве: Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под общ. ред. С.М. Бакирова – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2023. – С. 366-373.
2. WEG em Números // [Электронный ресурс] URL: [https://www.weg.net/institutional/PT/pt\\_PT/weg-in-numbers](https://www.weg.net/institutional/PT/pt_PT/weg-in-numbers) (дата обращения: 07.01.2021).
3. Gornicka, B. Nanocomposites for turn insulation for inverter fed motors / B. Gornicka, D. Wojcieszak // 2008 31st International Spring Seminar on Electronics Technology. – 2008. – pp.163-166.
4. Gertmar, L. Rotor design for inverter-fed high speed induction motors / L. Gertmar [et al.] // EPE-Proc. 1989, Aachen. – pp.51-56.
5. Черных, А.Г. Энергетические характеристики асинхронного двигателя гидропривода опорных тележек дождевальной машины / А.Г. Черных // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы II Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под общ. ред. С.М. Бакирова – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2024. – С. 317-329.
6. Каталог фирмы «Parker Hydraulics» NY 02-8029/UK. Axial Piston Pumps/Motors – Fixed Displacement Series F11/12.
7. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. / Г.В. Ольгаренко [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.
8. Технологии, техника и оборудование для координатного (точного) земледелия / В.И. Балабанов [и др.]. – М.: Росинформагротех, 2016. – 240 с.
9. Бондаренко, А.В. Приведение параметров эквивалентных обмоток экранированной асинхронной машины к параметрам расчетной схемы замещения / А.В. Бондаренко, Ю.П. Коськин, А.Г. Черных // Вестник ИрГСХА: Сборник научных трудов / ИрГСХА. – Иркутск, 2010. – Вып. 41 – С. 107-116.

© Черных А.Г., 2025

## КРИВАЯ МАКСИМАЛЬНОГО МОМЕНТА ПРИ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ ДВИГАТЕЛЯ ПОРШНЕВОГО НАСОСА ГИДРОПРИВОДА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

Алексей Георгиевич Черных<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, Иркутская область, Иркутский район, поселок Молодежный, Россия

<sup>1</sup>[kandida2006@yandex.ru](mailto:kandida2006@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>

**Аннотация.** В статье рассмотрены теоретические положения теории электрических машин связанные с задачей расчета величины максимального момента применительно к асинхронному двигателю с короткозамкнутым ротором фирмы WEG выполненного в соответствии с требованиями стандарта NENA, раздела высокоэффективные двигатели. Указаны особенности работы указанного типа двигателя для привода поршневого насоса гидропривода, обеспечивающего подачу гидравлической жидкости к исполнительным механизмам и регулирующим устройствам дождевальной машины кругового движения в процессе ее работы. Приведен перечень оборудования и алгоритм его использования в процессе снятия кривой максимального момента двигателя в полевых условиях.

**Ключевые слова:** дождевальная машина, асинхронный двигатель, поршневой насос, частотное управление, максимальный момент.

**Для цитирования:** Черных, А.Г. Кривая максимального момента при частотном управлении двигателя поршневого насоса гидропривода дождевальной машины / А.Г. Черных // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## THE CURVE OF THE MAXIMUM TORQUE DURING FREQUENCY CONTROL OF THE PISTON PUMP MOTOR OF THE SPRINKLER MACHINE HYDRAULIC DRIVE

Alexey Georgievich Chernykh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny settlement, Russia

<sup>1</sup>[kandida2006@yandex.ru](mailto:kandida2006@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>

**Annotation.** The article discusses the theoretical provisions of the theory of electric machines related to the task of calculating the maximum torque value in relation to an asynchronous motor with a closed-loop rotor manufactured by WEG in accordance with the requirements of the NENA standard, section high-efficiency motors. The features of the operation of the specified type of engine for driving a



reciprocating hydraulic pump, which supplies hydraulic fluid to the actuators and regulating devices of a circular sprinkler machine during its operation, are indicated. A list of equipment and an algorithm for its use in the process of removing the maximum torque curve of an engine in the field are given.

**Keywords:** electromechanical converter, block, hydraulic drive, high-efficiency, sprinkler machine.

**For citation:** Chernykh, A.G. The curve of the maximum torque during frequency control of the piston pump motor of the sprinkler machine hydraulic drive / A.G. Chernykh // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Гидропривод дождевальной машины строится по классической схеме и включает в себя приводной двигатель, гидropередачу с вспомогательными устройствами и устройствами управления, а также рабочие органы машины [1]. В свою очередь, гидropередача состоит из насоса и комплекта гидравлических двигателей [2]. В случае использования широкозахватной круговой дождевальной машины (ДМ) фирмы T-L Irrigation company, в качестве приводного двигателя используется высокоэффективный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором фирмы WEG (рис. 1, поз. 1), а в качестве насоса – поршневой насос фирмы EATON (рис. 1, поз. 2) [3-5].



Рисунок 1 – Элементы гидропривода и центральной опоры

Комплект гидравлических двигателей, которые в полной мере относятся к исполнительным механизмам ДМ, определяется числом опорных тележек, входящих в конкретную технологическую схему дождевальной машины [6, 7]. С помощью пары (по числу колес опорной тележки с шинами Tугex Agro) гидравлических двигателей типа Parker осуществляется движение машины.



Рабочие органы дождевальнoй машины, входящие в ее исполнительную схему, представляют собой набор выравнивающих устройств, обеспечивающих синхронное движение каждой из опорных тележек машины относительно центральной поворотной башни (рис. 1, поз. 3) [8]. Каждый из узлов выравнивания реализован на базе гидрораспределителя золотникового типа с двухсторонним механическим управлением, который размещен в монтажном основании на пилоне башни треугольной формы с опорой на соответствующую тележку. Учитывая, что длина маслопроводящих трубопроводов, входящих в гидростатическую систему ДМ может составлять несколько сотен метров, то с учетом орошаемой машиной площади и требования равномерности полива, работа гидропривода должна быть детально исследована на стадии ее подготовки к работе. Дополнительным обстоятельством, требующим детализации работы гидропривода, является тот факт, что частота питающего напряжения двигателя, поставляемого в комплекте с ДМ отличается от аналогичной частоты, применяемая в Российской Федерации.

**Материалы и методы.** Высокоэффективные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором фирмы WEG с инверторным режимом работы имеют резко выраженный участок седлообразной формы на механических характеристиках [1]. Наличие указанного участка на механических характеристиках обусловлено соответствующей конструкцией паза ротора двигателя (рис. 2).

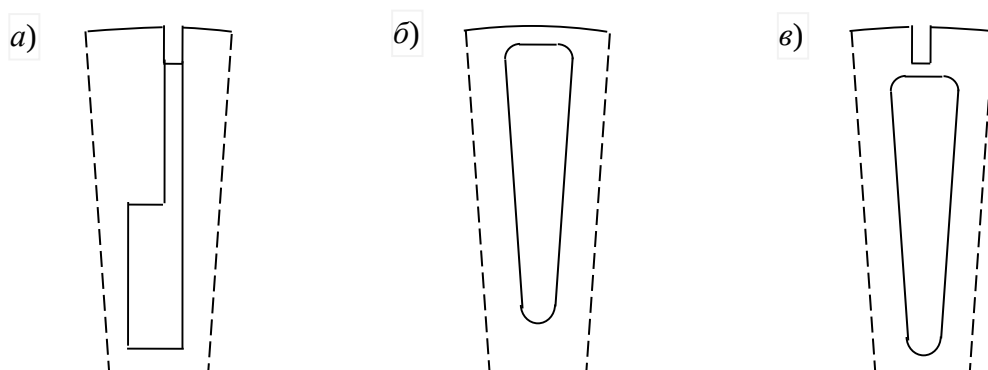


Рисунок 2 – Типичные формы овальных пазов ротора для алюминиевых корпусов, отлитых под давлением для асинхронных двигателей с инверторным режимом работы:  
а) – полузакрытый паз; б) – закрытый паз; в) – закрытый паз с дополнительным зазором.

В случае полузакрытого паза ротора (рис. 2, а), индуктивность рассеяния выше чем в конструкции закрытых пазов (рис. 2, б и в), поскольку в конструкции паза в верхней части имеется металлическая перемычка. Кроме того, закрытые пазы уменьшают величину пространственных гармоник поля в воздушном зазоре двигателя. Сравнивая конструкцию паза выполненного в форме (рис. 2, б) и (рис. 2, в), следует учитывать тот факт, что при частичном нарушении изоляции в локальных участках наружной поверхности шихтованного ротора в них возникают дополнительные вихревые токи, что приведет к дополнительным потерям в роторе [9]. При закрытом пазе с дополнительным зазором (рис. 2, в) последний существенно увеличивает магнитное сопротивление потока таким токам, тем самым уменьшая их абсолютное значение. Например, для двигателя

с инверторным режимом работы мощностью 15 кВт, числом полюсов  $2p = 4$ , номинальным напряжением 380 В, номинальным током 30 А, воздушным зазором 0,45 мм, длиной металлического пакета статора 195 мм, наружным диаметром ротора 145 мм, числом пазов в статор/ротор: 36/28, синхронной частотой переключения ключей инвертора 750 Гц суммарные дополнительные потери в роторе для полузакрытого паза составят 196 Вт, а для закрытого паза с дополнительным зазором 62 Вт. Учитывая, что ротора для двигателей с инверторным режимом работы используется способ изготовления литьем под давлением, то стержни ротора имеют овальную форму. Принимая во внимание наличие в роторе потерь от пространственных гармоник и вихревых токов, то учитывая их абсолютные значения, результат сравнения отдает предпочтение к использованию овальных пазов формы (рис. 2, б). Кроме того, выбор формы паза ротора приводящей к увеличению индуктивности рассеяния уменьшает величины пускового и максимального моментов двигателя [9].

В соответствии с теорией индукционных двигателей применительно к фундаментальной волновой модели асинхронной машины при частотном управлении справедливы следующие соотношения:

$$\omega_{\max} = \frac{R_r'}{\sigma \cdot L_r'} \quad (1)$$

где  $R_r'$  – приведенное активное сопротивление ротора, Ом;  $L_r'$  – полная приведенная индуктивность ротора, Гн;  $\omega_{\max}$  – угловая скорость вращения ротора соответствующая максимальному моменту, сек<sup>-1</sup>;  $\sigma$  – коэффициент рассеяния потока в воздушном зазоре, б/р.

$$\sigma = 1 - \frac{L_m}{L_s \cdot L_r'} \quad (2)$$

где  $L_s$  – полная индуктивность статора, Гн;  $L_m$  – индуктивность контура намагничивания, Гн.

Коэффициент  $\sigma$  представляет собой отношение рассеянного потока к общему потоку и обычно для закрытых пазов ротора находится в диапазоне 2...4%.

$$U_s = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \omega_s \cdot \Psi_s \quad (3)$$

где  $\omega_s$  – электрическая угловая частота вращения поля статора, сек<sup>-1</sup>;  $\Psi_s$  – суммарное потокоцепление статорной цепи,

$$M_{\max} = \frac{m_s}{2} \cdot \frac{p}{2} \cdot \Psi_s^2 \cdot \frac{1 - \sigma}{\sigma \cdot L_s} \quad (4)$$

где  $m_s$  – число фаз обмотки статора;  $p$  – число пар полюсов двигателя.

$$M_{\text{пуск}} = \frac{m_s \cdot R_r' \cdot I_r'^2}{314} \quad (5)$$

где  $M_{\text{пуск}}$  – пусковой момент двигателя на частоте сети 50Гц, Н·м;  $I_r'$  – приведенное значение тока в роторе, А.

Необходимо отметить, что длина отрезка [AB] в абсолютном значении остается неизменной при работе двигателя в режиме частотного управления

где 
$$|AB| = \frac{R_r}{2\pi \cdot p \cdot \sigma \cdot L_r} \quad (6)$$

Выражения (1)÷(6) позволяют определить электрические величины и параметры Т-образной схемы замещения двигателя

Теоретическая электромеханическая кривая двигателя по данным производителя приведена на рис. 3.

**Результаты исследования.** Натурный эксперимент проводился в полевых условиях в месте расположения центральной поворотной башни ШКДМ фирмы T-L Irrigation company. Рядом с башней расположена рамная конструкция, на которой закреплены асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа Inverter Duty Motor фирмы WEG мощностью 15 кВт и насос поршневого типа фирмы EATON, соединенные между собой жесткой фланцевой муфтой [2]. Цель эксперимента определялась задачей снятия кривой максимального момента двигателя при частотном управлении. Условия проведения эксперимента были выбраны таким образом, чтобы была возможность по его результатам сравнить две кривые максимального момента, а именно, расчетную кривую и полевую.

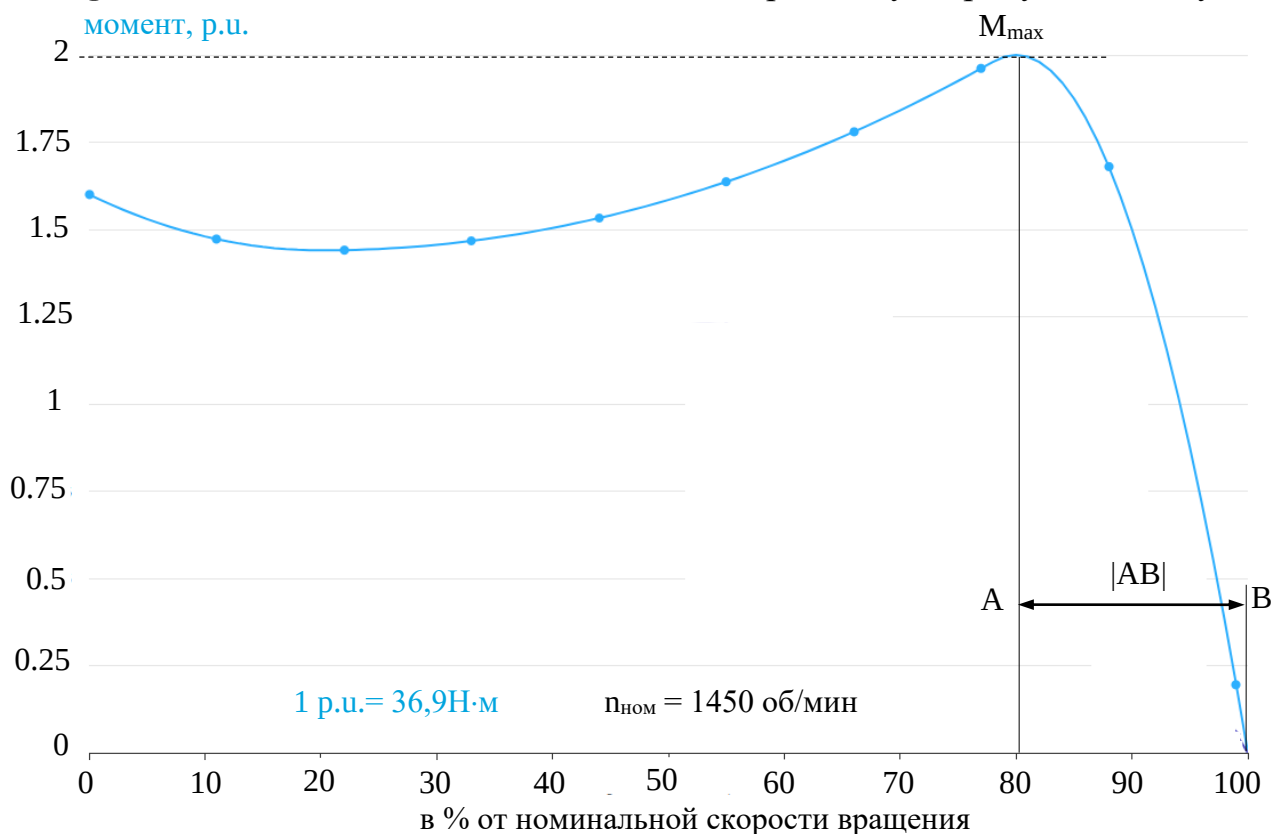


Рисунок 3 – Кривая зависимости крутящего момента от скорости двигателя

Для регулирования скорости вращения двигателя использовался преобразователь частоты CFW700 фирмы WEG [3]. Измерение скорости двигателя осуществлялось с помощью конусной насадки входящей в комплект портативного цифрового тахометра testo 470. С этой целью временно снимался кожух вентилятора двигателя, позволяя применить контактный способ измерения непосредственно с торцевой стороны вала ротора.

Предварительно, перед проведением измерений с помощью прилагаемого к преобразователю человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) представляющего собой съемную панель управления с набором клавиш команд управления, была проведена настройка ряда параметров. Устанавливая значение параметра P0202 – (1) задаем тип управления двигателем, а именно скалярное V/f при частоте напряжения обмоток статора 50 Гц. Параметром P0404 задается мощность двигателя, подключаемого к преобразователю. Задаем P0404 – (15)  $\equiv$  15кВт. В соответствии с руководством по программированию WEG CFW в режиме V/f преобразователь налагает при пуске фиксированную частоту, которая определяется уставкой скорости и использует кривую напряжения, заданную параметром P0331. Параметр P0331 задает время, которое необходимо для того, чтобы выходное напряжение достигло значения номинального напряжения. Регулируемый диапазон параметра P0331: от 0,2 до 60,0 с. Заводские настройки: 2,0 с. При эксперименте параметра P0331 задавался равным 7,6 сек. Фиксируется, разгон двигателя в соответствии с заданной кривой разгона до максимального значения скорости, определяемого параметром P0404. Задаем P0122 – (1500)  $\equiv$  1500об/мин.

Необходимо отметить, что перед проведением измерений преобразователь параметром P0006 соответствующий функции состояния VFD был переведен в режим самонастройки. Задаем P0006 – (4). В указанном режиме были определены параметру двигателя не указанные в его паспорте. В частности, сопротивление статора, рассеяние магнитного потока двигателя, постоянная времени ротора, номинальный ток намагничивания двигателя, а также механическая постоянная времени двигателя и приводимой нагрузки. При этом, параметр P0408 управляет программой самонастройки. При установке значения P0408= 1 (без вращения) двигатель остается остановленным во время самонастройки.

Теоретические и расчетные значения максимального момента двигателя поршневого насоса при частотном управлении приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Максимальный момент двигателя с инверторным режимом работы фирмы WEG мощность 15 кВт с числом пар полюсов равным двум

| Частота f, Гц                                | 5     | 10    | 15    | 20    | 30    | 35    | 40    | 45    | 50    |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V/f (теоретический), В/сек                   | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   |
| Максимальный момент (теоретический), Н·м     | 205,5 | 205,5 | 205,5 | 205,5 | 205,5 | 205,5 | 205,5 | 205,5 | 205,5 |
| V/f (экспериментальный), В/сек               | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   | 7,6   |
| Максимальный момент (экспериментальный), Н·м | 201,1 | 201,7 | 202,2 | 202,6 | 203,0 | 203,2 | 203,4 | 203,1 | 203,6 |

Примечание. В процессе эксперимента при частотном управлении величина крутящего момента двигателя идентифицировалась по величине, отображаемой на дисплее ЧМИ параметром P0331.

**Заключение.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований, позволили оценить степень совпадения величины максимального момента у асинхронного двигателя с инверторным режимом работы фирмы WEG. Применение в ходе эксперимента преобразователя частоты с возможностью предварительного программирования с помощью ЧМИ набора команд и параметров, управляющих

работой центрального процессора обеспечило высокую степень корреляции значений максимального момента на двух этапах исследования. Сопутствующие вычисления на основе технических данных двигателя и результатов измерений позволяют получить параметры Т-образной схемы замещения, обмоточные коэффициенты статора и ротора, число проводников в пазу статора, число пазов статора и ротора. В свою очередь, ряд электрических и электромагнитных параметров двигателя может быть определено с использованием работающего в режиме самодиагностики ЧМИ преобразователя. В целом, результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований позволяют их адаптировать к соответствующим электрическим величинам и параметрам двигателя, входящим в уравнения электромеханического равновесия для анализа его работы в переходных режимах.

### Список источников

1. Технологии, техника и оборудование для координатного (точного) земледелия / В.И. Балабанов [и др.]. – М.: Росинформагротех, 2016. – 240 с.
2. Черных, А.Г. Особенности работы насоса гидropередачи, гидравлического привода дождевальной машины / А.Г. Черных // Современные перспективы развития гибких производственных систем в промышленном гражданском строительстве и агропромышленном комплексе: Сборник научных статей 2-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров. – Курск: ФГБОУ ВО Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, 2024. – С. 96-102.
3. 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, 2022. – 140 с.
4. WEG em Números // [Электронный ресурс] URL: [https://www.weg.net/institutional/PT/pt\\_PT/weg-in-numbers](https://www.weg.net/institutional/PT/pt_PT/weg-in-numbers) (дата обращения: 07.01.2021).
5. Gertmar, L. Rotor design for inverter-fed high speed induction motors / L. Gertmar [et al.] // EPE-Proc. 1989, Aachen. – pp.51-56
6. Черных, А.Г. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя гидropривода опорных тележек дождевальной машины / А.Г. Черных // Повышение эффективной эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве: Материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под общ. ред. С.М. Бакирова – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2023. – С. 366-373.
7. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. / Г.В. Ольгаренко [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 264 с.
8. Черных, А.Г. Система линейного выравнивания смежных опорных тележек дождевальной машины кругового движения / А.Г. Черных // Информационные системы и технологии АПК и ПГС: Сборник научных статей 2-й международной научно-технической конференции. – Курск: ФГБОУ ВО

Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова, 2024. – С. 112-118.

9. Вольдек, А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений / А.И. Вольдек // – 3-е изд. перераб. –Л.: Энергия, 1978. – 832 с.

© Черных А.Г., 2025

Научная статья

УДК 621.355, 629.34, 656.131

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИКЛА WLTC**

**Роман Викторович Шабалин<sup>1</sup>, Николай Иванович Щуров<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия

<sup>1</sup>[romanshabalinnstu@mail.ru](mailto:romanshabalinnstu@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-6818-6297>

<sup>2</sup>[nischurov@mail.ru](mailto:nischurov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5459-9544>

**Аннотация.** В данной статье представлен анализ силовой энергоустановки электромобиля, выполненный на основе цикла Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure (WLTC). В результате исследования определена оптимальная емкость аккумуляторной батареи с учетом режима движения электромобиля по данному циклу. Для реализации задачи разработана имитационная модель в программной среде “MatlabSimulink”, основанная на прототипе Москвич 3, моделирующая поведение движения в условиях цикла WLTC. Особенностью работы является применение эффективного метода моделирования, который обеспечивает точное воспроизведение режимов движения электромобиля и повышает достоверность полученных результатов. Проверка разработанного метода выполнена с использованием созданной имитационной модели, протестированной в условиях, приближенных к реальной эксплуатации.

На основе модели были получены ключевые параметры движения электромобиля: значения затраченной энергии и пройденный путь. Эти данные позволяют более точно определить необходимые параметры аккумуляторной системы для обеспечения заданных эксплуатационных характеристик. Проведенное исследование способствует развитию методов моделирования электромобилей и оптимизации их силовых установок с учетом реальных условий эксплуатации.

**Ключевые слова:** Электромобиль (EV), WLTC (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure), имитационная модель, энергоустановка, накопитель.

**Для цитирования:** Шабалин, Р.В. Исследование силовой энергоустановки электромобиля с использованием метода моделирования на основе цикла WLTC / Р.В. Шабалин, Н.И. Щуров // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## **STUDY OF ELECTRIC VEHICLE POWERTRAIN USING THE WLTC CYCLE MODELING METHOD**

**Roman Viktorovich Shabalin<sup>1</sup>, Nikolai Ivanovich Shchurov<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

<sup>1</sup>[romanshabalinnstu@mail.ru](mailto:romanshabalinnstu@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0002-6818-6297>

<sup>2</sup>[nischurov@mail.ru](mailto:nischurov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5459-9544>

**Annotation.** This paper presents an analysis of an electric vehicle powertrain based on the Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTC) cycle. As a result of the study, the optimum capacity of the battery pack is determined taking into account the mode of movement of the electric vehicle according to this cycle. To implement the task, a simulation model in the software environment “MatlabSimulink”, based on the prototype Moskvich 3, simulating the behavior of movement under the conditions of the WLTC cycle is developed. The peculiarity of the work is the application of an effective modeling method, which provides an accurate reproduction of the electric vehicle driving modes and increases the reliability of the obtained results. The verification of the developed method was performed using the created simulation model tested under conditions close to real operation.

Based on the model, the key parameters of electric vehicle motion were obtained: values of expended energy and traveled distance. These data allow to determine more precisely the necessary parameters of the battery system to ensure the specified performance characteristics. This research contributes to the development of methods for modeling electric vehicles and optimization of their power plants taking into account real operating conditions.

**Keywords:** Electric Vehicle (EV), WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure), simulation model, power plant, storage.

**For citation:** Shabalin, R.V. Investigation of electric vehicle powertrain using WLTC cycle-based modeling method / R.V. Shabalin, N.I. Shchurov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В настоящее время в мире существуют проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды и истощением запасов ископаемого топлива. Эти факторы способствуют развитию различных классов электромобилей [1].



Современный электромобильный транспорт требует разработки эффективных и надёжных силовых установок, способных обеспечивать оптимальные показатели динамики, дальности пробега и безопасности. В данной работе представлен подход к моделированию силовой энергоустановки электромобиля на базе Москвич 3 с использованием программной среды “MatlabSimulink”. Созданная имитационная модель позволяет точно воспроизвести режимы движения, основанные на данных цикла WLTC, и упрощает проведение расчётов для оценки характеристик системы [2]. Далее проводится анализ энергозатрат, определяется необходимый объём аккумуляторной батареи и выбираются оптимальные компоненты накопителя энергии, что является важным этапом повышения эффективности и запаса хода электромобиля.

**Материалы и методы.** В данной статье для моделирования и анализа силовой энергоустановки электромобиля используются следующие методы:

1) Имитационное моделирование в программной среде “MatlabSimulink”:

- Создание упрощенной имитационной модели силовой установки, которая позволяет точно воспроизводить процессы, происходящие в электромобиле при различных режимах движения, представленной на рис. 1.

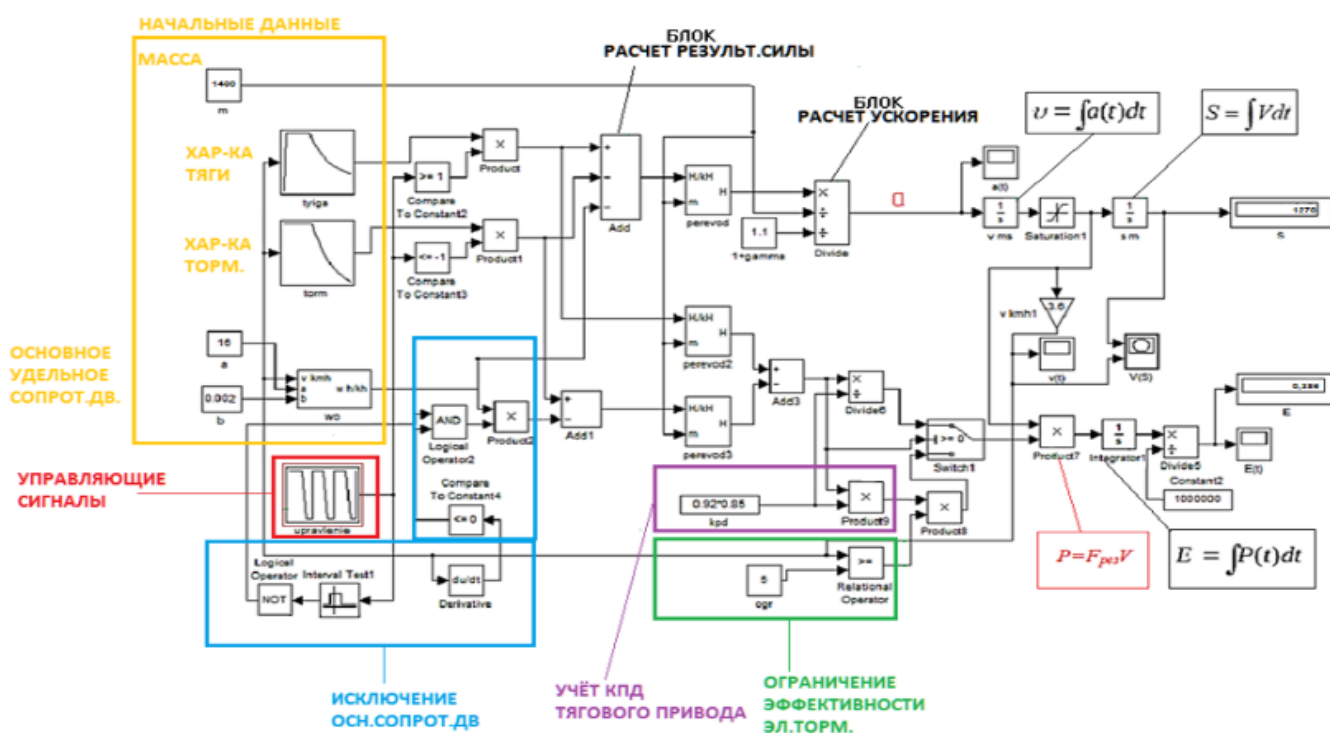


Рисунок 1 – Имитационная модель на базе Москвич 3

- Использование входных данных, основанных на цикле WLTC, для моделирования режима движения.

2) Аналитические расчетные методы:

- Расчет показателей ускорения, сил тяги и торможения на основе математических уравнений, что позволяет оценить основные параметры работы электромобиля.

3) Построение зависимостей и графиков:

• Построение графиков скорости, энергии и пройденного пути для подтверждения адекватности моделирования и анализа характеристик движения.

#### 4) Расчет параметров аккумуляторных батарей:

• Определение необходимой емкости и подбор типа аккумулятора (литий-железо-фосфатные батареи) на основе расчетных данных дальности и энергии.

Эти методы позволяют комплексно моделировать работу силовой установки электромобиля, оценивать его параметры и выбирать оптимальные компоненты системы хранения энергии [3].

**Результаты исследования.** Результаты моделирования силовой энергоустановки электромобиля, выполненного в среде “MatlabSimulink”, показывают, что имитационная модель подтверждает правильность расчетов. Имитационная модель, основанная на цикле WLTC, успешно воспроизводит динамику движения электромобиля Москвич 3 и позволяет получать точные показатели скорости, ускорения и энергии. Полученные значения силы тяги и силы торможения при различных скоростях, демонстрирует адекватность модели и позволяет определить необходимые параметры привода. Установлено, что для достижения скорости 120 км/ч при стартовых условиях (учитывая выбег и остановку) требуется около 0,386 кВт·ч энергии согласно рис. 2, а. При этом пройденный путь составляет около 1270 м согласно рис. 2, б. Для обеспечения запаса хода 500 км, исходя из моделированных данных, требуется суммарная энергия порядка 393 кВт·ч, а для этого – аккумуляторная батарея емкостью примерно 456 А·ч при напряжении 500 В. В качестве основной АКБ используются литий-железо-фосфатные ячейки LiFePO<sub>4</sub> 32700 с номинальным напряжением 3,2 В и емкостью 6 А·ч [4].

Для достижения напряжения 500 В необходимо собрать 157 ячеек последовательно, а общая масса аккумуляторной сборки – около 530 кг.

Модель и расчетные показатели подтверждают, что при использовании выбранных аккумуляторов и конфигурации можно обеспечить дальность до 500 км и необходимые скорости, сохраняя безопасность и надежность системы [5].

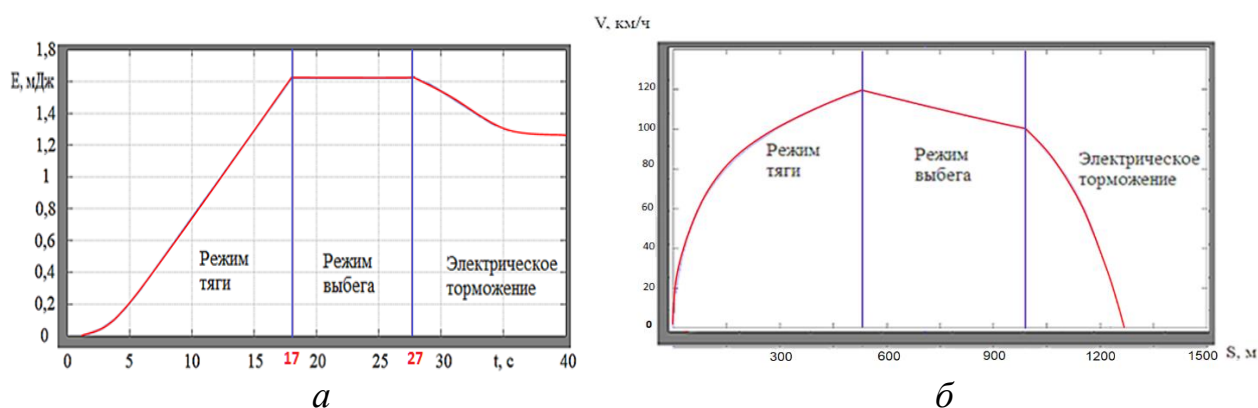


Рисунок 2 – График: а – зависимость  $E(t)$ ; б – кривая движения скорости от пройденного пути

**Заключение.** На основании проведенного моделирования силовой установки электромобиля с использованием среды “MatlabSimulink” подтверждается высокая достоверность имитационной модели при воспроизведении динамических характеристик транспортного средства в

условиях цикла WLTC. Полученные результаты свидетельствуют о корректности расчетных методов и позволяют определить ключевые параметры системы для обеспечения заданных эксплуатационных характеристик. Для обеспечения запаса хода в 500 км – суммарная энергоемкость аккумуляторной батареи составляет примерно 393 кВт·ч. Реализация данного запаса достигается использованием литий-железо-фосфатных ячеек  $\text{LiFePO}_4$  32700. Эти параметры позволяют оптимизировать конструкцию электропривода и аккумуляторной системы, обеспечивая баланс между массой, энергоемкостью и надежностью. Проведенное моделирование подтверждает эффективность выбранных решений и служит фундаментом для дальнейших исследований в области повышения энергетической эффективности и надежности электромобилей, а также для разработки более точных методов проектирования силовых установок с учетом реальных условий эксплуатации.

### Список источников

1. Щуров, Н.И. Определение токовых нагрузок электромобиля на основе стандартизированного цикла WLTC / Н.И. Щуров, С.И. Дедов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2021. – № 1. – С. 12-16.
2. Щуров, Н.И. Энергоэффективная силовая установка для автономных транспортных средств / Н.И. Щуров // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды Седьмой Всероссийской научно-практической конференции, Новокузнецк, 23-24 ноября 2016 г. – Новокузнецк, 2016. – С. 107-10
3. Дедов, С.И. Анализ современных ездовых циклов и их актуальность при определении параметров гибридной энергетической установки / С.И. Дедов // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов, Новосибирск, 4-8 дек. 2017 г.: в 10 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – Ч. 5. – С. 191–194.
4. Источники и накопители электрической энергии на транспорте: монография / Н.И. Щуров, С.В. Мятёж, А.А. Штанг [и др.] – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2023. – 162 с.
5. Малозёмов, Б.В. Повышение эффективности и надежности тягового двигателя троллейбуса / Б.В. Малозёмов, Ф.В. Трухин // Интеллектуальный потенциал Сибири: 26-я Региональная научная студенческая конференция, Новосибирск, 22-24 мая 2018 г.: в 2 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – Ч. 2. – С. 650-652

© Шабалин Р.В., Щуров Н.И., 2025

## ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ И АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Дмитрий Андреевич Шаповалов<sup>1</sup>, Ирина Дмитриевна Молодова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,  
г. Краснодар, Россия

<sup>1</sup>[xadashiiroxa@gmail.com](mailto:xadashiiroxa@gmail.com)

<sup>2</sup>[imolodova131@gmail.com](mailto:imolodova131@gmail.com)

**Аннотация.** Статья посвящена сравнительному анализу централизованных и автономных систем энергоснабжения промышленных предприятий. Рассматриваются преимущества и недостатки каждой системы, включая надёжность, экономическую эффективность, экологичность и первоначальные затраты. Также обсуждаются перспективы развития децентрализованных систем и интеграции возобновляемых источников энергии, которые способствуют устойчивости и конкурентоспособности бизнеса. Статья предлагает рекомендации по выбору оптимальной системы в зависимости от потребностей предприятия.

**Ключевые слова:** централизованное энергоснабжение, автономное энергоснабжение, надёжность, экономическая эффективность, устойчивость.

**Для цитирования:** Шаповалов, Д.А. Централизованные и автономные системы энергоснабжения предприятий / Д.А. Шаповалов, И.Д. Молодова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## CENTRALIZED AND AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS FOR ENTERPRISES

Dmitry Andreevich Shapovalov<sup>1</sup>, Irina Dmitrievna Molodova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kuban State Agrarian University named after I.T. Trublin, Krasnodar, Russia

<sup>1</sup>[xadashiiroxa@gmail.com](mailto:xadashiiroxa@gmail.com)

<sup>2</sup>[imolodova131@gmail.com](mailto:imolodova131@gmail.com)

**Annotation.** The article is devoted to a comparative analysis of centralized and autonomous power supply systems of industrial enterprises. The advantages and disadvantages of each system are considered, including reliability, cost-effectiveness, environmental friendliness and initial costs. The prospects for the development of decentralized systems and the integration of renewable energy sources, which contribute to the sustainability and competitiveness of businesses, are also discussed. The article offers recommendations on choosing the optimal system depending on the needs of the enterprise.

**Keywords:** centralized energy supply, autonomous energy supply, reliability, economic efficiency, sustainability.

**For citation:** Shapovalov D.A. Centralized and autonomous power supply systems of enterprises / D.A. Shapovalov, I.D. Molodova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Централизованные системы энергоснабжения обладают несколькими ключевыми преимуществами, которые делают их привлекательными для промышленных предприятий.

Централизованные сети обеспечивают постоянное энергоснабжение, что особенно важно для непрерывных производственных процессов. Такие отрасли, как химическая промышленность, металлургия или фармацевтика, требуют стабильного энергоснабжения для поддержания непрерывности производственных процессов. Сбои в энергоснабжении могут привести к значительным финансовым потерям и даже к остановке производства. Централизованные сети, как правило, имеют более высокий уровень надежности благодаря наличию резервных линий и мощностей, что минимизирует риск отключений.

Централизованные системы энергоснабжения позволяют снизить затраты на инфраструктуру и эксплуатацию благодаря масштабу производства. Когда несколько предприятий подключены к одной сети, затраты на строительство и обслуживание инфраструктуры распределяются между ними, что снижает индивидуальные расходы. Кроме того, централизованные сети часто имеют более эффективные механизмы управления и распределения энергии, что также способствует экономии средств.

Одним из главных преимуществ автономных систем является возможность работать без подключения к централизованной сети. Это снижает риск отключений, которые могут возникнуть из-за аварий или плановых ремонтных работ в централизованной сети. Для предприятий, расположенных в отдалённых районах или в местах с нестабильным электроснабжением, автономные системы могут быть единственным надёжным вариантом обеспечения стабильного электроснабжения [1].

Автономные системы часто используют возобновляемые источники энергии, такие как солнечная или ветровая энергия, что значительно снижает углеродный след. Это особенно важно для компаний, которые стремятся к устойчивому развитию и минимизации своего воздействия на окружающую среду. Использование возобновляемых источников энергии также может обеспечить долгосрочную экономию средств за счёт снижения затрат на топливо.

**Материалы и методы.** Исследование базировалось на комплексном анализе данных, собранных с 20 промышленных предприятий различных отраслей, включая металлургию, пищевую промышленность и машиностроение. Критериями отбора послужили объем энергопотребления (от 1 МВт до 50 МВт в год), географическое расположение (регионы с развитой и слабой сетевой

инфраструктурой) и срок эксплуатации энергосистем (не менее 3 лет). Основными источниками информации выступили статистические данные по энергопотреблению и финансовые отчеты предприятий за период 2020-2023 гг., техническая документация оборудования (солнечные панели, газогенераторы, системы накопления энергии), региональные тарифы на электроэнергию, а также результаты экологического мониторинга, включая выбросы CO<sub>2</sub> и потребление воды.

Для оценки экономической эффективности систем применялось технико-экономическое моделирование, в рамках которого рассчитывались срок окупаемости автономных решений (отношение капитальных затрат к ежегодной экономии на энергозатратах) и себестоимость энергии с учетом амортизации, обслуживания и топливных расходов. Программное обеспечение RETScreen использовалось для прогнозирования энергоэффективности гибридных систем, сочетающих солнечную генерацию с дизель-генераторами, а в программе вероятность отказов и время восстановления.

Сравнительный анализ проводился по трем ключевым критериям: надежность (количество перебоев в год, среднее время простоя), экономика (капитальные и эксплуатационные затраты, возврат инвестиций) и экология (углеродный след, использование возобновляемых ресурсов). Дополнительно были проведены полуструктурированные интервью с 10 экспертами в области энергетики, экологии и экономики для оценки рисков внедрения автономных систем, а также SWOT-анализ, выявивший сильные и слабые стороны каждого подхода [3].

Исследование имело ряд ограничений, таких как неравномерное распределение данных по отраслям (преобладание металлургии), влияние макроэкономических факторов (санкции, колебания валютных курсов) на стоимость оборудования и отсутствие долгосрочных данных по некоторым автономным системам, эксплуатируемым менее 5 лет. Для минимизации погрешностей данные нормализовались к единым единицам измерения, проводился корреляционный анализ взаимосвязей между типом системы и экономическими показателями, а результаты верифицировались через перекрестные проверки с независимыми экспертами. Применение указанных методов обеспечило объективность выводов и позволило сформулировать практические рекомендации для предприятий.

**Результаты исследования.** Проведенный анализ данных 20 промышленных предприятий выявил существенные различия между централизованными, автономными и гибридными системами энергоснабжения, а также их влияние на экономику, надежность и экологию.

Централизованные системы энергоснабжения продемонстрировали относительно низкие капитальные затраты на подключение к сетям – в среднем от 2 до 5 млн рублей в зависимости от мощности предприятия, что в 3-4 раза дешевле внедрения автономных решений. Однако рост тарифов в 2022-2023 гг. привел к увеличению эксплуатационных расходов на 15-20%. Например, металлургический комбинат в Нижнем Новгороде столкнулся с ростом годовых

затрат на электроэнергию до 48 млн рублей против 40 млн в 2021 году. Надежность таких систем оказалась умеренной: в среднем фиксировалось 3-5 перебоев в год с простоем 6-8 часов, а в 12% случаев убытки превышали 500 тыс. рублей в сутки. Экологический аспект также вызвал concerns: углеродный след для предприятий с потреблением 20 МВт/год достигал 120-150 тонн CO<sub>2</sub> ежегодно.

Автономные системы, напротив, потребовали значительных первоначальных вложений – от 15 до 25 млн рублей для солнечных электростанций и газогенераторов. Тем не менее их эксплуатационные расходы оказались на 30-40% ниже сетевых тарифов. Срок окупаемости варьировался от примером эффективности стал пищевой завод в Краснодарском крае, который за два года сократил энергозатраты на 25% благодаря гибридной системе (солнечные панели + газогенераторы). Надежность автономных решений оказалась высокой: при наличии резервных накопителей доступность энергии достигала 99%, а среднее время восстановления после сбоев не превышало солнечной энергии снизило углеродный след на 30-50%, а биогазовые установки – на 60-70% [4].

Гибридные системы, комбинирующие централизованное и автономное снабжение, показали наилучшие результаты. За счет оптимизации нагрузки (использование сети в пиковые часы и ВИЭ – в базовые) предприятия сократили общие затраты на 18-22%. Надежность таких систем выросла: риски перебоев снизились на 40%, а время простоя – до 2 часов в год. Даже для энергоемких производств углеродный след уменьшился на 35-45%, что подтверждает их роль в устойчивом развитии.

Сравнительная эффективность систем зависела от локации и масштаба предприятий. Для удаленных объектов, таких как производства в Сибири, автономные решения оказались на 20% выгоднее из-за высоких затрат на подключение к центральным сетям. В то же время крупные городские предприятия сохранили приоритет централизованного снабжения, но гибридные модели позволили им нивелировать риски тарифных колебаний. Эксперты отметили, что государственные субсидии способны сократить окупаемость автономных систем до 4-5 лет, усиливая их привлекательность.

Ключевые риски включали зависимость централизованных систем от изменений тарифов и экологических штрафов, волатильность цен на оборудование для автономных решений (рост на 12-15% в 2022-2023 гг. из-за санкций) и техническую сложность интеграции гибридных систем, требующих интеллектуального управления.

**Заключение.** Сравнительный анализ централизованных, автономных и гибридных систем энергоснабжения предприятий выявил их ключевые преимущества, ограничения и условия эффективного применения. Централизованные системы, несмотря на низкие капитальные затраты и простоту подключения, теряют актуальность в условиях роста тарифов и нестабильности сетевой инфраструктуры. Их уязвимость к перебоям и



экологические риски (углеродный след до 150 тонн CO<sub>2</sub>/год) требуют дополнения резервными накопителями и страховыми механизмами.

Автономные решения, такие как солнечные электростанции и биогазовые установки, доказали свою эффективность для удаленных предприятий и компаний, ориентированных на ESG-стандарты. Несмотря на высокие первоначальные вложения (15-25 млн рублей), они обеспечивают долгосрочную экономию (снижение затрат на 25-40%) и сокращение углеродного следа на способна сократить срок их окупаемости до 4-5 лет, усиливая инвестиционную привлекательность [2].

Наиболее перспективными признаны гибридные системы, комбинирующие сетевые и автономные источники. Они демонстрируют снижение общих затрат на 18-22%, сокращение времени простоя до 2 часов/год и уменьшение углеродного следа на 35-45%. Однако их успешная интеграция требует внедрения интеллектуальных систем управления (например, IoT-платформ) и адаптации под специфику нагрузок.

Для предприятий критически важно проведение энергоаудита, внедрение цифровых инструментов анализа данных и формирование гибкой стратегии, учитывающей как текущие экономические вызовы, так и долгосрочные экологические цели. В условиях глобального энергоперехода гибридные модели становятся не просто альтернативой, а необходимостью, позволяющей балансировать между стабильностью, экономией и устойчивостью.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой стандартов для гибридных систем, оценкой их эффективности в долгосрочной перспективе (10+ лет) и интеграцией новых технологий, таких как водородная энергетика и AI-оптимизация энергопотоков. Для бизнеса же ключевым шагом должен стать переход от реактивного управления энергозатратами к проактивному проектированию энергосистем, способных адаптироваться к меняющимся рыночным и экологическим требованиям.

### **Список источников**

1. Преимущества и недостатки централизованного энергоснабжения [Электронный ресурс]. URL: <https://integra-system.ru/370-preimushchestva-i-nedostatki-raznykh-sistem-elektrosnabzheniya-dlya-biznesa.html>
2. Централизованное и децентрализованное теплоснабжение [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energsovet.ru/stenergo.php?idd=153>
3. Основы и перспективы промышленного электроснабжения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elektro-expo.ru/ru/articles/24004/>
4. Автономное электроснабжение промышленных объектов [Электронный ресурс]. URL: [https://clean-energy.ru/альтернативные\\_источники-энергоснабжения/комбинированные-решения/автономное-энергоснабжение-промышленных-и-научно-исследовательских-объектов.html](https://clean-energy.ru/альтернативные_источники-энергоснабжения/комбинированные-решения/автономное-энергоснабжение-промышленных-и-научно-исследовательских-объектов.html)

© Шаповалов Д.А., Молодова И.Д., 2025

## РОБОТИЗИРОВАННЫЕ И ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ АПК

Дмитрий Андреевич Шаповалов<sup>1</sup>, Ирина Дмитриевна Молодова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,  
г. Краснодар, Россия

<sup>1</sup>[xadashiiroxa@gmail.com](mailto:xadashiiroxa@gmail.com)

<sup>2</sup>[imolodova131@gmail.com](mailto:imolodova131@gmail.com)

**Аннотация.** Статья посвящена интеграции цифровых и роботизированных систем в агропромышленном комплексе (АПК). Рассматривается использование IoT-технологий и робототехники для оптимизации производственных процессов, повышения урожайности и снижения затрат. Особое внимание уделяется перспективам роевых технологий и автономных систем для полной автоматизации ферм. Статья подчеркивает важность внедрения этих технологий для повышения эффективности и конкурентоспособности АПК в современном мире.

**Ключевые слова:** агропромышленный комплекс (АПК), цифровизация, роботизация, IoT-технологии, точное земледелие, роевые технологии, автономные системы, автоматизация ферм, эффективность производства, экологическая устойчивость.

**Для цитирования:** Шаповалов, Д.А. Роботизированные и цифровые системы АПК / Д.А. Шаповалов, И.Д. Молодова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## ROBOTIC AND DIGITAL AGRICULTURAL SYSTEMS

Dmitry Andreevich Shapovalov<sup>1</sup>, Irina Dmitrievna Molodova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kuban State Agrarian University named after I.T. Trublin, Krasnodar, Russia

<sup>1</sup>[xadashiiroxa@gmail.com](mailto:xadashiiroxa@gmail.com)

<sup>2</sup>[imolodova131@gmail.com](mailto:imolodova131@gmail.com)

**Annotation.** The article is devoted to the integration of digital and robotic systems in the agro-industrial complex. The use of IoT technologies and robotics to optimize production processes, increase productivity and reduce costs is considered. Special attention is paid to the prospects of swarm technologies and autonomous systems for full automation of farms. The article highlights the importance of implementing these technologies to increase the efficiency and competitiveness of agriculture in the modern world.

**Keywords:** agro-industrial complex, digitalization, robotization, IoT-technologies, precision agriculture, swarm technologies, autonomous systems, farm automation, production efficiency, environmental sustainability.

**For citation:** Shapovalov, D.A. Robotic and digital agricultural systems / D.A. Shapovalov, I.D. Molodova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В современном мире агропромышленный комплекс (АПК) сталкивается с серьёзными вызовами, связанными с необходимостью повышения эффективности производства и снижения воздействия на окружающую среду. Одним из ключевых направлений решения этих проблем является внедрение цифровых и роботизированных технологий. Интеграция этих технологий позволяет оптимизировать производственные процессы, повысить урожайность и снизить затраты.

*Обзор актуальности темы.*

Важность цифровизации и роботизации в АПК заключается в их способности обеспечить точное управление ресурсами и автоматизацию процессов. Использование IoT-систем, точного земледелия и робототехники позволяет фермерам принимать обоснованные решения на основе данных в режиме реального времени. Это не только повышает эффективность производства, но и способствует снижению использования химикатов и воды, что важно для экологической устойчивости [1].

Современное агропромышленное производство (АПП) активно внедряет цифровые технологии, что приводит к значительным изменениям в подходах к управлению и оптимизации процессов. Одним из ключевых направлений является использование Интернета вещей (IoT), точного земледелия и цифрового агроскаутинга, которые позволяют фермерам более эффективно управлять ресурсами и повышать урожайность.

Интернет вещей (IoT) представляет собой сеть взаимосвязанных устройств, которые могут собирать и обмениваться данными. В контексте сельского хозяйства IoT включает в себя датчики, которые устанавливаются на полях для мониторинга состояния почвы, уровня влажности, температуры и других параметров. Эти данные передаются в облачные системы для анализа, что позволяет фермерам принимать обоснованные решения о том, когда и сколько удобрений или воды необходимо использовать.

**Материалы и методы.** В ходе исследования цифровых и роботизированных систем в агропромышленном комплексе (АПК) были использованы современные технологические решения и аналитические подходы, направленные на повышение эффективности производства, автоматизацию процессов и снижение воздействия на окружающую среду [3].

В качестве материалов рассматривались:

- современные IoT-системы для мониторинга состояния почвы, растений и животных (датчики влажности, температуры, освещённости, содержания питательных веществ и др.);

- роботизированные платформы для прополки, ухода за посевами, сбора урожая и автоматизации процессов в животноводстве (например, Autonomous Laserweeder, Cognitive Agro Pilot, роботы-дояры);
- беспилотные летательные аппараты (дроны) для аэрофотосъемки, дистанционного мониторинга и анализа состояния посевов;
- программные комплексы для сбора, хранения и обработки больших данных, а также аналитические платформы для поддержки принятия решений в режиме реального времени;
- системы точного земледелия, использующие GPS и спутниковые снимки для оптимизации посева, внесения удобрений и обработки растений.

Методы исследования включали:

1. Анализ литературы и отраслевого опыта – изучение научных публикаций, патентов, технической документации и кейсов внедрения цифровых и роботизированных решений в АПК.

2. Экспериментальные исследования и пилотные проекты – апробация IoT-сетей, роботизированных платформ и дронов на реальных сельскохозяйственных предприятиях; сбор и анализ данных о состоянии почвы, растений, животных и производственных процессов.

3. Моделирование и обработка данных – применение методов машинного обучения и анализа больших данных для прогнозирования урожайности, выявления заболеваний, оптимизации маршрутов роботов и систем орошения.

4. Сравнительный анализ эффективности – сопоставление традиционных и цифровых подходов по ключевым показателям: урожайность, затраты на ресурсы, производительность труда, уровень потерь и экологическое воздействие.

5. Экспертные интервью и кейс-стади – опросы специалистов, внедривших цифровые и роботизированные технологии, анализ успешных практик отечественных и зарубежных предприятий.

6. Оценка экологического эффекта – анализ влияния внедрения цифровых систем на сокращение использования химикатов, воды и топлива, снижение выбросов и потерь продукции, а также на повышение экологической устойчивости производства.

В исследовании особое внимание уделялось интеграции данных, получаемых от IoT-датчиков, с роботизированными системами и автоматизированными процессами. Аналитические платформы позволяли обрабатывать информацию в режиме реального времени и формировать управляющие сигналы для роботов, обеспечивая точное и эффективное управление ресурсами.

Исследовались перспективы внедрения роевых технологий (группы роботов, работающих совместно) и полностью автономных систем, способных выполнять все этапы сельскохозяйственного производства без участия человека. Оценивались требования к инфраструктуре, обучению персонала и устойчивости новых решений к внешним воздействиям.

Комплексный подход, объединяющий инженерные, агротехнические и информационные методы, позволил объективно оценить влияние цифровизации

и роботизации на эффективность, устойчивость и инновационное развитие агропромышленного комплекса.

**Результаты исследования.** В ходе исследования было установлено, что внедрение цифровых и роботизированных технологий в агропромышленном комплексе (АПК) существенно повышает эффективность производства, способствует оптимизации использования ресурсов и снижает негативное воздействие на окружающую среду [4].

Применение IoT-систем, точного земледелия и цифрового агроскаутинга позволяет фермерам получать объективные данные о состоянии почвы, растений и животных в режиме реального времени. Благодаря этому можно принимать обоснованные решения по поливу, внесению удобрений и средств защиты растений, что приводит к повышению урожайности и снижению потерь продукции. Использование GPS-технологий и спутниковых снимков помогает точно определять участки полей, требующие обработки, и минимизировать расход ресурсов.

Роботизация также оказывает значительное влияние на производственные процессы. Роботы для прополки, такие как Autonomous Laserweeder, позволяют эффективно удалять сорняки без применения химикатов, что сохраняет качество почвы и способствует экологической устойчивости. Роботы-сборщики, например Cognitive Agro Pilot, обеспечивают автоматизированный сбор урожая, оптимизируя траекторию работы и минимизируя потери продукции. Наземные роботы и беспилотные летательные аппараты (БПЛА) используются для мониторинга состояния посевов и животных, выявления заболеваний и стрессов у растений на ранних стадиях, что позволяет оперативно реагировать на проблемы и предотвращать их распространение. В животноводстве роботы применяются для автоматического доения, кормления и уборки, что снижает нагрузку на персонал и повышает качество продукции.

Внедрение цифровых и роботизированных систем приводит к снижению доли ручного труда, повышению точности и скорости выполнения операций, а также оптимизации использования ресурсов. Роботы способны работать круглосуточно, выполнять монотонные и тяжёлые задачи, освобождая людей для более сложной работы. Это способствует не только росту производительности, но и улучшению условий труда.

Интеграция данных, получаемых с IoT-датчиков, с роботизированными системами и автоматизированными процессами позволяет реализовать автоматическое управление такими операциями, как полив, внесение удобрений и обработка растений от болезней и вредителей. Система может самостоятельно активировать полив только на тех участках, где это необходимо, или направлять роботов для точечной обработки посевов, что снижает расход ресурсов и минимизирует воздействие на окружающую среду [2].

В перспективе развитие роевых технологий и полностью автономных систем откроет возможности для полной автоматизации всех этапов сельскохозяйственного производства. Роевые технологии предполагают использование группы роботов, работающих слаженно для выполнения сложных задач, таких как посев, прополка, сбор урожая и мониторинг состояния растений.

Автономные системы смогут выполнять задачи без участия человека, используя данные с датчиков и прогнозы погоды для оптимизации своей работы.

Несмотря на очевидные преимущества, на пути к полной автоматизации остаются определённые препятствия: необходимость разработки надёжных и доступных роботизированных систем, создание инфраструктуры для их эксплуатации, а также обучение персонала. Однако результаты исследования показывают, что интеграция цифровых и роботизированных технологий уже сегодня обеспечивает значительный рост производительности, снижение затрат и формирует основу для экологически устойчивого и инновационного развития агропромышленного комплекса.

**Заключение.** Проведённое исследование подтверждает, что внедрение цифровых и роботизированных технологий в агропромышленном комплексе (АПК) является одним из ключевых факторов повышения эффективности, устойчивости и экологической безопасности современного сельского хозяйства. Использование IoT-систем, точного земледелия, цифрового агроскаутинга и робототехники позволяет оптимизировать производственные процессы, повысить урожайность и снизить затраты за счёт более точного управления ресурсами и автоматизации рутинных операций.

Интеграция данных, собираемых с помощью датчиков, дронов и мобильных приложений, с возможностями роботизированных систем обеспечивает фермерам доступ к объективной аналитике и инструментам для принятия обоснованных решений в режиме реального времени. Это способствует не только экономии воды, удобрений и химикатов, но и минимизации негативного воздействия на окружающую среду, что особенно важно в условиях глобальных экологических вызовов.

Роботизация позволяет автоматизировать трудоёмкие процессы, такие как прополка, сбор урожая, мониторинг состояния посевов и животных, а также уход за животными. Благодаря этому снижается доля ручного труда, повышается точность и скорость выполнения операций, улучшаются условия работы персонала и качество конечной продукции.

Перспективы дальнейшего развития связаны с внедрением роевых технологий и полностью автономных систем, способных функционировать без участия человека и обеспечивать полный цикл сельскохозяйственного производства. Это открывает новые возможности для создания высокотехнологичных, устойчивых и конкурентоспособных агропредприятий будущего.

В то же время для реализации потенциала цифровизации и роботизации АПК необходимо решить ряд задач, связанных с развитием инфраструктуры, снижением стоимости оборудования, обучением специалистов и адаптацией технологий к различным климатическим и производственным условиям. Несмотря на существующие вызовы, преимущества цифровых и роботизированных систем очевидны, и их интеграция становится неотъемлемой частью стратегии устойчивого развития сельского хозяйства.

### **Список источников**

1. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в

агропромышленном комплексе / Ю.Ф. Лачуга [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 6. – С. 2-9.

2. Романова, Л.В. Развитие агропромышленного комплекса в условиях цифровой экономики / Л.В. Романова, И.Г. Шашкова // Фундаментальные исследования. – 2020. – № 11. – С. 152-156.

3. Коновалов, А.С. Роботизация агропромышленного комплекса: актуальность, перспективы и проблемы развития / А.С. Коновалов, И.М. Кублин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2020. – № 2. – С. 75-86.

4. Нафиков, М.М. Применение цифровых технологий и роботов в АПК / М.М. Нафиков, А.Р. Нигматзянов, И.М. Насибуллин // Основные направления кардинального роста эффективности АПК в условиях цифровизации: Международная научно-практическая конференция (23-24 мая 2019 г.). – 2019. – № 13. – С. 145-150.

© Шаповалов Д.А., Молодова И.Д., 2025

Образовательная статья  
УДК 004.8:621.3:378.147

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭНЕРГЕТИКЕ И ИХ ИНТЕГРАЦИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС ДЛЯ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ**

**Асел Нурбулатовна Шатекова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Казахстан, ЗКО, г.Уральск,

<sup>1</sup>[kukes777@mail.ru](mailto:kukes777@mail.ru), [orcid 0009-0008-1347-3399](https://orcid.org/0009-0008-1347-3399)

**Аннотация.** В статье рассматриваются современные подходы к моделированию систем искусственного интеллекта (ИИ) в энергетике и возможности их интеграции в образовательный процесс подготовки будущих специалистов энергетического профиля. Отмечается, что развитие цифровых технологий, в том числе методов машинного обучения и интеллектуального анализа данных, позволяет создавать эффективные модели прогнозирования и управления энергетическими системами. Особое внимание уделяется вопросу внедрения подобных моделей в учебные курсы технических вузов с целью формирования у студентов практических навыков работы с ИИ в контексте энергетической безопасности, устойчивости и эффективности энергосистем. Предложены методические подходы к построению учебных модулей, включающих элементы цифрового моделирования, симуляции и анализа данных с использованием современных программных средств. Подчеркивается значимость междисциплинарного подхода при подготовке инженерных кадров нового поколения.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, энергетика, моделирование, цифровые технологии, учебный процесс, инженерное образование, симуляция,



интеллектуальные системы, подготовка специалистов, энергетическая безопасность.

*Для цитирования:* Шатекова, А.Н. Моделирование систем искусственного интеллекта в энергетике и их интеграция в учебный процесс для будущих специалистов / А.Н Шатекова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов:ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## MODELING OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN THE ENERGY SECTOR AND THEIR INTEGRATION INTO THE EDUCATIONAL PROCESS FOR FUTURE SPECIALISTS

Asel Nurbulatovna Shatekova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>West Kazakhstan Innovative and Technological University, Kazakhstan, WKO, Uralsk

<sup>1</sup>[kukesa777@mail.ru](mailto:kukesa777@mail.ru), [orcid 0009-0008-1347-3399](https://orcid.org/0009-0008-1347-3399)

**Abstract.** The article explores modern approaches to the modeling of artificial intelligence (AI) systems in the energy sector and the possibilities of their integration into the educational process for training future energy specialists. It is noted that the development of digital technologies, including machine learning methods and intelligent data analysis, enables the creation of effective models for forecasting and managing energy systems. Special attention is given to the integration of such models into the curricula of technical universities, aiming to develop students' practical skills in working with AI in the context of energy security, sustainability, and system efficiency. Methodological approaches are proposed for designing educational modules that include elements of digital modeling, simulation, and data analysis using modern software tools. The importance of an interdisciplinary approach in the training of a new generation of engineering professionals is emphasized.

**Keywords:** artificial intelligence, energy sector, modeling, digital technologies, educational process, engineering education, simulation, intelligent systems, specialist training, energy security.

**For citation:** Shatekova, A.N. Modeling of artificial intelligence systems in the energy sector and their integration into the educational process for future specialists / A.N. Shatekova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Системы искусственного интеллекта (ИИ) прочно входят в повседневную жизнь, охватывая широкий спектр областей, включая энергетику. В последние десятилетия ИИ значительно повысил эффективность и устойчивость энергетических сетей, обеспечив более точное прогнозирование потребности в энергии, оптимизацию распределения ресурсов и повышение

надежности систем. Важно отметить, что для подготовки будущих специалистов в этой области необходимо внедрять современные подходы к обучению, такие как моделирование ИИ-систем в образовательный процесс. В данной статье рассматриваются ключевые аспекты моделирования ИИ в энергетике и способы интеграции этих технологий в учебный процесс.

***Материалы и методы.** Роль систем искусственного интеллекта в энергетике*

ИИ в энергетике используется для решения множества задач, включая прогнозирование потребностей в энергии, диагностику неисправностей, автоматизацию управления и оптимизацию распределения ресурсов. Применение ИИ позволяет существенно повысить эффективность работы энергетических сетей, снижая вероятность сбоев и повышая уровень управления.

Одной из ключевых технологий является использование машинного обучения для анализа больших данных, поступающих от датчиков, установленных на различных элементах энергосетей. Эти данные включают в себя информацию о состоянии генераторов, трансформаторов, распределительных устройств, а также погодные условия, которые могут влиять на потребление энергии. На основе этих данных ИИ-системы могут прогнозировать будущие потребности в энергии, предсказывать возможные перегрузки и принимать решения по оптимизации работы сети в реальном времени.

Современные технологии ИИ также широко используются для улучшения устойчивости энергосетей. Например, они могут автоматически обнаруживать аномалии, связанные с неисправностями оборудования, и принимать меры по их устранению до того, как произойдут серьезные сбои в подаче энергии. Все это позволяет значительно повысить надежность и экономичность работы энергетических систем.

***Моделирование систем ИИ в образовательном процессе***

В связи с важностью применения ИИ в энергетике и с учетом быстро развивающихся технологий, необходима интеграция таких систем в учебный процесс подготовки специалистов. Студенты, обучающиеся на направлениях, связанных с энергетикой, должны иметь возможность работать с реальными цифровыми моделями, которые помогут им понять, как функционируют и оптимизируются энергетические системы с использованием ИИ.

***1. Использование цифровых тренажеров и симуляторов***

Одним из наиболее эффективных методов обучения является использование цифровых тренажеров и симуляторов, которые позволяют студентам моделировать работу энергетических систем в различных условиях. Симуляторы могут быть настроены на использование ИИ для управления энергетическими потоками, прогнозирования нагрузки на сеть и оптимизации распределения ресурсов.

Например, обучающие платформы могут имитировать работу «умных» сетей, на которых происходит автоматическое распределение энергии в зависимости от потребностей различных пользователей и состояния сети. Студенты могут экспериментировать с различными сценариями, такими как

изменение потребления энергии или неожиданное повреждение оборудования, и наблюдать, как ИИ-система реагирует на эти изменения. Это не только дает студентам глубокое понимание работы энергетических систем, но и помогает развить навыки принятия решений в условиях неопределенности.

## *2. Проектирование и тестирование ИИ-систем в энергетике*

Кроме того, в рамках образовательного процесса студенты могут работать над проектами по разработке и тестированию ИИ-систем для энергетических приложений. Это может включать создание алгоритмов для прогнозирования нагрузки на сеть, разработки систем для мониторинга и анализа состояния оборудования, а также создания решений для оптимизации распределения энергии. Такой подход позволяет студентам погрузиться в практическую работу с ИИ, применяя теоретические знания на практике.

Процесс разработки и тестирования ИИ-систем дает студентам возможность понять все этапы создания таких решений – от сбора и обработки данных до разработки моделей машинного обучения и их интеграции в систему управления энергетикой. Это не только помогает им развить необходимые технические навыки, но и знакомит с современными инструментами и технологиями, которые в будущем будут востребованы на рынке труда.

## *3. Виртуальные лаборатории и работа с большими данными*

Одной из ключевых технологий для обучения в сфере ИТ и энергетики являются виртуальные лаборатории, которые позволяют студентам работать с большими данными и моделировать различные сценарии. Виртуальные лаборатории могут включать в себя инструменты для анализа данных, собранных с реальных энергетических объектов, а также инструменты для моделирования поведения сети и применения ИИ для оптимизации этих процессов. Студенты могут обучаться методам анализа данных, использующим алгоритмы машинного обучения, и получать опыт работы с реальными данными.

Например, в рамках виртуальных лабораторий студенты могут анализировать исторические данные об энергопотреблении и разрабатывать модели для предсказания потребностей в энергии на основе различных факторов, таких как погода, день недели и другие переменные. Это дает студентам не только знания о том, как работает ИИ, но и практические навыки, которые они смогут применить в реальной жизни.

## *Преимущества интеграции ИИ в учебный процесс*

**Результаты исследования.** Интеграция систем ИИ в учебный процесс приносит множество преимуществ как для студентов, так и для образовательных учреждений. Во-первых, это позволяет создать более реалистичные и практико-ориентированные условия для обучения, которые более точно отражают реальные задачи, с которыми будут сталкиваться специалисты в своей профессиональной деятельности. Во-вторых, использование ИИ в обучении помогает студентам развивать критическое мышление, поскольку они могут не только работать с готовыми решениями, но и разрабатывать свои собственные модели и алгоритмы, тестировать их в различных сценариях и анализировать полученные результаты. Такой подход способствует глубокому освоению предмета и подготовке высококвалифицированных специалистов.

Кроме того, благодаря моделированию ИИ-систем студенты могут лучше понимать не только технические аспекты работы с энергосетями, но и важность обеспечения безопасности, защиты данных и устойчивости систем. В условиях растущих угроз кибератак и других рисков в энергетике это является особенно важным аспектом.

**Заключение.** Моделирование ИИ-систем в энергетике и их интеграция в учебный процесс играет важную роль в подготовке будущих специалистов. Современные методы обучения, такие как использование цифровых тренажеров, виртуальных лабораторий и проектирование ИИ-систем, позволяют студентам получить не только теоретические знания, но и практические навыки, которые будут востребованы на рынке труда. Важно, чтобы образовательные учреждения продолжали развивать эти методы, учитывая стремительное развитие технологий и потребности энергетической отрасли.

### Список источников

1. Литвиненко, Ю.А. Искусственный интеллект: концепции, алгоритмы, приложения / Ю.А. Литвиненко, И.С. Григорьев // М.: Лаборатория знаний, 2018.
2. Тихонов, В.И. Искусственный интеллект в промышленности и энергетике / В.И. Тихонов // М.: Энергия, 2017.
3. Герасимов, И.М. Интеллектуальные системы управления в энергетике / И.М. Герасимов, С.В. Соколов // М.: Наука, 2019.
4. Захаров, А.В. Кибербезопасность и защита информационных систем в энергетике / А.В. Захаров, В.И. Егоров // М.: Энергетика, 2020.
5. Левин, В.В. Безопасность интеллектуальных энергетических систем / В.В. Левин, М.И. Беляев // М.: ИНТЕРТЕХ, 2018.
6. Радионов, А.С. Анализ и защита энергетических систем от киберугроз / А.С. Радионов // М.: Юрайт, 2018.
7. Калашников, А.Н. Интеллектуальные технологии в управлении энергоснабжением / А.Н. Калашников, С.П. Мищенко // М.: Энергетика, 2017.
8. Бенедиктов, В.В. Моделирование интеллектуальных энергетических систем / В.В. Бенедиктов // М.: Наука, 2019.
9. Сидоров, В.Н. Применение искусственного интеллекта в энергетике / В.Н. Сидоров, В.М. Козлов // М.: Академия, 2020.
10. Иванов, С.А. Модели и методы искусственного интеллекта для энергетических систем / С.А. Иванов, А.И. Смирнов // М.: Энергоатомиздат, 2018.

© Шатекова А.Н., 2025

## ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

Сакен Койшыбаевич Шерьязов<sup>1</sup>, Анель Кайратовна Касимова<sup>2</sup>, Динара Армановна Дербисалина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

<sup>2,3</sup>Евразийский национальный университет Л.Н.Гумилева

<sup>1</sup>[sakenu@yandex.ru](mailto:sakenu@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8795-5114>

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности проектирования, монтажа и эксплуатации кабельных линий среднего напряжения (6-35 кВ). Проанализированы конструктивные характеристики кабелей, методы прокладки, а также вопросы заземления экранов, включая схемы двустороннего и одностороннего заземления, транспозиции и их влияние на потери мощности и надежность сети.

**Ключевые слова:** кабельные линии, кабель, изоляция, экран, монтаж кабельной линии, потери мощности, заземление, транспозиция, прокладка кабеля, коррозия, механические повреждения.

**Для цитирования:** Шерьязов, С.К. Особенности выполнения кабельной линии в электрических сетях среднего напряжения / С.К. Шерьязов, А.К. Касимова, Д.А. Дербисалина // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## FEATURES OF CABLE LINE CONSTRUCTION IN MEDIUM VOLTAGE ELECTRIC NETWORKS

Saken Koishybaevich Sheryazov<sup>1</sup>, Anel Kairatovna Kasimova<sup>2</sup>, Dinara Armanovna Derbisalina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>South Ural State Agrarian University.

<sup>2,3</sup>L.N.Gumilyov Eurasian National University

<sup>1</sup>[sakenu@yandex.ru](mailto:sakenu@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8795-5114>

**Annotation.** The article discusses the features of the design, installation and operation of medium voltage (6-35 kV) cable lines. The design characteristics of cables, laying methods, and issues of grounding screens, including two-way and one-way grounding schemes, transpositions, and their impact on power losses and network reliability, are analyzed.

**Keywords:** cable lines, cable, insulation, shield, cable line installation, power loss, grounding, transposition, cable laying, corrosion, mechanical damage.

**For citation:** Sheryazov, S.K. Features of cable line construction in medium-voltage electric networks / S.K. Sherzov, A.K. Kasimova, D.A. Derbisalina // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Кабельные линии в электрических сетях среднего напряжения – это, можно сказать, золотая середина между высоковольтными магистралями и низковольтными внутренними проводками. Их применяют там, где воздушные линии либо невозможны, либо нежелательны. Например, в городах, промышленных зонах или на территориях с высокой плотностью застройки. Однако прокладка таких линий представляет собой сложную задачу, сопровождающуюся множеством технических нюансов.

Прежде всего, важно правильно выбрать кабель. Для сетей 6-35 кВ используются многослойные кабели с различными типами жил, изоляции и защиты.

Наиболее перспективными является кабель с медными жилами, которые гибкие и долговечные, но стоят дорого. Алюминиевые обладают меньшей массой и более низкой стоимостью, однако уступают по механической прочности другим.

В качестве изоляции используются современные материалы с высокой электрической прочностью и температурой нагрева. Наиболее широкое распространение находит сшитый полиэтилен (СПЭ), который выдерживает высокие температуры и механическое воздействие [1].

Выполнение кабеля с необходимой защитой является важным требованием. Для этого предусматривают специальный экран и броня. Экран предназначен для снижения влияния электрических полей на сам кабель и защиты от возможного перенапряжения, тогда как броня обеспечивает механическую защиту, особенно при подземной прокладке.

**Материалы и методы.** Способы прокладки бывают разные, и каждый имеет свои особенности. В земле самый распространённый вариант, но он требует подготовки траншей, защиты от влаги и механических повреждений. Кабельные каналы и коллекторы удобны для городов, но требуют вентиляции и пожарозащиты. Воздушная прокладка встречается реже, но может быть полезна, например, на мостах. Вода самый специфичный случай, используемый при пересечении рек и водоёмов.

Монтаж кабельной линии требует особого внимания, особенно при соединении и оконцевании. Используются специальные муфты и наконечники и, если подобрать их неправильно, это может привести к серьёзным последствиям, вплоть до пробоя изоляции. Нужно учитывать минимальные радиусы изгиба, чтобы не повредить изоляцию, правильно заземлять экраны, чтобы избежать перегрева, и следить за влажностью, особенно если используется бумажная изоляция.

Для снижения потерь в экранах кабельных линий применяют два основных метода: заземление экранов с одной стороны и их транспозиция. Возможные схемы заземления включают [2]:

- двустороннее заземление;
- одностороннее заземление;
- двустороннее заземление с транспозицией.

Двустороннее заземление приводит к возникновению в экранах токов промышленной частоты, вызывающих потери мощности. Это требует снижения токовой нагрузки, ограничивая пропускную способность кабеля, а также приводит к дополнительным эксплуатационным затратам. В ряде случаев такие потери делают двустороннее заземление неприемлемым, что требует применения одностороннего заземления или транспозиции.

При простом двустороннем заземлении экранов, степень использования пропускной способности кабеля и стоимость потерь в экранах удобно определять через  $D_p$ , как отношение потерь мощности в экране к потерям мощности в жиле:

$$D_p = \frac{R_{\text{э}} / R_{\text{ж}}}{\left[ 1 + \left( \frac{R_{\text{э}}}{X} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

где  $R_{\text{э}}$  и  $R_{\text{ж}}$  – активное сопротивление экрана и жилы, Ом;  $X$  – индуктивное сопротивление экрана, Ом.

Одностороннее заземление эффективно лишь для коротких кабелей (до нескольких сотен метров), поскольку приводит к появлению напряжения на экранах. Для более длинных линий используют транспозицию, при которой напряжение снижается. Однако транспозиция – сложное техническое решение, требующее установки специальных муфт и коробок транспозиции, а также организации их заземления [2].

Отсутствие нормативных требований к заземляющим устройствам транспозиционных коробок вынуждает проектировщиков ориентироваться на нормы ПУЭ, ограничивающие сопротивление заземления до 0,5 Ом. Однако в условиях плотной городской застройки такое значение часто трудно обеспечить. Тогда для кабельных сетей 6-35 кВ актуальна разработка методики расчета оптимального сопротивления заземления транспозиционных коробок.

В настоящее время на многих кабельных линиях 6-35 кВ, выполненных однофазными кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена, проектные и эксплуатирующие организации идут на применение транспозиции экранов для снижения потери активной мощности в экранах и повышения длительно допустимый ток линии. Для решения этих задач достаточно одного полного цикла транспозиции, но для снижения напряжения, наведенных на экраны относительно земли, порой надо увеличить число циклов до двух или трех.

Перекрестное соединение экранов выполняется в коробках транспозиции (КТ-ОПН), а глухое заземление выполняется в концевых коробках (КК) и, если на линии несколько полных циклов, то еще оно делается и в промежуточных коробках (КП). Муфты кабеля соединяются с коробками при помощи проводов марки ППС. Если коробки КК обычно устанавливаются на территории распределительного устройства, то коробки КТ-ОПН и КП размещаются по трассе линии в специальных колодцах, требующих организации заземляющего устройства (ЗУ) [3].



На рис., в качестве примера показан один полный цикл транспозиции экрана. Как видим экран фазы А, перемещается с верхнего положения в среднюю, а затем в нижнее положение, проходя таким образом полный цикл в расположении экрана относительно фазных проводов. Также экраны остальных фаз В и С проходят полный цикл размещения в 3-х фазной сети

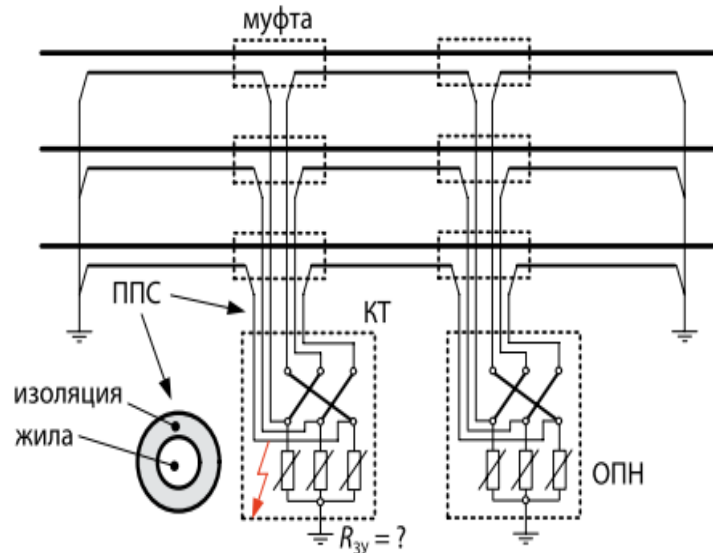


Рисунок – Один полный цикл транспозиции экранов однофазных кабелей

Перед пуском кабель обязательно испытывают. Проверяют его на прочность изоляции, проводят диагностику частичных разрядов, чтобы заранее выявить возможные дефекты, и используют тепловизионный контроль, который помогает обнаружить перегрев в местах соединений. После ввода линии в эксплуатацию за ней нужно следить: регулярно наблюдать температуру, проверять изоляцию на наличие частичных разрядов, тестировать герметичность и регулярно проводить осмотры в местах, где возможны механические повреждения.

Прокладка кабельной линии среднего напряжения – задача не самая простая, но крайне важная. Грамотный выбор кабеля, его правильная укладка, защита и регулярный контроль всё это влияет на надёжность сети. Если пренебречь хоть одним из этапов, последствия могут быть серьёзными от локальных отключений до крупных аварий. Следовательно, данный процесс требует грамотного подхода и привлечения квалифицированных специалистов.

Но даже если выбрать идеальный кабель, его ещё нужно правильно уложить и защитить. Главные угрозы это температура, механические повреждения и коррозия.

В жару кабель перегревается, зимой изоляция становится хрупкой. Опыт показывает, что 70% всех повреждений это ошибки при прокладке. Механические повреждения, такие как изломы, порезы или вмятины, могут возникать при неправильной прокладке кабеля или в результате внешних воздействий, например, при проведении земляных работ [4].

Воздействие влаги и химических веществ в грунте способствует коррозии экранирующих материалов, что ослабляет их защитные свойства. Коррозия протекает незаметно до момента начала разрушения оболочки. Чтобы избежать проблем, используют антикоррозионные покрытия, защитные трубы и системы мониторинга.

В ходе эксплуатации важно проводить регулярные осмотры и профилактические работы для выявления повреждений на ранних стадиях. Экран со временем изнашивается и может привести к пробоям и выходу линии из строя.

**Результаты исследования.** Замыкания на экран это однофазные повреждения, при которых одна из жил кабеля замыкается на экранирующую оболочку. Такое повреждение может происходить по нескольким причинам: старение изоляции, механические повреждения или плохое качество материалов. В результате образуется замыкание, что может вызвать перенапряжение и разрушение изоляции.

**Заключение.** Профилактика подобных ситуаций заключается в регулярной проверке состояния изоляции и экрана, а также в использовании материалов, устойчивых к старению и механическим воздействиям [5]. Кроме того, важно соблюдать технологию прокладки кабелей, чтобы минимизировать вероятность механических повреждений.

### Список источников

1. Дмитриев, М. Проектирование и монтаж узлов транспозиции экранов // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. – 2015. – № 2. – С. 68-70.
2. СТО 56947007-29.060.20.103-201 Силовые кабели. Методика расчета устройств заземления экранов, защиты от перенапряжений изоляции силовых кабелей на напряжение 110-500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена.
3. Карякин, Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник / Р.Н. Карякин. – 2-е изд. – М.: Энергосервис, 2006. – 520 с.
4. Дмитриев, М. Выбор и реализация схем заземления экранов однофазных кабелей 6-500 кВ // Журнал «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение». – 2013. – № 6. – С. 90-97.
5. ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

© Шерьязов С.К., Касимова А.К., Дербисалина Д.А., 2025

Научная статья  
УДК 631.10

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНКУБАТОРОВ

Татьяна Александровна Широбокова<sup>1</sup>, Иван Александрович Александров<sup>2</sup>,  
Людмила Анатольевна Шувалова<sup>3</sup>, Ирина Андреевна Баранова<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Россия

<sup>1</sup>[9048336842@mail.ru](mailto:9048336842@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматривается и приводится сравнительный анализ моделей инкубаторов. Определили основные составляющие инкубатора. Определено, для эффективной работы инкубационной установки и повышенного процентного содержания вывода птицы необходим контроль концентрации углекислого газа.

**Ключевые слова:** концентрация углекислого газа, инкубационная установка, птицеводство, яйцо, продуктивность.

**Для цитирования:** Широбокова, Т.А. Оценка эффективности инкубаторов / Т.А. Широбокова, И.А. Александров, Л.А. Шувалова, И.А. Баранова // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF INCUBATORS

**Tatyana Aleksandrovna Shirobokova<sup>1</sup>, Ivan Aleksandrovich Aleksandrov<sup>2</sup>, Lyudmila Anatolyevna Shuvalova<sup>3</sup>, Irina Andreevna Baranova<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt State Agrarian University" Izhevsk, Russia

<sup>1</sup>[9048336842@mail.ru](mailto:9048336842@mail.ru)

**Abstract.** The article examines and provides a comparative analysis of incubator models. The main components of the incubator were determined. It was determined that for the efficient operation of the incubator and an increased percentage of bird hatching, it is necessary to control the concentration of carbon dioxide.

**Keywords:** carbon dioxide concentration, incubation unit, poultry farming, egg, productivity.

**For citation:** Shirobokova, T.A. Evaluation of the effectiveness of incubators / T.A. Shirobokova, I.A. Aleksandrov, L.A. Shuvalova, I.A. Baranova // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Птицеводство является перспективной и динамичной отраслью в сельском хозяйстве Российской Федерации. В России удельный вес продукции птицеводства в общем объеме производства животного белка составляет 42% (мясо – 27,7%, яйцо – 14,3%). Инкубация яиц является одним из первых и наиболее важных технологических процессов в организации производства яиц и мяса птицы.

**Цель** – создание оптимальных условий для выведения молодняка.

**Задачи:** поддержание стабильной среды в инкубационной камере.

**Основная часть.** Уже ни для кого не секрет, что в наше время – век информационных технологий – население земного шара стало забывать о сохранении экологии, и это стало отображаться на здоровье человека. В результате получили то, что ну никак не хотели – это возникновение аллергических реакций, в том числе и на продукты питания.

Мясо птицы считается наименее аллергенным продуктом. Кроме мяса, субпродуктов и яиц, птица дает еще пух, перо, а также помет для последующей

его переработки и дальнейшего его использования в сельском хозяйстве. Поэтому инкубация яиц становится важным звеном в технологическом процессе птицеводческих хозяйств. Для того чтобы получать полноценную здоровую птицу из инкубационных яиц, необходимо во время инкубации соблюдать все гигиенические условия. В отличие от других животных, у птиц значительная часть эмбрионального развития происходит вне материнского организма, что дает возможность не только контролировать рост и развитие зародыша, но и управлять этим процессом путем изменения режима инкубации. При использовании искусственной инкубации можно получать молодняк птицы круглый год [2].

Основными факторами, влияющими на развитие зародыша, во время инкубации, является температурно-влажностный режим. В настоящее время достаточно широко используют бытовые и профессиональные инкубаторы. Для того чтобы получать полноценную здоровую птицу из инкубационных яиц, необходимо во время инкубации соблюдать все гигиенические условия

**Материалы и методы.** Так как в настоящее время достаточно широко используют бытовые и профессиональные инкубаторы, поэтому режим инкубации продолжают совершенствовать согласно основным закономерностям эмбрионального развития птицы [7].

У курицы различают три периода развития зародыша: собственно зародышевый, предплодный и плодный. Зародышевый период начинается с момента оплодотворения яйца и заканчивается к концу седьмых суток развития зародыша при инкубации. За это время происходит закладка почти всех систем органов. Вес белковой оболочки значительно уменьшается вследствие перехода воды и растворимых в ней минеральных веществ в желток. Предплодный период продолжается с восьмых по двенадцатые сутки инкубации. За это время происходит интенсивный органогенез, завершающийся формированием раннего плода [3].

Плодный период происходит с четырнадцатых по двадцатые сутки. Он характеризуется наиболее быстрым ростом постоянных органов эмбриона, питание белком, растворённым в амниотической жидкости, выделение через метанефрос мочевой кислоты, расцвет аллантаоисного дыхания.

Температура является одним из важных факторов режима инкубации. Развитие зародыша птиц начинается при температуре окружающего воздуха 27-43°C. Поэтому хранить инкубационные яйца в обычных помещениях нельзя, особенно летом, потому что может начаться эмбриональное развитие, но зародыши вскоре погибнут из-за недостатка тепла, которое необходимо для нормального развития эмбриона. При более низкой по сравнению с оптимальной температурой развитие зародыша замедляется, срок инкубации растягивается, молодняк выводится слабый. Высокая же температура вызывает усиленный рост и развитие эмбрионов в начале инкубации и повышает отход их в конце. Птенцы выводятся раньше нормального срока, и чаще всего, они мелкие, щуплые и слабые [4].

Относительная влажность также влияет на развитие эмбриона, особенно на обогрев яиц и испарение ими влаги. Низкая влажность неблагоприятна, особенно

в начале инкубации. Она может привести к чрезмерному выделению влаги эмбрионом, что скажется на развитии. Значительное выделение яйцами влаги может вызвать водное голодание зародыша и уменьшить переход воды из белка в желток. В конце инкубации в выводной период низкая влажность ухудшает теплоотдачу и ведет к быстрому высыханию подскорлупных оболочек. Они становятся очень плотными, и цыплята погибают, не сумев прорвать их. Очень высокая влажность тоже неблагоприятно сказывается на развитии зародыша. Она приводит к тому, что к концу инкубации в оболочках зародыша остается много влаги, что мешает проклевыванию и часто вызывает гибель зародыша. Также избыточная влажность способствует развитию в инкубаторе и на скорлупе яиц бактерий и плесневых грибов [5].

В табл. 1 приведены основные параметры инкубации.

Таблица 1 – Температурно-влажностный режим в разные сроки инкубации

| Период развития, сут. | Температура, °С | Влажность, % |
|-----------------------|-----------------|--------------|
| 0-2                   | 38,0            | 66,0         |
| 3-10                  | 37,8            | 52,5         |
| 11-16                 | 37,5            | 47,0         |
| 17-19                 | 37,2            | 47,0         |
| 20-21                 | 36,9-37,0       | 67,5         |

Согласно данным таблицы, температура и относительная влажность в период инкубации варьирует. Варьирование температуры воздуха составляет в пределах не более 1 градуса Цельсия, колебания влажности – в среднем, в пределах 20%. Снижение влажности воздуха во второй период инкубации связан с тем, что по мере развития эмбриона больше выделяется тепла и влаги. Однако придерживаться таких рекомендаций достаточно сложно.

Температура и влажность не должны быть одинаковыми на протяжении всего процесса инкубации. После закладки яиц необходим тщательный обогрев и повышенная влажность. К концу инкубации, когда замедляются обменные процессы зародыша, у птенцов появляется собственное физиологическое тепло, поэтому температуру и влажность следует понизить. Перед вылуплением птенцов, следует повысить влажность, поскольку подскорлупные оболочки могут пересохнуть [6].

В настоящее время достаточно широко используют бытовые и профессиональные инкубаторы, поэтому режим инкубации продолжают совершенствовать согласно основным закономерностям эмбрионального развития птицы. На рис. 1 представлена классификация инкубаторов.

Для того чтобы получать полноценную здоровую птицу из инкубационных яиц, необходимо во время инкубации соблюдать все гигиенические условия.

Устройства, в которых может происходить инкубация 500-1000 куриных яиц одновременно, относят к профессиональным.

На рис. 2 и рис. 3 изображен ряд инкубаторов, вместимостью более 500 куриных яиц [2, 4, 5]. В табл. 2 представлена сравнительная информация рассматриваемых инкубаторов.

Таблица 2 – Сравнение инкубаторов

| Модель инкубатора   | Вместимость (куриных яиц), шт | Автоматическое поддержание температуры и влажности | Автоматический переворот яиц | Звуковой сигнал при отклонении заданных параметров | Резервное питание | Контроль концентрации CO <sub>2</sub> |
|---------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| «Норма РЕЙС» [2]    | 625                           | +                                                  | +                            | +                                                  | –                 | –                                     |
| «БЛИЦ База-520» [2] | 520                           | +                                                  | +                            | +                                                  | –                 | –                                     |
| «Рэмил-400Ц» [4]    | 560                           | +                                                  | +                            | С<br>ВОМОЖНОСТЬЮ<br>ПОДКЛЮЧЕНИЯ                    | –                 | –                                     |
| «NBF-600» [5]       | 600                           | +                                                  | +                            | +                                                  | –                 | –                                     |

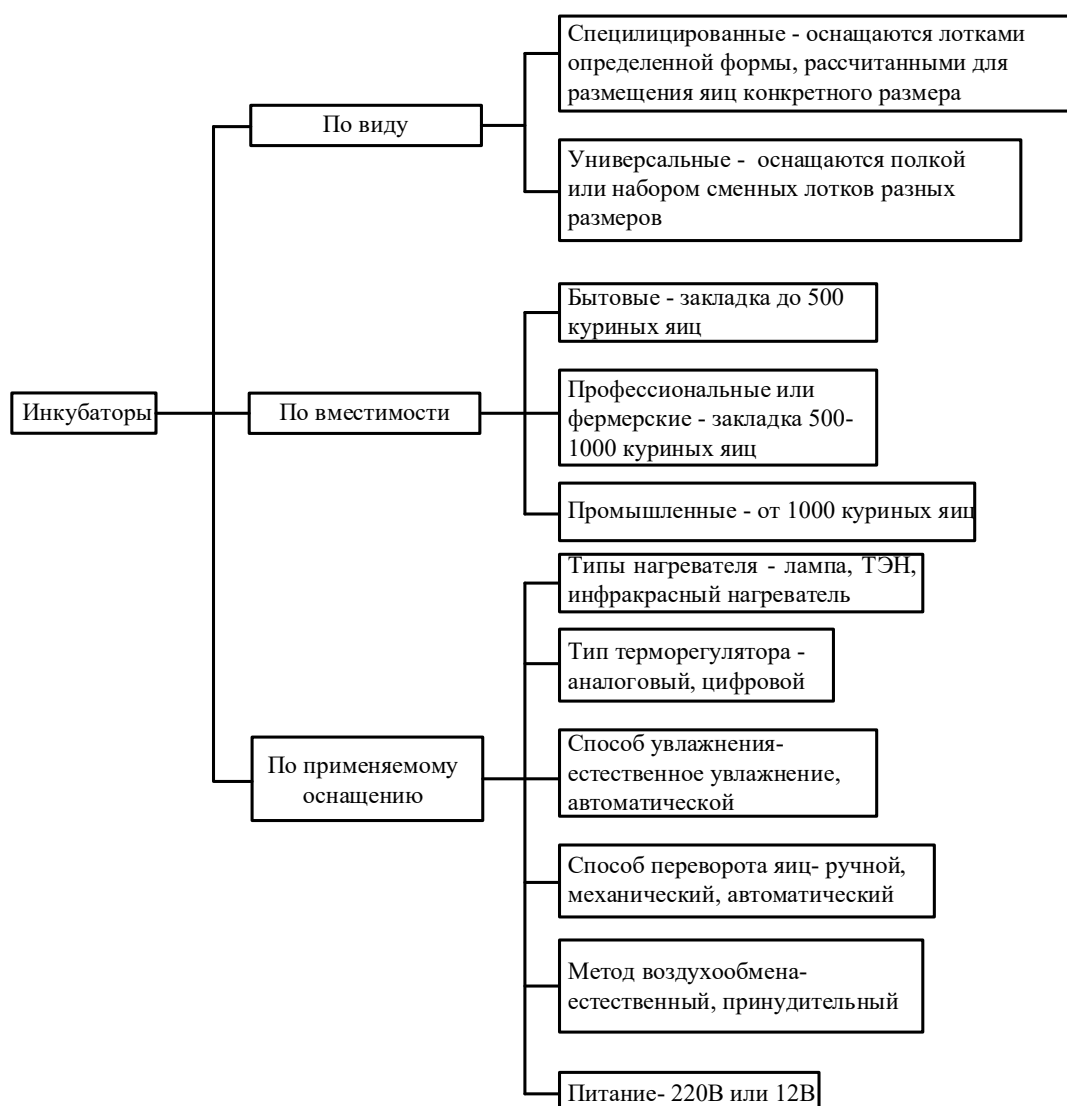


Рисунок 1 – Классификация инкубаторов



Рисунок 2 – Инкубаторы «НОРМА Рейс» и «БЛИЦ База-520»



Рисунок 3 – Инкубаторы «Рэмил-400Ц» и «NBF-600»

**Результаты исследования. Основные функции представленных моделей:**

- Автоматическое поддержание требуемой температуры в диапазоне от 20,0 до 40,0°C с обеспечением высокой равномерности значений температуры по объему рабочей камеры.
- Автоматическое поддержание требуемой влажности в диапазоне от 20,0 до 90,0%.
- Автоматический поворот лотков с возможностью изменения интервала времени между переворотами от 30 мин. до 6 часов.
- Функция корректировки пользователем показаний температуры и влажности по эталонным приборам – поправка.

Но во всех профессиональных инкубаторах отсутствует контроль концентрации углекислого газа (CO<sub>2</sub>).

Систематическое изучение влияния состава воздуха в инкубаторе на развитие куриных эмбрионов провели Романов и Романова. Авторы показали,



что существует прямое и косвенное влияния состава воздуха (углекислоты и кислорода) на эмбриональное развитие. Прямое влияние сказывалось на росте, вылупляемости и патологиях развития эмбриона. Рост эмбрионов в течение первых нескольких дней стимулируется наличием среднего количества  $\text{CO}_2$  (0,4-1,0%). Повышенное содержание  $\text{CO}_2$  (10%) и соответственно пониженное количество кислорода замедляли рост пропорционально содержанию  $\text{CO}_2$ . Ранние стадии эмбрионального развития более чувствительны к нарушению нормального содержания газов, чем поздние. Как при пониженной, так и при повышенной концентрации  $\text{CO}_2$  смертность эмбрионов увеличивается, иногда настолько, что ни один цыпленок не вылупляется. Типичными патологиями при нарушении концентрации  $\text{CO}_2$  в инкубаторе являются различные ненормальности положения эмбрионов в яйце перед вылуплением. Косвенное влияние нарушения концентрации  $\text{CO}_2$  в инкубаторе заключается в изменении pH яйца. В свою очередь изменение pH означает изменение физико-химического состояния среды и питательных веществ и, таким образом, влияет на рост и развитие эмбриона [7].

По данным Бэротта, влияние повышенной концентрации  $\text{CO}_2$  становится неблагоприятным на 3-й день инкубации и затем все более увеличивается. Оптимальной для развития куриных эмбрионов является, по данным автора, концентрация углекислоты в воздухе инкубатора менее 0,5%, а при увеличении ее энергообмен и рост эмбрионов замедляются и процент вывода цыплят снижается почти до нуля [12].

**Заключение.** Необходимо разработать модель инкубатора с контролем концентрации углекислого газа и произвести исследования-влияние постоянного контроля уровня  $\text{CO}_2$  в инкубационной камере на выводимость цыплят.

### Список источников

1. Галлямова, Т.Р. Перспективы применения светодиодов в практике животноводства / Т.Р. Галлямова, Т.А. Широбокова, И.И. Иксанов // Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. В 2 т. Т. 2. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – 330 с.

2. Инкубаторы «Норма» // [Электронный ресурс] URL: <https://inkubators.ru/norma/>

3. Козак, С.С. Актуальность совершенствования методов выявления *Staphylococcus aureus* в мясе птицы, субпродуктах и полуфабрикатах из мяса птицы / С.С. Козак // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Материалы международной научно-практической конференции, Йошкар-Ола, 21–22 марта 2024 года. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2024. – С. 253-256. – EDN AXXMOJ.

4. Научно-производственное предприятие «РЭМИЛ» // [Электронный ресурс] URL: [https://remil.su/catalog/index/?item\[item\\_id\\_parent\]=42](https://remil.su/catalog/index/?item[item_id_parent]=42)

5. Официальный сайт производителя инкубаторов серии NBF // [Электронный ресурс] URL: <https://nbf.su/inkubatory/inkubator-professionalnyj-fermerskij-540>

6. Пятышев, А.М. Разработка способов оптимизации влажности при инкубации яиц кур новых кроссов, повышающих выводимость / А.М. Пятышев, Г.С. Талалай // Гуманизм и право: Межвуз. сб. науч. тр. СПбГАУ. - С-Пб., 2002.
7. Романов, А.Л. Птичье яйцо / А.Л. Романов, А.И. Романова // Издательство: Медиа. – 2012. – 620 с.
8. Рыбалова, Н.Б. Влияние корректировки влажностного режима на развитие куриных эмбрионов во время инкубации / Н.Б. Рыбалова, Г.С. Талалай // Молодые учёные в научном обеспечении сельского хозяйства на современном этапе: Сб. науч. тр. Часть I. - СПб-б., 2004. – С. 101-102.
9. Рыбалова, Н.Б. Оптимизация режима влажности при инкубации куриных яиц / Н.Б. Рыбалова, Г.С. Талалай // Повышение племенных и продуктивных качеств сельскохозяйственных животных: Межвуз. науч. тр. - СПб-б., 2005. – С. 88-90.
10. Талалай, Г.С. Метод оптимизации влажностного режима при инкубации яиц кур новых кроссов // Роль научного обеспечения в реформировании АПК: Тезисы докладов науч. конф. молодых учёных СПбГАУ. -СПб-б., 2000.
11. Что такое инкубация: виды и значение // [Электронный ресурс] URL: <https://fb.ru/article/573573/2024-chto-takoe-inkubatsiya-vidyi-i-znachenie> (дата обращения: 04.01.2024).
12. Barott, H.G. Energy and gaseous metabolism of the chicken from hatch to maturity as affected by temperature / H.G. Barott, E.M. Pringle // Journal of Nutrition. – 1946. – № 31. – P. 35-50.

© Широбокова Т.А., Александров И.А., Шувалова Л.А., Баранова И.А., 2025

Научная статья

УДК 631.371

## ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ КОТЛА НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ

**Никита Сергеевич Штефанов<sup>1</sup>**

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

[shtefanov1997@mail.ru](mailto:shtefanov1997@mail.ru)

**Аннотация.** В статье представлены места использования котла на жидком топливе. Рассматривается возможность использования альтернативного жидкого топлива. Описана модернизация режима работы дизельного котла в, режим работы которого, позволяет использовать альтернативное жидкое топливо.

**Ключевые слова:** жидкое топливо, мазут, отопление домов, отопление производств, судоходство, альтернативное жидкое топливо.

**Для цитирования:** Штефанов, Н.С. Обоснование режима работы котла на жидком топливе / Н.С. Штефанов // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы Национальной научно-практической конференции с международным

## JUSTIFICATION OF THE OPERATING MODE OF A LIQUID FUEL BOILER

**Nikita Sergeevich Shtefanov<sup>1</sup>**

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

<sup>1</sup>[shtefanov1997@mail.ru](mailto:shtefanov1997@mail.ru)

**Abstract:** the article presents the places of use of a liquid fuel boiler. The possibility of using alternative liquid fuels is being considered. The modernization of the operating mode of the diesel boiler is described, the operating mode of which allows the use of alternative liquid fuel.

**Keywords:** liquid fuel, fuel oil, house heating, industrial heating, shipping, alternative liquid fuels.

Stefanov, N.S. Justification of the operating mode of a liquid fuel boiler / N.S. Stefanov // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Отопительные котлы на жидком топливе – это котлы, в которых используется сырая или обессоленная и отбензиненная нефть (мазут) или солярка. Также могут использоваться синтетические или альтернативные виды жидких топлив. На данный момент котлы на жидком топливе не имеют столь массового распространения как котлы на газообразном или твёрдом топливе или электрические, но всё же они используются во многих сферах.

На многих кораблях, такие системы как: отопление, подогрев топлива, подогрев воды, системы продува, локальные приводы механизмов и даже локальная система пожаротушения моторного отделения осуществляется при помощи котлов на жидком топливе.

При помощи более «грубых» горелок и форсунок можно котлы на жидком топливе использовать и в качестве утилизационных котлов, работающих на мало энергоёмких жидких смесях. КПД такого котла порядка 75% и от такого топлива будет большое количество золы и гари. Преимущество в получение тепловой энергии при сжигании отходного топлива в том числе такого как водоугольное. Водоугольное топливо – это дисперсную система из мелкоизмельченного низкокачественного угля, воды любого качества и различного рода пластификаторов.

Во многих районах нашей страны, особенно на дальнем востоке не везде подведён газ, или стоимость его подведения невероятно дорога, и добыча дерева в округе запрещена. Так же если в доме требуется отопление, а документация на установку газового котла не сделана. Можно установить котёл на жидком топливе, а впоследствии переделать его в газовый.

Котлы на жидком топливе набирают массовое распространение в сельском хозяйстве из-за использования в них биотоплива. Биотопливо производится из отходов технических сельскохозяйственных культур, отходы пищевого производства и деревообработки содержащих масла и другие органические соединения. После соответствующей обработки эти масла превращаются в полноценное топливо, схожее с дизельным, но с немного большей степенью загрязнения. У дизельного топлива на 1000 кг топлива 120 г загрязнения, у биотоплива 300г загрязнений.

Рассмотрим рабочий процесс котла на жидком топливе на рис. 1.

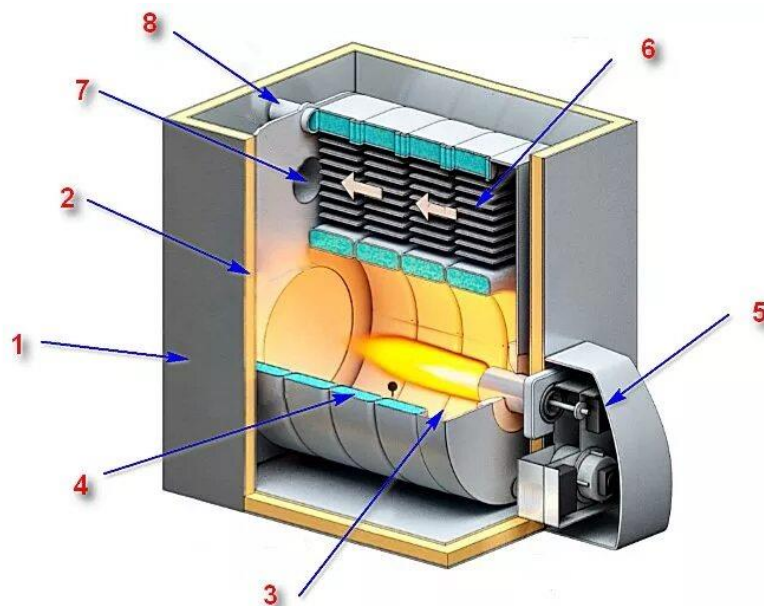


Рисунок 1 – Устройство котла на жидком топливе: 1 – корпус,  
– изоляционный материал; 3 – топка; 4 – теплоноситель, 5 – горелка,  
– теплообменник, 7 – дымоход, 8 – патрубок

Котёл на жидком топливе состоит из корпуса 1, внутри которого находится изоляционный материал 2, благодаря которому внешняя часть корпуса не перегревается, и большая часть тепла остаётся внутри котла. Процесс сжигания топлива в топке 3 и передача тепла теплоносителю 4 происходит при помощи горелки 5. Для повышения КПД раскалённые продукты сгорания топлива на пути к дымоходу 7 проходят через пластинчатый или трубчатый теплообменник 6 (в зависимости от конструкции котла), где повышается температура теплоносителя. Сам же теплоноситель уходит в систему отопления через патрубок 8, а возвращается через патрубок использованного теплоносителя, который на схеме не изображён, но находится у этого котла на задней части корпуса.

Несмотря на технологическое совершенство котлов на жидком топливе, а также относительную массовость их использования в некоторых отраслях, всё равно котлы, использующие альтернативное топливо, практически не используются. Альтернативное топливо – это биотопливо, отработанные масла или водоугольное топливо. Основным недостатком работы котлов данного типа в не эффективном режиме их работы из-за чего сильно снижается КПД при использовании альтернативного топлива.

**Результаты исследований.** На режим работы котла на жидком топливе влияют факторы:

- Объём топлива и воздуха;
- Давление и дисперсия топлива.

Объём топлива регулируется насосом, количество поступающего в горелку воздуха настраивается при помощи нагнетателя. Проблема в давлении и дисперсии топлива, поступающего в горелку, а конкретно в форсунках, выполняющих эту роль.

Практически во всех котлах, работающих на жидких топливах, используются механические форсунки с одной или двумя ступнями распыла с давлением от 3-40 бар и величиной зазора прецизионной пары «игла распылителя – корпус распылителя» между сопрягающимися цилиндрическими поверхностями – 0,6...2,5 мкм (рис. 2).

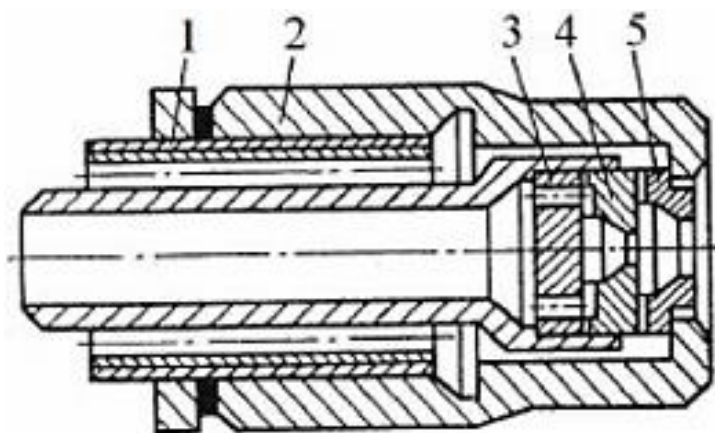


Рисунок 2 – Устройство механической форсунки:

- топливопровод высокого давления; 2 – накидная гайка; 3 – распределительная шайба;  
– завихритель низкого давления; 5 – завихритель высокого давления

Механические форсунки позволяют обеспечивать высокое давление внутри системы и хорошую дисперсию всего лёгкого жидкого топлива, но для нормальной работы требуют дополнительной очистки топлива и не могут нормально работать на тяжёлых видах жидкого топлива из-за засорения сопел форсунки, особенно при низком давлении топлива или не максимальном режиме работы. Изменение характеристик форсунки, связанных с засором даже менее 10%, увеличивает расход топлива минимум на 25%, что крайне сильно снижает КПД котла, работающего на альтернативном виде жидкого топлива.

Использование механической форсунки создаёт неправильный режим работы котла на жидком тяжёлом или альтернативном виде топлива.

Недостаток, связанный с засором форсунки при использовании тяжёлых видов жидкого топлива, исправлен в паромеханической форсунке (рис. 3).

Паромеханическая форсунка проще в исполнении, чем механическая форсунка с двумя ступнями распыла, так как всегда имеет одну ступень. На режиме работы от 100% до 70% и при максимальном давлении этот вид форсунок работает как механический. На режиме 70% и ниже, там, где высок риск загрязнения форсунки для вторичного дробления капель используется пар.



Для достижения оптимального давления распыла и экономичном потреблении пара рекомендуется при подаче топлива в 4 бара, использовать давление пара в 12 бар. Но у паромеханических форсунок есть 2 минуса:

- а) ограничение в распыляемом объёме топлива в 3.3 кг/с;
- б) потеря КПД котла на отбор пара для форсунки 2-3%.

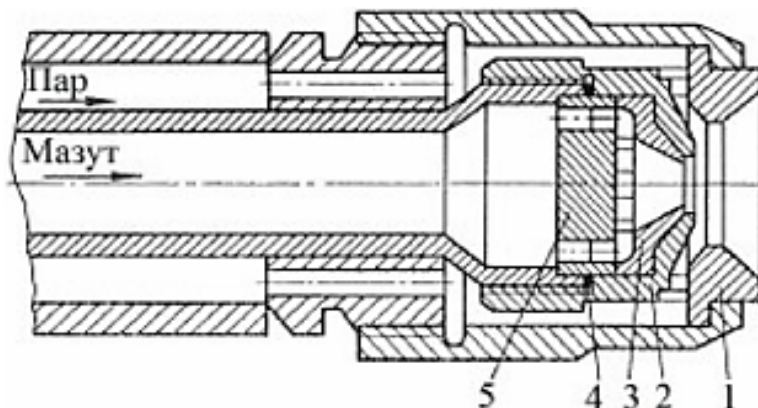


Рисунок 3 – Устройство паромеханической форсунки: 1 – сопло паровое; 2 – гайка; 3 – завихритель топливный; 4 – прокладка; 5 – шайба распределительная

Использование паромеханической форсунки повышает КПД котла на жидком топливе при использовании альтернативного жидкого топлива, так как пар на низком давлении будет чистить сопло. А это в свою очередь создаёт экономичный режим работы котла на жидком топливе при использовании альтернативного топлива.

Таким образом можно сделать вывод что при небольшом изменении конструкции в виде использования паромеханической форсунки можно в котле на жидком топливе использовать альтернативное топливо.

Исходя из данного исследования, котёл на жидком топливе типа Kiturami топлива только дизель (рис. 4).



Рисунок 4 – Дизельный двухконтурный котёл Kiturami KSO-100R с параметрами: мощность: 116,3 кВт; отапливаемая площадь: 1000 м<sup>2</sup>; КПД: 88,1%; диаметр дымохода: 195 мм; напряжение: 220В/50Гц; масса: 350 кг; расход топлива: 45,8 л/сут.

**Заключение.** Режим работы котла предназначен для любого жидкого вида топлива, в том числе альтернативного, путём замены штатной форсунки механического типа Danfoss 3.5/60°H S181100021 (KSO-100R) на форсунку

паромеханического типа «Вулкан» 3.5/60°Н. Потеря КПД При этом составит не более 3%. Используя такой режим работы котла на жидком топливе, КПД на альтернативном топливе повысится с 75% до 85%.

#### Список источников

- нализ эффективности работы котлов на жидком и твердом топливе / А.А. Ахметов, О.А. Степанова, М.В. Ермоленко [и др.] // Молодой ученый. – 2015. – № 9 (89). – С. 154-157.
- околов, Б.А. Устройство и эксплуатация оборудования газомазутных котельных: учеб. пособие для нач. проф. образования / Б.А. Соколов // – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 304 с.
- ряпченков, А.С. Судовые вспомогательные и утилизационные котлы / А.С. Хряпченков // – Л.: Судостроение, 1988. – 293 с.
- оршкова, Т.А. Сравнительный анализ современных водогрейных котлов на жидком топливе / Т.А. Горшкова // В сборнике: Молодежь и XXI век – 2019. Материалы IX Международной молодежной научной конференции. – с. 15-18.
- ельков, Б.И. Устройство автоматического регулирования подачи жидкого топлива на форсунки высоконапорного котла малой мощности / Б.И. Бельков, Н.Н. Николаев // Авторское свидетельство SU 1346913 A1, 23.10.1987.

© Штефанов Н.С., 2025

Научная статья  
УДК 004.94:371

## ИНТЕГРАЦИЯ VR/AR-ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС: ВОЗМОЖНОСТИ И ВЫЗОВЫ

Индира Бауржанкызы Шынтемир<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г.Уральск, Казахстан

<sup>1</sup>[indira.88\\_88@mail.ru](mailto:indira.88_88@mail.ru)

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются перспективы и актуальные направления интеграции VR (виртуальная реальность) и AR (дополненная реальность) технологий в образовательный процесс современных вузов. Отмечается высокий потенциал применения этих технологий в создании интерактивной, наглядной и вовлекающей образовательной среды, что значительно повышает эффективность усвоения учебного материала. Особое внимание уделено возможностям использования VR/AR для организации практико-ориентированного обучения, имитации профессиональной деятельности и формирования у студентов необходимых компетенций. Анализируются основные вызовы, возникающие при внедрении данных технологий, среди которых выделяются высокая стоимость оборудования, дефицит педагогических кадров, обладающих цифровыми компетенциями, и



необходимость методической проработки новых форматов занятий. Приводятся примеры успешных отечественных и зарубежных образовательных проектов с применением VR/AR-технологий.

**Ключевые слова:** образование, виртуальная реальность, дополненная реальность, цифровые технологии, практика, обучение, университет

**Для цитирования:** Шынтемир, И.Б. Интеграция VR/AR-технологий в образовательный процесс: возможности и вызовы / Шынтемир И.Б. // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под редакцией С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## INTEGRATION OF VR/AR TECHNOLOGIES INTO THE EDUCATIONAL PROCESS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

**Indira Baurzhanqyzy Shyntemir<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>West Kazakhstan Innovative and Technological University, Oral, Kazakhstan

<sup>1</sup>[indira.88@mail.ru](mailto:indira.88@mail.ru)

**Abstract.** This article examines the prospects and current directions of integrating VR (virtual reality) and AR (augmented reality) technologies into the educational process of modern universities. The high potential of these technologies is noted in creating an interactive, visual, and engaging educational environment, which significantly enhances the effectiveness of learning materials assimilation. Special attention is given to the possibilities of using VR/AR for organizing practice-oriented training, simulating professional activities, and developing necessary competencies among students. The main challenges encountered when implementing these technologies are analyzed, among which the high cost of equipment, shortage of pedagogical staff with digital competencies, and the need for methodological development of new teaching formats are highlighted. Examples of successful domestic and international educational projects using VR/AR technologies are provided.

**Keywords:** education, virtual reality, augmented reality, digital technologies, practice, learning, university.

**For citation:** Shyntemir, I.B. Integration of VR/AR Technologies into the Educational Process: Opportunities and Challenges / Shyntemir I.B. // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** Современное образование находится в условиях активной цифровизации, которая меняет традиционные подходы к обучению, взаимодействию преподавателя и студента, а также к организации образовательного пространства. На фоне динамично развивающихся технологий

особое место занимают VR (Virtual Reality) и AR (Augmented Reality), открывающие новые возможности для образовательной практики. Эти технологии позволяют формировать иммерсивную среду, которая вовлекает студентов в процесс обучения, повышает мотивацию и качество усвоения знаний.

**Материалы и методы.** VR и AR обеспечивают доступ к интерактивным 3D-моделям, симуляторам производственных процессов, виртуальным лабораториям и учебным тренажёрам, что особенно важно для подготовки специалистов в области инженерии, медицины, архитектуры, педагогики и естественных наук. Применение VR/AR способствует формированию практических навыков в безопасной виртуальной среде, что даёт возможность студентам отрабатывать действия в сложных или опасных ситуациях без риска для здоровья и оборудования [1].

Однако процесс интеграции VR/AR в образовательную среду сопровождается определёнными трудностями. Высокая стоимость оборудования, программного обеспечения, а также необходимость подготовки преподавателей и разработки методических материалов тормозят массовое внедрение этих технологий в учебный процесс. Для эффективного использования VR/AR необходимо учитывать не только технические, но и педагогические аспекты, обеспечивая соответствие технологий целям обучения и образовательным стандартам.

**Результаты исследования.** Внедрение VR/AR-технологий предоставляет ряд существенных возможностей для высших учебных заведений. Во-первых, создаются виртуальные лаборатории и тренажёры, которые позволяют студентам проводить опыты и отрабатывать практические действия без ограничений, связанных с материально-техническими ресурсами. Это особенно актуально для таких специальностей, как медицина, где VR-симуляторы позволяют отрабатывать хирургические операции или диагностику.

Во-вторых, применение VR/AR значительно расширяет возможности дистанционного обучения. Студенты могут «посещать» виртуальные музеи, лаборатории, промышленные предприятия, находясь в любой точке мира. Это обеспечивает эффект присутствия и позволяет получать практический опыт в условиях, максимально приближенных к реальности.

В-третьих, использование VR/AR делает возможной визуализацию сложных и абстрактных понятий. Например, в изучении физики или биологии трёхмерные модели молекул, планетарных систем или биологических клеток дают студентам наглядное представление о структуре и функционировании объектов, что способствует более глубокому пониманию учебного материала [2].

Кроме того, VR/AR позволяют повысить мотивацию студентов за счёт вовлечения в процесс, интерактивных заданий и элементов геймификации. Применение этих технологий даёт возможность формировать индивидуальные образовательные траектории, учитывающие уровень знаний и интересы каждого обучающегося.

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение VR/AR в образовательный процесс связано с рядом сложностей. Одна из основных проблем – высокая стоимость оборудования, программных решений и их

обслуживания. Для полноценного функционирования VR/AR-систем необходимы мощные компьютеры, специальные гарнитуры, проекторы, а также лицензированное программное обеспечение.

Также значительным вызовом остаётся дефицит квалифицированных педагогических кадров, способных эффективно применять VR/AR-технологии в учебном процессе. Педагогам необходимо осваивать новые цифровые инструменты, методики и подходы к организации интерактивных занятий. В этом контексте возникает необходимость в проведении обучающих семинаров, курсов повышения квалификации и формировании методических пособий [3].

Отсутствие нормативной базы и стандартов использования VR/AR в образовании усложняет процесс интеграции технологий в учебные программы. Требуется системная работа по разработке единых требований к содержанию, методике преподавания и оценке результатов обучения с использованием VR/AR.

Кроме того, существует техническое ограничение инфраструктуры образовательных учреждений, которое не всегда позволяет внедрять инновационные технологии в полном объёме. В вузах необходима модернизация компьютерных классов, лабораторий и подключение к высокоскоростному интернету.

Подобный опыт показывает высокую эффективность применения VR/AR в образовании, способствуя формированию профессиональных компетенций и практических навыков у будущих специалистов. Совместная работа вузов с IT-компаниями и разработчиками обучающего программного обеспечения является важным условием успешной реализации подобных проектов.

**Заключение.** Интеграция VR/AR-технологий в образовательный процесс представляет собой перспективное направление развития высшего образования в условиях цифровой экономики. Эти технологии позволяют формировать качественно новый образовательный опыт, обеспечивая доступ к интерактивным и безопасным практикам, имитирующим реальные условия профессиональной деятельности.

Вместе с тем, внедрение VR/AR сопровождается рядом вызовов, связанных с финансовыми затратами, кадровым обеспечением и необходимостью методического сопровождения. Для эффективной реализации VR/AR-проектов требуется комплексный подход, включающий обновление инфраструктуры, обучение преподавателей, разработку нормативных и методических материалов [4].

Партнёрство вузов с IT-компаниями и предприятиями, участие в международных и федеральных инициативах, направленных на развитие цифрового образования, является важным условием успешного внедрения VR/AR-технологий в учебный процесс.

#### **Список источников**

1. Milgram, P. A taxonomy of mixed reality visual displays / P. Milgram, F. Kishino // IEICE Transactions on Information and Systems. – 1994. – Vol. E77-D, № 12. – P. 1321-1329.

2. Иванова, А.С. Использование технологий виртуальной реальности в образовательном процессе: опыт российских вузов // Педагогика цифрового века. – 2024. – № 2. – С. 47-53.

3. Светлов, И.Е. Цифровизация образовательной среды: проблемы и решения // Инженерный журнал. – 2022. – № 8. – С. 25-31.

4. European Commission. Digital Education Action Plan 2021–2027 // [Электронный ресурс] URL: <https://education.ec.europa.eu>

© Шынтемир И.Б., 2025

Научная статья  
УДК: 315.322.365

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ РЕКЛОУЗЕРОВ

**Александр Александрович Яковлев<sup>1</sup>, Денис Петрович Евстафьев<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия

<sup>1</sup>[sasha132490@gmail.com](mailto:sasha132490@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0002-7664-3806>

<sup>2</sup>[evstafevdp@yandex.ru](mailto:evstafevdp@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0000-4709-3847>

**Аннотация.** В статье представлена методика расчета релейной защиты для реклоузеров 6 кВ. Описаны основные параметры и условия работы устройств, включая расчет уставок токовой отсечки, максимальной токовой защиты, защиты от обрыва проводника и токовой защиты нулевой последовательности. Методика обеспечивает надежную работу сети, минимизацию простоев потребителей и оптимизацию затрат на обслуживание. Практическая значимость работы заключается в предоставлении конкретных числовых значений уставок и пояснений по их выбору для специалистов в области настройки и обслуживания реклоузеров.

**Ключевые слова:** реклоузер, автоматический выключатель, электрические сети, автоматическое отключение, повторное включение, диагностика сети.

**Для цитирования:** Яковлев, А.А. Методика расчета релейной защиты для реклоузеров / А.А. Яковлев, Д.П. Евстафьев // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием имени Г.П. Ерошенко / Под ред. С.В. Бахтеева – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет, 2025.

Original article

## THE METHOD OF CALCULATING RELAY PROTECTION FOR RECLOSERS

**Alexander Alexandrovich Yakovlev<sup>1</sup>, Denis Petrovich Evstaf'ev<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

<sup>1</sup>[sasha132490@gmail.com](mailto:sasha132490@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0002-7664-3806>

<sup>2</sup>[evstafevdp@yandex.ru](mailto:evstafevdp@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0000-4709-3847>

**Annotation.** The article presents a method for calculating relay protection for 6 kV reclosers. The basic parameters and operating conditions of the devices are described, including the calculation of current cutoff settings, maximum current protection, conductor break protection, and zero-sequence current protection. The technique ensures reliable network operation, minimizing consumer downtime and optimizing maintenance costs. The practical significance of the work lies in providing specific numerical values of the settings and explanations of their choice for specialists in the field of recloser configuration and maintenance.

**Keywords:** recloser, circuit breaker, electrical networks, automatic shutdown, re-activation, network diagnostics.

**For citation:** Yakovlev, A.A. Method of calculating relay protection for reclosers / A.A. Yakovlev, D.P. Evstaf'ev // Actual problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the III National scientific and practical conference with international participation named after G.P. Eroshenko / Ed. S.V. Bakhteev – Saratov: Vavilov University, 2025.

**Введение.** В современных системах электроснабжения реклоузеры играют ключевую роль в обеспечении надежности электроснабжения. Правильная настройка релейной защиты этих устройств позволяет минимизировать время восстановления электроснабжения при аварийных ситуациях.

Реклоузер – автоматический выключатель, предназначенный для обнаружения и изоляции временных нарушений в электрической сети (рис. 1) [1].

Основная задача – автоматическое восстановление питания после кратковременных отключений.



Рисунок 1 – Пример реклоузера 10 кВ



Принцип работы реклоузера основан на действии электронной или электромеханической системы, которая постоянно отслеживает состояние проходящего через него тока [2]. При возникновении нарушения в сети (например, удара молнии или падения ветки на линию) устройство действует следующим образом:

- Автоматически отключает сеть;
- Через заданный промежуток времени пытается включить питание снова;
- Если нарушение было временным – электропитание восстанавливается;
- При сохранении проблемы реклоузер повторяет попытки включения несколько раз;

- Если неисправность не устранена – окончательно отключает сеть до приезда обслуживающей бригады;

- Реклоузер рассчитывается с целью минимизации общих затрат на отключения и поиска баланса между кратковременными и длительными отключениями. Приведем пример расчета уставок защиты типа «ТОР 200 С 10».

**Методика расчета.** Приведем методику расчета параметров реклоузера R с номинальным напряжением 6 кВ на примере [6]. Подробная схема объекта защиты вместе с прилегающей электрической сетью представлена на рис. 2.

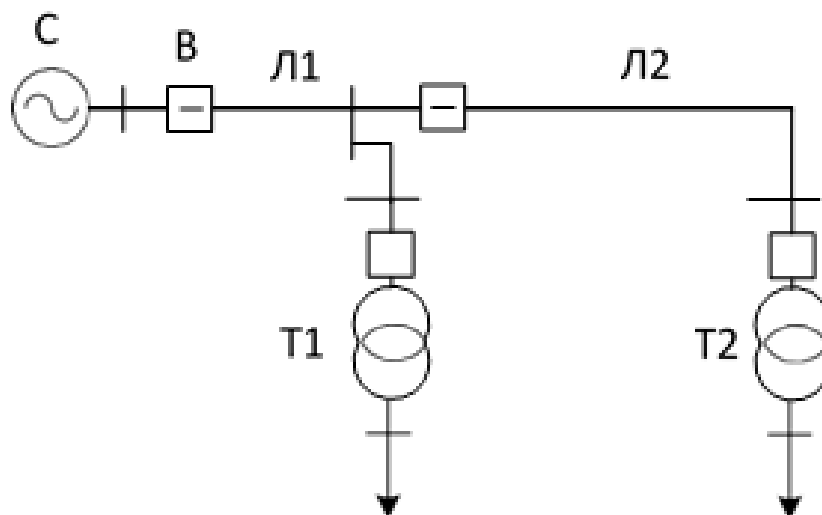


Рисунок 2 – Схема защищаемого объекта и прилегающей сети

Все необходимые начальные параметры и характеристики элементов рассматриваемой энергосистемы систематизированы и размещены в табл.

Параметры ИТТ:  $k_{ИТТ} = 100 \text{ А/5 А}$ , схема соединения обмоток «звезда».

Параметры ТТНП:  $k_{ТТНП} = 50 \text{ А/1 А}$ .

Параметры ИТН:  $k_{ИТН} = 6 \text{ кВ/100 В}$ .

**Выбор уставки по току срабатывания.** Ток срабатывания ТО выбирается по следующим условиям:

Отстройка максимального тока, протекающего в месте установки защиты, при КЗ в конце защищаемой зоны:

$$a. I_{с.з} > k_{отс} \cdot I_{КЗ, \max} = 1,1 \cdot 112 = 134,4 \text{ А}, \quad (1)$$

где  $k_{отс} = 1,1$  – коэффициент отстройки;  $I_{КЗ, \max} = 112 \text{ А}$  – максимальный ток КЗ в месте установки защиты при трехфазном КЗ за трансформатором.

Отстройка от броска намагничивающего тока (БНТ) трансформаторов присоединений ПС, питаемых рассматриваемой ЛЭП:

$$I_{с.з} > k_{отс} \cdot \sum I_{ном,тр} = 4 \cdot 6,06 = 24,3 \text{ А}, \quad (2)$$

где  $k_{отс} = 4$  – коэффициент отстройки;

$$а. \sum I_{ном,тр.} = \frac{\sum S_{ном,тр.}}{\sqrt{3} \cdot U_c} = 6,06 \text{ А}, \quad (3)$$

где  $I_{ном,тр.}$  – суммарный номинальный ток силовых трансформаторов, которые могут одновременно включаться под напряжение по защищаемой линии;  $S_{ном,тр} = 63 \text{ кВА}$  – суммарная мощность силовых трансформаторов, которые могут одновременно включаться под напряжение по защищаемой линии;

Таблица – Параметры элементов сети

| Наименование параметра                                         | Обозначение    | Единица измерения | Значение |
|----------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|----------|
| Параметры трансформаторов Т1, Т2                               |                |                   |          |
| Схема соединения                                               | –              | –                 | Д/Y-11   |
| Номинальная мощность                                           | $S_{ном}$      | кВА               | 63       |
| Номинальное напряжение обмотки ВН                              | $U_{ном,ВН}$   | кВ                | 6        |
| Номинальное напряжение обмотки НН                              | $U_{ном,НН}$   | кВ                | 0,4      |
| Напряжение КЗ                                                  | $U_k$          | %                 | 3,8      |
| Номинальный ток                                                | $I_{ном,ВН}$   | А                 | 6,06     |
| Параметры питающей системы С в максимальном режиме             |                |                   |          |
| Номинальное напряжение                                         | $U_{ном,макс}$ | кВ                | 6,3      |
| Сопротивление по прямой последовательности                     | $x_{с,макс}$   | Ом                | 1,8      |
| Параметры питающей системы С в минимальном режиме              |                |                   |          |
| Номинальное напряжение                                         | $U_{ном,мин}$  | кВ                | 6,2      |
| Сопротивление по прямой последовательности                     | $x_{с,мин}$    | Ом                | 1,9      |
| Параметры линий Л1, Л2                                         |                |                   |          |
| Длина линии                                                    | $l$            | км                | 10       |
| Удельное активное сопротивление по прямой последовательности   | $r_{1,уд}$     | Ом/км             | 0,443    |
| Удельное реактивное сопротивление по прямой последовательности | $x_{1,уд}$     | Ом/км             | 0,086    |
| Емкость фазы                                                   | $C_{0л}$       | мкФ/км            | 0,013    |

Рассматривается режим, когда все трансформаторы питаются от системы С1;  $U_c = 6 \text{ кВ}$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты.

Настройка тока срабатывания токовой отсечки устанавливается на максимальное значение из всех рассчитанных параметров согласно указанным выше условиям. В данном случае это значение составляет 135 А.

Проверка чувствительности ТО при междуфазном КЗ в месте установки защиты в минимальном режиме работы системы:

$$k_q = \frac{I_{кз,мин}}{I_{уст}} = \frac{484}{135} = 3,6 > 1,2, \quad (4)$$

где  $I_{кз,мин} = 484 \text{ А}$  – минимальное значение первичного тока в месте установки защиты при междуфазном КЗ в месте установки защиты;  $I_{уст} = 135 \text{ А}$  – принятое значение уставки ТО в первичных величинах. Чувствительность достаточная.

Уставка по току срабатывания ТО принимается равной « $I_{сраб}$ » = 135 А.



Выбор выдержки времени. Время срабатывания токовой отсечки (параметр « $T_{сраб}$ ») должно быть тщательно настроено для обеспечения оперативного отключения защищаемой линии в случае возникновения значительных токов короткого замыкания.

Для достижения оптимальной селективности работы защиты рекомендуется установить выдержку времени на одну ступень селективности выше, чем у быстродействующей защиты трансформатора. В данном случае это значение составляет 0,3 с.

Выбор уставок первой ступени МТЗ. Ток срабатывания защиты выбирается по условию учета нагрузки электропотребителей, питающихся от рассматриваемой линии:

$$I_{с.з.}^I > \frac{k_{отс} \cdot k_{сзп}}{k_{в}} \cdot I_{раб, макс} = \frac{1,2 \cdot 1,2}{0,95} \cdot 80 = 122 \text{ А}, \quad (5)$$

где  $k_{отс} = 1,2$  – коэффициент отстройки;  $k_{сзп} = 1,2$  – коэффициент самозапуска;  $k_{в} = 0,95$  – коэффициент возврата;  $I_{раб, макс} = 80 \text{ А}$  – длительно допустимый ток защищаемой линии.

Коэффициент чувствительности определяется по выражению:

$$k_{ч} = \frac{I_{КЗ, мин}}{I_{уст}} = \frac{284}{122} = 2,3 > 1,5, \quad (6)$$

где  $I_{КЗ, мин} = 284 \text{ А}$  – минимальный ток в точке установки защиты определяется для наименее благоприятного случая – двухфазного металлического короткого замыкания в конце линии Л2 при минимальном режиме работы питающей системы, когда сопротивление системы максимально и ток КЗ минимален.

$I_{уст} = 122 \text{ А}$  – принятое значение уставки МТЗ в первичных величинах. Чувствительность достаточная.

Уставка по току срабатывания МТЗ принимается равной « $I_{сраб}$ » = 122 А.

Время срабатывания МТЗ « $T_{сраб}$ » выбирается на ступень селективности больше времени МТЗ смежного трансформатора:

$$t_{с.з.} \geq t_{с.з., смеж} + \Delta t = 0,3 + 0,3 = 0,6 \text{ с}, \quad (7)$$

где  $t_{с.з., смеж} = 0,3 \text{ с}$  – время срабатывания МТЗ трансформатора;  $\Delta t = 0,3 \text{ с}$  – ступень селективности.

Время срабатывания МТЗ принимается равным « $T_{сраб}$ » = 0,6 с.

Выбор уставок второй ступени МТЗ. Ток срабатывания защиты выбирается по условию отстройки от максимального тока в нагрузочном режиме [5]:

$$I_{с.з.}^{II} > \frac{k_{отс}}{k_{в}} \cdot I_{раб, макс} = \frac{1,2}{0,95} \cdot 80 = 101 \text{ А}, \quad (8)$$

где  $k_{отс} = 1,2$  – коэффициент отстройки;  $k_{в} = 0,95$  – коэффициент возврата;  $I_{раб, макс} = 80 \text{ А}$  – длительно допустимый ток защищаемой линии.

Коэффициент чувствительности определяется по выражению:

$$k_{ч} = \frac{I_{КЗ, мин}}{I_{уст}} = \frac{155}{101} = 1,53 > 1,5, \quad (9)$$

где  $I_{КЗ, мин} = 155 \text{ А}$  – минимальное значение тока в месте установки защиты при двухфазном металлическом КЗ в конце защищаемого участка;  $I_{уст} = 101 \text{ А}$  – принятое значение уставки МТЗ в первичных величинах.

Чувствительность достаточная. Уставка по току срабатывания МТЗ принимается равной « $I_{сраб}$ » = 101 А.

Реле направленной мощности МТЗ. Максимальная токовая защита реализована без направления действия, что исключает необходимость применения реле направления мощности. При этом угол максимальной чувствительности системы защиты установлен на значение 90 градусов, что характерно для ненаправленных защит и обеспечивает их срабатывание независимо от направления потока мощности в сети.

Защита от обрыва проводника (ЗОП) по  $I_2/I_1$ . Уровень максимального тока  $I_2$ , при котором возможна работа защиты:

$$I_{с.з} = 0,05 \cdot I_{перв, ИТТ} = 0,05 \cdot 100 = 5 \text{ А},$$

где  $I_{перв, ИТТ} = 100 \text{ А}$  – первичный ток ИТТ.

Ток срабатывания защиты установлен на значение 5 А. Коэффициент несимметрии настроен на рекомендуемый уровень 50 %.

Время срабатывания ЗОП определяется с учетом максимального времени работы защит при междуфазных коротких замыканиях, что обеспечивает селективное отключение только поврежденного участка сети [3]:

$$T_{с.з} = t_{рез, макс} + \Delta t = 0,96 + 0,5 = 1,46 \text{ с}, \quad (10)$$

где  $t_{рез, макс} = 0,96 \text{ с}$  – максимальное время действия резервных защит элемента электрической сети, питающего рассматриваемую линию;  $\Delta t = 0,5 \text{ с}$  – время запаса.

Уставка « $T_{сраб}$ » принимается равной значению 1,46 с.

Защита от обрыва проводника (ЗОП) по  $I_2$ . Устава по току выбирается по условию допустимой несимметрии питающей сети равной 25 %:

$$I_{с.з} = 0,25 \cdot I_{перв, ИТТ} = 0,25 \cdot 80 = 20 \text{ А}, \quad (11)$$

где  $I_{ном, л} = 80 \text{ А}$  – номинальный ток линии.

Ток срабатывания защиты настроен на значение 20 А.

Временная уставка ЗОП по квадратичному току ( $I$ ) рассчитывается с учетом максимального времени срабатывания защит при междуфазных коротких замыканиях, что гарантирует правильную селективность защиты:

$$T_{с.з} = t_{рез, макс} + \Delta t = 0,96 + 0,5 = 1,46 \text{ с}, \quad (12)$$

где  $t_{рез, макс} = 0,96 \text{ с}$  – максимальное время действия резервных защит элемента электрической сети, питающего рассматриваемую линию;  $\Delta t = 0,5 \text{ с}$  – время запаса.

Уставка « $T_{сраб}$ » принимается равной значению 1,46 с.

Токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП). Настройка тока срабатывания защиты производится с учетом необходимого запаса, чтобы избежать ложных срабатываний при возникновении дуговых перемежающихся замыканий на землю (ОЗЗ), вызванных собственным емкостным током защищаемой линии

$$3I_{0с.з} = k_{отс} \cdot k_{бр} \cdot I_{емк} = 1,3 \cdot 1,7 \cdot 0,17 = 0,38 \text{ А}, \quad (13)$$

где  $k_{отс} = 1,3$  – коэффициент отстройки;  $k_{бр} = 1,7$  – коэффициент «броска», учитывающий бросок емкостного тока в момент возникновения ОЗЗ, а также способность реле реагировать на него;

$I_{емк} = \frac{U_L \cdot L_{\Sigma}}{350} = \frac{6 \cdot 10}{350} = 0,17 \text{ А}$  – емкостной ток линии;  $U_L = 6 \text{ кВ}$  – номинальное напряжение линии;  $L_{\Sigma} = 10 \text{ км}$  – суммарная длина линии.

Оценка чувствительности защиты в случае замыканий на землю осуществляется путем сравнения действующих токов, проходящих через точку

установки защитного устройства, с установленным током срабатывания защиты. Это соотношение позволяет определить способность защиты надежно реагировать на повреждения в защищаемой зоне

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I_{\text{орасч}}}{3I_{\text{ос.з.}}} = \frac{4,2}{0,386} = 11,3 > 1,5, \quad (14)$$

где  $3I_{\text{орасч}} = 4,2$  А – минимальное значение тока  $3I_0$ , протекающего через место установки защиты, при внутреннем металлическом ОЗЗ.

Чувствительность достаточная.

Выбор уставок реле направления мощности токовых защит нулевой последовательности (РНМ ТНЗНП). Токовая защита нулевой последовательности реализована в ненаправленном исполнении, что исключает необходимость применения реле направления мощности в схеме защиты. При такой конфигурации угол максимальной чувствительности установлен в значение 0 градусов, что характерно для ненаправленных защит и обеспечивает их срабатывание независимо от направления потока мощности при возникновении несимметричных повреждений.

Включение на нагрузку (ВНН). Параметры настройки защиты:

Ток срабатывания ( $I_{\text{сраб}}$ ) установлен на значение 30 А – рекомендованное значение для данной защиты.

Время срабатывания ( $T_{\text{сраб}}$ ) настроено на 60 с – стандартное значение, обеспечивающее необходимую выдержку для предотвращения ложных срабатываний при кратковременных возмущениях в сети.

Время возврата ( $T_{\text{возв}}$ ) задано 10 с – рекомендованный параметр, обеспечивающий достаточный период для восстановления нормальной работы защиты после срабатывания и устранения неисправности.

Такая настройка параметров обеспечивает надежную работу защиты с учетом всех необходимых временных задержек для корректного функционирования в различных режимах работы сети.

Пуск по напряжению в сети. Анализ чувствительности МТЗ показал, что защита обладает достаточной чувствительностью для надежного срабатывания при возникновении повреждений в защищаемой зоне. В связи с этим орган пуска по напряжению не требуется включать в схему защиты.

Контроль напряжения линии. Уставка максимального напряжения, запускающая орган минимального напряжения  $U_{<}$ , рассчитывается по следующей формуле:

$$U_{\text{с.з.}} = 0,8 \cdot U_{\text{ном,с}} = 0,8 \cdot 6 = 4,8 \text{ кВ}, \quad (15)$$

где  $U_{\text{ном,с}} = 6$  кВ – номинальное напряжение сети в месте установки защиты.

Уставка по напряжению срабатывания принимается равной « $U_{\text{макс}}$ » = 4,8 кВ.

Уставка минимального напряжения, запускающая орган максимального напряжения  $U_{>}$ , рассчитывается по следующей формуле:

$$U_{\text{с.з.}} = 1,2 \cdot U_{\text{ном,с}} = 1,2 \cdot 6 = 7,2 \text{ кВ}, \quad (16)$$

где  $U_{\text{ном,с}} = 6$  кВ – номинальное напряжение сети в месте установки защиты.

Уставка по напряжению срабатывания принимается равной « $U_{\text{мин}}$ » = 7,2 кВ.

Контроль частоты. Параметры настройки защиты по частоте:

Максимальная частота срабатывания ( $f_{\text{макс}}$ ) установлена на 50,5 Гц – рекомендованный порог для защиты от повышения частоты в сети.

Минимальная частота срабатывания ( $f_{\text{мин}}$ ) настроена на значение 49,2 Гц – стандартное значение для защиты от понижения частоты.

Разность частот возврата ( $f_{\text{возв}}$ ) задана значением 0,05 Гц – стандартная уставка по умолчанию, обеспечивающая четкую работу органов защиты при восстановлении нормальных параметров сети.

Орган напряжения обратной последовательности. Анализ чувствительности МТЗ показал, что защита обладает достаточной чувствительностью для надежного срабатывания при возникновении несимметричных повреждений в защищаемой зоне. В связи с этим орган напряжения обратной последовательности не требуется включать в схему защиты.

Сигнализация замыкания на землю (СЗЗ). Уставка защиты по напряжению нулевой последовательности « $U_{\text{сраб}}$ » принимается равной рекомендуемому значению:

$$U_{\text{с.з}} = 0,15 \cdot U_{\text{ф,ном}} = 0,15 \cdot 3,464 = 0,52 \text{ кВ}, \quad (17)$$

где  $U_{\text{ф,ном}} = 3,464 \text{ кВ}$  – номинальное фазное напряжение сети в месте установки защиты.

Уставка напряжению нулевой последовательности принимается равной « $3U_{0\text{сраб}}$ » = 520 В.

Выдержка времени « $T_{\text{сраб}}$ » принимается равной рекомендуемому значению равному 9 с.

Выбор уставок первой ступени ЗМН. Уставка срабатывания выбирается по выражению:

$$U_{\text{с.з}} = 0,65 \cdot U_{\text{ном,с}} = 0,65 \cdot 6 = 3,9 \text{ кВ},$$

где  $U_{\text{ном,с}} = 6 \text{ кВ}$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты.

Уставка по напряжению срабатывания принимается равной « $U_{\text{сраб}}$ » = 3,9 кВ. Выдержку времени « $T_{\text{сраб}}$ » рекомендуется принимать равной 0,5 с.

Выбор уставок второй ступени ЗМН. Уставка срабатывания выбирается по выражению:

$$U_{\text{с.з}} = 0,4 \cdot U_{\text{ном,с}} = 0,4 \cdot 6 = 2,4 \text{ кВ}, \quad (18)$$

где  $U_{\text{ном,с}} = 6 \text{ кВ}$  – номинальное напряжение сети в месте установки защиты.

Уставка по напряжению срабатывания принимается равной « $U_{\text{сраб}}$ » = 2,4 кВ. Выдержку времени « $T_{\text{сраб}}$ » рекомендуется принимать равной 0,5 с.

Защита от повышения напряжения (ЗПН). Уставка по напряжению срабатывания выбирается по выражению:

$$U_{\text{с.з}} \geq k_{\text{н}} \cdot U_{\text{доп}} = 1,2 \cdot 6,6 = 7,92 \text{ кВ}, \quad (19)$$

где  $k_{\text{н}} = 1,2$  – коэффициент надежного срабатывания;

$U_{\text{доп}} = k_{\text{отс}} \cdot U_{\text{ном}} = 1,1 \cdot 6 = 6,6 \text{ кВ}$  – величина допустимого напряжения на шинах, к ИТН которых подключена защита;  $k_{\text{отс}} = 1,1$  – коэффициент отстройки;  $U_{\text{ном}} = 6 \text{ кВ}$  – Номинальное напряжение на шинах, к которым подключена защита через измерительные трансформаторы напряжения (ИТН), составляет 7,92 кВ.

Уставка по напряжению срабатывания ( $U_{\text{сраб}}$ ) установлена на 7,92 кВ. Выдержку времени « $T_{\text{сраб}}$ » рекомендуется принимать равной минимальному

значению, т.е. 0 с.

Защита от потери питания (ЗПП). Время срабатывания ( $T_{ср\grave{a}б}$ ) установлено на значение 1 с – рекомендуемое значение, обеспечивающее:

Достаточное время для отстройки от кратковременных возмущений в сети;  
Надежное срабатывание при длительных нарушениях нормального режима;  
Согласование с другими защитами по ступеням селективности.

Частота срабатывания установлена на значение 49,5 Гц – рекомендованный порог, который:

1. Обеспечивает защиту от понижения частоты в сети;
2. Позволяет избежать ложных срабатываний при нормальных колебаниях частоты;

3. Соответствует требованиям к настройке защитных устройств;

Такая настройка обеспечивает:

1. Оптимальное время реакции на аварийные ситуации;
2. Минимизацию ложных срабатываний при кратковременных возмущениях согласованную работу с другими защитами в сети;

3. Надежную защиту оборудования при длительных нарушениях нормального режима работы;

Данные уставки являются типовыми для большинства современных устройств релейной защиты и соответствуют требованиям нормативных документов по настройке защит.

Автоматика повторного включения (АПВ). Выдержку времени срабатывания первого цикла АПВ рекомендуется выбирать по условиям [4]:

Отстройка от времени готовности привода выключателя:

$$T_{с.з} = t_{прив} + t_{зап} = 0,5 + 0,5 = 1,0 \text{ с}, \quad (20)$$

где  $t_{прив} = 0,5$  с – время готовности привода выключателя;  $t_{зап} = 0,5$  с – время запаса, учитывающее непостоянство  $t_{прив}$  и погрешность реле времени схемы АПВ;

Отстройка от времени деионизации среды:

$$T_{с.з} = t_d + t_{зап} = 0,2 + 0,5 = 0,7 \text{ с}, \quad (21)$$

где  $t_d = 0,2$  с – время деионизации;  $t_{зап} = 0,5$  с – время запаса, учитывающее непостоянство  $t_{прив}$  и погрешность реле времени схемы АПВ.

Уставка первого цикла АПВ принимается равной максимальному из полученных значений, т.е. 1,0 с.

Уставка « $T_{ср\grave{a}б}$ » принимается равной 1,0 с.

Выдержки времени готовности АПВ « $T_{гот}$ » принимается равной рекомендуемому значению 25 с.

**Результаты расчета.** В методике расчета были приведены настройки основных параметров: подобраны уставки по току, определено время срабатывания токовой отсечки, рассчитаны параметры для пусков по напряжению и частоте в сети, а также параметры для точной настройки чувствительности реклоузера.

**Заключение.** Инженерный расчет и настройка релейной защиты реклоузеров является залогом надежной и эффективной работы современных систем электроснабжения. Реклоузеры являются важным элементом

современной системы электроснабжения, позволяющим существенно повысить надежность и качество подачи электроэнергии, особенно в районах с повышенным риском временных повреждений линий электропередачи.

### **Список источников**

1. Децентрализованная система релейной защиты и автоматики в протяженных распределительных сетях с рассредоточенной нагрузкой потребителей / В.В. Жуков, Б.К. Максимов [и др.] // Информационные материалы IV международного семинара по вопросам использования современных компьютерных технологий для АСУ электрических сетей. – М.: «Издательство НЦ ЭНАС», 2000.
2. Устройство защиты и автоматики реклоузера 6-10 кВ «ТОР 200 С 10». Руководство по эксплуатации. Описание устройства и работы терминала. АИПБ.656122.025-080 РЭ2 v21.2.
3. Шабад, М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей / М.А. Шабад. – 5-е изд., испр. и доп. – СПб.: ПЭИПК, 2012. – 350 с.
4. Правила устройства электроустановок. 7-е изд.
5. Юнител // [Электронный ресурс] URL: <https://uni-eng.ru/stati/releynaya-zashchita-i-avtomatika-setey-6-35-kv/>

© Яковлев А.А., Евстафьев Д.П., 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Овчарова О.Г.</i><br>ГЕННАДИЙ ПЕТРОВИЧ ЕРОШЕНКО: УНИКАЛЬНЫЙ ПОДХОД<br>К ОБУЧЕНИЮ И НАСТАВНИЧЕСТВУ                                                                            | 3  |
| <i>Абдразаков Ф.К., Джумагалиев А.Г.</i><br>ПЕРСПЕКТИВЫ РОБОТИЗАЦИИ ТЕПЛИЧНЫХ ХОЗЯЙСТВ                                                                                          | 6  |
| <i>Абзалов М.А.</i><br>МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА ПРОВЕРКИ ИЗМЕРЕНИЯ<br>ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ                                                                      | 11 |
| <i>Исса Али, Сохинов Д.Ю., Каргин В.А.</i><br>АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МЯСА<br>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТОВОЙ СЕГМЕНТАЦИИ<br>В ПРОСТРАНСТВЕ HSV                            | 16 |
| <i>Исса Али, Сохинов Д.Ю., Каргин В.А.</i><br>ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И<br>ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ<br>ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ         | 22 |
| <i>Антонов Н.А., Валеева Ю.С., Варганова А.В.</i><br>ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ<br>МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ НАУЧНО-<br>ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА УНИВЕРСИТЕТА | 30 |
| <i>Антонов С.Н., Мазинова Л.Э., Морин В.В.</i><br>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОЙ<br>СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ<br>УСТРОЙСТВА СЪЁМА ПЛОДОВ                         | 34 |
| <i>Апасеева В.А., Ищенко А.П., Шематулин А.И.</i><br>РАЗРАБОТКА КОРПУСА ДЛЯ УСТРОЙСТВА МОНИТОРИНГА<br>ВОДЫ                                                                      | 40 |
| <i>Афанасьева В.С., Баракин Н. С.</i><br>РЕЗУЛЬТАТЫ ИММИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ<br>СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ                                                                    | 44 |
| <i>Аханова Д.Е.</i><br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ<br>НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ                                                                  | 49 |



|                                                                                                                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Бакиров С.М., Елисеев С.С., Курятников И.Ю.</i><br>ОБОСНОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ<br>ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ<br>С СОЛНЕЧНЫМИ И АККУМУЛЯТОРНЫМИ БАТАРЕЯМИ                   | 56  |
| <i>Бардашов С.С., Земсков И.А., Чурляева О.Н.</i><br>ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ РАЗРАБОТОК СПОСОБОВ<br>ПОДЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРОВ И ЗАРЯДНЫХ<br>СТАНЦИЙ ДЛЯ БПЛА                                                            | 65  |
| <i>Басуматорова Е.А., Хамитова А.М.</i><br>ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕДИКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ<br>И BIG DATA ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ПОНИЗИТЕЛЬНОЙ<br>ПОДСТАНЦИИ 110/35/10 кВ                                             | 71  |
| <i>Бикмуллина А.Ф., Ларионова А.С., Ахмерова Г.М.</i><br>О ВОЗМОЖНОСТИ УСТРОЙСТВА ПРЯМОУГОЛЬНОЙ<br>ГРЕБЁНКИ В ТЕПЛОВОМ ПУНКТЕ ЖИЛОГО ДОМА                                                                       | 75  |
| <i>Богомолова А.А., Панина Ю.В.</i><br>РОЛЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ЛАНДШАФТНОЙ<br>АРХИТЕКТУРЕ                                                                                                                    | 79  |
| <i>Борзенков А.Н., Внуков С.А., Малозёмов Б.В., Халиков И.Х., Щуров Н.И.</i><br>МЕТОД БЫСТРОЙ ОЦЕНКИ ЁМКОСТИ АККУМУЛЯТОРА<br>ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПЕДАНСА                                        | 85  |
| <i>Васильев В.В., Афоничев Д.Н.</i><br>УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ<br>МАНИПУЛЯТОР                                                                                                                    | 90  |
| <i>Верзилин А.А., Климанёв М.П.</i><br>ЗАМЕНА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ<br>ОТОПЛЕНИЯ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ                                                                                | 95  |
| <i>Вислогузов Д.М.</i><br>ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛИЦЫ: СОВРЕМЕННЫЕ<br>МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ                                                                                                        | 101 |
| <i>Волгин А.В., Колпаков А.В., Кукарский Д.В., Марьин К.А.</i><br>ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ<br>ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ В СТАЦИОНАРНЫХ УСТАНОВКАХ<br>И ПРОЦЕССАХ (НА ПРИМЕРЕ ОПЕРАЦИИ СВОДООБРУШЕНИЯ) | 105 |

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Волгин А.В., Лалов Н.А., Гришин Г.В., Лобанов И.Е., Кукарский Д.В.</i><br>ОЦЕНКА ВЫХОДНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ<br>ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СВОДООБРУШИТЕЛЯ | 109 |
| <i>Гаврилов А.С., Верецагин В.Е., Овсянников В.Н.</i><br>ОПТИМИЗАЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО<br>СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ               | 113 |
| <i>Гайнешова А.М.</i><br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ<br>ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АКТИВНОСТИ СТУДЕНТОВ В УЧЕБНОМ<br>ПРОЦЕССЕ                   | 120 |
| <i>Гогорян М.Л., Терехова А.А., Эктов С.Э.</i> ТЕСТИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ<br>ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ IIL                                                | 122 |
| <i>Гришин А.Д., Муллаянов Д.Р.</i><br>РАЗРАБОТКА DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ УМНОЙ ТЕПЛИЦЫ                                                               | 125 |
| <i>Гусенников Е.Н., Юран С.И.</i><br>АНАЛИЗ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В КАМЕРАХ ФИТОТРОНА                                                                      | 129 |
| <i>Земской Д.Н., Каменская М.А., Зарандия Ж.А.</i><br>ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ YOLO ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СОРНЯКОВ<br>НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДЬЯХ С ПОМОЩЬЮ БПЛА  | 134 |
| <i>Зиниев Ш.З.</i><br>МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ И АЛГОРИТМЫ В СЕЛЬСКИХ<br>ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ: ПОТЕНЦИАЛ И ПЕРСПЕКТИВЫ                                         | 137 |
| <i>Иванкина Ю.В., Бирюков М.В.</i><br>АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ<br>В КОРОВНИКЕ                                                           | 141 |
| <i>Иванкина Ю.В., Владимиров А.А.</i><br>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ<br>УЛИЧНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА                                 | 144 |
| <i>Иванкина Ю.В., Савельев И.А.</i><br>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА                                                                                 | 147 |
| <i>Иванкина Ю.В., Россошанский С.Д., Фадеев А.Д.</i><br>АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИЁМА ЗЕРНА НА<br>ЭЛЕВАТОРЕ ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ               | 153 |

|                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Иванова А.С., Дуцанова А.А.</i><br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНШЕТА ПРИ<br>СОЗДАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ<br>ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ                                               | 157 |
| <i>Кайранбаева А.Б.</i><br>РОЛЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СИМУЛЯТОРОВ В ПОДГОТОВКЕ<br>СТУДЕНТОВ: ОБУЧЕНИЕ РАБОТЕ С SCADA-СИСТЕМАМИ                                                                   | 162 |
| <i>Кириченко В.С.</i><br>ВАРИАНТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ<br>СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ                                                                                                             | 167 |
| <i>Кондратьева Н.П., Большин Р.Г.</i><br>СИСТЕМА НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ                                                                                                                | 173 |
| <i>Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Стрельцов А.А., Краснолуцкая М.Г.</i><br>АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ<br>ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ПРИ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ                                   | 177 |
| <i>Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Чернов И.С.</i><br>РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ<br>РАБОТЫ РЕВЕРСИВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА<br>МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ОТКАТНЫХ ВОРОТ | 183 |
| <i>Корытов Д.С., Куленко М.С., Тихомирова И.А.</i><br>АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ<br>ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ СРЕДСТВАМИ<br>КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ                                   | 188 |
| <i>Ларионова А. С., Бикмуллина А. Ф., Скобелева С. А., Ахмерова Г. М.</i><br>АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ<br>НА ПРОТЯЖЕНИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ                 | 193 |
| <i>Летучий А.А., Бакиров С.М., Ильин В.С.</i><br>ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ АВТОМАТИЧЕСКОГО<br>УПРАВЛЕНИЯ ПОЛИВОМ                                                                                     | 197 |
| <i>Лошкарев И.Ю.</i><br>РАССМОТРЕНИЕ СТРУКТУРЫ НЕЙРОСЕТИ                                                                                                                                         | 202 |
| <i>Лягина Л.А.</i><br>АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ                                                                                                                                  | 206 |

|                                                                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Лягина Л.А.</i><br>ПРОЦЕСС СУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В<br>БАРАБАННОЙ СУШИЛКЕ                                                                                | 211 |
| <i>Лягина Л.А., Матвеев С.В.</i><br>ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ                                                                                | 215 |
| <i>Матвеев С.В., Лягина Л.А.</i><br>ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СУШКИ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ<br>ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФРАКРАСНОЙ УСТАНОВКИ                                | 220 |
| <i>Менищikov И.А.</i><br>ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ<br>ЭЛЕКТРОМЕХАЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ                                                         | 224 |
| <i>Михайлов Д.Н., Ищенко А.П.</i><br>РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ПРАКТИЧЕСКОГО СТЕНДА<br>«РОБОТИЗИРОВАННЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКЕР»                                                 | 234 |
| <i>Моисеев А.П., Дергунов М.И., Кузьяев А.А., Рыцарев В.И., Салямov Р.И.</i><br>ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ И СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ<br>ПРОМЫШЛЕННЫМИ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ | 239 |
| <i>Моисеев А.П.</i><br>РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ НАРУЖНОГО<br>ОСВЕЩЕНИЯ                                                                                   | 242 |
| <i>Моисеев А.П.</i><br>МОДЕРНИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ<br>МЕТАЛЛОРЕЖУЩИМ СТАНКОМ                                                                              | 246 |
| <i>Назаркин А.И.</i><br>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЖУХОТРУБНЫХ И ПЛАСТИНЧАТЫХ<br>ТЕПЛООБМЕННИКОВ                                                                       | 253 |
| <i>Николаев В.В.</i><br>ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ<br>ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПРИМИНЕНИЕМ ПАРОВОГО ОБОГРЕВА                                        | 258 |
| <i>Павликов А.А., Шишигин И.Н., Свиридонов С.А., Мельник Д.Г.</i><br>АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ТРАНСФОРМАТОРАМ<br>В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ | 264 |

|                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Пантелеева Л.А., Данилов С.А, Плешков Ф.М.</i><br>МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛЬЦЕВЫХ<br>ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО СТОРОНАМ 6 и 0,4 кВ                                  | 268 |
| <i>Попов М.В., Бахтеев С.В., Свиридонов С.А., Абрамова В.С.</i><br>АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ ОТКАЗОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ 10/0,4 кВ,<br>ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ                     | 273 |
| <i>Поспелова И.Г., Главатских Д.И.</i><br>ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТА ОТ РАССТОЯНИЯ<br>ДО ИСТОЧНИКА СВЕТА                                                                     | 278 |
| <i>Поспелова И.Г., Возмищев И.В., Дмитриева С.С.</i><br>ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПОЧВЫ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ                                                                                    | 282 |
| <i>Поспелова И.Г., Возмищев И.В., Шабалина Д.В., Кудряшова В.Ю.</i><br>РАСЧЕТ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА                                                                                      | 286 |
| <i>Поспелова И.Г., Возмищев И.В., Иванова Д.А., Шмыкова А.С.</i><br>ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАСТЕНИЯ                                                                      | 291 |
| <i>Прищепов М.А., Рутковский И.Г.</i><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА ЭЛЕКТРОДАХ<br>ПРОТОЧНЫХ МНОГОЗОННЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ<br>ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ                                   | 297 |
| <i>Раджапов А.А.</i><br>СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРОБНЫХ ЗУБЦОВЫХ<br>ОБМОТОК В СИНХРОННЫХ РЕАКТИВНЫХ<br>ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ                                                   | 307 |
| <i>Редкозубов В.И., Бахтеев С.В., Иванкина Ю.В.</i><br>ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И СПОСОБ НАНЕСЕНИЯ<br>ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ                                      | 310 |
| <i>Розова С.С., Верещагин В.Е., Овсянников В.Н.</i><br>ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ<br>ПРИ ОПТИМИЗАЦИОННОМ ПРОЕКТИРОВАНИЕ<br>ВЕНТИЛЬНОГО СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ | 313 |
| <i>Россошанский С.Д., Логачёва О.В., Загвоздкин А.В.</i><br>ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ЧЕРЕЗ ИОТ,<br>РОБОТОТЕХНИКУ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ                                 | 319 |

|                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Россошанский С.Д., Логачёва О.В., Загвоздкин А.В.</i><br>ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ (AR)<br>ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОКОММУНИКАЦИЙ В ЗДАНИЯХ                              | 322 |
| <i>Савельев И.А., Евстафьев Д.П.</i><br>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ<br>В УСТАНОВКЕ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ<br>ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ АФРИКАНСКОГО КЛАРИЕВОГО СОМА             | 326 |
| <i>Садыхова Л.А.</i><br>ТРАНСФОРМАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ<br>СОВРЕМЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ                                                                                              | 332 |
| <i>Сарсенгалиева А.М.</i><br>РОЛЬ ГЕЙМИФИКАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ<br>ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ                                                                                     | 335 |
| <i>Семеновых К.А., Владыкин Д.И.</i><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИГОДНОСТИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ<br>С МАЛЫМИ АЛГОРИТМАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ<br>В ОБЛАСТИ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА                                | 340 |
| <i>Сивицкий Д.В., Барсуков А.А.</i><br>ОЦЕНКА ПРОВАЛОВ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ<br>ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ПРИ РАБОТЕ В ИЗОЛИРОВАННОЙ<br>ЭНЕРГОСИСТЕМЕ НА ПРИМЕРЕ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ | 344 |
| <i>Синягин М.И., Левин М.А.</i><br>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ<br>ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО<br>ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ                                                        | 348 |
| <i>Скобелева С.А., Ларионова А.С., Ахмерова Г.М.</i><br>АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СХЕМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ<br>ВОДОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ                               | 356 |
| <i>Слиманов М., Калинин В.Ф.</i><br>ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС С ВКЛЮЧЕНИЕМ ПРОИЗВОДСТВА<br>«ЗЕЛЁНОГО» ВОДОРОДА ДЛЯ АПК                                                                    | 363 |
| <i>Слиманов М.</i><br>ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ГИБРИДНЫХ МИКРОСЕТЯХ С<br>ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ И ЗЕЛЁНЫМ<br>ВОДОРОДОМ В АГРОПРОМЫШЛЕННОСТИ                                    | 369 |

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Смолина А.А.</i><br>ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АПК                                                                                      | 374 |
| <i>Стерхов А.И., Лошкарев И.Ю., Бакиров С.М., Домнышев С.В., Лукашов Д.Н.</i><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖЕНИЯ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ                  | 378 |
| <i>Стерхова Т.Н., Васильченко Д.А.</i><br>РЕКОМЕНДАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТЫ ПО ЗАЩИТЕ ДАННЫХ                                                          | 382 |
| <i>Сультимова В.Д.</i><br>ОСОБЕННОСТИ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ДЛЯ БПЛА                                                                | 386 |
| <i>Сысуев К.А., Макаричев Ю.А.</i><br>СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РУЧНОГО ЭЛЕКТРОИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ                    | 390 |
| <i>Троценко В.В.</i><br>АВТОМАТИЗАЦИЯ БАРАБАННОЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ                                                                                                    | 394 |
| <i>Троценко В.В.</i><br>ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПРИВОДЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УСТАНОВОК                                               | 400 |
| <i>Усталкова А.А., Чурляева О.Н.</i><br>АЛГОРИТМЫ ДВИЖЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ГАЗОНОКОСИЛОК                                                                      | 405 |
| <i>Фатыхова Д.И., Ахмерова Г.М.</i><br>ОРГАНИЗАЦИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ С ВОДОПОДГРЕВАТЕЛЯМИ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ   | 409 |
| <i>Чернова Е.Н., Белохвостова А.Д.</i><br>ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ: РОЛЬ ОЗОНА                                                      | 413 |
| <i>Черных А.Г.</i><br>ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ БЛОКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ НАКАЧКИ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ФИРМЫ T-L IRRIGATION COMPANY | 417 |



|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Черных А.Г.</i><br>КРИВАЯ МАКСИМАЛЬНОГО МОМЕНТА ПРИ ЧАСТОТНОМ<br>УПРАВЛЕНИИ ДВИГАТЕЛЯ ПОРШНЕВОГО НАСОСА<br>ГИДРОПРИВОДА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ         | 424 |
| <i>Шабалин Р.В., Щуров Н.И.</i><br>ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ<br>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ<br>НА ОСНОВЕ ЦИКЛА WLTC | 431 |
| <i>Шаповалов Д.А., Молодова И.Д.</i><br>ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ И АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ<br>ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ                                           | 436 |
| <i>Шаповалов Д.А., Молодова И.Д.</i><br>РОБОТИЗИРОВАННЫЕ И ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ АПК                                                                        | 441 |
| <i>Шатекова А.Н.</i><br>МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА<br>В ЭНЕРГЕТИКЕ И ИХ ИНТЕГРАЦИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС<br>ДЛЯ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ   | 446 |
| <i>Шеръязов С.К., Касимова А.К., Дербисалина Д.А.</i><br>ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ<br>В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ           | 451 |
| <i>Широбокова Т.А., Александров И.А., Шувалова Л.А., Баранова И.А.</i><br>ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНКУБАТОРОВ                                             | 455 |
| <i>Штефанов Н.С.</i><br>ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ КОТЛА НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ                                                                              | 462 |
| <i>Шынтемир И.Б.</i><br>ИНТЕГРАЦИЯ VR/AR-ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ<br>ПРОЦЕСС: ВОЗМОЖНОСТИ И ВЫЗОВЫ                                                 | 467 |
| <i>Яковлев А.А., Евстафьев Д.П.</i><br>МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ РЕКЛОУЗЕРОВ                                                                | 471 |

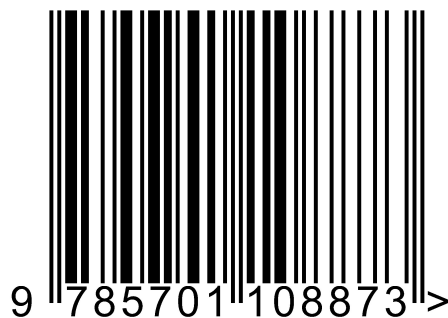
*Научное издание*

# **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ АПК**

**Материалы III Национальной научно-практической  
конференции с международным участием  
имени Г.П. Ерошенко**

Электронное издание

ISBN 978-5-7011-0887-3



Размещено 12.08.2025 г.

Объем данных: 16,3 Мбайт. Аналог печ.  
л. 30,5 Формат 60×84 1/16. Заказ 887

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Саратовский государственный университет генетики,  
биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова»  
Тел.: 8(8452)26-27-83, email: nir@vavilovsar.ru  
410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3.