

ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА ИМЕНИ К. А. ТИМИРЯЗЕВА
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ ИМЕНИ В. П. ГОРЯЧКИНА
КАФЕДРА ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

**ЧТЕНИЯ
АКАДЕМИКА
В. Н. БОЛТИНСКОГО**

Сборник статей
Том 3

Москва, 2026

УДК 378.4:001:63(092)

ББК 74.48

Ч 77

Под редакцией:

Загинайлова Владимира Ильича – доктора технических наук, профессора, профессора кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»;

Андреева Сергея Андреевича – доктора технических наук, доцента, профессора кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»;

Пуляева Николая Николаевича – кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

Ч 77

Чтения академика В. Н. Болтинского:

сборник статей / Семинар (Москва, 28-29 января 2026 года); под ред. В. И. Загинайлова, С. А. Андреева, Н. Н. Пуляева. – М. : ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», 2026. – 230 с.

ISBN 978-5-9675-2137-9

В сборнике представлены результаты актуальных научных исследований ученых, докторантов, преподавателей и аспирантов по результатам проведенного постоянно действующего Международного научно-практического семинара «**Чтения академика В. Н. Болтинского**», который состоялся 28-29 января 2026 года.

Сборник предназначен для научных сотрудников и преподавателей высших учебных заведений. Может использоваться в учебном процессе, в том числе в процессе обучения аспирантов, подготовки магистров и бакалавров в целях углубленного рассмотрения соответствующих проблем.

Все статьи сборника прошли рецензирование, сохраняют авторскую редакцию, всю ответственность за содержание несут авторы.

УДК 378.4:001:63(092)

ББК 74.48

ISBN 978-5-9675-2137-9

© ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА
имени К. А. Тимирязева, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

А. В. Виноградов

Проблемы и концепция развития сельских распределительных сетей 0,4 кВ 7

А. М. Пенджиев

Теплоэнергетические потенциалы солевых залежей залива Кара-Богаз-Гол в Каспийском море 13

А. А. Панфилов

Автоматический байпас для отключения неисправного ИБП контроллера телемеханики на подстанции..... 20

А. В. Богдан, К. А. Гарькавый, А. В. Богдан (мл)

Построение системы распределенной генерации для орошения земель в сельском хозяйстве 25

С. В. Кириллов

Анализ и классификация причин нарушения электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог 33

П. П. Безруких, А. В. Темеров

Опыт создания энергоэффективной системы энергоснабжения сельского домохозяйства с использованием ВИЭ 39

В. Л. Осокин, Л. Л. Алексеев

Оценка эффективности системы электроснабжения при использовании нескольких объектов распределённой генерации 45

И. В. Юдаев, И. В. Шаров

Техническое сопровождение агробιοэлектротехнологической операции по борьбе с сорной и нежелательной растительностью в виноградниках 51

А. В. Савенко

Критерии анализа работы электрической сети 0,4 кВ при наличии токов и напряжений нулевой последовательности..... 57

М. В. Зимина, М. М. Украинцев

Автономная мобильная энергоустановка на основе ВИЭ для обеспечения удаленных животноводческих точек 62

Д. С. Карлаков, О. В. Лештаев, С. И. Белов

Технические решения вторичного применения литий-ионных аккумуляторов..... 67

С. П. Рудобаашта

Повышение энергоэффективности процесса сушки дисперсных материалов за счет комбинированного СВЧ-конвективного энергоподвода..... 72

Д. А. Нормов, В. Л. Болотин, Н. Ф. Григорьев, Р. Н. Григорьев

Информационная модель для дезактивации воздушных выбросов очистных сооружений электроозонированием 76

О. Ф. Савченко, В. В. Альт, А. А. Солошенко

Цифровая диагностика тракторных двигателей: объединение бортовых систем и облачных сервисов 82

В. Е. Костин, Е. Ю. Силаева, А. А. Силаев

Особенности автоматизации водоснабжения рыбоводных прудовых хозяйств юга России..... 90

Е. В. Титова, Д. А. Пупкова (научный руководитель)

Анализ данных в реальном времени как инструмент повышения эффективности. Опыт сельского хозяйства и Формулы 1 95

В. Ю. Майорова, В. Н. Беленов (научный руководитель)

Системы вентиляции в птичниках при различных способах содержания 101

С. В. Соловьёв

Анализ современных подходов к беспроводной передаче энергии..... 106

Л. С. Шпиндлер, Е. А. Четвериков (научный руководитель)

Обоснование параметров системы автоматической сортировки плодовоовощной продукции на перерабатывающих предприятиях 112

А. В. Богдан (мл)

Дополнительная линия как альтернатива использования вольтодобавочного автотрансформатора..... 119

В. С. Черногоров, С. А. Андреев (научный руководитель)

Исследование зависимости температуры кристаллизации воды от интенсивности механических воздействий 124

Н. С. Баракин, В. С. Афанасьева, Е. И. Рубцова, Д. П. Харченко

Преобразователь напряжения для мобильной энергетической установки 130

Д. И. Лыгин, Л. С. Шпиндлер, Е. А. Четвериков (научный руководитель)

Разработка алгоритма управления для автоматизированной зерносушилки . 136

<i>А. А. Сердюк, Н. А. Ямщиков, Н. А. Стушкина (научный руководитель)</i> Основы электротехники для IT-специалиста: что нужно знать о «железе» ...	142
<i>Е. А. Овсянникова, А. В. Черниченко, А. Г. Степанова</i> Использование машинного зрения в АПК.....	148
<i>А. В. Елисейев, Е. А. Федоренко, Т. А. Нормова</i> Хранение мяса и мясопродуктов с помощью озона	153
<i>Е. А. Овсянникова, А. В. Черниченко, А. Г. Степанова</i> Трансформаторы в системах электроснабжения и импульсной технике.....	158
<i>Р. В. Буранов, А. Г. Крахмалёв, Ю. А. Судник (научный руководитель)</i> Цифровая система мониторинга показателей физиологического состояния животных на кролиководческой ферме	165
<i>В. С. Панов, Е. А. Шабает</i> Принципы управления мягким пневматическим захватом в роботизированных системах тепличного овощеводства	169
<i>В. Л. Болотин, Т. А. Нормова</i> Технико-экономическое обоснование применения электроозонной технологии стимулирования микроводоросли хлореллы	174
<i>Д. В. Белов</i> Современные технические решения по автоматизации доставки агродронами грузов сельскохозяйственного назначения	179
<i>В. Л. Болотин</i> Электроозонная стимуляция роста микроводоросли	186
<i>А. В. Пискарёва</i> Расчет озонатора барьерного типа.....	192
<i>А. Г. Ничипуров</i> Регулирование внутреннего сопротивления инвертора источников распределенной генерации	198
<i>М. Е. Федоренко, Д. А. Нормов</i> Дезинфекция сельскохозяйственных помещений с помощью озона	205
<i>А. А. Цедяков</i> Распределение токов несимметрии в сетях 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения.....	209

<i>С. С. Артемьев, Р. Т. Гусейнов, И. Б. Царёв</i> Диагностика электродвигателей водонасосных установок различных типов	213
<i>Л. В. Навроцкая, В. И. Загинайлов</i> Способ повышения урожайности агрокультур	219
<i>Д. С. Логунов, Д. М. Селезнева</i> Автоматизированный мониторинг и управление микроклиматом в коровнике	225

ПРОБЛЕМЫ И КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 0,4 КВ

А. В. Виноградов

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** Подробно рассмотрены проблемы надёжности сельских электрических сетей 0,4 кВ, связанных с недостатками конфигурации, такими как завышенные протяжённости линий электропередачи, отсутствие средств секционирования и резервирования. Рассмотрены проблемы проектирования сетей 0,4 кВ, их эксплуатации, заключающиеся в применении проектных решений без учёта изменения климата, трудностях реконфигурации сетей при реконструкции, несвоевременности обслуживания. Показано, что современное состояние сетей не позволяет активно внедрять в них объекты распределённой генерации. Рассмотрена концепция электрических сетей с управляемой конфигурацией, позволяющая значительно повысить надёжность сетей, их наблюдаемость и управляемость.*

***Ключевые слова:** электроснабжение, сельские электрические сети, управление конфигурацией, секционирование и резервирование, уровень автоматизации и резервирования.*

PROBLEMS AND CONCEPT OF DEVELOPMENT OF RURAL DISTRIBUTION NETWORKS OF 0.4 KV

A. V. Vinogradov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The problems of reliability of rural 0.4 kV electric networks related to configuration disadvantages, such as overestimated lengths of power transmission lines, lack of partitioning and redundancy facilities, are considered in detail. The problems of designing 0.4 kV networks and their operation are considered, which consist in the application of design solutions without taking into account climate change, the difficulties of reconfiguring networks during reconstruction, and late maintenance. It is shown that the current state of networks does not allow for the active implementation of distributed generation facilities in them. The concept of electric networks with a controlled configuration is considered, which makes it possible to significantly increase the reliability of networks, their observability and controllability.*

***Keywords:** power supply, rural electric networks, configuration management, partitioning and redundancy, automation and redundancy level.*

Надёжность электроснабжения сельских потребителей определяется надёжностью электрических сетей всех классов напряжения, участвующих в передаче им электроэнергии. При этом наиболее ненадёжными являются электрические сети 6-10 и 0,4 кВ [1-3]. Среди причин низкой надёжности электрических сетей 0,4 кВ можно выделить, прежде всего, недостатки их конфигурации. Данные сети, как правило, являются радиальными, или магистральными с одним источником питания. Протяжённости линий 0,4 кВ часто превышают рекомендованные 500 м, а наиболее применяемые сечения проводов, на примере сетей Орловской области – это А25, А35 и СИП-2 3х35+1х54,6 мм. кв. Эти сечения занижены по сравнению с рекомендованными для магистралей линий (70 мм.кв.) [4]. Трансформаторные подстанции (ТП) выполняются чаще всего однострансформаторными, имеют невысокую мощность (среднестатистическая по филиалам ПАО «Россети Центр» 192 кВА) и при этом часто недогружены [5].

Секционирование электрических сетей 0,4 кВ отсутствует за исключением отдельных случаев, где на линиях установлены опытные устройства секционирования, или по инициативе работников сетевых предприятий установлены секционирующие автоматические выключатели, хотя решения по секционированию предлагаются начиная с тридцатых годов прошлого века [6, 7], имеются современные разработки по применению как неавтоматизированных средств секционирования [8], так и автоматизированных [9]. Сельские электрические сети очень слабо оснащены средствами мониторинга режимов работы и надёжности.

Всё вышеуказанное приводит к таким последствиям, как отключение всех потребителей при повреждении в любой точке линии электропередачи (ЛЭП) 0,4 кВ, необеспеченность чувствительности защитных аппаратов к удалённым токам короткого замыкания (КЗ), сниженная электробезопасность (более 95% защитных коммутационных аппаратов нечувствительны к однофазным КЗ в конце ЛЭП) [4] и надёжность электроснабжения (поток отказов до 29 год⁻¹ на 100 км ЛЭП). Кроме того, неоправданно возрастает число преднамеренных отключений потребителей при плановом и внеплановом обслуживании электрических сетей. Например, по Орловской области поток преднамеренных отключений достигает 71 год⁻¹ на 100 км ЛЭП [10].

Недостатки конфигурации сетей 0,4 кВ усугубляются недостатками их проектирования и эксплуатации. Так, использование при проектировании устаревшего климатического районирования в комплексе с износом сетей и использованием заниженного сечения проводов приводит к тому, что конструкции электрических сетей оказываются не готовы к нехарактерным климатическим воздействиям. Это подтверждают массовые отключения как в летний, так и зимний период времени [11, 12]. Изменения климата оказывают влияние на структуру причин отключений [13].

Программы сокращения персонала электросетевых организаций усиливают негативный эффект и приводят к увеличению сроков восстановления электроснабжения потребителей. Вторым эффектом этого является невыполнение требований по срокам вырубке трасс и обслуживанию ЛЭП, что также снижает показатели надёжности электроснабжения потребителей.

В существующей конфигурации электрические сети 0,4 кВ не готовы к широкому внедрению распределённой генерации (РГ), так как отсутствуют необходимые средства мониторинга и управления, позволяющие избежать таких эффектов, как подпитка токов КЗ от РГ, перенапряжения, обратная трансформация и т.п. Отсутствуют ограничения по внедрению РГ в части ограничения их влияния на режимы работы сетей. Так, не определено допустимое количество и мощность подключаемых объектов РГ к линиям 0,4 кВ, в том числе однофазных, с точки зрения обеспечения показателей качества электроэнергии, недопущения перегрузки трансформатора 10/0,4 кВ токами обратной трансформации, а также недопущения перенапряжений в ЛЭП вследствие роста реактивной мощности, подаваемой от РГ при низкой нагрузке ЛЭП.

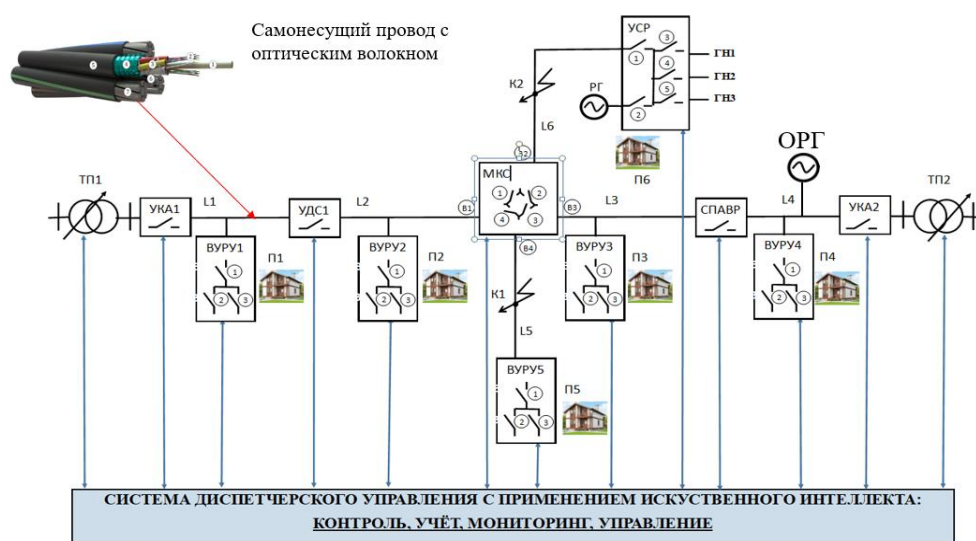
Не учитываются в полной мере вопросы электробезопасности при внедрении РГ, ведь РГ могут стать источниками несанкционированного напряжения в электрических сетях [14].

Имеются сложности изменения топологии при реконструкции сетей 0,4 кВ вследствие необходимости решения земельных вопросов при изменении трасс ЛЭП. Вопросы землеотведения часто мешают разукрупнению сетей 0,4 кВ в населённых пунктах, так как возможные при разукрупнении рациональные трассы ЛЭП 0,4 кВ и места установки ТП 10/0,4 кВ могут попадать на земли, принадлежащие частным лицам, или организациям. Это приводит к тому, что при реконструкции сетей 0,4 кВ происходит воспроизводство старых трасс ЛЭП с установкой новых опор и проводов, но при той же, или даже большей протяжённости (при подключении новых потребителей). В этом случае не получается решить вопросы по заметному сокращению потерь электроэнергии, напряжения в сети, повышению надёжности электроснабжения потребителей.

Частыми являются ситуации, когда потребители с небольшой мощностью (до 15 кВт) располагаются на значительном удалении от ближайших ТП 10/0,4 кВ, или сетей 10 кВ. Например, по ПАО «Россети Центр» в структуре технологических присоединений (113000 объектов) в 2023 г. 46 % (51980 объектов) – это населённые пункты и частные объекты с мощностью до 15 кВт. Из них 16114 (31 %) удалены от центров питания до 10 км, а 7797 (15 %) – более чем на 10 км (из доклада Микрюкова В. В. на IX Международной научно-технической конференции «Развитие и повышение надёжности распределительных электрических сетей» 3-4 июля 2024 г., г. Москва). Это приводит к высоким капитальным вложениям и эксплуатационным издержкам при электроснабжении данных потребителей и требует поиска новых решений для их электроснабжения [15]. Во время проведения СВО выявились и такие проблемы обеспечения сетей современными средствами автоматизации, цифровизации, как обеспечение устойчивой надёжной связи, обеспечение кибербезопасности цифрового оборудования электрических сетей.

Одним из решений, направленных на решение указанных проблем является концепция построения электрических сетей 0,4 кВ, предложенная в [9, 16] (Рисунок 1).

Суть концепции заключается в реализации принципов управления конфигурацией электрических сетей за счёт применения средств мониторинга, контроля, учёта и управления. К данным средствам относятся показанные на рисунке 1 устройства секционирования и резервирования электрических сетей 0,4 кВ, такие как секционирующие пункты (СП, СПАВР), устройства деления сети (УДС), мультиконтактные коммутационные системы (МКС), управляемые коммутационные аппараты (УКА), устройства сезонного резервирования (УСР). Каждое из этих устройств оснащается микроконтроллерным блоком управления, осуществляющим контроль, учёт, мониторинг и управление, а также средствами связи, причём в [16] предложено организовывать связь по опτικο-волоконным линиям, встроенным в самонесущие изолированные провода, что заметно повышает скорость передачи данных и снижает киберугрозы.



ТП—трансформаторная подстанция; УКА—управляемый коммутационный аппарат (автоматическое и дистанционное управление); П—потребитель; МБУ—микроконтроллерный блок управления; УДС—устройство деления сети (секционирования); МКС—мультиконтактная коммутационная система (секционирование и резервирование); УСР—устройство сезонного резервирования; РГ—резервный генератор; ВИЭ—возобновляемый источник энергии; ВУРУ—вводно-учётно-распределительное устройство; ОРГ—объект распределённой генерации.

Рисунок 1 – Пример электрической сети 0,4 кВ с управляемой конфигурацией

В качестве альтернативы традиционным каналам передачи данных также может применяться передача информации акустическим способом по проводам ЛЭП, как это предложено, например, в [17].

Если на сегодня показатель уровня автоматизации и резервирования для сетей 0,4 кВ составляет 1,04 отн. ед., (для сетей 110 кВ – 17 отн.ед., для сетей 35 кВ – 4,2 отн. ед., для сетей 10 кВ – 1,58 отн. ед.) [18], что отражает очень слабую их оснащённость средствами управления конфигурацией, то реализация предложенной концепции позволит повысить этот уровень кратно, до значений не менее характерных для сетей 110 кВ. Это достигается за счёт возможности в концепции осуществлять своевременное выявление аварийных и предаварийных режимов работы участков сети, оборудования, локализовать повреждённые участки, выполнять плановые и ремонтные работы на отдельных участках линии без отключения других участков. Также появляется возможность дистанцион-

ного управления установленным оборудованием, реконфигурации сети для реализации рациональных режимов работы. Предусмотрены возможности сезонного резервирования отдельных потребителей и решение других задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградова, А. В. Удельные показатели надежности электрических сетей 0,4 кВ / А. В. Виноградова, А. В. Виноградов, А. В. Букреев // *Агроинженерия*. – 2024. – Т. 26, № 6. – С. 77-85. – DOI 10.26897/2687-1149-2024-6-77-85.

2. Наумов, И. В., Анализ работы электрических сетей Облкоммунэнерго Иркутской области в 2019 году / И. В. Наумов, М. Н. Полковская // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2021. – № 5(199). – С. 118-126.

3. Васильева, Т. Н., Анализ причин отказов электрического оборудования распределительных сетей 0,38...10 кВ / Т. Н. Васильева, Е. И. Лопатин // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. – 2011. – № 3(11). – С. 64-66.

4. Виноградов, А. В. Анализ конфигурации электрических сетей 0,4 кВ Орловской области / А. В. Виноградов, А. А. Лансберг, А. В. Виноградова // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. – 2023. – Т. 70, № 4(53). – С. 22-29. – DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-4-22-29.

5. Лансберг, А. А. Структура парка силовых трансформаторов с высшим напряжением 6-10 кВ на примере электросетевой организации филиала ПАО «Россети Центр»-«Орелэнерго», обслуживающей сельские электрические сети / А. А. Лансберг, А. В. Виноградов, А. В. Виноградова // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2021. – Т. 23, № 5. – С. 34-45. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-5-34-45.

6. Спеваков, П. И. К проектированию сетей зануления в силовых установках / П. И. Спеваков // *Электричество*. – 1939. – № 8. – С. 69.

7. Справочник по проектированию электросетей в сельской местности / Э. Я. Гричевский [и др.]. – М. : Энергия, 1980. – 350 с.

8. Ершов, А. М. Защита электрических сетей напряжением 380 В при однофазных коротких замыканиях : монография / А. М. Ершов, А. И. Сидоров, Р. Г. Валеев. – М.; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 232 с.

9. Принципы управления конфигурацией электрической сети и задачи по их реализации / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, А. Ю. Сейфуллин [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2021. – Т. 23, № 3. – С. 34-46. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-34-46.

10. Виноградов, А. В. Система базовых показателей надежности электрических сетей для анализа журналов отключений / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, А. Г. Ван // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. – 2025. – Т. 72, № 4. – С. 30-40. – DOI 10.22314/2658-4859-2025-72-4-30-40.

11. Россию накрывают блэкауты: жара и штормы рвут провода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://newizv.ru/news/2025-07-13/rossiyu->

nakryvayut-blekauly-zhara-i-shtormy-rvut-provoda-437428 (дата обращения: 20.01.2026).

12. В Подмосковье произошли массовые отключения света из-за ледяного дождя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/society/11/11/2016/5825a3459a79476920c83f87> (дата обращения 20.01.2026).

13. Виноградова, А. В. Удельные показатели надежности по причинам отключений электрических сетей 0,4 кВ / А. В. Виноградова, А. В. Виноградов // Техника и оборудование для села. – 2025. – № 7(337). – С. 39-43. – DOI 10.33267/2072-9642-2025-7-39-43.

14. Виноградов, А. В. Оценка вероятности несанкционированной подачи напряжения в сельских электрических сетях 0,4-10 кВ / А. В. Виноградов, А. А. Панфилов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 2(55). – С. 29-36. – DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-2-29-36.

15. Внедрение резонансной системы передачи электрической энергии в филиале ПАО «Россети Центр и Приволжье» – «Рязаньэнерго» / В. О. Акуличев, В. В. Микрюков, А. А. Пацев [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2023. – № 6 (81). – С. 100-105.

16. Виноградов, А. В. Управление конфигурацией как концепция развития сельских электрических сетей 0,4 кВ / А. В. Виноградов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 4(57). – С. 65-72. – DOI 10.22314/2658-4859-2024-71-4-65-72.

17. Виноградов, А. В. Способ диагностики обрыва проводов и жил кабелей с использованием акустических сигналов / А. В. Виноградов // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 20 июня 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2025. – С. 55-58.

18. Виноградова, А. В. Показатели надёжности электрических сетей 110 кВ с учётом сезонности причин отключений и косвенный показатель уровня автоматизации / А. В. Виноградова // Агротехника и энергообеспечение. – 2025. – № 3(48). – С. 8-19.

Об авторе:

Виноградов Александр Владимирович, профессор кафедры электро-снабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49) доктор технических наук, профессор, winaleksandr@gmail.com.

About the author:

Aleksandr V. Vinogradov, professor of power supply and thermal power engineering department after named I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49) Doctor of Technical Sciences, Professor.

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ СОЛЕВЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ЗАЛИВА КАРА-БОГАЗ-ГОЛ В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

А. М. Пенджиев

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт, Ашгабат, Туркменистан

***Аннотация.** Представлены тепловые ресурсные потенциалы солнечного излучения; рассмотрены солевые залежи залива в качестве тепловых аккумуляторов для разработки, внедрения и применения солнечных теплоэнергетических технологий; обоснована технико-экономическая целесообразность их использования в инженерных системах в заливе Кара-Богаз-Гол (Каспийский регион). Оценены солнечно-энергетические характеристики для внедрения различных инженерных аккумулирующих систем и технологий. Определены результаты аккумулирования в течение дня на солевой поверхности водоема: зимой – 1 009,0 Вт/м² сут.; летом – 1 574,7 Вт/м² сут. Доказано, что солнечно-энергетический потенциал преобразования в тепловую энергию меняется в пределах от 40 до 70 % в зависимости от сезона года, по теоретическим расчетам КПД солнечного пруда зимой составляет 11,4 %; летом – 14,6 %. Измерена средняя температура на солевой поверхности дна водоема, она составляет от 55,04 до 79,8 °С, зимой от 20,0 до 25,6 °С.*

***Ключевые слова:** солнечная теплоэнергетика, энергетические потенциалы, солнечный пруд, глауберова соль, залив Кара-Богаз-Гол, Каспийское море, Туркменистан.*

THERMAL ENERGY POTENTIALS OF SALT DEPOSITS OF THE KARA-BOGAZ-GOL BAY IN THE CASPIAN SEA

A. M. Pendzhiev

Turkmen State Institute of Architecture and Civil Engineering, Ashgabat, Turkmenistan

***Abstract.** The paper presents the thermal resource potentials of solar radiation; examines the salt deposits of the bay as heat accumulators for the development, implementation and application of solar thermal energy technologies; substantiates the technical and economic feasibility of their use in engineering systems in the Kara-Bogaz-Gol Bay (Caspian region). The solar energy characteristics are estimated for the implementation of various engineering storage systems and technologies. The results of accumulation during the day on the salt surface of the reservoir are determined: in winter – 1 009,0 W/m² day; in summer – 1 574,7 W/m² day. It is proven that the solar energy potential for conversion into thermal energy varies from 40 to 70 % depending on the season of the year. According to theoretical calculations, the efficiency of the*

solar pond in winter is 11,4 %; in summer – 14,6 %. The average temperature measured on the salt surface at the bottom of the water body ranges from 55,04 to 79,8 °C, while in winter it ranges from 20,0 to 25,6 °C.

Keywords: *solar thermal energy, energy potential, solar pond, Glauber's salt, Kara-Bogaz-Gol Bay, Caspian Sea, Turkmenistan.*

Использование возобновляемых энергетических ресурсов в различных отраслях промышленности и хозяйствах способствует укреплению энергетической и экологической безопасности, энергетических систем [1, 2]. Использование энергии солнечного излучения актуально для Туркменистана, так как по расчетам технический потенциал солнечной энергии эквивалентен $1,4 \cdot 10^9$ т у.т. в год. Одним из нетривиальных способов использования солнечной энергии являются «солнечные пруды» – соленые водоемы, в которых аккумулируется значительное количество тепловой энергии Солнца [3-5]. Использование солнечных энергетических ресурсных потенциалов и аккумулирование тепловой энергии повысит энергетическую эффективность производства, снизит энергетические затраты, уменьшит себестоимость продукции, сократит выбросы вредных частиц в окружающую среду и будет способствовать улучшению социально-бытовых условий жизнедеятельности населения, что является актуальной задачей для Туркменистана [1].

Предметом исследования являются солнечные энергетические потенциалы как аккумулятор тепла глауберовых солевых (мирабилит) залежей залива Кара-Богаз-Гол в Каспийском море.

Цель – оценить теплоэнергетические потенциалы глауберовых солевых залежей залива Кара-Богаз-Гол как солнечного аккумулятора тепла.

Задачи исследования – составить математическую модель тепло-массообмена для определения солнечных энергопотенциалов как аккумулятора тепловой солнечной энергии; оценить экономическую и экологическую целесообразность для разработки, внедрения различных солнечных тепловых инженерных технологий и систем в заливе Кара-Богаз-Гол в Каспийском регионе.

Площадь залива Кара-Богаз-Гол составляет примерно 18 тыс. км², средняя глубина 4,7 м, концентрация глауберовой (мирабилит – mirabilis) соли от 310 до 350 %, содержит 19,24 % Na₂O; 24,85 % SO₃; 55,91 % H₂O, которые широко используются в химической промышленности для получения соды, едкого натра, а также в стекольной, красочной, агропромышленном комплексе, в медицине и других отраслях промышленности [6, 7].

Туркменскими учеными проделана большая научно-исследовательская работа по использованию солнечной энергии в народном хозяйстве, тем не менее по указанной тематике не оценены валовые, технические, экономические и экологические потенциалы с учетом природно-климатических условий, атмосферных явлений по инновационной методике для эффективного внедрения гелиоэнергетических систем и технологий; не определены технико-экономическая целесообразность внедрения, не рассмотрено математическое моделирование тепло-массообменных процессов аккумулирования с учетом природно-климатических условий, атмосферных явлений и теплотехнических характеристик глауберовых солевых

залежей, не учтены статистические показатели температуры солевого слоя для водоема Кара-Богаз-Гол [4-6].

До настоящего времени научно не исследованы теплоэнергетические ресурсные потенциалы солнечного излучения в качестве аккумулирования тепловой энергии в мирабилитном соленом водоеме Кара-Богаз-Гола как аккумуляторе тепла; не сформулированы рекомендации по реализации освоения возможностей солнечных технологий в зависимости от природно-климатических условий и атмосферных явлений с учетом экологических, экономических аспектов и теплотехнических ресурсов прикаспийской зоны Туркменистана [3-6].

Материалы исследования. По результатам гидрометеорологического исследования определялись изменения температуры воды, скорости ветра, продолжительности солнечного сияния, количества пасмурных дней и осадков по месяцам года.

Температурный режим воды в заливе отличается от Каспийского моря. Если средняя температура воды моря составляет 13,5 °С в год, то в заливе она равна 16,9 °С. По сезонам года средний температурный режим залива изменяется от 0,9 °С зимой и до 26 °С летом. Максимальная температура воздуха летом доходит до 64 °С, средняя минимальная температура зимой снижается до 3 °С [8].

Среднемесячный ветровой режим меняется по сезонам года: в зимний период скорость ветра повышается и составляет в среднем 6,2 м/с, а летом снижается до 5,7 м/с.

Количество осадков на территории залива в среднем составляет 104 мм в течение года, в месяц – 8,7 мм. За год продолжительность солнечного сияния составляет в среднем 2674 ч, в сутки – около 7,8 ч, несолнечных дней – 32.

Подробная методика определения технического, экономического и экологического потенциалов с учетом различных вариантов преобразования в тепловую и электрическую энергии представлена в работах [5-8].

Расчетные результаты исследования солнечно-энергетических потенциалов залива Кара-Богаз-Гол составляют, кВт·ч/м²·год: валовые – 1685,4; технические преобразованные в тепловую – 1177,1; в электрическую – 222,1; экономические от преобразования в тепловую – 470,9 и электрическую – 89,1 кг у.т./м²·год.

Экологический потенциал при годовой выработке тепловой энергии 1177,12 кВт·ч/м²·год и экономия расхода топлива 470,8 кг у.т./год, сокращение вредных выбросов составляют: SO₂ – 9,8; NO_x – 5,26; CO – 0,68; CH₄ – 1,4; CO₂ – 752,94; твердых веществ – 1,02 кг/год; при годовой выработке в электрическую 222,2 кВт·ч/м²·год, экономия расхода топлива 89,1 кг у.т./год, сокращение выбросов: SO₂ – 1,8; NO_x – 0,99; CO – 0,12; CH₄ – 0,27; CO₂ – 142,4; твердых веществ – 0,19 кг/год [4-6, 9-11].

Динамика тепло- и массообмена в солнечном соленом водоеме Кара-Богаз-Гол. Рассматриваем физический принцип, который заключается в следующем: солнечное излучение поступает на поверхность водоема, часть отражается, часть проникает в низко-конвертированную зону, аккумулирует тепловую энергию в соленом растворе, часть тепла уходит в грунт. Часть тепловой энергии с поверхности водоема уходит в окружающую среду за счет конвективного теплообмена, лучистого излучения и испарения.

На формирование динамики процесса тепло- и массообмена в солнечном соленом водоеме влияние оказывают большое число разнообразных факторов:

- гидрометеорологические – солнечное излучение ($q_{\text{в}}^*$), продолжительность и время солнечного сияния, облачность (μ), температура воздуха окружающей среды ($T_{\text{н}}$), водоема ($T_{\text{в}}$), солевого слоя ($T_{\text{с}}$) и почвы ($T_{\text{п}}$), скорость ветра (v) и некоторые другие параметры;

- теплотехнические, термические, физические и химические свойства соли водоема: теплопроводность воды ($\lambda_{\text{в}}$), соли ($\lambda_{\text{с}}$); теплоемкость воды ($c_{\text{в}}$), соли ($c_{\text{с}}$); плотность воды ($\rho_{\text{в}}$), соли ($\rho_{\text{с}}$); температура поверхности воды ($a_{\text{в}}$), соли ($a_{\text{с}}$); альbedo поверхности воды ($r_{\text{в}}$), ($r_{\text{с}}$) и другие параметры [5, 12, 13].

Описание дифференциального уравнения теплового баланса. Солнечное излучение, аккумулированное в искусственном или соленом естественном водоеме, рассматривается как водяные солнечные коллекторы и их обычно принято называть «солнечными прудам». Основным условием функционирования таких систем является содержание и наличие градиента концентрации соли по толще воды в неглубоких водоемах.

Возможность решения задачи динамики процесса тепло- массообмена солнечного залива рассматривали на основе физической модели и в разработке рабочей математической модели с некоторыми упрощениями, они состоят в следующем:

- солнечный залив рассматриваем как систему, состоящую в некотором пространстве одномерном и однородном с соленой водой, с ограниченным массивом в объеме один кубический метр;

- система обогрева предполагает, что солнечное излучение равномерно распространено по всему объему водоема на один квадратный метр по времени;

- динамику системы тепло- и массообмена описываем в виде дифференциального уравнения теплового баланса за промежутки времени.

Вывод системы дифференциального уравнения, описывающего динамику процесса тепло- массообмена в солнечном соленом водоеме Кара-Богаз-Гол за промежутки времени, $d\tau$ можно записать в следующем виде:

$$dQ_{\text{п}}^{\Sigma} - dQ_{\text{с}} - dQ_{\text{в}} - dQ_{\text{тн}} - dQ_{\text{ав}} - dQ_{\text{ас}} - dQ_{\text{бг}} = 0, \quad (1)$$

где $dQ_{\text{п}}^{\Sigma}$ – суммарный поток тепла солнечного излучения, поступающий в солнечный водоем, кВт·ч/м²; $dQ_{\text{ав}}$ – поток тепла солнечного излучения, аккумулированного соленой водой, кВт·ч/м²; $dQ_{\text{с}}$ – поток тепла солнечного излучения, поступающий в солевую поверхность дна пруда + $dQ_{\text{п}}$ в почву, кВт·ч/м²; $dQ_{\text{в}}$ – поток тепла солнечного излучения, поступающий в водную поверхность водоема в воду, кВт·ч/м²; $dQ_{\text{тн}}$ – количество тепла, отдаваемое в атмосферу с поверхности в результате воздухообмена и теплопередачи, кВт·ч/м²; $dQ_{\text{бг}}$ – количество тепла, отдаваемое в боковые грунтовые поверхности водоема в одномерном пространстве на один квадратный метр, кВт·ч/м²; $dQ_{\text{ас}}$ – поток тепла солнечного излучения, аккумулированный в солевом слое на дне, кВт·ч/м².

Подставляем составляющие в значение к величинам $dQ_{\text{п}}^{\Sigma}$, $dQ_{\text{в}}$, $dQ_{\text{с}}$, $dQ_{\text{ас}}$,

$dQ_{ав}$ балансового дифференциального уравнения (1). Прделав некоторые математические преобразования, находим температурный режим солевого слоя в водоеме T_c °C, получаем в виде периодического гармонического ряда решение:

$$T_c = T_{0c} + \sum_{j=1}^n T_{jc} \exp[i(\omega\tau - \varphi_j)], \quad (2)$$

где T_{0c} – среднее значение температуры соленой воды водоема, °C; T_{jc} – амплитуда температуры солевого слоя, °C для j -гармоники; $i = \sqrt{-1}$ – мнимое число; ω – циклическая частота внешнего теплового воздействия соленой воды на солевой слой, градус/час; τ – время час, φ_j – угол сдвига фаз, градус. Подробное математическое преобразование приведено в работах [4-6].

На основе составленного теплового балансового уравнения (1) рассчитаны термический режим залива как «солнечный пруд» (2). Определено суточное аккумулялирование солнечной энергии в летний и зимний периоды года. На рисунке 1 приведены результаты расчета аккумулялирования солевой поверхности и в глубине 0,5 м солеотложения.

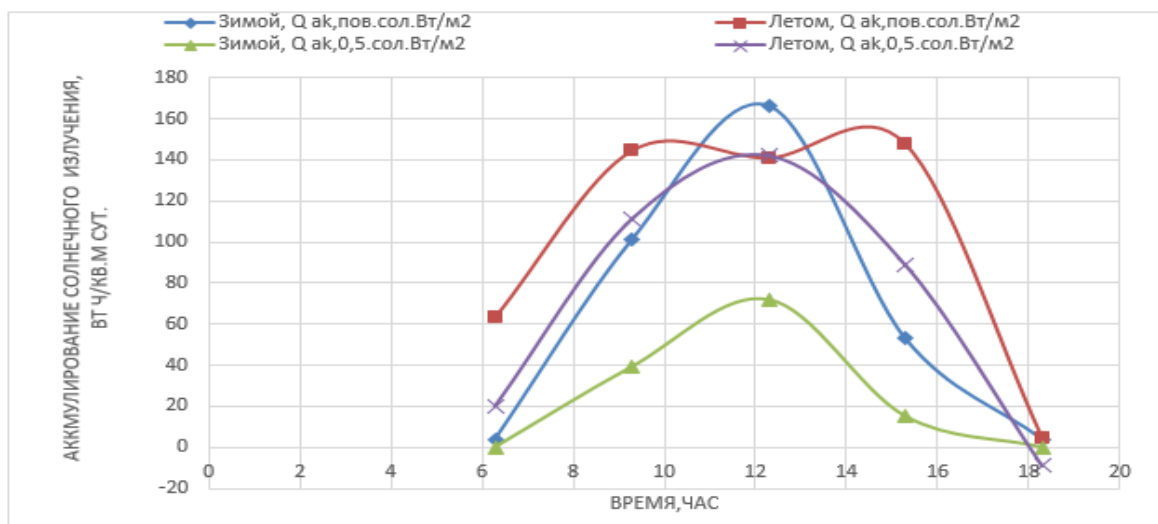


Рисунок 1 – Суточный ход аккумулялирования солнечного излучения глауберовой соли залива Кара-Богаз-Гол

Солнечный ресурсный потенциал в регионе при годовой выработке тепловой энергии 1177,12 кВт·ч/м²·год и экономия расхода топлива 470,8 кг у.т./год, сокращение вредных выбросов составляют: SO₂ – 9,8; NO_x – 5,26; CO – 0,68; CH₄ – 1,4; CO₂ – 752,94; твердых веществ – 1,02 кг/год; при годовой выработке в электрическую 222,2 кВт·ч/м²·год, экономия расхода топлива 89,1 кг у.т./год, сокращение выбросов: SO₂ – 1,8; NO_x – 0,99; CO – 0,12; CH₄ – 0,27; CO₂ – 142,4; твердых веществ – 0,19 кг/год [6, 12, 13].

Коэффициент полезного действия залива по предварительным расчетам составляет зимой 1,14 %, летом 1,46 %. В процентном соотношении преобразование солнечной энергии в тепловую изменяется в пределах от 40 до 70 % в зависимости от сезона года. Средняя температура в летний период на солевой поверхности дна увеличивается от 55,04 °C до 79,8 °C, зимой от 20,0 °C до 25,6 °C.

Полученные тепловые энергетические характеристики подтверждают эффективность внедрения в заливе Кара-Богаз-Гол как электростанции на базе

«солнечных прудов», так и других солнечных аккумулирующих установок.

Статистический анализ подтверждает следующее: средняя температура воды по данным гидрометеослужбы (y) = 13,3 °С; средняя температура соленого водоема по теоретическим расчетам в течение года (x) = 16,9 °С, коэффициент корреляции, $r_{xy} = 0,907$; коэффициент коррелируемых переменных, прямых и обратных параметров $a_1 = -0,7$ и $a_2 = 2,71$; среднее квадратичное отклонение составляет $\sigma_{x/y} = 4,23$ и $\sigma_{y/x} = 7,19$; относительная погрешность уравнения $\delta_{y/x} = 42,6\%$; $\delta_{x/y} = 32,6\%$. Среднее квадратное отклонение фактической температуры воды водоема $\sigma_y = 10,1$, теоретический расчет по модели $\sigma_x = 6,8$; тесную взаимосвязь общей вариации теоретической и фактической температуры определяет коэффициент детерминации, который равен $D = 82,4\%$, следовательно, на 17,6 % ошибка математической модели зависит от влияния других неучтенных факторов.

ВЫВОДЫ:

Разработана, составлена физическая и математическая модели теплотехнических параметров и определен термический режим водоема Кара-Богаз-Гол в Каспийском море по месяцам года. Полученные систематизированные результаты теоретических и методических расчетов солнечно-энергетических ресурсных потенциалов, уравнения регрессии, корреляционные коэффициенты и математическая модель тепло- массообмена водоема позволит оценить термическую энергоэффективность при разработке проектно-сметной документации, при составлении технико-экономического обоснования для создания, внедрения энергетических технологических комплексов и масштабного освоения залива Кара-Богаз-Гол для устойчивого развития Туркменистана.

Процесс аккумулирования солнечного излучения зависит от проникновения солнечных лучей на солевой слой. Солнечная энергия аккумулируется на глубине 0,5 м в зависимости от солнечного излучения по сезонам года и составляет: зимой процесс аккумулирования снижается от 1,76 до 1,49 кВт/м² мес.; с наступлением весны процесс аккумулирование увеличивается от 2,7 до 5,4 кВт/м² мес.; летом в июне доходит до своего пика 5,96 кВт/м² мес., а затем начинает снижаться до 5,1 кВт/м² мес.; осенью аналогично снижается температура и аккумулированная солнечная энергия начинает отдавать тепло от 4,1 до 1,76 кВт/м² мес. В среднем солнечное излучение аккумулируется в течение года на солевой поверхности в размере 15,43 кВт/м², на глубине 0,5 м равна 31,5 кВт/м². Среднее годовое аккумулирование солнечной энергии на один квадратный метр составляет 3,6 кВт/м² мес. и уравнение регрессии, и коэффициент корреляции равны: $y = -0,0043x + 3,6238$; $R^2 = 8 \cdot 10^{-5}$, а на поверхности солевого слоя уравнения регрессии и корреляционная зависимость составляют $y = 0,082x + 1,2268$; $R^2 = 0,0785$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бердымухамедов, Г. М. Туркменистан на пути достижения целей устойчивого развития / Г. М. Бердымухамедов. – Ашхабад : Туркменская государственная издательская служба, 2018. – 468 с.
2. Бердымухамедов, Г. М. Электроэнергетическая мощь Туркменистана / Г. М. Бердымухамедов. – Ашхабад: Туркменская государственная издательская

служба, 2022. – 130 с.

3. Андреев, С. А. Аккумуляция энергии в маломощных гелиосистемах автономного электроснабжения / С. А. Андреев, В. И. Загинайлов, Д. В. Шибаров // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». – 2017. – № 5(81). – С. 70-76.

4. Стребков, Д. С. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане / Д. С. Стребков, А. М. Пенджи́ев, Б. Д. Мамедсахатов. – М. : Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства, 2012. – 495 с. – ISBN 978-5-85941-459-8.

5. Пенджи́ев, А. М. Экоэнергетические ресурсы возобновляемых источников энергии / А. М. Пенджи́ев. – М. : Русайнс, 2023. – 400 с.

6. Пенджи́ев, А. М. Теплоэнергетические ресурсные потенциалы залива Кара-Богаз-Гол как «солнечного пруда» / А. М. Пенджи́ев, П. О. Оразов // Инженерные технологии и системы. – 2024. – Т. 34, № 3. – С. 474-494. – DOI 10.15507/2658-4123.034.202403.474-494.

7. Фигуровский, Н. А. Очерк общей истории химии. – М., 1969. – 164 с.

8. Комплексный спутниковый мониторинг морей России / О. Ю. Лаврова [и др.]. – М. : ИКИ РАН, 2011. – 385 с.

9. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, ч. 1-16. – Л.: Гидрометиздат, 1989. – 502 с.

10. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / П. П. Безруких [и т. д.]. – СПб. : Наука, 2002. – 314 с.

11. Виссарионов, В. И. Солнечная энергетика : учебное пособие для вузов / под общ. ред. В. И. Виссарионова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.

12. Даффи, Дж. А. Основы солнечной теплоэнергетики / Дж. А. Даффи. – М. : Издательский дом Интеллект, 2013. – 884 с.

13. Penjiyev, A. M. Solar Energy Resource Potential of the Garabogazköl Gulf in the Caspian Sea / A. M. Penjiyev, P. O. Orazov // Geography and Natural Resources. – 2025. – Vol. 46, No. 2. – P. 212-219. – DOI 10.1134/S1875372825700234.

14. Пенджи́ев, А. М. Залив Кара-Богаз-Гол как «солнечный пруд» и его энергетические характеристики / А. М. Пенджи́ев, Б. М. Мамедов // Залив Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2025. – Т. 68, № 6. – С. 551-564.

Об авторе:

Пенджи́ев Ахмет Мырадович, доцент, Туркменский государственный архитектурно-строительный институт (44025, Туркменистан, г. Ашгабат, ул. Баба Аннанова, д. 136), доктор технических наук, доктор сельскохозяйственных наук, ampenjiyev@gmail.com

About the author:

Akhmet M. Pendzhiev, Associate Professor, Turkmen State Institute of Architecture and Civil Engineering (44025, Turkmenistan, Ashgabat, Baba Annanov Street, 136), Doctor of Technical Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, ampenjiyev@gmail.com.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ БАЙПАС ДЛЯ ОТКЛЮЧЕНИЯ НЕИСПРАВНОГО ИБП КОНТРОЛЛЕРА ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА ПОДСТАНЦИИ

А. А. Панфилов

Филиал ПАО «Россети Центр» – «Орелэнерго»

***Аннотация.** Рассмотрено рационализаторское предложение для решения проблемы потери наблюдаемости оборудования подстанций 110-220 кВ, возникающей вследствие выхода из строя источников бесперебойного питания, питающих в сети 0,4 кВ комплекс телемеханики. Предложена схема автоматического байпаса. Показано решение по установке байпаса с целью отключения источника бесперебойного питания при выходе его из строя и подачи напряжения на оборудование телемеханики от оперативных цепей с последующей передачей сигнала о выходе из строя источника бесперебойного питания оперативному диспетчеру в оперативно-информационный комплекс.*

***Ключевые слова:** надежность комплекса телемеханики, сельские электрические сети, подстанции, оперативные цепи, источник бесперебойного питания, автоматический байпас.*

AUTOMATIC BYPASS FOR DISCONNECTING A FAULTY UPS TELEMECHANICS CONTROLLER AT A SUBSTATION

A. A. Panfilov

Branch of PJSC ROSSETI Center – Orelenergo

***Abstract.** An innovation proposal has been considered to solve the problem of loss of observability of 110-220 kV substation equipment resulting from the failure of uninterruptible power supplies supplying a 0,4 kV telemechanics complex in the network. An automatic bypass scheme is proposed. The solution for installing a bypass is shown in order to disconnect the uninterruptible power supply when it fails and supply voltage to the telemechanics equipment from the operational circuits, followed by transmitting a signal about the failure of the uninterruptible power supply to the operational dispatcher in the operational information complex.*

***Keywords:** reliability of the telemechanics complex, rural electric networks, substations, operational circuits, uninterruptible power supply, automatic bypass.*

Оперативно-информационный комплекс (ОИК) – основной программный инструмент диспетчера, при помощи которого осуществляется управление электроэнергетическим режимом ЕЭС России. Он предназначен для приема, обработки, хранения, передачи и предоставления оперативно-диспетчерскому персо-

налу телеметрической информации, характеризующей режим работы энергосистемы в реальном времени, а также отчетной и плановой информации в виде таблиц, графиков, схем [1].

Работоспособность ОИК зависит от надежности работы системы бесперебойного электропитания оборудования телемеханики, установленного на объектах электроэнергетики [2, 3]. Все современные системы сбора и передачи данных оснащены источниками бесперебойного питания (ИБП), которые предназначены для обеспечения работоспособности оборудования при отключении электропитания. Внезапный отказ ИБП (рисунок 1) является одной из причин возникновения полной потери наблюдаемости объектов электроэнергетики, в частности подстанций (ПС) 110-220 кВ. При этом под наблюдаемостью понимается обеспечение возможности мониторинга и контроля параметров режимов работы сети и технического состояния оборудования сети как средств получения необходимых данных для управления конфигурацией сети, что можно отнести и к оборудованию ПС [4, 5].



Рисунок 1 – Внешний вид источника бесперебойного питания

При выходе из строя ИБП оборудование телеметрии, телемеханики остается без электропитания даже тогда, когда напряжение в силовых цепях самой ПС уже восстановлено. А для восстановления наблюдаемости энергообъекта требуется проведение ремонтно-восстановительных работ.

Потеря наблюдаемости энергообъекта связана с огромными рисками вплоть до полного выхода из строя всей ПС, так как в период отсутствия телеметрии оперативный диспетчер не понимает, что происходит на подстанции и не может предпринять никаких действий, так как неправильные действия могут привести к повреждению оборудования, рискам электро- и пожароопасности.

Для решения проблемы выхода из строя ИБП есть два варианта:

1. Установка системы гарантийного электропитания [6, 7].
2. Установка автоматического байпаса (рисунок 2) с целью отключения ИБП при выходе его из строя и включения напряжения на оборудование телемеханики с последышей передачей сигнала в ОИК оперативному диспетчеру.



Рисунок 2 – Автоматический байпас для отключения неисправного ИБП и подключения электропитания в шкафу ТМ

Чтобы оснастить пять подстанций системами гарантированного электропитания, потребуется приобрести 5 комплектов источников гарантированного электропитания. Стоимость одного комплекта составляет порядка 300 тысяч рублей без учёта работ по монтажу и наладке.

Вариант с установкой байпаса, включающего электропитание в обход повреждённого ИБП, стоит существенно ниже (до 6 тысяч рублей). Однако, представленные на рынке байпасы не вмещаются в установленные на подстанциях шкафы телемеханики, соответственно, при их использовании требуется установка дополнительного щита, что в условиях ограниченного места проблематично. В связи с этим в рамках рационального предложения, представленного в ПАО «Россети», был разработан автоматический байпас для шунтирования вышедшего из строя ИБП. Разработанный байпас размещается на DIN-рейке. Стоимость компонентов для самостоятельного изготовления фильтров обойдется еще дешевле покупки готового байпаса. Поэтому выбираем вариант изготовления байпаса хозспособом. Стоимость комплектующих байпаса суммарно не превышает 6 тысяч рублей.

Описание предлагаемого решения. На подстанции реализуется решение по автоматическому отключению вышедшего из строя ИБП и передаче сигнала в ОИК диспетчеру о неисправности ИБП.

Для изготовления байпаса используются следующие материалы: три двухполюсных автоматических выключателя на 6, 10 и 20 А, модульный контактор с четырьмя группами контактов на напряжение до 400 В и током 25 А, клеммные рады для подключения электропитания, кабель ПУВНГ-3 1х2,5 кв. мм, DIN рейка 20 см.

На рисунке 3 представлена электрическая схема байпаса.

Байпас устанавливается на DIN-рейку непосредственно в шкаф телемеханики. Подключается к источнику электропитания собственных нужд подстанции параллельно с входом ИБП. Выход ИБП также подключается к байпасу и в этой точке происходит контроль выходного напряжения с ИБП с помощью контактора КМ1. Выход байпаса подключается к контроллеру телемеханики. Крепеж байпаса производится либо на существующую в шкафу ТМ DIN рейку, либо на

вновь установленную. Подключение элементов схемы ведется проводом ПУВНГ-3 1х2,5.

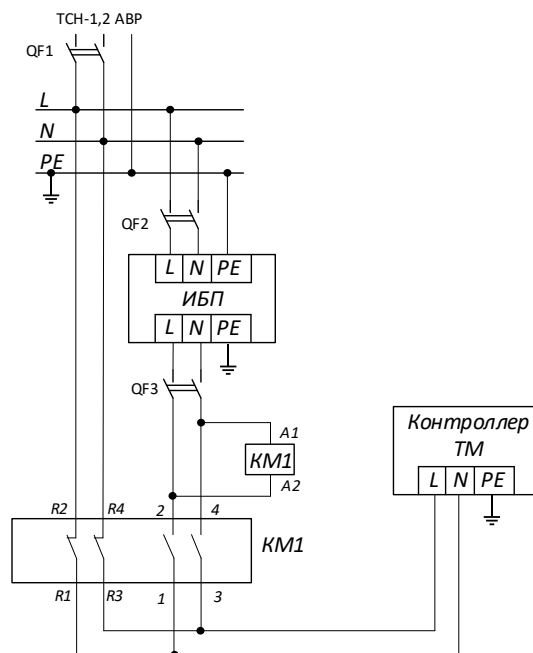


Рисунок 3 – Электрическая схема байпаса для шунтирования неисправного ИБП

Таким образом, байпас получается достаточно компактным и может быть установлен практически в любой шкаф телемеханики.

Основными преимуществами разработки являются:

- невысокая стоимость (до 6 тысяч рублей);
- универсальный способ крепления на DIN-рейку;
- возможность монтажа непосредственно в шкафу телемеханики, без демонтажа уже установленного оборудования;
- надежное переключения электропитания в случае выхода из строя ИБП.

Ожидаемый положительный эффект от использования заключается в исключении аварий с полной потерей наблюдаемости подстанции по причине выхода из строя ИБП. Это в свою очередь повышает живучесть комплекта телемеханики, установленного на подстанциях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полуботко, Д. В. Использование графических процессоров в задачах оперативного управления режимами электроэнергетических систем / Д. В. Полуботко, Ю. Я. Чукреев // Программные продукты и системы. – 2009. – № 1. – С. 25.
2. Шапаренко, В. С. Краткий анализ статистики дефектов и случаев неправильной работы устройств релейной защиты и автоматики на разной элементной базе в региональной сетевой компании / В. С. Шапаренко // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2017. – № 2. – С. 28-35.

3. Шапаренко, В. С. Анализ статистики длительных нарушений в работе каналов диспетчерской связи и телемеханики в региональной сетевой компании (РСК) / В. С. Шапаренко // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Т. 10, № 12. – С. 31-36.

4. Виноградов, А. В. Понятия и методики определения уровней наблюдаемости и управляемости электрических сетей / А. В. Виноградов // Агротехника и энергообеспечение. – 2025. – № 2(47). – С. 5-16.

5. Принципы управления конфигурацией электрической сети и задачи по их реализации / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, А. Ю. Сейфуллин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 3. – С. 34-46. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-34-46.

6. Автоматика – этап индустриализации села / И. Ф. Бородин, В. И. Загинайлов, В. Т. Сергованцев [и др.] // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 1. – С. 11-13.

7. Пашковский, С. Н. Современные решения по обеспечению постоянным оперативным током релейной защиты, автоматики и сигнализации подстанций распределительных сетей / С. Н. Пашковский, Б. Э. Шехтер // Релейная защита и автоматизация. – 2019. – № 1 (34). – С. 94-97.

Об авторе:

Панфилов Александр Александрович, начальник отдела эксплуатации автоматизированных систем диспетчерского управления, Филиал ПАО «Россети Центр» – «Орелэнерго» (302030, Российская Федерация, Орел, пл. Мира, д. 2), кандидат технических наук, ra3ed@mail.ru.

About the author:

Aleksander A. Panfilov, Head of the Department of Operation of Automated Dispatch Control Systems, Branch of PJSC ROSSETI Center-Orelenargo (302030, Russian Federation, Oryol, Mira Square, 2), Candidate of Technical Sciences, ra3ed@mail.ru.

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А. В. Богдан¹, К. А. Гарькавый², А. В. Богдан (мл)¹

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина», г. Краснодар, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** Рассмотрена оросительная система, которая представляет собой самоходные центрально-поворотные оросительные машины, обеспечивающие эффективное внесение воды. Данная система имеет преимущества, а также ограничения по падению напряжения и потерям мощности в системе электроснабжения, решение которых представлено в виде расчетов, выполненных с использованием программного обеспечения Mathcad. Определены установившиеся режимы вариантов радиальной распределительной сети задаваемых структурой кабельных линий, пассивной компенсации реактивной мощности и активной фотоэлектрической системой. Сделаны выводы о возможности построения системы распределенной генерации самоходных центрально-поворотных оросительных машин для минимизации падения напряжения и потерь мощности в электросети.*

***Ключевые слова:** центрально-поворотные оросительные машины, падение напряжения, потери мощности, фотоэлектрические батареи, косинусные конденсаторные батареи.*

BUILDING A DISTRIBUTED GENERATION SYSTEM FOR AGRICULTURAL IRRIGATION

A. V. Bogdan^a, K. A. Garkavy^b, A. V. Bogdan (Jr.)^a

^aKuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

^bRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** An irrigation system is considered, which is a self-propelled central rotary irrigation machine providing efficient water application. This system has advantages, as well as limitations on voltage drop and power loss in the power supply system, the solution of which is presented in the form of calculations performed using Mathcad software. The steady-state modes of the radial distribution network variants are determined by the structure of cable lines, passive reactive power compensation and an active photovoltaic system. Conclusions are drawn about the possibility of building a*

distributed generation system for self-propelled central rotary irrigation machines to minimize voltage drops and power losses in the power grid.

Keywords: *central rotary irrigation machines, voltage drop, power loss, photovoltaic batteries, cosine capacitor banks.*

При мелиорации земель для повышения урожайности сельскохозяйственных культур в районах рискованного земледелия необходимы: высокая равномерность внесения воды при низком уровне потерь на испарение, сноса ветром, стока; полуавтоматическая работа с минимальными трудозатратами; высокая адаптивность для различных типов почвы; возможность химической обработки и подачи питательных веществ. Одним из решения является использование центрально-поворотных оросительных машин, которые имеют ряд преимуществ. Изобретенные в 1948 году Фрэнком Зибахом машины получили широкое распространение, благодаря своей эффективности, автоматизации и возможности орошения различных типов местности и почв. Они представляют собой самоходные оросительных машины, вращающиеся вокруг центральной опоры, обеспечивая подачу воды к сельскохозяйственным культурам.

Как правило, центрально-поворотная оросительная машина (рисунок 1) имеет верхнюю распределительную трубу 1, идущую от центра поворотного узла 10, к которому вода подается через заглубленную трубу 11, и состоящую из множества сегментов 2-5. Сегменты распределительной трубы установлены между башнями 6-8. Управление движением осуществляется через задание скорости опорной башни 9 наружного сегмента трубы 5. Перемещаясь, она изменяет свое положение, которое показано пунктирными линиями до определенного угла α между соседним сегментом трубы 4. Затем устройство управления включает привод опорной башни 8 до момента возвращения соседних сегментов труб 4 и 5 в линию и т.д. Вследствие чего график электрической нагрузки дискретный, с изменением от величины мощности мотор-редуктора опорной башни до максимального [1, 2].

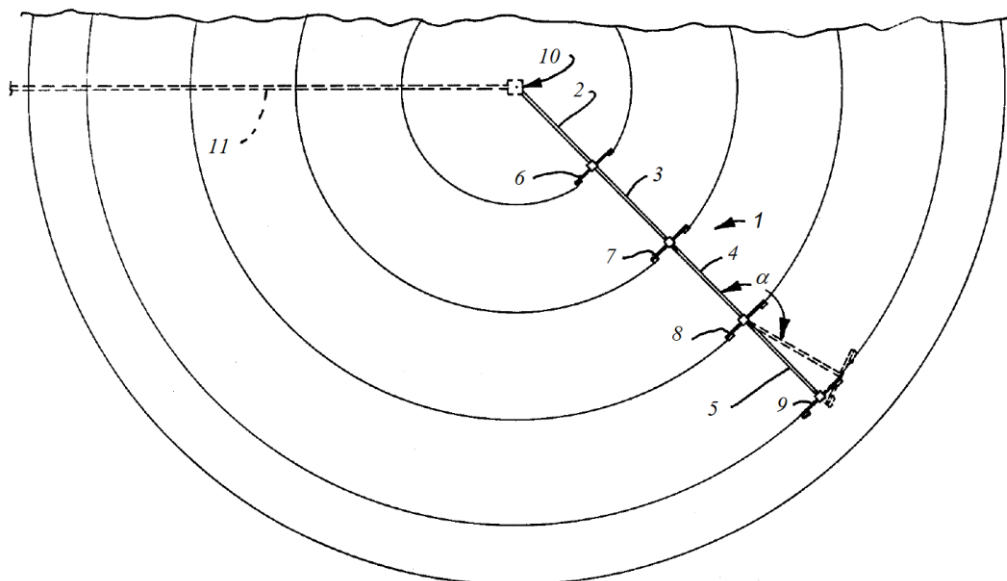


Рисунок 1 – Схема центрально-поворотной оросительной машины

Длина центрально-поворотной оросительной машины может составлять от 150 до 700 м. Электрической нагрузкой системы являются автоматика, мотор-редукторы опорных башен, насос и система для химической обработки и подачи питательных веществ. Расчетный коэффициент мощности нагрузки 0,65.

Несмотря на свою эффективность, центрально-поворотные оросительные машины имеют ограничения, связанные с высокими первоначальными затратами и эксплуатационными расходами в зависимости от принятой системы электроснабжения.

Для мелиорации 110 га сельскохозяйственных земель с нормой полива 7 мм необходим общий расход поливной воды 330 м³/ч. Для покрытия данной площади полей используются девять центрально-поворотных оросительных машин с питанием от дизельных генераторов (рисунок 2а). Значительные оперативные расходы использования дизельных электростанций снижают экономические показатели от ее внедрения, что повлекло необходимость реконструкции питающей схемы. Цель состоит в том, чтобы перестроить схему электроснабжения для подключения к центральной электрической сети с минимальными капитальными затратами на оборудование и кабельные линии (рисунок 2б). При выборе оборудования и кабельных линий используется расчетная схема замещения (рисунок 3). Наибольшее и наименьшее напряжение питания приняты в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50571.5.52-2011, ГОСТ 32144-2013 и ГОСТ 29322-2014.

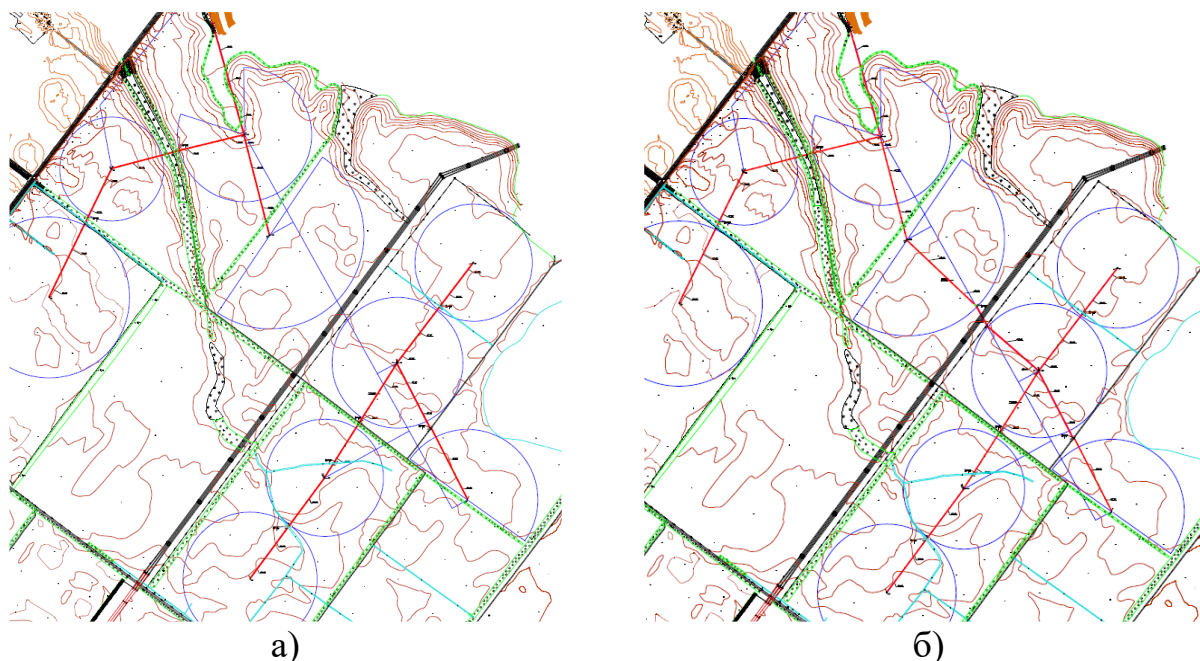


Рисунок 2 – Схема питания систем для расчета в программе Mathcad

На схеме замещения активная мощность составляет от 7 до 12,3 кВт на центрально-поворотную оросительную машину, всего 75,7 кВт, коэффициент мощности 0,65, а длина кабельных линий от 650 до 1118 м. По заданным мощностям в узлах проверен расчет токов, напряжений и потерь мощности. При объединении системы расчетные напряжения во всех узлах были ниже наименьшего напряжения питания (рисунок 4). Для решения этой проблемы известны методы,

которые сосредоточены на уменьшении сопротивления, полного тока или построение оптимальных трасс [3-7].

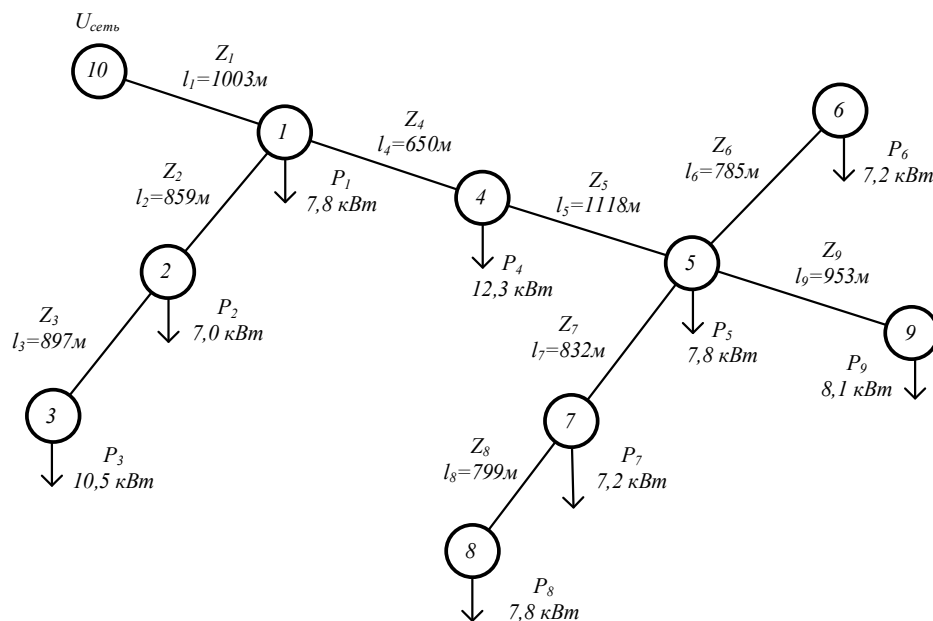


Рисунок 3 – Схема замещения для питания 9-ти центрально-поворотных оросительных машин

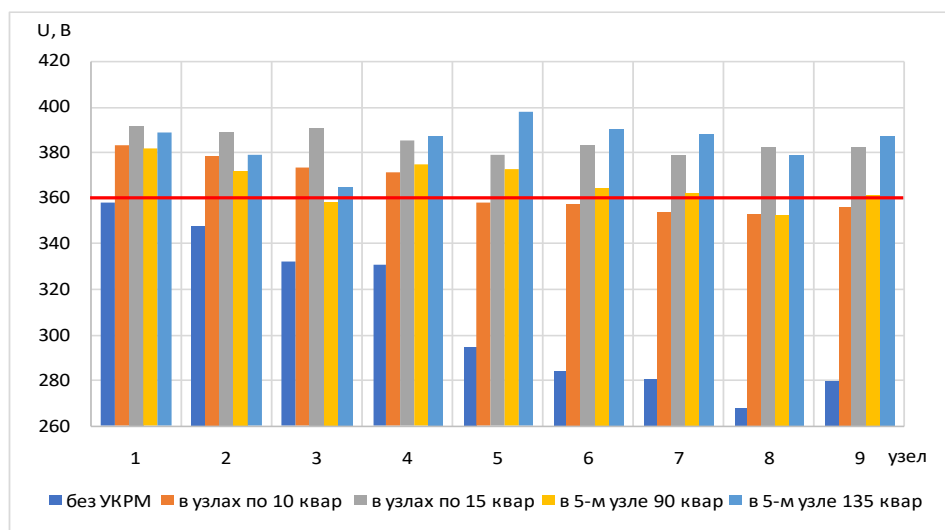


Рисунок 4 – Результаты расчета напряжений на потребителях в зависимости от величины и схемы подключения косинусных конденсаторных батарей

Минимизация падения напряжения путем дальнейшего уменьшения сопротивления кабельных линий увеличивает затраты на материал и монтаж, а после достижения определенного сечения дальнейшее увеличение приводит к меньшему снижению падения напряжения относительно дополнительных затрат.

Оптимизация трассы требует масштабной реконструкции кабельных линий или переноса источника, что ограничено участком орошения и сетевой компанией.

Воздействовать на баланс реактивной мощности можно путем пассивной и активной коррекции. Наиболее распространенным и экономически эффективным методом является пассивная коррекция. Для реализации данного метода в расчетах были подключены к центру нагрузки или к узлам косинусные конденсаторные батареи. По результатам расчетов получена диаграмма напряжений в узлах присоединений нагрузок от величины и схемы подключения косинусных конденсаторных батарей (рисунок 4). Хотя она минимизирует падение напряжения и уменьшает потери мощности, есть ряд существенных рисков. Это переходные процессы и скачки напряжения при переключении. Избыточная емкость может привести к перенапряжению в период понижения или нулевой нагрузки и одновременно повысить потери мощности.

Одно из решений этой задачи является система распределенной генерации на основе фотоэлектрических батарей [8-10]. В результате расчета получена зависимость напряжений в узлах присоединений нагрузок по представленной схеме, в которой основной источник – электрическая сеть, а в качестве элементов, корректирующих падение напряжение – подключённая активная фотоэлектрическая система и косинусные конденсаторные батареи. Преимущества предлагаемой системы электроснабжения заключаются в повышении стабильности и качества электрической энергии.

По результатам расчетов предложенной системы распределенной генерации минимальные показатели падения напряжений в узлах и потери мощности удалось достигнуть при подключении активной фотоэлектрической системы мощностью 10кВт в 5-м узле и установкой косинусных конденсаторных батарей мощностью 10квар в каждом узле (рисунки 5 и 6).

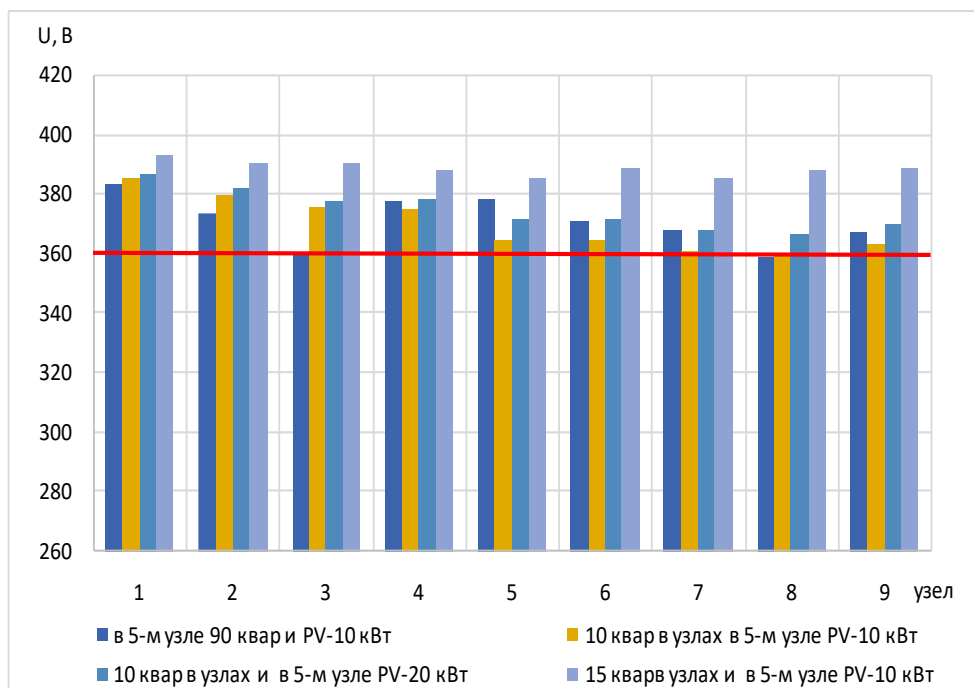


Рисунок 5 – Результаты расчета напряжений на потребителях в системе распределенной генерации

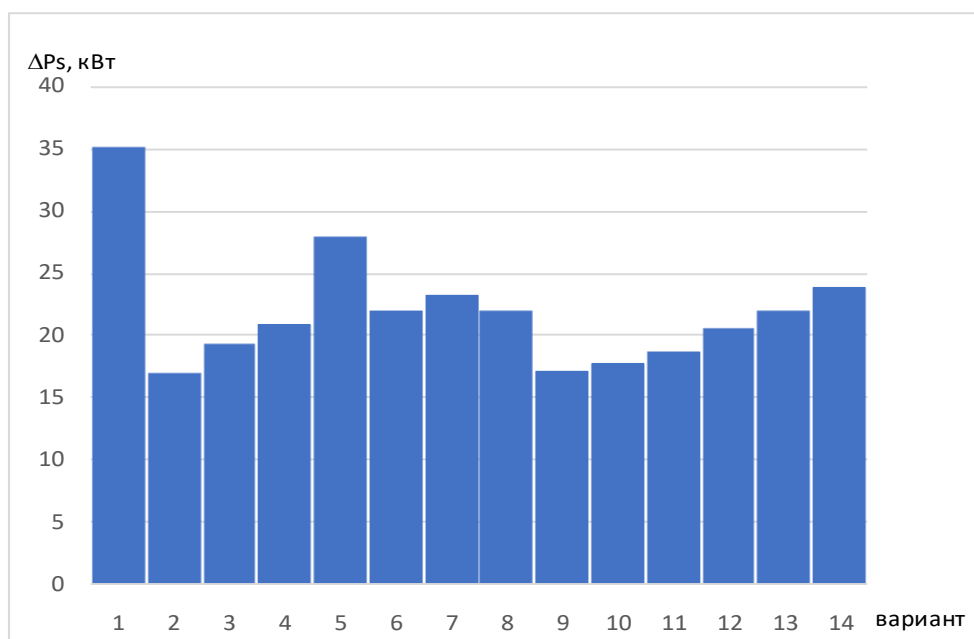


Рисунок 6 – Потери мощности для разных вариантов

Проведен расчет потери мощности для анализа вариантов сети: 1 – без УКРМ и PV, 2 – в узлах по УКРМ-10 квар, 3 – в узлах по УКРМ-15 квар, 4 – в 5-м узле УКРМ-90 квар, 5 – в 5-м узле УКРМ-135 квар, 6 – в 5-м узле УКРМ-90 квар и PV-10 кВт, 7 – в 5-м узле УКРМ-90 квар и PV-20 кВт, 8 – в 5-м узле УКРМ-135 квар и PV-10 кВт, 9 – в узлах УКРМ-10 квар в 5-м узле PV-10 кВт, 10 – в узлах УКРМ-10 квар и в 5-м узле PV-20 кВт, 11 – в узлах УКРМ-10 квар и в 5-м узле PV-30 кВт, 12 – в узлах УКРМ-15 квар и в 5-м узле PV-10 кВт, 13 – в узлах УКРМ-15 квар и в 5-м узле PV-20 кВт, 14 – в узлах УКРМ-15 квар и в 5-м узле PV-30 кВт. Для сравнения результатов численного расчета показаны (рисунок 6) величины потерь мощности для разных вариантов.

На основе проведенного анализа представленные расчеты демонстрируют, что центрально-поворотные оросительные машины, используемые для мелиорации земель в сельском хозяйстве, несмотря на высокую эффективность внесения воды, сталкиваются с проблемами при построении электрических сетей, в первую очередь, с нестабильностью напряжения из-за протяженных кабельных линий и изменением нагрузки и ее индуктивного характера.

ВЫВОДЫ:

Потери мощности в расчетных вариантах составили от 17,0 до 35,2 кВт или от 22,4 до 46,5 %. Минимальных потерь мощности удалось достичь во 2 и 9 варианте, однако во 2 варианте падение напряжение в узлах было ниже допустимого значения. Следовательно, при построении системы электроснабжения приоритет необходимо отдавать гибридным конструкциям с распределенной генерацией, но с использованием систем автоматического управления для снижения рисков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент US4161185A USA, B05B 3/12, Apparatus for alignment control in a self-propelled irrigation system: 4,161,185: Jul. 17, 1979 / James R. McConnell.

2. Evans, R. G. Center pivot irrigation / R. G. Evans // Agricultural Systems Research Unit, North Plain Agricultural Research laboratory. USDN-Agricultural Research Service. – 2001. – Т. 1500. – С. 16. – DOI 10.1007/978-3-319-05699-9_12.

3. Bogdan, A. V. Optimization of attachment place of two photovoltaic systems to power line with distributed load / A. V. Bogdan, K. A. Garkavyi, V. A. Bogdan // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019, Sochi, 25-29 марта 2019 года. – Sochi, 2019. – P. 8743092. – DOI 10.1109/ICIEAM.2019.8743092.

4. Bogdan, A. Calculation of photovoltaic systems connection to the supply line with distributed load / A. Bogdan, V. Bogdan, K. Garkavyi // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2020. – Vol. 154. – P. 597-608. – DOI 10.1007/978-981-13-9267-2_49.

5. Bogdan, A. V. The Influence of Power Load Distribution on Losses in the Line when Connecting Solar Panels / A. V. Bogdan, V. A. Bogdan, K. A. Garkavyi // Proceedings - 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2020, Chelyabinsk, 22-24 сентября 2020 года. – Chelyabinsk, 2020. – P. 441-448. – DOI 10.1109/UralCon49858.2020.9216300.

6. The influence of load distribution along a line on power and place of connection of a photovoltaic system / A. V. Bogdan, D. S. Netrebko, V. A. Bogdan, K. A. Garkavyi // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 14, Tomsk, 14-17 октября 2019 года. – Tomsk, 2021. – P. 012011. – DOI 10.1088/1757-899X/1019/1/012011.

7. Concerning the concept of constructing combined ups systems / R. A. Amerkhanov, O. V. Grigorash, K. A. Garkaviy [et al.] // Journal of Industrial Pollution Control. – 2017. – Vol. 33, No. 1. – P. 797-803.

8. Дидманидзе, О. Н. Моделирование производственных процессов по заготовке зеленых кормов / О. Н. Дидманидзе, Б. Е. Тыныштыкбаев, С. М. Мусипов. – М. : Инженерно-экономический институт, 1999. – 120 с.

9. Power supply system for electrical installations with electrical converters, grid, generator and solar sources / V. G. Lyapin, O. V. Leshtayev, A. E. Gafiev [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 3, Mining, Production, Transmission, Processing and Environmental Protection, Moscow, 21 апреля 2021 года. – Moscow, 2021. – P. 012016. – DOI 10.1088/1755-1315/808/1/012016.

10. Дидманидзе, О. Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве с использованием компьютерных технологий / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. Н. Журилин. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2018. – 150 с.

Об авторах:

Богдан Александр Владимирович, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» (350044, Российская Федерация, Краснодар, ул. Калинина, 13), доктор технических наук, профессор, alina48av@mail.ru.

Гарькавый Константин Алексеевич, доцент кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434,

Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49) кандидат технических наук, доцент, k.garkaviy@rgau-msha.ru.

Богдан Александр Владимирович (мл), магистрант ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина» (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Калинина, 13), prostovvti@mail.ru.

About the authors:

Aleksandr V. Bogdan, professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (350044, Russian Federation, Krasnodar, st. Kalinina, 13), Doctor of Technical Sciences, Professor, alina48av@mail.ru.

Konstantin A. Garkavy, associate professor of power supply and thermal power engineering department after named I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), Candidate of Technical Sciences, associate professor, k.garkaviy@rgau-msha.ru.

Aleksandr V. Bogdan (Jr.), master's student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (350044, Russian Federation, Krasnodar, st. Kalinina, 13), prostovvti@mail.ru.

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЧИН НАРУШЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, ПИТАЕМЫХ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

С. В. Кириллов

ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск, Российская Федерация

***Аннотация.** Представлены результаты анализа причин нарушения электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог. Установлено, что основными по количеству и продолжительности являются технологически зависимые отключения, происходящие из-за производства работ на инфраструктуре железной дороги. Предложена классификация данных причин отключения электроснабжения.*

***Ключевые слова:** надежность электроснабжения, отключения электроэнергии, система электроснабжения, система ДПП, сельские потребители, электрическая железная дорога.*

ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF CAUSES OF ELECTRICITY SUPPLY DISRUPTIONS TO RURAL CONSUMERS SUPPLIED FROM RAILWAY ELECTRIC NETWORKS

S. V. Kirillov

Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russian Federation

***Abstract.** This article presents the results of an analysis of the causes of power outages for rural consumers supplied by railway power grids. It has been established that the most frequent and long-lasting outages are technologically dependent ones, caused by work on railway infrastructure. A classification of these causes of power outages is proposed.*

***Keywords:** power supply reliability, power outages, power supply system, remote power distribution system, rural consumers, electric railway.*

Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» является одной из наиболее крупных электросетевых организаций в нашей стране. Объекты электросетевого хозяйства ОАО «РЖД» территориально присутствуют в 76 субъектах страны. Места с развитой сетью железных дорог и железнодорожными электрическими сетями совпадают с территориями страны, где развит аграрный

сектор экономики. В этой связи, значительная часть сельских потребителей получает питание от электрических сетей железных дорог [1].

В большинстве своём, железнодорожные электрические сети, которые питают сельских потребителей, выполнены по системе ДПР – «два дополнительных провода – рельс». Данная система выполняется в виде линии электропередачи, два фазных провода которой расположены на опорных конструкциях контактной сети, а в качестве проводника третьей фазы используются рельсы [1, 2].

Общая протяженность линий электроснабжения данной системы в Российской Федерации составляет более 25 тыс. км, от них запитано около 30 тыс. трансформаторных подстанций (ТП) 25/0,4 кВ различной мощности и назначения [1].

Система ДПР также широко распространена на железных дорогах стран – бывших республик СССР.

На рисунке 1 представлена схема размещения оборудования и подключения подстанции системы ДПР 25/0,4 кВ, которая питает сельских потребителей от сетей железных дорог [1, 2].

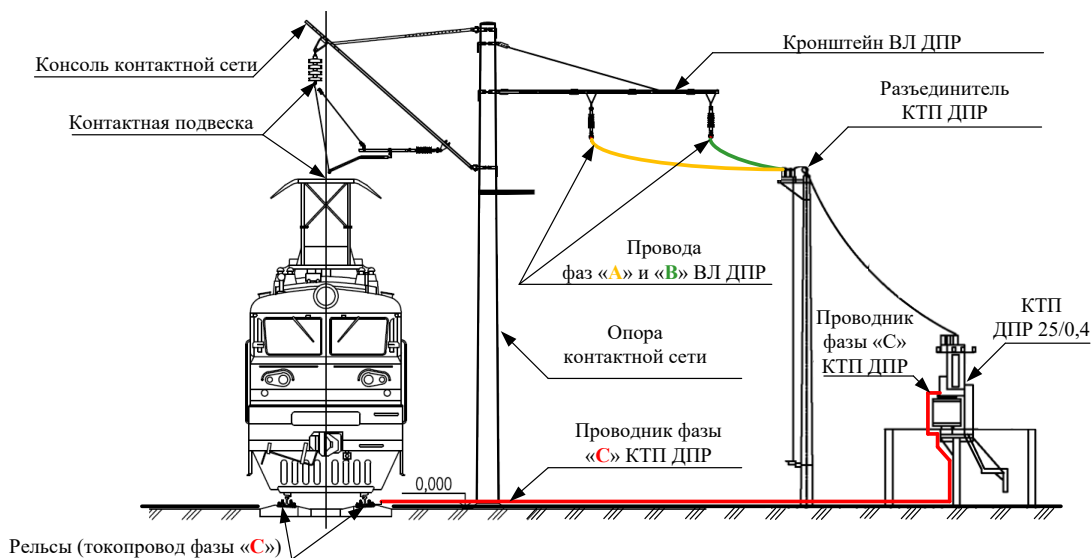


Рисунок 1 – Схема размещения оборудования и подключения подстанции системы ДПР 25/0,4 кВ, которая питает сельских потребителей

В ходе исследования работы систем электроснабжения электрических железных дорог установлено, что отключения потребителей, питаемых от железнодорожных электрических сетей в т.ч. и сельских, могут быть вызваны следующими причинами:

- отключения вследствие аварий или повреждений линий электропередачи и других устройств электроснабжения;
- падение дерева, нарушение технологии работ на смежных устройствах (падение предметов, нарушение минимально допустимых расстояний при работе машин и механизмов и др.);
- пропадание внешнего электроснабжения;

- влияние природных факторов – атмосферные перенапряжения, ветровые явления, гололедообразование и налипание снега на провода и т.п.;
- воздействие животного или птицы;
- производство переключений питания ВЛ 25 кВ на другой смежный питающий центр (тяговую подстанцию);
- производство работ на линиях электропередачи, подстанциях и другом оборудовании, участвующем в электроснабжении;
- производство работ на инфраструктуре железной дороги и объектах, имеющих приближение к железной дороге (путепроводы, мосты, здания, высотные конструкции и т.п.) которые требуют снятия напряжения с линий электропередачи и других устройств электроснабжения по требованиям электробезопасности;
- производство работ на инфраструктуре железной дороги, связанное с разборкой рельсового пути, участвующего в питании подстанций 25/0,4 кВ системы ДПР в качестве проводника фазы высокого напряжения.

Также возможны и другие причины:

- ошибочные действия персонала;
- не селективная работа устройств релейной защиты и автоматики – ложные срабатывания и не срабатывания устройств РЗА.

Таким образом, очевидно, что из-за особенностей системы электроснабжения сельских потребителей от сетей железных дорог статистическая картина отключений в данной системе электроснабжения, будет иметь отличия от классических распределительных сетей других сетевых организаций [3, 4].

В ходе исследования и проведения анализа использовались статистические данные по причинам отключений и длительности перерывов электроснабжения сельских населенных пунктов и предприятий АПК, питаемых от электрических сетей железной дороги по системе ДПР 25 кВ, территориально расположенные в трех регионах Центрального Федерального округа России, за период 2020-2024 годы.

Характеристика данного участка:

- зона обслуживания – 3 региона РФ в границах ЦФО;
- количество питающих центров – тяговых подстанций ТП 110 (220) /25 кВ – 6 подстанций;
- протяженность ВЛ ДПР 25 кВ – 254 км;
- количество ТП 25/0,4 кВ осуществляющих электроснабжение сельских и других сторонних потребителей – 52 подстанции;
- суммарная полная мощность подстанций, осуществляющих электроснабжение сельских потребителей – 8390 кВА.

На основе анализа причин отключений, можно их разделить на аварийные, связанные с воздействием природных факторов и отказами в работе элементов самой линии, и технологические, которые связаны с проведением работ на инфраструктуре железной дороги [5, 6].

На рисунке 2 представлена диаграмма Парето продолжительности отключений системы электроснабжения сельских потребителей от электрических се-

тей железных дорог. В качестве исходных данных взято математическое ожидание продолжительности отключений в год, рассчитанные на основании данных наблюдений за 5 лет (2020-2024 гг.). Из диаграммы видно, что наибольшая продолжительность отключений связана с производством работ на инфраструктуре железной дороги, далее в порядке убывания идут следующие причины: «работы на элементах системы электроснабжения», «неисправность ВЛ 25 кВ», «неисправность ТП 25/0,4 кВ», «падение дерева», «воздействие животного или птицы», «переключения ВЛ 25 кВ на другой питающий центр», «причина не установлена», «атмосферные перенапряжения», «отключение внешнего электроснабжения и нарушение технологии работы на смежных устройствах».

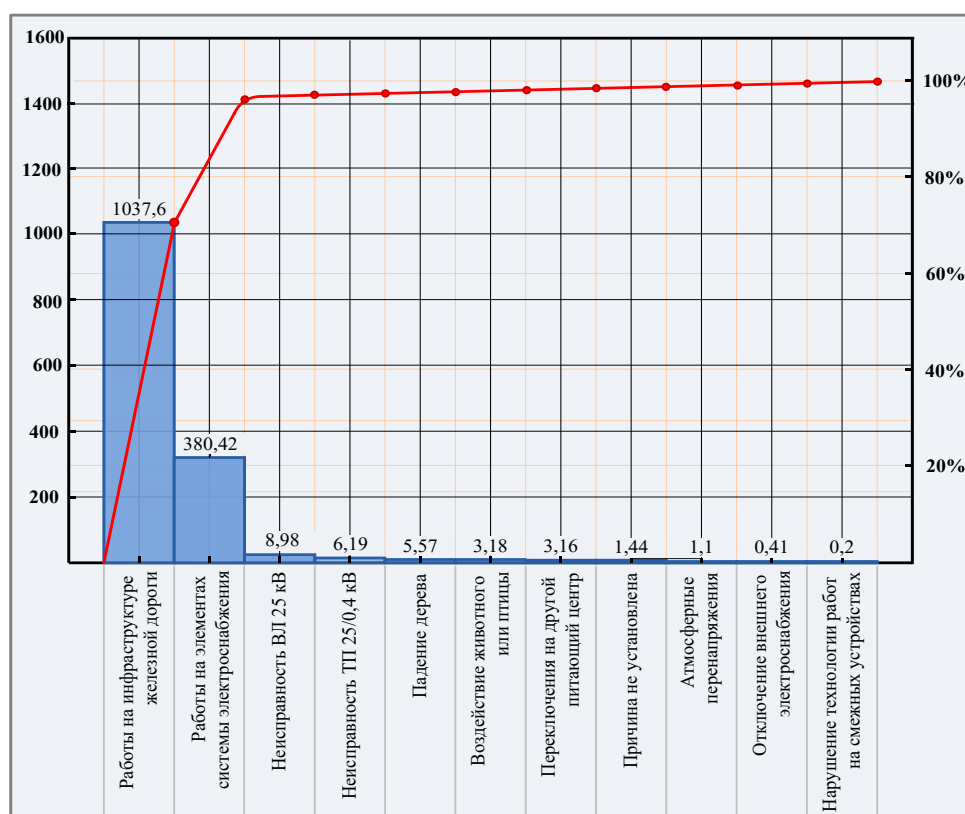


Рисунок 2 – Диаграмма Парето количества отключений системы электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог

На основе анализа диаграммы Парето (кумулятивной кривой), можно сделать вывод, что наиболее продолжительные отключения электроснабжения сельских потребителей связаны с работами на инфраструктуре железной дороги и элементах системы электроснабжения (97,9 % накопленного процента).

Также необходимо отметить, что продолжительность аварийных отключений линий, вызванных различными факторами (природными, неисправностью оборудования и др.), является относительно небольшой, и составляет не более 2 % от математического ожидания всех отключений за рассматриваемый период. Это объясняется расположением данных линий и электротехнического оборудования в полосе отвода железной дороги, в зоне видимости при производстве работ на инфраструктуре железной дороги. В этой связи, данные линии подвергаются более тщательному контролю за их техническим состоянием, что влияет на

показатели надежности электроснабжения, зависящие от состояния линий и воздействия внешних факторов.



Рисунок 3 – Классификация причин отключений электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог

Особенностью предлагаемой классификации причин отключений электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог (рисунок 3) является то, что в ней наряду с общепринятыми причинами отключений – аварийными, связанными с отказами и повреждениями элементов системы электроснабжения и технологическими, связанными с проведением работ по обслуживанию и ремонту элементов самой системы электроснабжения, учитываются отключения, **технологически зависимые** от производства работ на инфраструктуре железной дороги, в которую интегрированы электрические сети системы электроснабжения ДППР 25 кВ.

ВЫВОДЫ:

- электроснабжение сельских потребителей по системе «два дополнительных провода – рельс» электрифицированных железных дорог переменного тока системы 25 кВ имеет особенности выполнения требований надежности электроснабжения, связанные с техническим исполнением данной системы и проводимыми работами на инфраструктуре железной дороги;

- в ходе исследования установлено, что основными причинами отключений электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог являются: производство работ по обслуживанию элементов системы электроснабжения и производство работ на инфраструктуре железной дороги;

- предложена классификация причин отключения электроснабжения потребителей от сетей железных дорог, которая включает в себя два основных блока – аварийные, которые практически совпадают с причинами отключений

классических распределительных сетей и технологически зависимые от производства работ на инфраструктуре железной дороги.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кириллов, С. В. Основы концепции совершенствования электроснабжения сельских потребителей от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги / С. В. Кириллов, А. В. Виноградов // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 7(325). – С. 42-45.

2. Особенности обеспечения надежности электроснабжения нетяговых потребителей железных дорог / В. Ю. Вуколов, А. А. Колесников, М. Д. Обалин, М. В. Шарыгин // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Материалы 95-го заседания Международного научного семинара, пос. Хужир (оз. Байкал), 09-15 июля 2023 года / Отв. редактор В. А. Стенников. Выпуск 74. – Иркутск : Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 2023. – С. 431-440.

3. Оценка эксплуатационной надежности сельских электрических сетей по статистическим данным об отключениях/ А. М. Исупова, В. Я. Хорольский, М. А. Мастепаненко, А. П. Епифанов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5 (74). – С. 121-139.

4. Виноградова, А. В. Систематизация причин отключений в сельских электрических сетях / А. В. Виноградова, А. В. Виноградов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2025. – Т. 18, № 1(84). – С. 103-111. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2025_1_103.

5. Работоспособность технических систем : учебник для ВУЗов по изучению дисциплины / С. К. Тойгамбаев, О. Н. Дидманидзе, А. С. Апатенко [и др.]. – М. : РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. – 379 с.

6. Кириллов, С. В. Анализ проблем электроснабжения сельских потребителей, получающих питание от электрических сетей железных дорог / С. В. Кириллов, А. В. Виноградов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2025. – Т. 18, № 3(86). – С. 67-77. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2025_3_67.

Об авторе:

Кириллов Сергей Викторович, доцент кафедры агроинженерии и электроэнергетики, ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет» (393760, Российская Федерация, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101), кандидат технических наук, kirill_mich@mail.ru.

About the author:

Sergey V. Kirillov, Associate Professor, Department of Agricultural Engineering and Electric Power Engineering, Michurinsk State Agrarian University (393760, Russian Federation, Tambov Oblast, Michurinsk, Internatsionalnaya Street, 101), Candidate of Technical Sciences, kirill_mich@mail.ru.

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ДОМОХОЗЯЙСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ

П. П. Безруких¹, А. В. Темеров²

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

²ООО «АльтЭнергия»

***Аннотация:** В статье изложен опыт разработки и эксплуатации энергоэффективных систем энергоснабжения сельского домохозяйства с использованием ВИЭ. Описано сооружение, названное «БиоДом», в котором жилое помещение и теплица (биоветерарий) связаны конструктивно и имеют общие системы электро- и теплоснабжения. Описана оригинальная конструкция сооружения. Представлены системы электро- и теплоснабжения, солнечная энергия в которых используется как в схемах теплоснабжения, так и электроснабжения и системе автоматики. Предложена оригинальная (запатентованная) система отопления/охлаждения с использованием тепла грунта. Приведено краткое описание алгоритмов работы систем автоматики всех систем энергоснабжения.*

***Ключевые слова:** БиоДом, биоветерарий, микрогенерации, энергоэффективность, энергоактивность, отдача излишков энергии в сеть.*

THE EXPERIENCE OF CREATING AN ENERGY EFFICIENT ENERGY SUPPLY SYSTEM FOR RURAL HOUSEHOLDS USING RENEWABLE ENERGY SOURCES

P. P. Bezrukikh^a, A. V. Temerov^b

^aNational Research University «Moscow Power Engineering Institute»

^bAltenergy LLC

***Abstract.** The article describes the experience of developing and operating energy-efficient energy supply systems for rural households using renewable energy sources. A structure called a "biodome" is described, in which a dwelling and a greenhouse (biovegetarium) are structurally connected and have common electrical and heat supply systems. The original construction of the building is described. Electrical and heat supply systems are presented, in which solar energy is used both in heat supply schemes, as well as in power supply and automation systems. An original (patented) heating/cooling system using ground heat is proposed. A brief description of the algorithms of the automation systems of all power supply systems is given.*

***Keywords:** biodome, biovegetarium, microgeneration, energy efficiency, energy efficiency, return of excess energy to the grid.*

По опыту нашей страны, домохозяйства в течение многих десятилетий вносили значительную долю в обеспечение страны продукцией сельского хозяйства и обеспечение продовольственной безопасности России [1, 2]. На приусадебных и дачных участках выращивается весь набор овощей и фруктов с использованием простейших парников и теплиц сезонного действия. Одновременно развивалось строительство мощных тепличных хозяйств круглогодичного действия, сооружение и эксплуатация которых базировалась на нормативных документах агропромышленного комплекса по проектированию зданий и помещений, методических материалов по технологическому проектированию. Для теплиц круглогодичного действия нормировалась в осенне-зимнее время дополнительная освещённость и температура. Отопление теплиц, в этот период осуществляется за счёт сжигания органического топлива.

Принципиально новые возможности для индивидуальных домохозяйств открыл Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон» «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации, в котором зафиксирована возможность домовладельцев отдавать в сеть излишки электроэнергии, вырабатываемые на базе ВИЭ мощностью до 15 кВт. Это значительно повышает эффективность сооружения установок малой мощности на базе ВИЭ в домохозяйствах.

Общее описание конструкции БиоДома. Габариты строения: длина, ширина, высота – 12х7,4х5 м. По всей длине здания, сторона, обращённая к солнцу, принадлежит биоветерарию. Ширина биоветерария 5 метров, при этом основание его углублено на два метра. В поперечном сечении прозрачная стена биоветерария представляет собой четверть окружности с радиусом равным 5 метров. Этим обеспечивается резкое снижение ветровых и снеговых нагрузок. Внутренняя стена биоветерария отделяет биоветерарий от двухэтажного жилого и производственного помещений.

Первый этаж. Это 40-футовый морской контейнер 12 м длиной, 2,4 м шириной и 2,9 м высотой. Создали две отдельные спальни. Полноценный санузел с душевой, стиральной машинкой, унитазом и раковиной. Кухня, прихожая 2,5 м в длину, холодильником и столом на 4 человека.

Второй этаж. Это деревянное каркасное строение, выстроенное над контейнером. Всего 3 помещения, два из них жилые и одно техническое. В техническом помещении размещены все системы жизнеобеспечения – гибридная система электроснабжения, система ГВС и отопления.

Снаружи биоветерария над поликарбонатом в самой высокой точке установлены солнечные модули, которые подключены к инвертору гибридной системы электроснабжения.

К гибриднему инвертору также подключена сеть общего пользования. При отключении сети общего пользования и отсутствии солнечной активности все потребители, которые подключены к инвертору и являются гарантированной нагрузкой, питаются от АКБ. В таком режиме эксплуатации у АКБ уменьшается количество циклов разряд/заряд.

В биоветерарии применен эффективный грунтовый теплоаккумулятор. Основной конструктивный элемент – воздухопроводы диаметром 100 мм берут начало

в верхней точке биоветерария, проложены по его внутренней стене, затем проходят под слоем почвы в заглублении биоветерария на глубине 60 см и выходят на поверхность около стены, обращённой к солнцу. На концах воздухопроводов установлены вытяжные вентиляторы, подключённые напрямую к фотоэлектрическому модулю. При появлении солнечной инсоляции на поверхности модуля на выходе модуля появляется электрическая мощность, достаточная для приведения вентиляторов во вращение. В результате проходящий по трубам нагретый воздух нагревает грунт биоветерария.

При заходе солнца вентиляторы останавливаются, и температура воздуха в биоветерарии поддерживается за счёт остывания грунта. При ширине биоветерария 5 м, длине 12 м и толщине 0,6 м объём грунтового аккумулятора составил 36 м³. В результате получена полностью автоматическая система, без средств автоматики, управляемая солнечной энергией. Данная система работает с поздней осени до ранней весны, затем отключается.

Вытяжка горячего воздуха осуществляется через установленную вентиляционную установку. Вытяжка работает в двух режимах, зима и лето.

БиоДом может существовать в автономном режиме. Для этого понадобится установить дополнительно бензо- либо газо- либо дизельгенератор соответствующей мощности.

Системы теплоснабжения. Разработана оригинальная система отопления/охлаждения с использованием теплоты воды из скважины.

При температуре наружного воздуха около нуля и ниже, а в Тимашевске, где находится БиоДом, зимой температура доходила до -20°C, вода из скважины с температурой 12...15 °C является источником теплоты.

При температуре наружного воздуха 30°C и выше, система работает на охлаждение. Охладителем является та же вода из скважины, с температурой 12...15 °C. Охлаждение производится за счёт воздуха, обдувающего фанкойлы с холодной водой. При этом нагревается и сама вода из скважины и используется либо непосредственно для полива огорода и деревьев, либо накапливается в ёмкостях для полива. В обоих случаях электроэнергия расходуется лишь для работы скважинного насоса (380 Вт) и четырёх вентиляторов (4x15 Вт). Система защищена патентом №137793 [5].

Определение передаваемой тепловой мощности произведено по формуле (1):

$$Q_m = W \cdot P_v \cdot C_v \cdot (T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}) \quad (1)$$

За отопительное время потребляется 773,76 кВт·ч электроэнергии и производится 23667,88 кВт·ч. тепловой энергии. Это в 30,6 больше, чем потребляется электрической энергии.

Горячая вода (ГВС) нагревается различными устройствами. Это солнечные коллекторы собственного производства, фотоэлектрические модули и сеть общего пользования.

Центральным устройством системы является горизонтальный 1000 литровый бойлер с двумя контурами нагрева. По одному контуру передаётся в него горячая жидкость от солнечных коллекторов, по-другому, циркулирует горячая вода системы отопления. Для поддержания в бойлере необходимой температуры

установлено две группы ТЭНов, одна из которых работает напрямую от солнечных модулей, а вторая – от сети 220 В. Сеть подключается, когда температура в бойлере ниже установленной.

Алгоритм расчёта системы воздушного отопления.

Алгоритм расчета тепловой мощности, передаваемой в жилой модуль произведён по формуле аналогичной формуле (1), только вода заменяется воздухом.

$$Q_{\text{в}} = W_{\text{в}} \cdot P_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вых}}) \quad (2)$$

В итоге тепловая мощность одного воздуховода равна:

$$Q_{\text{в}} = 70,65 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 1,23 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 1 \text{ кДж}/\text{кг} \cdot \text{°C} (45-21) = 2085,588 \text{ кДж}/\text{ч} = 580 \text{ Вт}.$$

Оценка количества тепловой энергии, полученной от воздушного отопления за весь отопительный сезон, составит 1148,4 кВт·ч.

Потребление электроэнергии осень-весна (4 месяца) – 11,52 кВт·ч. Потребление зима (3 месяца) – 4,32 кВт·ч. Общее потребление – 15,84 кВт·ч.

В результате за период осень-зима-весна – 1148,4 кВт·ч, при потреблении электроэнергии 15,84 кВт·ч, что в 72,5 раза меньше.

Алгоритм расчёта количества тепловой энергии, передаваемой в биоветерарий. Вентиляторы напрямую подключены к солнечной батарее.

Расчёт мощности нагрева воздуха биоветерария производится по формуле (1) где: $Q_{\text{в}} = 132,84 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 1,23 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C}) (30-22) = 1307,1456 \text{ кДж}/\text{ч} = 363,4 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$. За 4 часа в сутки поступление тепловой энергии составит 1454 Вт·ч. Это от одного воздуховода биоветерария. А в системе их 8. Тогда в помещение биоветерария поступит 11632 Вт·ч тепловой энергии.

Система электроснабжения. При разработке проекта БиоДома и его реализации, прежде всего, были определены ресурсы возобновляемых источников энергии. Ресурсы солнечной и ветровой энергии для Краснодарского края определялись многократно, приход солнечной радиации составляет 1200 кВт·ч/ м² в год.

Годовое производство электроэнергии на ФЭС 15 кВт составило 18566 кВт·ч, а на ФЭС 3,84 кВт – 4753кВт·ч.

Эксплуатация БиоДома показала, электроэнергии, вырабатываемой двумя фотоэлектрическими установками вполне достаточно для покрытия графика нагрузки, за исключением ночного времени и пасмурных дней и трех зимних месяцев. Тогда нагрузка частично или полностью питается от сети. Расчётное годовое производство электроэнергии на двух фотоэлектрических установках 23319 кВт·ч. Фактическое годовое потребление от сети равно 5110 кВт·ч, условная годовая экономия составляет 18209 кВт·ч.

Системы автоматики. Разработаны и реализованы следующие схемы и алгоритмы автоматизации работы систем жизнеобеспечения жилого помещения и функционирования биоветерария: полива растений, регулирования состава воздуха в жилом помещении, воздушного отопления жилого помещения, поддержания температуры горячей воды в бойлере, водяного отопления жилого помещения, Био ЛЭД «досветки» биоветерария, полива растений «дождеванием», пассивного отопления биоветерария.

Проведён анализ возможностей распространения сооружения БиоДома в климатических условиях Краснодарского края на климатические условия других

субъектов РФ. Для этого необходимо рассмотреть возможность использования солнечной и ветровой энергии и тепла земли для энергоснабжения домохозяйства, а также температурные условия зимы и лета. ФАР – «фотосинтетическая активная радиация» – это солнечная радиация с длиной волны в диапазоне 380...710 нм, которая используется растениями для фотосинтеза, роста и развития».

С точки зрения обеспечения нормального роста растений при круглогодичной эксплуатации тепличного хозяйства рассматриваемый опыт сооружения и эксплуатации БиоДома может составить основу для любого субъекта РФ.

В БиоДоме используется ещё один источник возобновляемой энергии – тепло грунта. Использование тепла грунта по схеме, осуществлённой в БиоДоме, независимо от опыта возможно также в большинстве субъектов РФ.

Оценка экономической эффективности. Общие затраты составили КΣ = 3460 тыс. руб. в ценах 2020 года. Суммарная экономия на содержание равна 309563 руб. Простой срок окупаемости равен: Ток = 11,2 год.

ВЫВОДЫ:

1. Разработаны и реализованы алгоритмы функционирования и расчёта объединённой системы энергоснабжения для жилого помещения и теплицы домохозяйства на базе ВИЭ.

2. Выполнены энергетические расчёты систем теплоснабжения БиоДома.

3. Разработаны и реализованы системы жизнеобеспечения: пассивного отопления – охлаждения биовегетария и жилого помещения, система горячего водоснабжения и отопления, система воздушного отопления, система электро-снабжения, система автоматизации включения/отключения всех систем энерго-снабжения, освещения, контроля и поддержания температуры воздуха в разных точках, а также содержания в воздухе CO₂.

4. Дана положительная оценка возможности распространения опыта разработки и эксплуатации БиоДома на другие субъекты РФ.

5. В результате круглогодичной эксплуатации в течение пяти лет подтверждены расчётные режимы работы всех систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Организационно-технологические основы производства и реализации продукции плодово-ягодных питомников / А. М. Карев, Р. Н. Егоров, Н. Н. Пуляев, В. С. Иволгин. – М. : ООО «УМЦ Триада», 2016. – 110 с.

2. Дидманидзе, О. Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве с использованием компьютерных технологий / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. Н. Журилин. – М.: ООО «УМЦ «Триада», 2018. – 150 с.

3. Указ Президента РФ от 31.12.2015 № 683 «О стратегии национальной безопасности Российской Федерации».

4. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ от 21 января 2020 г № 20.

5. Федеральный закон от 27.12.2019 № 471-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации.

6. Темеров, А. В. Разработка и реализация энергоэффективных схем с использованием ВИЭ для индивидуального домохозяйства / А. В. Темеров, П. П. Безруких // Вестник МЭИ. – 2023. – № 6. – С. 88-95.

7. Темеров, А. В. БиоДом. Жилой модуль и умная теплица / А. В. Темеров // Журнал СОК. – 2020. – № 12. – С. 14-18.

8. Темеров, А. В. О развитии отечественного производства для малой и возобновляемой энергетики / А. В. Темеров, П. П. Безруких // Энергетическая политика. – 2023. – № 5. – С. 68-77.

9. Андреев, С. А. Аккумуляция энергии в маломощных гелиосистемах автономного электроснабжения / С. А. Андреев, В. И. Загинайлов, Д. В. Шибаров // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 5(81). – С. 70-76.

Об авторах:

Безруких Павел Павлович, профессор кафедры ГВИЭ, ИГВИЭ, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (111250, Российская Федерация, Москва, Красноказарменная улица, дом 14, стр. 1), доктор технических наук, профессор, bezruky80veter@yandex.ru.

Темеров Андрей Викторович, директор ООО АльтЭнергия (353411, Российская Федерация, Краснодарский край, Анапа, с. Супсех, Аэродромная ул, д. 16), кандидат технических наук, info@alternenergy.ru.

About the authors:

Pavel P. Bezrukikh, Professor, Department of Hydrogen Energy and Hydrogen Energy Sources, Institute of Hydrogen Energy and Hydrogen Energy Sources, National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (111250, Russian Federation, Moscow, Krasnokazarmennaya Street, Building 14, Structure 1), Doctor of Technical Sciences, Professor, bezruky80veter@yandex.ru.

Andrey V. Temerov, Director, AltEnergia LLC (353411, Russian Federation, Krasnodar Krai, Anapa, Supsekh Village, Aerodromnaya Street, 16), Candidate of Technical Sciences, info@alternenergy.ru.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕСКОЛЬКИХ ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

В. Л. Осокин, Л. Л. Алексеев

ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Княгинино, Нижегородская область, Российская Федерация

***Аннотация.** Представлена необходимость чёткого обоснования цели внедрения объекта распределённой генерации (РГ) и режимов его работы с учётом технологических особенностей основного производства и требований по надёжности электроснабжения заказчиков как в изолированном режиме работы системы РГ, так и в режиме с электроснабжением от основной сети системы электроэнергетической системы (ЭЭС). В качестве показателей эффективности работы систем РГ рекомендуется использовать вероятности случайных событий (аварийной ситуации, перегрузки оборудования, восстановления в течение определённого времени, выполнения производственного задания в условиях ограничений и т.п.). Оценка условий работоспособности простейших структур систем электроснабжения позволяет, с одной стороны, решать комплекс задач обеспечения надёжного и эффективного электроснабжения потребителей, с другой – обеспечивать устойчивую работу при нарушении работоспособности отдельных генерирующих установок (ГУ) и их групп.*

***Ключевые слова:** распределенная генерация, вероятность безотказной работы, отказ, генерирующее устройство, система электроснабжения.*

ASSESSING THE EFFICIENCY OF AN ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM WHEN USING MULTIPLE DISTRIBUTED GENERATION FACILITIES

V. L. Osokin, L. L. Alekseev

Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation

***Abstract.** The article presents the need for a clear justification for the purpose of implementing a distributed generation (DG) facility and its operating modes, taking into account the technological features of the primary production and the requirements for reliable power supply to customers, both in isolated DG system operation and with power supplied from the main grid of the electric power system (EPS). It is recommended to use the probabilities of random events (emergency situations, equipment overloads, restoration within a certain time, fulfillment of a production task under constraints, etc.) as performance indicators for DG systems. Assessing the operability conditions of the simplest structures of power supply systems allows, on the one hand, to*

solve a range of problems related to ensuring a reliable and efficient power supply to consumers, and on the other, to ensure stable operation during disruptions to the operability of individual generating units (GU) and their groups.

Keywords: *distributed generation, probability of failure-free operation, failure, generating device, power supply system.*

В настоящее время получило широкое распространение использование объектов распределенной генерации на базе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также газопоршневых (ГПУ) и газотурбинных (ГТУ) установок. Система электроснабжения (СЭС) потребителей агропромышленного комплекса (АПК) до 2015-2017 года характеризовалась низкой плотностью электрических нагрузок (для начальной стадии электрификации – $1...5$ кВт/км², при дальнейшем развитии – $7...15$ кВт/км² [1]). Эта особенность вызывает необходимость охвата большой территории электрическими сетями для обеспечения питания потребителей АПК, в том числе удаленных, что предопределяет применение ограниченного количества типов их конфигураций. Производство продукции сельскохозяйственными предприятиями ежегодно увеличивается, технологии совершенствуются, стоимость электрической энергии растет ежеквартально, требуется увеличение мощности для технологического процесса в АПК и, как следствие, возрастают требования потребителей к надежности СЭС. В этих условиях установки распределенной генерации (РГ) в составе СЭС объектов АПК получают все более широкое распространение. Поэтому при анализе типовых схем электроснабжения в качестве источников питания рассматриваются не только подстанции (ПС), но и объекты РГ в ЭЭС.

В составе СЭС потребителей АПК целесообразно выделить два иерархических уровня электрических сетей:

1) Питающие электрические сети сельскохозяйственного назначения напряжением 35-110 кВ (при мощных сосредоточенных нагрузках АПК, как исключение, 220 кВ), предназначенные для формирования связей от ПС энергосистемы до понижающих районных ПС 110/35/10 кВ или 35/10 кВ.

2) Распределительные электрические сети сельскохозяйственного назначения напряжением 0,4-35 кВ, обеспечивающие питание конечных потребителей АПК от районных подстанций.

Типовых конфигураций электрических сетей, утвержденных каким-либо нормативным документом, не существует. В то же время исследование существующей схемы электрических сетей 0,4-110 кВ Нижегородской области позволило выделить наиболее характерные схемы соединения линий электропередачи (ЛЭП) и подстанций как в распределительных, так и в питающих сетях сельскохозяйственного назначения [2, 3].

В распределительных электрических сетях сельскохозяйственного назначения напряжением 0,4 кВ применяются традиционные для электрических сетей данного класса напряжения радиальная, магистральная и смешанная схемы. В качестве центров питания (ЦП) выступают шины 0,4 кВ трансформаторных подстанций (ТП).

Оценка эффективности системы РГ с четырьмя генерирующими установками (ГУ)

а) Две подсистемы ГУ общей системы РГ

Рассмотрим систему РГ, включающую две независимые подсистемы, каждая из 2-х ГУ, которые обеспечивают электроснабжение потребителей в каждой из двух зон двумя ГУ (рисунок 1).

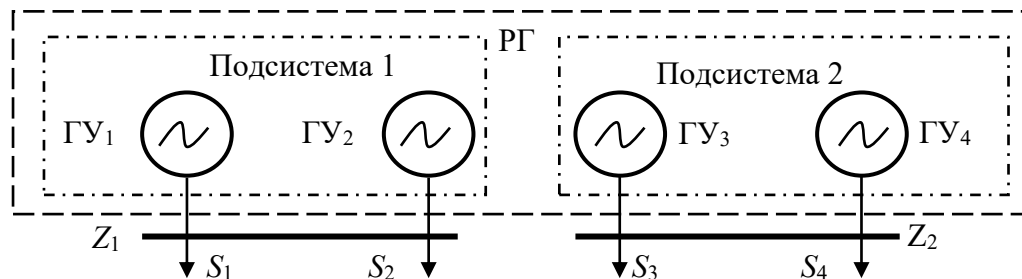


Рисунок 1 – Две независимые подсистемы общей системы РГ

Коэффициент готовности каждой ГУ – $K_T = 0,95$. Вероятность безотказной работы (ВБР) ГУ в своей Z_i зоне – $p = 0,9$.

Поскольку каждая из подсистем обеспечивает электроснабжение двух областей ($S_{i,i+1}$), возможны несколько ситуаций. В действительности отказ одной ГУ может произойти четырьмя способами; отказ двух ГУ – двумя способами в каждой из зон Z_i и четырьмя способами, если отказ каждой ГУ происходит в разных Z_i и Z_j зонах; отказ трёх ГУ – двумя способами. Отметим, что в общем случае последствия отказов ГУ в каждой из рассмотренных ситуаций могут существенно отличаться, так как технологический процесс и электропотребление в областях S_i имеют свои особенности.

В соответствии с биномиальным распределением вероятностей отказ одной из четырёх ГУ происходит с вероятностью:

$$q_{1,4} = C_4^1 q^1 p^3 = 4 \cdot 0,1 \cdot 0,9^3 = 0,29. \quad (1)$$

В любой зоне Z_i , электроснабжение которой обеспечивается двумя ГУ, их ВБР (мера эффективности) составляет:

$$P = 1 - (1 - p)^2 = 1 - (1 - 0,9)^2 = 0,99. \quad (2)$$

Следовательно, вероятность одновременного отказа двух любых ГУ:

$$q_2 = 1 - P = 0,01. \quad (3)$$

Вероятность отказа q_{2Z_i} , двух ГУ одной Z_i зоны:

$$q_{2Z_i} = 2q_2 P = 0,02. \quad (4)$$

Вероятность отказа $q_{2Z_{ij}}$, двух ГУ в разных Z_i и Z_j зонах:

$$q_{2Z_{ij}} = 4(qp)^2 = 4(0,1 \cdot 0,9)^2 = 0,03. \quad (5)$$

Отказ трёх ГУ происходит с вероятностью:

$$q_{3,4} = C_4^3 q^3 p^1 = 4 \cdot 0,1^3 \cdot 0,9 = 0,036 \quad (6)$$

Если каждая из подсистем вносит половину «вклада» в эффективность общей системы РГ, расчёт её эффективности производится по [4], учитывая, что обе подсистемы работоспособны:

$$E = [1 - (1 - p)^2]K_r^2 = 0,99 \cdot 0,9025 = 0,893. \quad (7)$$

Качественный анализ ситуаций и относительно малые значения вероятностей отказов двух и трёх ГУ позволяют оценить наиболее неблагоприятные режимы функционирования исследуемой системы РГ.

б) *Качественный анализ эффективности системы РГ с четырьмя ГУ и потребителями, расположенными в четырёх зонах.*

Электроснабжение потребителей четырёх зон Z_i ($i = \overline{1,4}$) обеспечивает система РГ состоящая из четырёх однотипных ГУ. Как и ранее, ВБР каждой ГУ – $p_{гу} = 0,9$. При перекрытии ГУ двух зон система РГ работает в оптимальном режиме и коэффициент эффективности принят $e_2 = 0,99$. Структура анализируемой системы РГ представлена на рисунке 2.

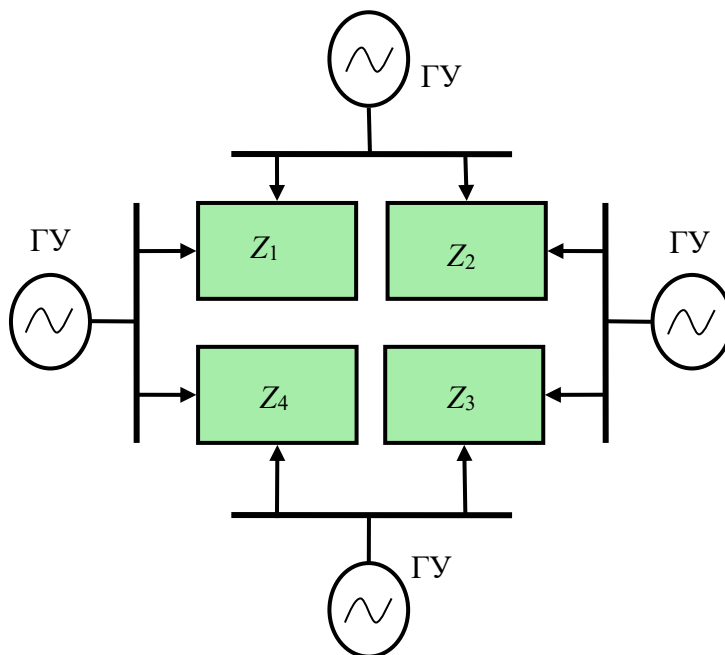


Рисунок 2 – Структура схемы электроснабжения

Поскольку каждая из ГУ обеспечивает электроснабжение двух зон (Z_{ij}), возможны несколько ситуаций – одной отказавшей ГУ, двух соседних ГУ, двух «противоположно» расположенных ГУ, трёх отказавших ГУ и режим нормальной работы всех ГУ.

В действительности отказ одной ГУ может произойти четырьмя способами, отказ двух соседних ГУ и трёх ГУ тоже четырьмя, а отказ двух смежных – двумя способами.

При $p_{гу} = 0,9$ ВБР системы РГ составит:

$$P_{рг} = 1 - q^4 = 1 - 0,1^4 = 0,9999 \quad (8)$$

Как и в предыдущем примере отказ одной из четырёх ГУ происходит с вероятностью:

$$q_{1,4} = C_4^1 q^1 p^3 = 4 \cdot 0,1 \cdot 0,9^3 = 0,29. \quad (9)$$

Вероятность отказа $q_{2\text{сос},4}$ двух соседних ГУ определяется как:

$$q_{2\text{сос},4} = 4 \cdot q^2 p^2 = 4 \cdot 0,1^2 \cdot 0,9^2 = 0,0324. \quad (10)$$

Вероятность отказа $q_{2см,4}$ двух противоположно расположенных ГУ определяются аналогично:

$$q_{2пр,4} = 2 \cdot q^2 p^2 = 2 \cdot 0,1^2 \cdot 0,9^2 = 0,0162. \quad (11)$$

Вероятность отказа $q_{3,4}$ трёх ГУ составляет:

$$q_{3,4} = C_4^3 q^3 p^1 = 4 \cdot 0,1^3 \cdot 0,9^1 = 0,0036. \quad (12)$$

Очевидно, что при одновременном отказе двух ГУ с разным структурным расположением эффективность системы РГ может существенно различаться. При отказе двух противоположно расположенных ГУ сохраняется электроснабжение всех областей S_i ($i = \overline{1,4}$), хотя и электроснабжение их осуществляется только от одного источника, а отказ двух соседних ГУ приводит к полному нарушению электроснабжения потребителей в одной из зон S_i .

Хотя одновременный отказ трёх ГУ маловероятен, происходит полное нарушение электроснабжения потребителей, расположенных в двух зонах, а потребители двух других получают питание только от одной ГУ, что говорит о максимальном снижении эффективности системы РГ.

ВЫВОДЫ

Необходимо чёткое обоснование цели внедрения объекта РГ и режимов его работы с учётом технологических особенностей основного производства АПК и требований по надёжности электроснабжения заказчиков как в изолированном режиме работы системы РГ, так и в режиме с электроснабжением от основной сети ЭЭС.

Стихийный рост числа и мощности установок РГ небезопасен для централизованной энергосистемы. При относительно небольшой мощности отдельных источников РГ даже нормальные режимы пуска, наброса нагрузки на крупные электродвигатели или их резкий останов могут привести к нарушению устойчивости ГУ системы РГ и повлиять на режим основной сети. То же отмечается и относительно последствий разного рода повреждений сетевого оборудования. Включение источников РГ в распределительную сеть уменьшает её сопротивление, увеличивая токи КЗ, что может привести к отказам коммутационных аппаратов, изменению настроек РЗиПА, что достаточно затратно и сложно.

В качестве показателей эффективности работы систем РГ рекомендуется использовать вероятности случайных событий (аварийной ситуации, перегрузки оборудования, восстановления в течение определённого времени, вероятность выполнения производственного задания в условиях ограничений и т.п.).

При проектировании и внедрении систем РГ возникают специфические условия и требования, сопряженные с необходимостью обеспечения интересов всех владельцев ГУ, входящих в состав систем РГ и основной ЭЭС, включая координацию оперативно-диспетчерского управления.

Оценка условий работоспособности простейших структур СЭС позволяет, с одной стороны, решать комплекс задач обеспечения надёжного и эффективного электроснабжения потребителей, с другой – обеспечивать устойчивую работу при нарушении работоспособности отдельных ГУ и их групп.

Поскольку системы РГ представляются структурами с несколькими перекрывающимися зонами действия, это определяет особенности их работы, которые оцениваются интегральной характеристикой – эффективностью функционирования – степенью целесообразности использования системы РГ в различных режимах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по проектированию электрических сетей / Под редакцией Д. Л. Файбисовича. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 320 с.
2. Татаров, Е. И. Электроэнергетика (Часть 2): комплекс учебно-методических материалов / Е. И. Татаров. – Нижний Новгород : Нижегород. гос. техн. ун-т, 2009.
3. Мамедов, Т. А. Обобщенная оценка энергоэффективности централизованного электроснабжения и производства продукции / Т. А. Мамедов, В. И. Загинайлов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2019. – № 3. – С. 33-36. – DOI 10.18635/2071-2219-2019-3-33-36.
4. Папков, Б. В. Надёжность и эффективность современного электроснабжения / Б. В. Папков, П. В. Илюшин, А. Л. Куликов. – Нижний Новгород : Научно-издательский центр «XXI век», 2021. – 160 с.

Об авторах:

Осокин Владимир Леонидович, доцент, ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (606340, Российская Федерация, Нижегородская область, Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22А), доктор технических наук, osokinvl@mail.ru.

Алексеев Леонид Леонидович, старший преподаватель, ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет» (606340, Российская Федерация, Нижегородская область, Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22А), alekseev@alfapro1.ru.

About the authors:

Vladimir L. Osokin, Associate Professor, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino (606340, Russian Federation, Nizhny Novgorod Oblast, Knyaginino, Oktyabrskaya Street, 22A), Doctor of Technical Sciences, osokinvl@mail.ru.

Leonid L. Alekseev, Senior Lecturer, Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics (606340, Russian Federation, Nizhny Novgorod Oblast, Knyaginino, Oktyabrskaya Street, 22A), alekseev@alfapro1.ru.

ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ АГРОБИОЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ ПО БОРЬБЕ С СОРНОЙ И НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ В ВИНОГРАДНИКАХ

И. В. Юдаев, И. В. Шаров

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. В качестве альтернативного традиционному используемым способам борьбы с сорняками – механическому и химическому, сегодня рассматривается применение электрических импульсов высокого напряжения. Проведенные исследования позволили определить параметры электрообработки нежелательных и сорных трав, а именно: летальную дозу энергии, амплитуду высоковольтных импульсов, их частоту следования и др., а знакомство с появившемся на рынке ассортиментом зарубежной техники для выполнения такой операции позволили выявить особенности построения структуры и конструкции технического средства. Для осуществления такой агробιοэлектротехнологии проектируется малогабаритный передвижной электроимпульсный агрегат с двигателем на основе промышленно выпускаемого мотокультиватора. Такого рода техническое средство позволяет с высокой маневренностью и мобильно осуществлять электроимпульсную прополку засоренных почвенных угодий садов, плантаций и виноградников, что сегодня как никогда актуально и востребовано.

Ключевые слова: сады и виноградники, нежелательная растительность, электропрополка, агробιοэлектротехнологическая операция, малогабаритная электротехнологическая установка.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского Научного Фонда в рамках научного проекта РНФ № 25-29-01005 «Электроимпульсная, энергомалозатратная, экологически чистая агробιοэлектротехнология борьбы с сорной и нежелательной растительностью для систем ведения органического садоводства и виноградарства».

TECHNICAL SUPPORT OF AGROBIOELECTROTECHNOLOGICAL OPERATIONS TO CONTROL WEEDS AND UNWANTED VEGETATION IN VINEYARDS

I. V. Yudaev, I. V. Sharov

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

Abstract. *As an alternative to the traditionally used methods of weed control – mechanical and chemical, the use of high-voltage electrical pulses is being considered today. The conducted studies made it possible to determine the parameters of the electrical treatment of unwanted and weeds, namely: the lethal dose of energy, the amplitude of high-voltage pulses, their repetition frequency, etc., and familiarity with the range of foreign equipment available on the market for performing such an operation made it possible to identify the features of the structure and design of the technical means. To implement such agrobioelectrotechnology, a small-sized mobile electric pulse unit with a propulsion system based on an industrially produced cultivator is being designed. This kind of technical means allows high maneuverability and mobility to carry out electric pulse weeding of clogged soil areas of orchards, plantations and vineyards, which is more relevant and in demand today than ever.*

Keywords: *orchards and vineyards, unwanted vegetation, electrical irrigation, agrobioelectrotechnological operation, small-sized electrotechnological installation.*

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation within the framework of the scientific project of the Russian National Science Foundation No. 25-29-01005 «Electric pulse, energy-efficient, environmentally friendly agrobioelectrotechnology of weed and unwanted vegetation control for organic gardening and viticulture systems».

Введение. Принятая в стране к исполнению Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы, включает в себя такие подпрограммы как «Развитие виноградарства, включая питомниководство» и «Развитие питомниководства и садоводства», которые направлены на создание благоприятных условий и реализацию мероприятий по внедрению импортозамещения и повсеместной интенсификации производства продукции виноградарства и садоводства за счет разработки и широкого использования отечественных инновационных технологий и результатов научных достижений.

Сегодня активно развиваются эти отрасли – садоводство, питомниководство и виноградарство, которые ежегодно увеличивают площади закладки новых насаждений, проводят омолаживание существующих посадок и осуществляют подготовку достаточного количества отечественного посадочного материала [1, 2]. Отдельного внимания заслуживают и подходы реализации в этих отраслях растениеводства принципов органического земледелия и биодинамического сельского хозяйства. Выработанные для этого принципы реализации определили острую необходимость поиска технологически эффективных и экологически безопасных способов борьбы с трудноискоренимыми и инвазивными сорными растениями, и другой нежелательной растительностью на почвенных площадях под виноградниками, садами и плантациями. Проблема сорной и нежелательной растительности в садах и виноградниках является одним из ключевых факторов, сдерживающих получение высоких и качественных урожаев. Сорняки не только напрямую конкурируют с культурными растениями за жизненно важные ресурсы, но и создают благоприятную среду для развития болезней и вредителей [3].

Традиционные методы борьбы с сорняками очень часто оказываются малоэффективными – требуют многократных повторных обработок почвы и формируют негативное антропогенное воздействие на окружающую среду. Поэтому сегодня все чаще обращают внимание на такие методы борьбы, как например, использование электрической энергии, которые, по заявлению ученых и исследователей, изучивших и исследовавших эту технологию, представляют собой единственную нехимическую альтернативу, оказывающую системное действие, и которые сопоставимы по технологической эффективности с применением гербицидов. Электрическая обработка реализуется за счёт протекания электрического тока по тканям сорных растений после осуществления прямого контакта последних с электродами специализированного технического средства, вызывая тем самым необратимое нарушение нормального функционирования внутриклеточных структур растительных тканей, что приводит к гибели все растение, или как в отдельных случаях наблюдается максимальное подавление роста и развития трудноискоренимых сорных трав [4-6].

За рубежом использование необратимо повреждающих сорняки воздействий электрической природы нашло в последнее время широкое применение и поэтому началось производство для реализации этой электротехнологии специализированных технических средств – электропрополочных машин, электропрополочников, навесных на промышленно выпускаемые трактора электротехнологических установок и др. Такого рода установки и агрегаты начали применяться для борьбы с нежелательными растениями на территориях со сплошной засорённостью почвенных площадей; в междурядьях посевов сельскохозяйственных культур; на территориях садов, виноградников и на плантациях; по обочинам дорог и тротуаров; по мощенным камнем и тротуарной плиткой общественным пространствам и площадям и др. [4-5].

В настоящее время в Российской Федерации отсутствуют выпускаемые серийно и отдельными машинами электротехнологические установки, которые можно было бы использовать для борьбы с нежелательной растительностью не только в садах и виноградниках, но и вообще для сплошной прополки сельскохозяйственных угодий. Но в тоже время хочется отметить, что ученые и исследователи Советского Союза, а позднее и России, разработали, запатентовали и испытали несколько действующих вариантов опытных электротехнологических установок для осуществления агротехнологической операции по прополке сельскохозяйственных угодий.

Проведя лабораторные и полевые экспериментальные исследования нами было обосновано применение для необратимого повреждения внутриклеточных компонентов растительной ткани сорных трав электрических импульсов высокого напряжения [7]. Такого рода обработка тканей нежелательных растений в основе своей реализации опирается на явление электропорации биологических клеток, в том числе и растительных, когда через последние протекает повреждающий импульс тока высокого напряжения и в результате этого наблюдается необратимое нарушение нормальной жизнедеятельности клеточных компонентов и растение гибнет.

Эксперименты, проведенные в местах естественного произрастания сорных трав, позволили определить технологические параметры и характеристики эффективной реализации технологической операции – электроимпульсной прополки. Для некоторых видов сорняков, находившихся в стадии своего физиологического развития «начало созревания», было установлено, что они необратимо повреждались если на них воздействовали высоковольтными импульсами амплитудой 15-18 кВ, с частотой следования от 1 до 5 Гц, а предельные значения летальной энергии, подводимые к ним, были равны: осот розовый (*Cirsium arvense L.*) – 135 Дж; осот полевой (*Sonchus arvensis L.*) – 190 Дж; молочай лозный (*Euphorbia waldsteinii L.*) – 740 Дж; молоко татарский (*Lactuca tatarica L.*) – 105 Дж; вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis L.*) – 215 Дж; щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus L.*) – 110 Дж; дурнишник обыкновенный (*Xanthium strumarium L.*) – 215 Дж; конопля сорнополевая (*Cannabis ruderalis L.*) – 140 Дж; марь городская (*Oxybasis urtica L.*) – 125 Дж [8].

Изучение цепей протекания тока обработки сорняков и нежелательных растений позволило установить, что электрическое сопротивление цепи протекания тока обработки «навесной электрод – растение – почва – растение – другой навесной электрод»: «1) линейно возрастает с увеличением расстояния между обрабатываемыми растениями; 2) растет с увеличением высоты подвеса электродной системы; 3) уменьшается по степенной зависимости с увеличением влажности почвы. Результаты изучения электропроводных свойств цепей протекания тока обработки позволяют говорить о том, что: 1) электроимпульсную прополку наиболее эффективно проводить в периоды ведения полевых работ, когда влажность почвы достигнет значения 20...30 %, что характеризуется минимальным значением удельного электрического сопротивления почвы и позволяет эффективно эксплуатировать сельскохозяйственную технику; 2) для минимизации затрат энергии при уничтожении сорных растений электрический контакт со стеблями сорняков следует осуществлять на как можно меньшей высоте над землей, то есть как можно ближе к корневой шейке, но не допуская электрического пробоя на почву или контакта с ней» [8].

Исходя из проведенных исследований и изучения построения и оценки особенностей конструкции зарубежных установок для борьбы с сорной и нежелательной растительностью на почвенных участках с малыми площадями, с неудобной для работы традиционной техники конфигурацией, наличием ограждения периметра этих площадей, что характерно для территорий занятыми плантациями, виноградниками и садами, была определена структура малогабаритной электротехнологической установки для электроимпульсной прополки (рисунок 1).

В качестве движителя предлагается использовать серийно выпускаемый мотокультиватор, а для размещения электрической части – источника электрической энергии, а также блока повышения напряжения и преобразования его, необходимо задействовать прицепное устройство.

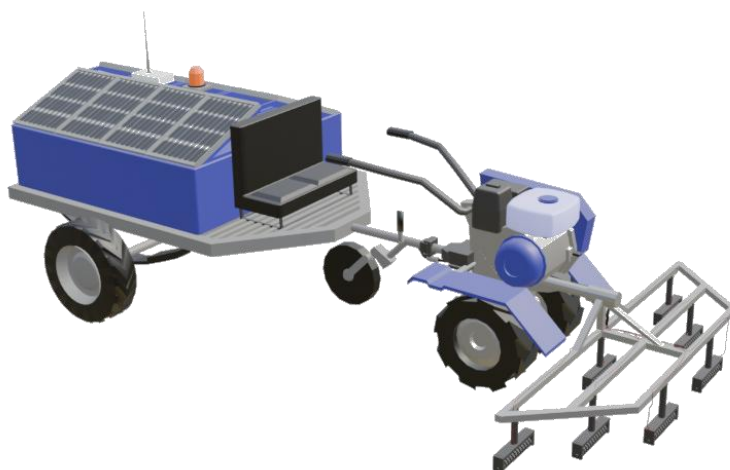


Рисунок 1 – 3D-модель конструкции электротехнологической малогабаритной установки на базе мотокультиватора с секционированной электродной системой

В прицепном устройстве планируется разместить: источник электрической энергии – фотоэлектрические модули и аккумуляторные батареи с системой заряда и контроля за уровнем зарядки аккумуляторных батарей; электрический модуль повышения напряжения; модуль формирования высоковольтных импульсов (рисунок 2). На верхней части крышки необходимо разместить также проблесковый маячок, для предупреждения окружающих о том, что проводится электрообработка почвенного участка.

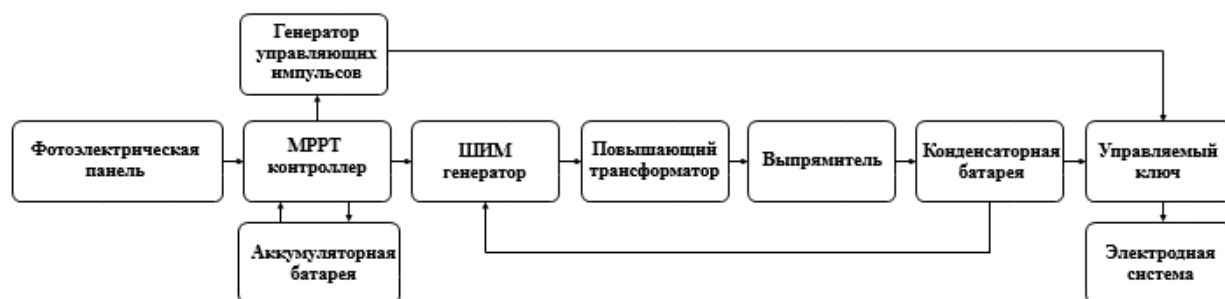


Рисунок 2 – Структура электрической части электроимпульсной малогабаритной установки

Электродная система представляет собой комбинацию навесных электродов и электрода, отдельно заглубляемого в почву. Выбор применения компонентного состава электродной системы, используемого при электрообработке, определяется преобладающей засоренностью участка конкретными видами сорных растений.

На рукоятках рулевой колонки мотоблока размещены выключатели и небольшая панель контроля за процессом обработки, под сидением водителя-оператора размещается кнопочное устройство с замыкающим контактом, не позволяющая начать обработку, если человек не займет место водителя. Для работы оператор должен использовать диэлектрические боты и перчатки.

Отдельного вопроса заслуживает изучение отклика почвенной биоты на

обработку растений и, следовательно, почвенного слоя, импульсами высокого напряжения. В отличие от вспашки, электрическая борьба с нежелательными растениями не нарушает структуру почвы, сохраняя полезную почвенную фауну и микробные местообитания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Организационно-технологические основы производства и реализации продукции плодово-ягодных питомников / А. М. Карев, Р. Н. Егоров, Н. Н. Пуляев, В. С. Иволгин. – М. : ООО «УМЦ Триада», 2016. – 110 с.
2. Зангиев, А. А. Оптимизация производственных процессов на уборке и реализации винограда / А. А. Зангиев, О. Дидманидзе, Д. Г. Асадов. – М. : Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина, 1998. – 136 с.
3. Состояние и тенденции развития виноградарства в Российской Федерации / А. В. Колбасин, А. Г. Баранов, Е. В. Баранова, О. А. Батракова // Финансовая экономика. – 2024. – № 12. – С. 309-315.
4. Slaven, M. J., Exploring the potential of electric weed control: A review / M. J. Slaven, M. Koch, C. P. D. Borger // Weed Science. – 2023. – Vol. 71(5). – Pp. 1-49.
5. Клочков, А. В. Механические и физические методы борьбы с сорняками / А. В. Клочков // Наше сельское хозяйство. – 2020. – № 17(241). – С.84-89.
6. Юдаев, И. В. Технологически эффективная и экологически безопасная борьба с сорными растениями / И. В. Юдаев // Сельский механизатор. – 2020. – № 8. – С. 2-3.
7. Baev, V. I. Efficiency estimation of type of the electrical exposure on plants at their processing / V. I. Baev, I. V. Yudaev // Ad Alta. – 2018. – Vol. 8(1). – Pp. 252-257.
8. Yudaev, I. V. Electropulse Weed Control as an Element of Organic Farming in Sustainable Agriculture / I. V. Yudaev, Yu. V. Daus, I. V. Sharov // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2025. – Vol. 61. – No. 6. – Pp. 925-936.

Об авторах:

Юдаев Игорь Викторович, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (350044, Краснодарский край, Краснодар, улица им. Калинина, дом 13), доктор технических наук, профессор, etsh1965@mail.ru.

Шаров Иван Васильевич соискатель, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (350044, Краснодарский край, Краснодар, улица им. Калинина, дом 13), ivanshar98@gmail.com.

About the authors:

Igor V. Yudaev, professor, Kuban State Agrarian University (350044, Russian Federation, Krasnodar, st. Kalinina, 13) Doctor of Technical Sciences, professor, etsh1965@mail.ru.

Ivan V. Sharov, Applicant, Kuban State Agrarian University (350044, Russian Federation, Krasnodar, st. Kalinina, 13), ivanshar98@gmail.com.

КРИТЕРИИ АНАЛИЗА РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 0,4 КВ ПРИ НАЛИЧИИ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

А. В. Савенко

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье целью исследований является анализ несимметричных режимов работы сельских электрических сетей 0,4кВ при наличии тока и напряжения нулевой последовательности, а также определение дополнительных критериев, которые более развернуто характеризуют эти режимы. В ходе энергетического обследования сельских электрических сетей 0,4 кВ посредством регистратора показателей качества электрической энергии были получены значения коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности и коэффициента несимметрии токов по нулевой последовательности, на основании которых аналитически была установлена функциональная связь между этими величинами. Были предложены и определены в течении суток дополнительные критерии, позволяющие анализировать режимы при наличии токов и напряжений нулевой последовательности.*

***Ключевые слова:** коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, коэффициент несимметрии токов по нулевой последовательности, сопротивление нулевой последовательности.*

CRITERIA FOR ANALYZING THE OPERATION OF A 0,4 KV ELECTRICAL NETWORK IN THE PRESENCE OF ZERO-SEQUENCE CURRENTS AND VOLTAGES

A. V. Savenko

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The purpose of the research is to analyze the asymmetric operating modes of rural 0.4kV electric networks in the presence of zero-sequence current and voltage, as well as to identify additional criteria that characterize these modes in more detail. During the energy survey of rural electrical networks of 0.4 kV, using the registrar of electrical energy quality indicators, the values of the voltage asymmetry coefficient in the zero sequence and the current asymmetry coefficient in the zero sequence were*

obtained, on the basis of which a functional relationship between these values was analytically established. Additional criteria were proposed and determined during the day to analyze the modes in the presence of zero-sequence currents and voltages.

Keywords: voltage asymmetry coefficient in the zero sequence, current asymmetry coefficient in the zero sequence, zero sequence resistance.

12 апреля 2025 года утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года, которая предлагает решить ряд задач, в том числе повысить надежность и качество электроснабжения потребителей. Показатели качества электроэнергии (ПКЭ) установлены [1]. Их отклонение от нормативных значений приводит к увеличению потерь электроэнергии, снижению надежности работы электрооборудования, нарушению технологических процессов [2, 3]. Одним из важнейших ПКЭ является коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности (КННП). Этот показатель особенно важен и актуален для электрической сети 0,4 кВ, работающей в режиме глухозаземленной нейтрали. Так как в этих сетях большое количество однофазных потребителей, несимметричные режимы работы, являются для них нормальными рабочими режимами. Согласно работам [4, 5] среднее значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности в сетях 0,4 кВ значительно выше нормируемого.

Одного показателя КННП недостаточно, чтобы охарактеризовать режим работы сети 0,4 кВ при проведении энергетических обследований [6, 7, 8], поэтому целью данной работы является исследование критериев для анализа режимов работы электрических сетей 0,4 кВ при наличии тока и напряжения обратной последовательности.

С помощью прибора для измерения и регистрации показателей качества электрической энергии ЭРИС КЭ при проведении энергетического обследования в течении суток были измерены значения коэффициента несимметрии токов по нулевой последовательности (КНТП) (рисунок 1) и КННП (рисунок 2).



Рисунок 1 – Суточный график изменения коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности

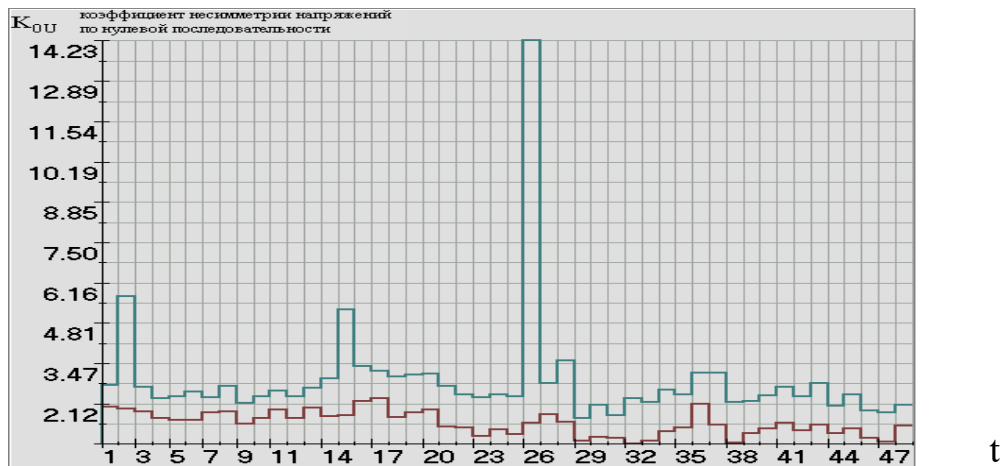


Рисунок 2 – Суточный график изменения коэффициента несимметрии токов по нулевой последовательности

На каждом рисунке приводятся максимальные и средние арифметические значения коэффициентов на интервале 0,5 часа в течении суток. Всего 48 интервалов как показано на оси абсцисс. Прибор регистрировал данные на стороне низшего напряжения трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ.

В качестве дополнительного критерия оценки режима работы электрической сети 0,4 кВ предлагается к рассмотрению величина, равная отношению КНТП и КННП, или отношению сопротивления прямой последовательности к сопротивлению нулевой последовательности:

$$K = \frac{k_{0I}}{k_{0U}} = \frac{Z_1}{Z_0} \quad (1)$$

Также можно получить зависимость КННП от КНТП

$$k_{0U} = \frac{I_0 Z_0}{I_1 Z_1} = k_{0I} \frac{Z_0}{Z_1} \quad (2)$$

В соответствии с результатами, полученными на рисунке 1 и рисунке 2, получены значения K в течении рассматриваемых суток (рисунок 3).

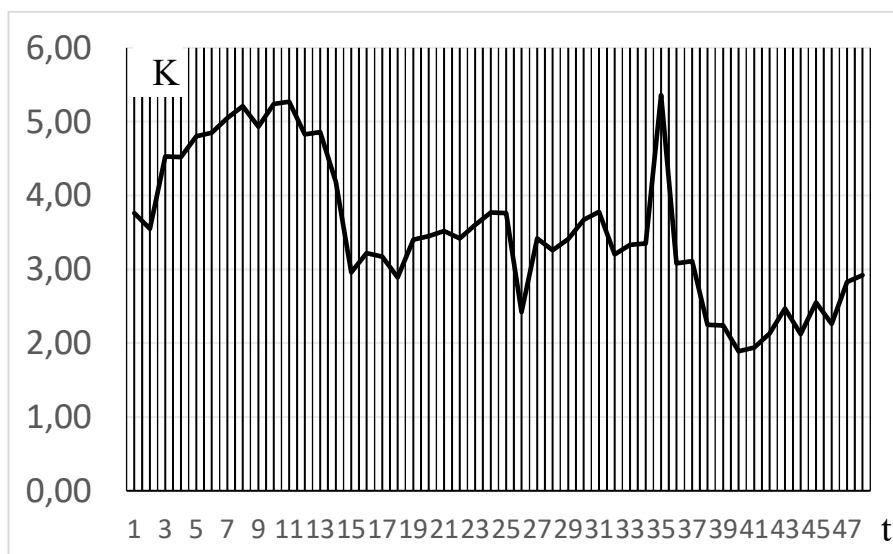


Рисунок 3 – Суточный график изменения отношения сопротивления прямой последовательности к сопротивлению нулевой последовательности

Эта величина в течении суток изменяется от 2 до 5,5. Анализируя диапазон изменения этой величины, можно сказать, что рассматриваемая сеть обладает малым значением сопротивления нулевой последовательности. Это, в свою очередь, приводит к значительным токам нулевой последовательности при сравнительно небольших отклонениях фазных напряжений. Сопротивление нулевой последовательности зависит от схемы соединения обмоток трансформатора, зависит от сопротивления петли «фаза-ноль». Рассматриваемая сеть чувствительна к перекосу фаз.

На значение сопротивления нулевой последовательности могут влиять такие факторы как состояние заземляющих устройств (для сетей с глухозаземленной нейтралью) – коррозия заземлителей, сезонные изменения, механические повреждения, аварийные ситуации, изменение конфигурации сети. а также режим насыщения магнитопровода трансформатора. При больших токах нулевой последовательности магнитопровод насыщается, это приводит к тому, что индуктивная составляющая сопротивления нулевой последовательности уменьшается. Величина сопротивления нулевой последовательности определяет ток однофазного короткого замыкания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в электрических сетях общего назначения. – М. : Издательство стандартов, 2013.
2. Управление качеством электроэнергии : учебное пособие / И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов [и др.]; под ред. Ю. В. Шарова. 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2017. – 347 с.
3. Коваленко, П. В. Потери и качество электроэнергии в системах электроснабжения при несимметрии токов и напряжений : монография / П. В. Коваленко. – Новочеркасск : Оникс+, 2007. – 227 с.
4. Косоухов, Ф. Д. Несимметрия напряжений и токов в сельских распределительных сетях / Ф. Д. Косоухов, И. В. Наумов. – Иркутск : ИрГСХА, 2003. – 258 с.
5. Курзин, Н. Н. Математическое моделирование физических процессов в электроозонаторах / Н. Н. Курзин, А. В. Савенко, Е. А. Федоренко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар, 2013. – № 42. – С. 142-146.
6. Патент № 2181103 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Термоадаптивный блок озонатора: № 99121820/12: заявл. 19.10.1999: опубл. 10.04.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, В. А. Драгин, Т. А. Нормова [и др.] ; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.
7. Патент № 2185319 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2001114848/12: заявл. 30.05.2001: опубл. 20.07.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, С. В. Вербицкая, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.
8. Патент № 2253608 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2004111052/15: заявл. 12.04.2004: опубл. 10.06.2005 / Д. А. Нормов, А.

В. Снитко, А. А. Шевченко, Т. А. Нормова [и др.] ; заявитель Кубанский Государственный аграрный университет.

Об авторе:

Савенко Алексей Валентинович, доцент кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (111024, Российская Федерация, Москва, улица Авиамоторная, 8А), кандидат технических наук, доцент, mfsav@mail.ru.

About the author:

Aleksey V. Savenko, associate professor of power supply and thermal power engineering department after named I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), Moscow Technical University of Communications and Informatics (111024, Russian Federation, Moscow, Aviamotornaya Street, 8A), Candidate of Technical Sciences, associate professor, mfsav@mail.ru.

АВТОНОМНАЯ МОБИЛЬНАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА НА ОСНОВЕ ВИЭ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ТОЧЕК

М. В. Зимина, М. М. Украинцев

Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрной университет» в г. Зернограде, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы применения автономных солнечных электростанций в агропромышленном комплексе. Особое внимание уделено разработке передвижной солнечной электростанции для удалённых пастбищных площадок. Проведён анализ солнечного излучения для условий Ростовской области, исследованы режимы электропотребления объектов АПК и обоснованы основные параметры автономной солнечной электростанции. Показано, что использование фотоэлектрических преобразователей позволяет обеспечить надёжное и экологически безопасное электроснабжение сельскохозяйственных объектов в сезонный период.

Ключевые слова: солнечная энергетика, автономная электростанция, фотоэлектрические преобразователи, агропромышленный комплекс, пастбищные площадки.

AUTONOMOUS MOBILE POWER PLANT BASED ON RENEWABLE ENERGY FOR REMOTE LIVESTOCK FARMING POINTS

M. V. Zimina, M. M. Ukraintsev

Azov-Black Sea Engineering Institute – a branch of the Don State Agrarian University in Zernograd, Zernograd, Rostov Region, Russia

Abstract. This article examines the use of autonomous solar power plants in the agro-industrial complex. Particular attention is paid to the development of a mobile solar power plant for remote pastures. An analysis of solar radiation for the Rostov Region is conducted, the power consumption patterns of agricultural facilities are investigated, and the key parameters of an autonomous solar power plant are substantiated. It is shown that the use of photovoltaic converters ensures a reliable and environmentally friendly power supply to agricultural facilities during the seasonal period.

Keywords: solar energy, autonomous power plant, photoelectric converters, agro-industrial complex, pasture areas.

Развитие агропромышленного комплекса сопровождается ростом потребности в надёжных источниках электроснабжения, особенно для объектов, удалённых от централизованных электрических сетей [1, 2, 3]. К таким объектам можно отнести пастбищные площадки, летние доильные лагеря, передвижные пасеки и насосные станции для поения животных [4]. Их подключение к централизованным электрическим сетям зачастую является экономически нецелесообразным, а использование дизельных и бензиновых электростанций сопровождается повышенными затратами и негативным воздействием не только на окружающую среду, но и на производимую продукцию.

Одним из перспективных направлений является применение возобновляемых источников энергии, в частности солнечной энергетики. Современные фотоэлектрические модули обладают высокими энергетическими характеристиками КПД серийно выпускаемых промышленностью фотоэлектрических панелей достигает 22...26 %, а лабораторные прототипы преодолевают показатели в 35 % [5, 6]. Такая высокая эффективность преобразования солнечного излучения в электрическую энергию позволяет создавать компактные и при этом мощные автономные и мобильные системы электроснабжения. В связи с этим актуальной является задача разработки передвижной солнечной электростанции, способной обеспечить потребности удалённых объектов АПК.

Солнечное излучение представляет собой поток энергии, поступающий на поверхность Земли в виде прямого и рассеянного излучения. Суммарная интенсивность солнечного излучения определяет энергетический потенциал фотоэлектрических установок. Для условий юга России, в том числе Ростовской области, характерно преобладает высокий уровень солнечной инсоляции, являясь одним из самых благоприятных регионов России для солнечной энергетики. Годовая сумма солнечной радиации на горизонтальную поверхность составляет около 1,29 МВт·ч/м². Максимальная активность наблюдается в июне-июле до 6 кВт·ч/м² в день, а общая продолжительность солнечного сияния превышает 2000 часов в год [7, 8, 9].

Фотоэлектрические преобразователи способны вырабатывать электрическую энергию, как при прямом, так и при рассеянном солнечном излучении, что повышает надёжность работы автономных систем. Существенным фактором является сезонность поступления солнечной энергии, что требует применения аккумуляторных батарей для накопления электроэнергии и обеспечения питания потребителей в вечернее и ночное время.

Анализ электроснабжения ключевых технологических объектов АПК показал, что оптимальным является проектирование автономной солнечной электростанции для пастбищной площадки. Мобильная автономная электростанция для удалённых пастбищных стоянок является технологически обоснованным, экономически выгодным и практичным решением, поскольку мобильность установки позволяет адаптироваться к сезонным перемещениям скота. Что соответствует логике отгонного животноводства. А невысокие эксплуатационные расходы могут обеспечить высокую рентабельность.

Для функционирования такой животноводческой точки необходимо следующее электрифицированное оборудование: доильная установка, насосное оборудование для водоснабжения, холодильное оборудование, система освещения и электроизгородь. В соответствии с технологией выбрали оборудование и составили суточный график нагрузки, таблица 1.

Таблица 1 – График изменения нагрузки за сутки

№ п/п	Нагрузка	Мощность нагрузки на интервалах времени, Вт												
		8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-8
1	Водяной насос		185		185				185		185		185	
2	Доильная установка					1500	1500							
3	Танк-охладитель				1100			1100	1100	1100				
4	Холодильник	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
5	Освещение												50	50
6	Радиоприемник	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
7	Электроизгородь	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Итого		69	254	69	1354	1569	1569	1169	1354	1169	254	69	304	119

Анализ электропотребления оборудованием точки показал, что основное энергопотребление происходит днем. Таким образом, это еще раз подтверждает то, что для таких объектов можно использовать солнечную энергию, поскольку период максимальной нагрузки совпадает с часами

Согласно таблице 1, максимальная мощность потребителей, составит около 1,6 кВт. Суточное энергопотребление объекта оценивается на уровне 10,5 кВт·ч. Расчёты показали, что для обеспечения заданных параметров достаточно применения солнечных модулей суммарной мощностью 5,4 кВт с аккумуляторной батареей ёмкостью 800 А·ч.

Для мобильной солнечной электростанции можно привести следующую структурную схему (рисунок 1). Структурная схема автономной солнечной электростанции включает батарею фотоэлектрических преобразователей, контроллер заряда, аккумуляторную батарею и инвертор напряжения. Электроэнергия, вырабатываемая солнечными модулями, используется для питания потребителей и зарядки аккумуляторов, обеспечивающих резервное питание.

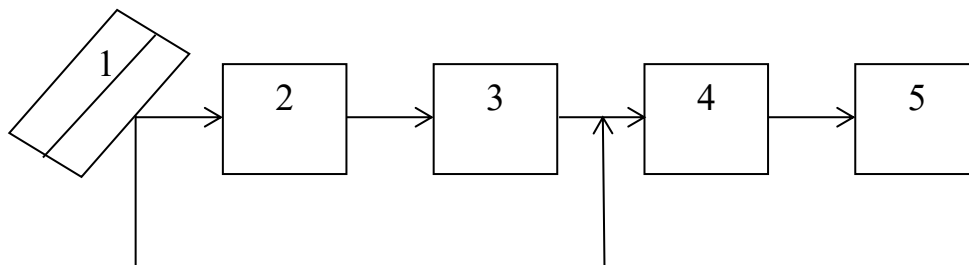


Рисунок 1 - Структурная схема автономной солнечной электростанции
1 – батарея фотоэлектрических преобразователей; 2 – контроллер заряда аккумуляторов; 3 – аккумуляторная батарея; 4 – инвертор напряжения; 5 – потребители электроэнергии

Для повышения эффективности работы солнечных батарей из литературных источников была выбрана оптимальная ориентация по азимуту и углу наклона. Учитывая, что проектируемая солнечная электростанция будет эксплуатироваться с середины апреля по середину сентября, и предположительно будет иметь большие размеры, то при использовании передвижной солнечной электростанции рекомендуется выдержать эти параметры:

- азимутальный угол $\gamma = -16,2^\circ$
- угол наклона к горизонту $\beta = 35,05^\circ$

Проведённый анализ показал, что климатические условия Ростовской области обеспечивают достаточный уровень солнечной инсоляции для эффективной работы фотоэлектрических преобразователей в весенне-летне-осенний период.

Анализ суточного графика нагрузки выявил важную закономерность: максимум электропотребления приходится на дневное время, это напрямую связано с циклом сельскохозяйственных работ.

На основе исследования графиков электропотребления технологических объектов пастбищной площадки определены основные параметры проектируемой системы: инвертор SmartWattEco 5К мощностью 5 кВт, в качестве фотоэлектрических преобразователей выбраны солнечные батареи TH550PMB6-58SC, для обеспечения резервного питания принята сборка из четырёх гелевых аккумуляторов DELTA GEL 12-200 общей ёмкостью 800 А·ч.

Таким образом, автономная мобильная энергоустановка на основе солнечного излучения является технически обоснованным и экономически выгодным решением для обеспечения электрической энергией удаленных сельскохозяйственных потребителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автономное электроснабжение объектов на основе возобновляемых источников энергии / М. М. Украинцев, П. Т. Корчагин, С. М. Воронин, И. В. Юдаев // Устойчивое развитие горных территорий. – 2025. – Т. 17, № 1(63). – С. 482-492. – DOI 10.21177/1998-4502-2025-17-1-482-492.

2. Юдаев, И. В. К вопросу о внедрении систем агрофотовольтаики на сельских и удаленных территориях России / И. В. Юдаев, Ю. В. Даус, В. Е. Костин // Малая энергетика: проблемы, задачи и перспективы : Материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 15-16 июня 2023 года. – Краснодар: ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России Краснодарский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2023. – С. 143-148.

3. Солнечная энергетика: реальность и перспективы / И. К. Самойловский, М. В. Зими́на, К. А. Воловиков, М. М. Украинцев // Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации. – 2021. – № 5. – С. 40-43.

4. Украинцев, М. М. Использование солнечной электростанции для молочного животноводства / М. М. Украинцев, М. В. Зими́на, А. А. Шве́ц // Современные научные исследования: проблемы и перспективы : Сборник материалов

VII Международной научно-практической конференции, Зерноград, 04-05 марта 2024 года. – Киров : Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2024. – С. 283-286.

5. Акопян, Д. Г. Перспективы использования солнечных систем в жилых зданиях / Д. Г. Акопян // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2020. – № 5-1(61). – С. 36-45.

6. Андреев, В. М. Концентраторная солнечная фотоэнергетика / В. М. Андреев // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 5-6(109-110). – С. 40-44.

7. Цыганов, В. В. Определение гарантированной интенсивности солнечного излучения для Ростовской области [Электронный ресурс] / В. В. Цыганов, С. М. Воронин, М. П. Котылевский // АгроЭкоИнфо. – 2018. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/СТАТУИ/2018/3/st_352.doc.

8. Даус, Ю. В. Оценка потенциала солнечной энергии Южного федерального округа / Ю. В. Даус // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 4(14). – С. 190-193.

9. Андреев, С. А. Аккумуляция энергии в маломощных гелиосистемах автономного электроснабжения / С. А. Андреев, В. И. Загинайлов, Д. В. Шибаров // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 5(81). – С. 70-76.

Об авторах:

Зими́на Мари́я Влади́мировна, студент магистратуры, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет» в г. Зернограде (347740, Российская Федерация, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), zimina_masha22@mail.ru.

Украинцев Макси́м Миха́йлович, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет» в г. Зернограде (347740, Российская Федерация, Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина, 21), кандидат технических наук, rostmax@rambler.ru.

About the authors:

Maria V. Zimina, Master's student, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University in Zernograd (347740, Russian Federation, Rostov region, Zernograd, Lenin street, 21), zimina_masha22@mail.ru.

Maksim M. Ukraintsev, Associate Professor, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University in Zernograd (347740, Russian Federation, Rostov region, Zernograd, Lenin street, 21), Candidate of Technical Sciences, rostmax@rambler.ru.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ВТОРИЧНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Д. С. Карлаков, О. В. Лештаев, С. И. Белов

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье описаны технические решения по вторичному применению литий-ионных аккумуляторов различных типоразмеров. Приведено обоснование возможности вторичного применения литий-ионных аккумуляторов. Указаны основные факторы, которые необходимо учитывать при сборке батарей из литий-ионных аккумуляторов. Представлены примеры аккумуляторных батарей, изготовленных из вторично используемых аккумуляторов типоразмера 18650 и аккумуляторных модулей от электромобиля Nissan Leaf с указанием результирующих характеристик сборок. Рассмотрены возможные области применения разработанных батарей.*

***Ключевые слова:** ВИЭ, накопление электрической энергии, аккумуляторы, аккумуляторные батареи.*

TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE SECONDARY USE OF LITHIUM-ION BATTERIES

D. S. Karlakov, O. V. Leshtayev, S. I. Belov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The article describes technical solutions for the secondary use of lithium-ion batteries of various sizes. The justification of the possibility of secondary use of lithium-ion batteries is given. The main factors that must be considered when assembling lithium-ion batteries are indicated. Examples of rechargeable batteries made from recycled 18650 batteries and battery modules from a Nissan Leaf electric vehicle are presented, indicating the resulting assembly characteristics. Possible applications of the developed batteries are considered.*

***Keywords:** renewable energy sources, electric energy storage, accumulators, rechargeable batteries.*

В последние годы во многих странах наблюдается существенный рост применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1]. Однако, в связи с непостоянством выработки, ВИЭ зачастую нуждаются в накопителях энергии, в качестве которых в большинстве случаев выступают вторичные химические источники тока – аккумуляторные батареи [2]. Несмотря на постепенное снижение стоимости аккумуляторов, их цена остаётся довольно высокой, что негативно

сказывается на себестоимости генерации электроэнергии от ВИЭ. Таким образом, для повышения конкурентоспособности и экономической целесообразности применения возобновляемой энергетики актуальной задачей является снижение себестоимости аккумуляторных батарей.

Потенциальным решением данного вопроса может служить вторичное применение литий-ионных аккумуляторов, ранее эксплуатировавшихся в электротранспорте, электрических транспортно-технологических машинах, аккумуляторном инструменте и т.д. Зачастую, в электротранспорте замену аккумуляторной батареи выполняют не вследствие её выхода из строя, а из-за уменьшения пробега на одной полной зарядке. Поскольку автопроизводители несут гарантийную ответственность за техническую исправность производимого электротранспорта, благодаря применению высококачественных плат защит, предотвращающих перезаряд, глубокий разряд и перегрев аккумуляторов, выходы из строя отдельных аккумуляторов в высоковольтных батареях электромобилей встречаются достаточно редко. Таким образом, несмотря на снижение ёмкости и плотности хранения энергии аккумуляторов, они остаются в работоспособном состоянии и могут быть применены для стационарного хранения энергии [3].

В то же время, причиной замены аккумуляторных батарей, применяемых в портативной электронике и электроинструменте, чаще выступает их выход из строя, обусловленный неисправностями или некорректной работой низкокачественных плат защиты. При этом, наибольшая часть аккумуляторов в таких батареях, как правило, остаётся работоспособной и пригодна для вторичного применения.

Целесообразность вторичного применения литий-ионных аккумуляторов обусловлена их низкой ценой, а также меньшей стоимостью хранения энергии по сравнению с новыми аккумуляторами, несмотря на меньший ресурс эксплуатации и более высокое внутреннее сопротивление. Также, вторичное применение аккумуляторов позволяет снизить спрос на производство новых аккумуляторов и отсрочить утилизацию аккумуляторов, утративших часть своей ёмкости, что даёт возможность уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Перед изготовлением батарей из бывших в употреблении аккумуляторов необходимо определить их остаточную ёмкость, внутреннее сопротивление и величину саморазряда, поскольку аккумуляторы в батарее для её долгосрочной работы должны иметь максимально схожие параметры [4]. Кроме того, необходимо учитывать следующие факторы:

1) Максимальный допустимый ток платы защиты батареи должен быть выбран исходя из регламентируемого производителем аккумуляторов допустимого тока заряда и разряда, с учётом остаточной ёмкости аккумуляторов и дальнейшего снижения ёмкости в процессе эксплуатации.

2) Батареи, собранные из вторично используемых аккумуляторов, должны комплектоваться активными балансиром для компенсации различий ёмкости аккумуляторов и поддержания равных напряжений на всех аккумуляторах в батарее.

3) Конструкция батареи должна позволять проводить замену аккумуляторов, а типоразмер аккумуляторов должен быть широко распространён, поскольку именно подключение плат защиты и балансировки является наиболее трудоёмким и времязатратным этапом сборки.

С учётом описанных факторов [6, 7, 8, 9], нами была изготовлена аккумуляторная батарея с номинальным напряжением 11,1 вольт и ёмкостью 39,4 А·ч из бывших в употреблении литий-ионных аккумуляторов типоразмера 18650 от портативного электроинструмента (рисунок 1). Благодаря наличию пружинных токосъёмных контактов данная батарея позволяет оперативно выполнять замену аккумуляторов, что обеспечивает максимальную ремонтпригодность.



Рисунок 1 – Аккумуляторная батарея 3S24P со сменными аккумуляторами

Также, нами была изготовлена аккумуляторная батарея с номинальным напряжением 25,9 вольт и ёмкостью 37 А·ч из бывших в употреблении аккумуляторных модулей электромобиля Nissan Leaf (рисунок 2). Благодаря применению резьбовых соединений токопроводящих шин, сигнальных и силовых проводников конструкция данной батареи также позволяет оперативно проводить замену аккумуляторных модулей без применения пайки или сварки проводников.

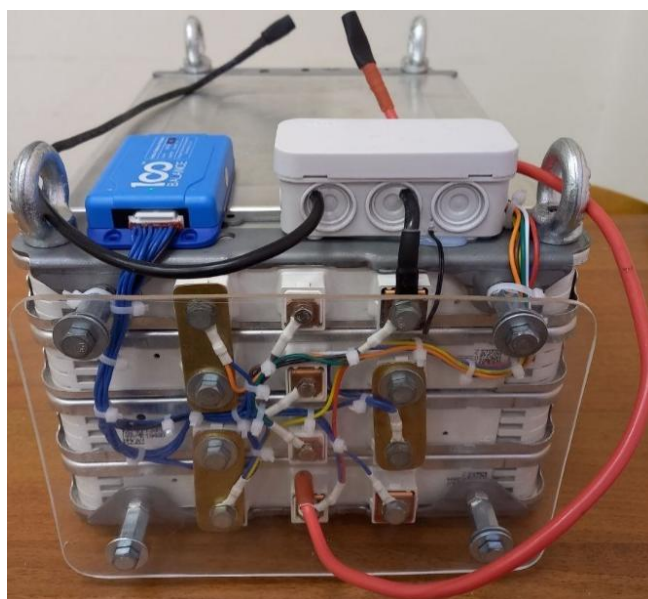


Рисунок 2 – Аккумуляторная батарея из бывших в употреблении аккумуляторных модулей электромобиля Nissan Leaf

Описанные аккумуляторные батареи могут быть применены в условиях стационарного хранения энергии как совместно с возобновляемыми источниками энергии, так и в источниках бесперебойного питания в качестве рациональной замены традиционных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей [4, 5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правовое регулирование энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии в России и Краснодарском крае / В. П. Камышанский, Р. А. Амерханов, О. В. Григораш [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2019. – № 3(119). – С. 7-14.
2. Научные проблемы распределенной генерации [Электронный ресурс] / С. А. Ерошенко, А. А. Карпенко, С. Е. Кокин, А. В. Паздерин // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2010. – № 11-12. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchnye-problemy-raspredeleynoy-generatsii> (дата обращения: 22.01.2026).
3. Joseph Lacap. Development and Demonstration of Microgrid System Utilizing Second-Life Electric Vehicle Batteries / Joseph Lacap, Jae Wan Park, Lucas Beslow // Journal of Energy Storage. – 2021. – Volume 41. – 102837. – DOI 10.1016/j.est.2021.102837.
4. Карлаков, Д. С. Расширение функциональных возможностей источника бесперебойного питания / Д. С. Карлаков, О. В. Лештаев, В. И. Загинайлов // Международный технический журнал. – 2024. – № 2(89). – С. 39-47. – DOI 10.34286/2949-4176-2024-89-2-39-47.
5. Дидманидзе, О. Н. Срок службы аккумуляторных батарей электромобилей / О. Н. Дидманидзе, А. В. Фетисов, А. В. Строганов // Международный научный журнал. – 2011. – № 2. – С. 118-120.
6. Карлаков, Д. С. Влияние величины зарядного напряжения на сокращение ёмкости свинцово-кислотных аккумуляторных батарей / Д. С. Карлаков, Н. А. Стушкина // Агротехника и энергообеспечение. – 2022. – № 2(35). – С. 25-29.
7. Руководство по диагностике, ТО и ремонту комбинированной энергоустановки гибридного автомобиля Toyota Prius NHW20/0 / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, Д. Г. Асадов [и др.]. – М. : ООО «Издательство «Триада», 2006. – 357 с.
8. Патент № 2181103 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Термоадаптивный блок озонатора: № 99121820/12: заявл. 19.10.1999: опубл. 10.04.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, В. А. Драгин, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.
9. Патент № 2185319 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2001114848/12: заявл. 30.05.2001: опубл. 20.07.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, С. В. Вербицкая, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.
10. Патент № 2253608 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2004111052/15: заявл. 12.04.2004: опубл. 10.06.2005 / Д. А. Нормов, А. В. Снитко, А. А. Шевченко, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский Государственный аграрный университет.

Об авторах:

Карлаков Дмитрий Сергеевич, аспирант, ассистент кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), karlakov@rgau-msha.ru.

Лештаев Олег Валерьевич, доцент кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук, oleg-leshtaev@yandex.ru.

Белов Сергей Иванович, доцент кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук, sbe-lov_@mail.ru.

About the authors:

Dmitriy S. Karlakov, postgraduate student, assistant of power supply and thermal power engineering department after named I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), karlakov@rgau-msha.ru.

Oleg V. Leshtayev, associate professor of power supply and thermal power engineering department after named I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), Candidate of Technical Sciences, oleg-leshtaev@yandex.ru.

Sergey I. Belov, associate professor of power supply and thermal power engineering department after named I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), Candidate of Technical Sciences, associate professor, sbe-lov_@mail.ru.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СУШКИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗА СЧЕТ КОМБИНИРОВАННОГО СВЧ-КОНВЕКТИВНОГО ЭНЕРГОПОДВОДА

С. П. Рудобашта

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** Отмечена большая энергоемкость процесса сушки, указано, что в последнее время для интенсификации этого процесса и повышения его эффективности большое внимание уделяется комбинированному СВЧ-конвективному подводу энергии. Наложение электромагнитного СВЧ-поля на систему вызывает повышение температуры высушиваемого материала, что приводит к интенсификации процесса сушки и повышению его эффективности. Представлены результаты математического моделирования процесса сушки зернового материала в аппарате, показывающие существенное повышение его температуры в ходе сушки, что будет сопровождаться ростом интенсивности сушки и, как следствие, повышением эффективности процесса.*

***Ключевые слова:** сушка, энергоэффективность, дисперсный материал, комбинированный сверхвысокочастотно-конвективный подвод энергии.*

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE DRYING PROCESS OF DISPERSED MATERIALS DUE TO THE COMBINED MICROWAVE-CONVECTIVE ENERGY SUPPLY

S. P. Rudobashta

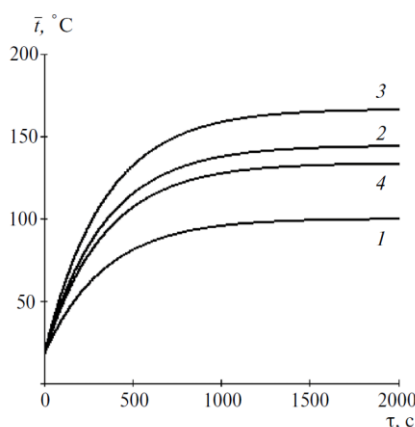
Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The high energy intensity of the drying process was noted, and it was pointed out that much attention has recently been paid to combined microwave-convective energy supply in order to intensify this process and increase its efficiency. The application of an electromagnetic microwave field to the system causes an increase in the temperature of the dried material, which leads to an intensification of the drying process and an increase in its efficiency. The results of mathematical modeling of the drying process of grain material in the apparatus are presented, showing a significant increase in its temperature during drying, which will be accompanied by an increase in the drying intensity and, as a result, an increase in the efficiency of the process.*

***Keywords:** drying, energy efficiency, dispersed material, combined ultrahigh-frequency convective energy supply.*

Сушка материалов широко применяется в различных отраслях промышленности, в том числе и в сельском хозяйстве, в котором высушивают большие массы зернопродуктов после сбора их с поля для обеспечения возможности их длительного хранения. Сушка является энергоемким процессом, так на 1 кг испарения влаги при 0°С расходуется 2500 кДж энергии. КПД зерносушильных установок составляет около 50 %. Большая часть тепла, подводимого на сушку, теряется с отработанным сушильным агентом, снизить эти потери можно за счет интенсификации процесса сушки, что повышает ее эффективность [1]. В последнее время для интенсификации процесса сушки зернопродуктов используют генераторы озона [5, 6, 7], комбинированную СВЧ-конвективную сушку [2]. СВЧ-энергоподвод обеспечивает выделение энергии во всем объеме высушиваемого материала, что приводит к повышению его температуры и, как следствие, к интенсификации процесса. Кроме того, при достаточно большой мощности СВЧ-источника может иметь место «включение» в работу таких дополнительных механизмов переноса влаги в зерновой массе, как термовлагопроводность и фильтрационный массоперенос [3].

Ниже представлены результаты математического моделирования (на основе модели, развитой в [4]), влияния мощности СВЧ-источника (N_{em}) на кинетику нагрева сферической частицы, находящейся в аппарате, при наложении на систему электромагнитного СВЧ-излучения (рисунок 1). В расчете приняты следующие значения параметров процесса: температура сушильного агента $t_c = 100^\circ\text{C}$; начальная температура материала $t_n = 18^\circ\text{C}$; коэффициент теплопроводности материала $\lambda = 0,5 \text{ Вт/(м К)}$; удельная массовая теплоемкость материала $c = 1250 \text{ Дж/(кг К)}$; плотность материала $\rho_t = 2000 \text{ кг/м}^3$; термический КПД установки $\eta_t = 0,9$; порозность высушиваемого слоя $\varepsilon = 0,45$; теплота парообразования $r^* = 2400 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$; радиус высушиваемой частицы $R = 0,004 \text{ м}$; начальное влагосодержание частицы $\bar{u}_n = 0,25 \text{ кг/(кг сух. м-ла)}$; равновесное влагосодержание частицы $u_p^* = 0$; коэффициент теплоотдачи $\alpha = 10 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$; коэффициент массопроводности зерновки $k = 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$.



**Рисунок 1 – Расчетные кривые изменения среднеобъемной температуры частицы высушиваемого материала во времени $i = f(\tau)$:
1 – $N_{em} = 0$; 2 – 50 кВт; 3 – 75 кВт; 4 – 50 кВт ($t_c = 100^\circ\text{C}$)**

Как видно из рисунка, увеличение мощности электромагнитного источника при постоянной температуре сушильного агента приводит к весьма существенному росту температуры высушиваемой частицы, что будет вызывать значительную интенсификацию ее сушки, а, следовательно, и повышение эффективности процесса.

Выводы: показано, что наложение СВЧ-источника электромагнитной энергии на систему при конвективной сушке зернопродуктов (комбинированная СВЧ-конвективная сушка) приводит к существенному росту температуры высушиваемого материала, что будет вызывать его интенсификацию и повышение эффективности процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рудобашта, С. П. Актуальные проблемы сушки / С. П. Рудобашта // Международная научно-техническая конференция «Проблемы ресурсо- и энергосберегающих технологий в промышленности и АПК, 23-26 сентября 2014. – Иваново, 2014. – Пленарные доклады. – С. 24-38.

2. Васильев, А. В., Применение программного комплекса CST Microwave при проектировании установки СВЧ-конвективной тепловой обработки зерна / А. В. Васильев, Д. А. Будников // Восьмая Международная научно-практическая конференция «Современные энергосберегающие тепловые и массообменные технологии (сушка, тепловые и массообменные процессы) СЭТМТ – 2023», 17-19 октября 2023 г. – М. : ООО «Мегаполис», 2023.

3. Рудобашта, С. П. Массообмен в процессах сушки, адсорбции, экстрагирования, диффузионной паропроницаемости / С. П. Рудобашта. – М. : «Колос-С», 2024. – 574 с.

4. Рудобашта, С. П. Тепломассоперенос при нагреве и сушке сферического тела в непрерывно действующем электромагнитном поле высокой и сверхвысокой частоты / С. П. Рудобашта, Э. М. Карташов, Г. А. Зуева // Теоретические основы химической технологии. – 2024. – Т. 58, № 4. – С. 506-514.

5. Патент № 2181103 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Термоадаптивный блок озонатора: № 99121820/12: заявл. 19.10.1999: опубл. 10.04.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, В. А. Драгин, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

6. Патент № 2185319 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2001114848/12: заявл. 30.05.2001: опубл. 20.07.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, С. В. Вербицкая, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

7. Патент № 2253608 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2004111052/15: заявл. 12.04.2004: опубл. 10.06.2005 / Д. А. Нормов, А. В. Снитко, А. А. Шевченко, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский Государственный аграрный университет.

Об авторе:

Рудобашта Станислав Павлович, профессор кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), доктор технических наук, профессор, rudobashta@mail.ru.

About the author:

Stanislav P. Rudobashta, professor of power supply and thermal power engineering department after named I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), Doctor of Technical Sciences, Professor, rudobashta@mail.ru.

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ДЕЗАКТИВАЦИИ ВОЗДУШНЫХ ВЫБРОСОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИЕМ

Д. А. Нормов¹, В. Л. Болотин¹, Н. Ф. Григорьев², Р. Н. Григорьев³

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

²ФГКВОУ ВО «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А. К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации, г. Краснодар, Российская Федерация

³ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации, г. Воронеж, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы применения электроозонирующей техники для химической и бактериологической дезактивации воздуха очистных сооружений городов и сел. В качестве основного решения предложен метод озонирования воздуха, который не маскирует, а полностью разлагает пахнущие соединения и обеспечивает бактерицидный эффект. На примере очистных сооружений в г. Мытищи показана практическая реализация технологии: установка озонаторов привела к значительному снижению концентраций аммиака, сероводорода, оксидов углерода и азота в воздухе ниже предельно допустимых норм (в случае аммиака – в 20 раз). Приведены результаты лабораторных исследований, демонстрирующие зависимость бактерицидной эффективности озона от его концентрации и времени экспозиции. Установлено, что озон в концентрациях 12...25 мг/м³ эффективно снижает общую микробную обсемененность, при этом наиболее устойчивой является кишечная палочка. Делается вывод о высокой эффективности и перспективности применения озонирующих установок для санации воздуха и охраны здоровья человека.

Ключевые слова: озонирование, озон, очистка воздуха, удаление запахов, бактерицидный эффект, очистные сооружения, предельно допустимая концентрация (ПДК), микробная обсемененность, экология, дезинфекция.

INFORMATION MODEL FOR DECONTAMINATION OF AIR EMISSIONS FROM WASTEWATER TREATMENT FACILITIES BY ELECTROZONE

D. A. Normov^a, V. L. Bolotin^a, N. F. Grigoriev^b, R. N. Grigoriev^c

^aRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

^bKrasnodar Air Force Institute for Pilots named after Hero of the Soviet Union A. K. Serov, Krasnodar, Russian Federation

^cMilitary Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russian Federation

Abstract. This article examines the use of electro-ozonation technology for chemical and bacteriological decontamination of air in urban and rural wastewater treatment facilities. The proposed primary solution is air ozonation, which completely decomposes odorous compounds rather than masks them, providing a bactericidal effect. Using the example of a wastewater treatment facility in Mytishchi, the practical implementation of this technology is demonstrated: the installation of ozonizers significantly reduced the concentrations of ammonia, hydrogen sulfide, carbon oxides, and nitrogen in the air below maximum permissible levels (in the case of ammonia, by 20 times). The article presents the results of laboratory studies demonstrating the dependence of ozone's bactericidal effectiveness on its concentration and exposure time. It was found that ozone at concentrations of 12-25 mg/m³ effectively reduces the overall microbial count, with *E. coli* being the most resistant. The study concludes that ozonation systems are highly effective and promising for air purification and human health protection.

Keywords: ozonation, ozone, air purification, odor removal, bactericidal effect, treatment facilities, maximum permissible concentration (MPC), microbial contamination, ecology, disinfection.

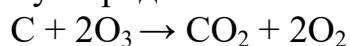
В настоящее время современное общество все чаще сталкивается с проблемой, как удалить неприятные запахи на производстве и в быту. Суть рассматриваемой проблемы, в том, что запахи чаще маскируют, нежели удаляются в полном объеме. Одним из решений указанной проблемы является озонирование, которое не только удаляет запах на 99 %, но и дезинфицирует воздушную среду помещения от вредоносных бактерий, влияющих на здоровье человека [1, 6-8].

Все мы знаем, каким приятным и свежим становится воздух после грозы: им легко дышится, а все чужеродные запахи как будто испаряются. Дело в том, что при грозовых разрядах создается озон и происходит естественная очистка воздуха природной модификацией кислорода. Он реагирует, в первую очередь, именно с молекулами наиболее токсичных веществ и с молекулами, придающими воздуху запахи, например:

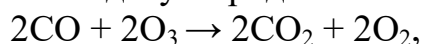
- аммиак NH₃



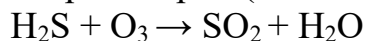
- углерод С



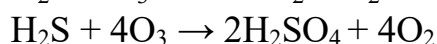
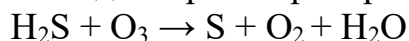
- оксиды углерода СО



- сероводород (в газовой форме)



- в водном растворе 2 реакции с сероводородом H₂S–



Органические соединения взаимодействуют с озоном по реакции окисления. Главными продуктами реакции органического вещества и озона, а также процесса окисления данного соединения являются углекислый газ и вода [2]. Взаимодействие озона с большинством гетероэлементов, входящих в состав органических веществ, приводит к образованию высших оксидов этих элементов.

Для решения проблемы зловонных запахов на центральном очистном сооружении г. Мытищи Московской области были приняты меры и установлены озоногенерирующие установки. Очистное сооружение (канализационная насосная станция) расположена в непосредственной близости от современного жилого района по адресу ул. Благовещенская, 19. После установки озонаторов на территории предприятия, результаты не заставили себя ждать – дышать в микрорайоне стало комфортно и самое главное безопасно. В РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, ИМЭ имени В. П. Горячкина, были произведены лабораторные исследования влияния озона на загрязняющие вещества в воздухе, были произведены замеры предельно допустимой концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в воздухе. Данные исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

Методы испытаний	Определяемые показатели	Значение показателей		Класс опасности
		Норма, не более мг/м ³	Результат испытаний, мг/м ³	
РД 52.04186-89	Концентрация оксида углерода	5,0	менее 1,5	4 Малоопасный
РД 52.04186-89	Концентрация диоксида азота	0,2	менее 0,02	2 Высокоопасный
РД 52.04186-89	Концентрация аммиака	0,2	менее 0,01	4 Малоопасный
РД 52.04186-89	Концентрация сероводорода	0,008	менее 0,004	2 Высокоопасный

Из таблицы 1 видно, что концентрация аммиака в воздухе в 20 раз меньше допустимой нормы, что естественно благоприятно складывается как для здоровья человека, так и для окружающей среды.

Параллельно был произведен анализ влияния озона на санитарно-значимые бактерии (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*). Были проведены опытные испытания, результаты которых отражены в таблице 2.

Озон получали методом диссоциации кислорода воздуха в генераторе озона барьерного типа экспериментальной конструкции, который позволяет получать озон в различных концентрациях. Озон-воздушную смесь подавали в специальную камеру, куда помещали чашки Петри с посевами тест-бактерий.

В каждую чашку вносили по 0,1 мл микробной суспензии, содержащей 1000 микробных клеток, которую равномерно распределяли по всей поверхности агара. После этого посева подвергали озонированию. При этом были испытаны концентрации озона 25, 12 и 6 мг/м³ при экспозиции 7, 15, 30, мин. По окончании озонирования чашки с культурами помещали в термостат при температуре 37°C

на 24 ч. Результаты опытов оценивали по количеству выросших колоний. Каждое исследование проводили в трех повторностях. В качестве контроля использовались посевы, не подвергавшиеся озонированию. Полученные результаты показали, что между концентрацией озона, временем воздействия и выживаемостью тест-бактерий при экспозиции менее 15...30 минут наблюдается практически линейная зависимость, что, скорее всего, связано с активной гибелью низко резистентных к озону клеток (молодых и находящихся в стадии естественного отмирания) [3].

Таблица 2 – Экспериментальная оценка эффективности работы установки озонирования воздуха по степени снижения общей микробной обсеменённости

№ п/п	Место контроля	Время экспозиции, мин.	Значение ОМЧ до обработки (КОЕ), А	Значение ОМЧ до обработки (КОЕ), Х	Значение ОМЧ после обработки (КОЕ), А	Значение ОМЧ после обработки (КОЕ), Х
1	1 (окно)	5	11	1467	4	534
2	2 (дверь)	5	4	534	2	266
3	1 (окно)	10	16	2134	3	400
4	2 (дверь)	10	6	800	2	266
5	1 (окно)	15	20	2667	2	266
6	2 (дверь)	15	17	2267	нет	0

А – количество колоний на агаре чашки Петри.

Х – количество микробов в 1 м³.

Таким образом, проведенные исследования показали, что бактерицидное действие озона может обуславливать при использовании достаточно высоких концентраций озона (12...25 мг/м³). Наиболее устойчивой к действию озона является кишечная палочка, что следует учитывать при проведении санации аэрационных выбросов очистных сооружений [4].

Для получения таких концентраций необходимы специальные установки. Такие установки были успешно разработаны Малым инновационным предприятием «Электротехнологии», которые успешно применяются на многих производственных предприятиях нашей страны.

Применение озонаторов позволяет снизить концентрацию вредных веществ в окружающей среде почти в 20 раз, что безусловно благоприятно сказывается на здоровье человека и животных [5, 9, 10]. Несмотря на то, что в настоящее время ученые очень активно занимаются изучением озона и его химическими свойствами, многие его стороны еще не до конца исследованы и с каждым днем применение озона и озонаторов в производстве, а также и в быту, пользуется огромной популярностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент № 2542504 С1 Российская Федерация, МПК А61L 9/015. Способ санации животноводческих помещений в присутствии животных:

№ 2014108793/15: заявл. 06.03.2014: опубл. 20.02.2015 / В. И. Терехов, Д. А. Нормов, Н. Н. Курзин [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».

2. Загинайлов, В. И. Электрофизические методы и средства контроля и управления сельскохозяйственными технологиями. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / В. И. Загинайлов. – М. : Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина, 2007.

3. Нормов, Д. А. Влияние озонозвоздушной обработки на фитопатогенную микрофлору в овощехранилищах / Д. А. Нормов, А. А. Шевченко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2008. – № 13. – С. 208-210.

4. Патент № 2237404 С2 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с аскоферозом (варианты): № 2002135255/12: заявл. 25.12.2002: опубл. 10.10.2004 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, И. А. Заболотная [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

5. Иванов, Ю. Г. Автоматизированная система управления электроприводом местной вентиляции коровника с управляемым вектором потока воздуха / Ю. Г. Иванов, В. И. Загинайлов, Д. А. Понизовкин // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 4 (25). – С. 34-40.

6. Патент № 2181103 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Термоадаптивный блок озонатора: № 99121820/12: заявл. 19.10.1999: опубл. 10.04.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, В. А. Драгин, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

7. Патент № 2185319 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2001114848/12: заявл. 30.05.2001: опубл. 20.07.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, С. В. Вербицкая, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

8. Патент № 2253608 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2004111052/15: заявл. 12.04.2004: опубл. 10.06.2005 / Д. А. Нормов, А. В. Снитко, А. А. Шевченко, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский Государственный аграрный университет.

9. Технические средства для экологически безопасной утилизации животноводческих стоков / О. Н. Дидманидзе, А. В. Евграфов, Н. Н. Пуляев, С. И. Харитонов // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей, Москва, 17-18 января 2024 года. – М. : Российский государственный аграрный университет, ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 80-87.

10. Патент № 2324342 С1 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с варроатозом пчел: № 2006128062/12: заявл. 01.08.2006: опубл. 20.05.2008 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, С. А. Николаенко, Т. А. Нормова; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».

Об авторах:

Нормов Дмитрий Александрович, профессор кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), доктор технических наук, профессор, d.normov@rgau-msha.ru.

Болотин Владимир Леонидович, инженер, соискатель ученой степени, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49).

Григорьев Николай Федорович, доцент, ФГКВБОУ ВО «Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А. К. Серова» Министерства обороны Российской Федерации (350090, Российская Федерация, Краснодарский край, Краснодар-5, ул. Дзержинского, д. 135), кандидат технических наук, nic_grig@mail.ru.

Григорьев Роман Николаевич, начальник тренажера факультета «Авиационного оборудования», ФГКВБОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации (394064, Российская Федерация, Воронежская обл., Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54 а), rom_grig@mail.ru.

About the authors:

Dmitry A. Normov, Professor of the Department of Electricity Supply and Heat Power Engineering named after academician I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Doctor of Technical Sciences, Professor, d.normov@rgau-msha.ru.

Vladimir L. Bolotin, engineer, candidate for an academic degree, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).

Nikolay F. Grigoriev, Associate Professor, Krasnodar Air Force Institute for Pilots named after Hero of the Soviet Union A. K. Serov (350090, Russian Federation, Krasnodar Krai, Krasnodar-5, Dzerzhinsky St., 135), Candidate of Technical Sciences, nic_grig@mail.ru.

Roman N. Grigoriev, head of the simulator of the Faculty of Aviation Equipment, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy (394064, Russian Federation, Voronezh region, Voronezh, Starykh Bolshevikov st., 54a), rom_grig@mail.ru.

ЦИФРОВАЯ ДИАГНОСТИКА ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ: ОБЪЕДИНЕНИЕ БОРТОВЫХ СИСТЕМ И ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ

О. Ф. Савченко, В. В. Альт, А. А. Солошенко

ФГБНУ «Сибирский физико-технический институт аграрных проблем СФНЦА РАН», р.п. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация

***Аннотация.** Предложена структура и определены функциональные возможности средств цифровизации диагностирования тракторных двигателей с применением информационного моделирования. Показано применение облачной инфраструктуры для расчета и анализа параметров по данным, поступающим с бортовой системы диагностики. Элементы построения модели использовались при разработке цифровой технологии определения мощности двигателя с использованием диагностического сигнала ускорения коленчатого вала. Диагностирование тракторных двигателей с использованием передовых цифровых технологий способствует совершенствованию эксплуатации существующего машинно-тракторного парка, повышает его техническую готовность.*

***Ключевые слова:** тракторный двигатель, цифровизация технического сервиса, эксплуатационные параметры, бортовая система диагностирования, облачные технологии, программные средства.*

DIGITAL DIAGNOSTICS OF TRACTOR ENGINES: INTEGRATION OF ON-BOARD SYSTEMS AND CLOUD SERVICES

O. F. Savchenko, V. V. Alt, A. A. Soloshenko

Siberian Institute of Physics and Technology of Agrarian Problems SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation

***Abstract.** The structure is proposed and the functionality of means of digitalization of diagnostics of tractor engines using information modeling is defined. The application of the cloud infrastructure for calculating and analyzing parameters based on data received from the on-board diagnostic system is shown. The elements of the model construction were used in the development of a digital technology for determining engine power using a diagnostic signal for crankshaft acceleration. The diagnosis of tractor engines using advanced digital technologies contributes to the improvement of the operation of the existing machine and tractor fleet and increases its technical readiness.*

***Keywords:** tractor engine, digitalization of technical service, operational parameters, on-board diagnostic system, cloud technologies, software tools.*

Введение. Обеспечение работоспособности техники – один из важнейших приоритетов сельскохозяйственного производства, необходимых для обеспечения конкурентоспособности сельскохозяйственных предприятий. В немалой степени это зависит от наличия в хозяйствах эффективных систем диагностирования тракторов и их основного энергетического средства двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Для поддержания устойчивого работоспособного состояния ДВС в нормальном экономичном режиме очевидна необходимость разработки и практической реализации методов и средств оперативной оценки его эксплуатационных параметров, что позволит принимать своевременные управляющие воздействия.

Исследования, проводимые ранее авторами в этом направлении, позволили разработать измерительные экспертные системы (ИЭС) – диагностические информационные измерительные системы анализа быстропротекающих рабочих процессов ДВС в сочетании с типовыми экспертными системами и создать автоматизированные технологические комплексы для экспертизы технического состояния ДВС, показавшие свою результативность, а последующие исследования развивали возможности ИЭС для диагностирования ДВС и позволили сформировать методологические основы автоматизации их разработки [1, 2].

Набирающая темпы цифровая трансформация сельскохозяйственного производства создает практические возможности для налаживания эффективной эксплуатации существующего машинно-тракторного парка на основе развития цифровизации технического сервиса, перспективным направлением развития которого является автоматизация процесса диагностирования ДВС. Она представляет собой более высокий уровень цифровой интеграции получаемых данных с программными продуктами для решения поставленных задач. Расширяется применение дистанционной онлайн-диагностики с применением для мониторинга датчиков физических процессов состояния ДВС для сбора данных и облачных технологий для обработки данных с помощью современных методов и алгоритмов диагностирования ДВС на основе новых теоретических моделей с элементами искусственного интеллекта и машинного обучения [3, 4].

Важное, непреходящее значение для цифровизации диагностирования тракторных двигателей имеют исследования, направленные на разработку и совершенствование методов и средств определения эксплуатационных параметров двигателей, использования различных физических процессов, характеризующих техническое состояние двигателя, в том числе использование данных о состоянии ДВС, получаемых из электронной системы управления с подключением к разъему OBD-2 [5-7]. Отличительной чертой такого типа исследований является всё расширяющееся применение для сбора, анализа и обработки сигналов датчиков физических процессов современных интеллектуальных и облачных технологий – искусственных нейронных сетей, методов машинного обучения [8-12].

Очевидно, что для автоматизации диагностирования ДВС необходимо привлекать всю совокупность информации сопровождающую этот технологический процесс – о значениях его эксплуатационных параметров, в том числе и прогнозируемых, отклонениях от нормальных значений, вырабатываемых управляющих сигналах и командах – информационные потоки данных и знаний

и их взаимодействие.

Такой подход предопределяет разработку информационной модели, которая на основе сбора и обработки большого объема значимой разнообразной информации в этой предметной области предоставит возможность научно обосновать адекватную структуру средств и совокупности программных продуктов, применение которых позволит автоматизировать процесс диагностирования, что решающим образом повлияет на качественную работу ДВС и, соответственно, на эффективность деятельности хозяйства.

Цель исследования – формирование информационной модели автоматизированного цифрового диагностирования тракторных двигателей.

Материалы и методы исследования. В ходе исследований обосновано применение метода информационного моделирования как наиболее адаптивного инструмента анализа для целостного и формализованного описания функционирования диагностических средств оперативной оценки и прогнозирования эксплуатационных параметров тракторных двигателей.

Результаты исследования. Определен состав информационных составляющих данной предметной области и их взаимодействие в процессе диагностирования путем мониторинга и прогнозирования эксплуатационных параметров, выявления отклонений их текущих значений от паспортных данных (нормальных значений) и выдачи рекомендаций по мерам воздействия на ДВС. Учитывая необходимость целенаправленной обработки и анализа больших объемов разнообразной информации, сопровождающей эксплуатацию тракторных двигателей в составе МТА при выполнении полевых работ в растениеводстве, обоснована интеграция передовых цифровых методов сбора, анализа и представления информации – математического и семантического анализа, интеллектуальных и облачных технологий.

На рисунке 1 представлена общая схема структурных блоков и взаимодействие информационных потоков между ними при диагностировании тракторных ДВС.



Рисунок 1 – Общая схема взаимодействия информационных потоков

В состав модели входит *бортовая система диагностики и управления*, включающая датчики первичной диагностической информации, блок оперативного мониторинга, локальную базу данных (идентификаторы ключей), интерфейс пользователя, а также *облачная инфраструктура*, включающая удаленный сервер баз данных и знаний, блок оперативного мониторинга и прогнозирования эксплуатационных параметров, экспертную систему.

Схема бортовой системы диагностики для получения и преобразования диагностических сигналов приведена на рисунке 2. Для получения измерительной

информации предусмотрено применение как штатных датчиков, так и дополнительных датчиков физических процессов ДВС, а также получение данных о состоянии ДВС от электронной системы управления (через стандартные диагностические разъёмы (включая OBD-2 при его наличии)).



Рисунок 2 – Схема получения и преобразования диагностических сигналов ДВС

Следует отметить, что отличительной особенностью модели является применение наряду с интеллектуальными технологиями (экспертная система, машинное обучение) и облачных технологий для расчета параметров по данным, поступающим с бортовой системы диагностики и управления. Привлечение облачной инфраструктуры, обеспечивающей масштабируемые вычислительные и информационные ресурсы, позволяет существенно сократить потребность в локальных вычислительных мощностях, упростить архитектуру технических и программных средств непосредственно в сельхозпредприятии. Схема облачной инфраструктуры приведена на рисунке 3.

Взаимодействие информационных потоков. Блок оперативного мониторинга получает информацию с датчиков физических процессов ДВС, обрабатывает ее и транслирует на интерфейс пользователя, одновременно сохраняя коды сигналов для доступа к удаленному серверу баз данных.

Пользователь взаимодействует с интерфейсом, отправляя запросы к удаленной экспертной системе, которая предоставляет рекомендации. Интерфейс также передает информацию в облачную инфраструктуру, где данные обрабатываются с использованием математических моделей для расчета текущих значений эксплуатационных параметров и машинного обучения для формирования прогнозов (ожидаемых значений параметров) с последующим расчетом их отклонений от нормальных (паспортных) значений, на основании чего экспертная

система выдает результаты обработки на интерфейс пользователя в виде рекомендаций (команд). Исполнительные устройства, при их наличии, получают команды от бортовой системы и выполняют, при необходимости, действия по управлению техническим состоянием (обеспечением нормальных значений эксплуатационных параметров). Предусмотрено и ручное исполнение экспертных рекомендаций по необходимым мерам воздействия (настройкам, регулировкам, ремонтам).

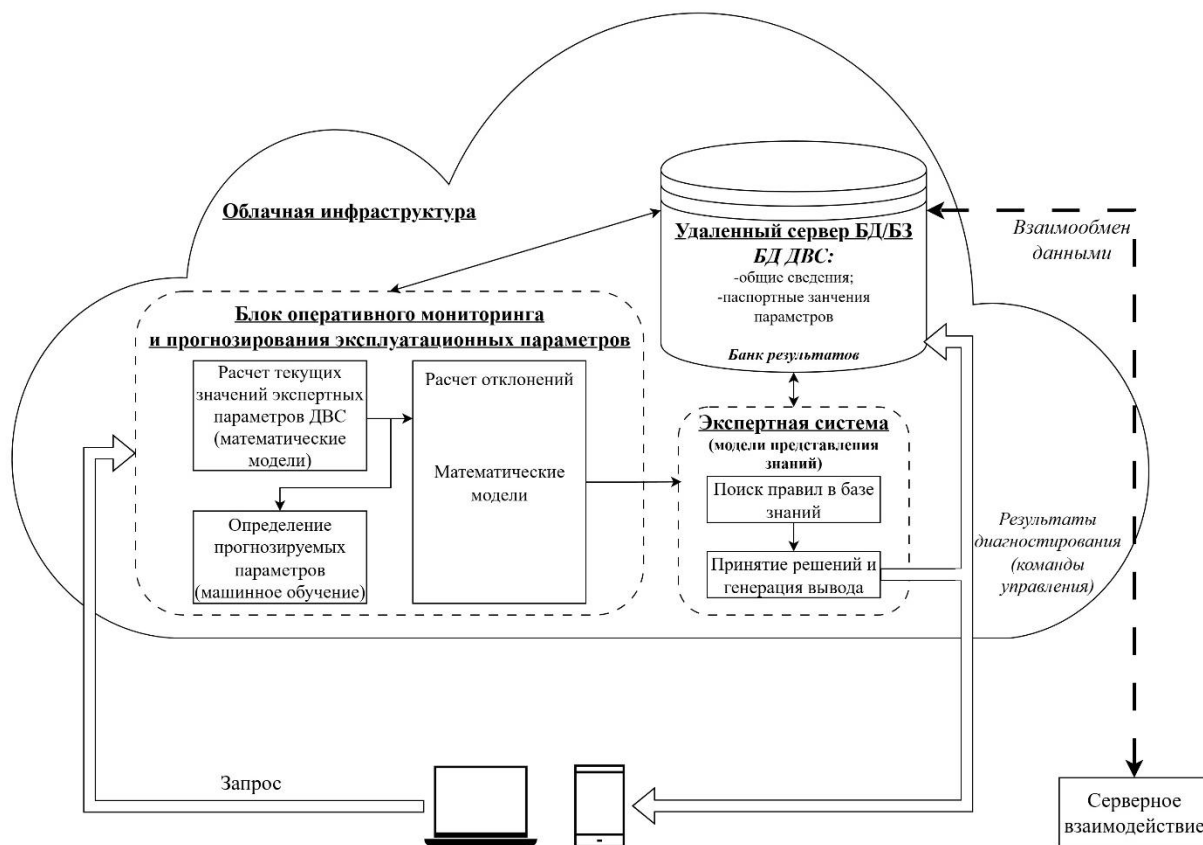


Рисунок 3 – Схема облачной инфраструктуры (информационные потоки)

Для реализации предложенной структуры можно выделить (в качестве примера) некоторые основные блоки программных средств из имеющегося на рынке широкого набора инструментальных программных средств [13]:

исследование и тестирование бортовой системы диагностики и управления – *TensorFlow, Keras, PyTorch* – для разработки алгоритмов диагностики;

интеграция и оптимизация удалённой облачной инфраструктуры – *AWS, Azure, Google Cloud* – разработка и оптимизация облачной инфраструктуры;

разработка и обучение математических моделей – *Python, MATLAB* – языки программирования – разработка и обучение математических моделей.

создание интуитивно понятного интерфейса пользователя – *React, Vue.js, Angular* – библиотеки *JavaScript* – разработка интерактивных элементов интерфейса.

Безусловно, приведен лишь примерный перечень возможных инструментов; он имеет ориентировочный, но целенаправленный характер и требует более глубокого изучения и отбора при непосредственной реализации системы.

На основе элементов предложенных решений разработана цифровая технология оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия с привлечением компьютерной динамической модели ДВС и использованием такого информационно-ёмкого сигнала как *ускорение коленчатого вала*. Экспериментальные испытания технологии, проведенные в хозяйстве Новосибирской области, подтвердили возможность ее использования по назначению [14].

Выводы и обсуждение.

Показана целесообразность использования информационного моделирования с применением современных цифровых технологий для разработки информационной модели организации основных информационных потоков, их взаимодействия и преобразования для автоматизации технологического процесса диагностирования тракторных двигателей с применением бортовой системы и облачных сервисов.

Элементы построения модели использовались при разработке цифровой технологии оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия, экспериментальные испытания которой, проведенные в хозяйстве северо-лесостепной зоны Новосибирской области, подтвердили возможность ее использования по назначению.

Дальнейшие шаги по разработке системы включают углублённое исследование и тестирование бортовой системы диагностики и управления, интеграцию и оптимизацию удалённой облачной инфраструктуры, разработку и обучение математических моделей для более точной и оперативной оценки эксплуатационных параметров тракторных двигателей, а также созданию интуитивно понятного интерфейса пользователя.

Проводимые исследования имеют, на наш взгляд, перспективу развития при цифровизации технического сервиса в части налаживания эффективной эксплуатации существующего машинно-тракторного парка, повышают его техническую готовность и увеличивают эффективность и конкурентоспособность сельскохозяйственного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизированные технологические комплексы экспертизы двигателей : монография / О. Ф. Савченко, И. П. Добролюбов, В. В. Альт, С. Н. Ольшевский. – Новосибирск : СибФТИ, 2006. – 272 с.
2. Методологические основы автоматизации разработки измерительных экспертных систем автотракторных двигателей / В. В. Альт, И. П. Добролюбов, О. Ф. Савченко, Д. Н. Клименко, О. В. Елкин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2020. – Т. 50. – № 4. – С. 80-92.
3. Роль цифровизации технического сервиса в повышении эффективности сельскохозяйственного производства / Г. А. Иовлев, М. К. Саакян, И. И. Голдина, А. Г. Несговоров // Аграрная наука и образование. – 2019. – № 2. – С. 8.
4. Прогнозирование отказов в двигателях сельскохозяйственной техники с применением цифровых технологий / Ю. В. Катаев, М. Г. Загоруйко, И. А. Тишанинов, Е. А. Градов // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 2. – С. 79-82.

5. Диагностирование цилиндропоршневой группы двигателя внутреннего сгорания тестовым методом / А. В. Гриценко, С. А. Чокоей, Е. В. Малькова, А. В. Караулов // АПК России. – 2024. – Т. 31, № 1. – С. 45-56.

6. Диагностирование фаз газораспределения двигателя в режиме прокрутки коленчатого вала стартером / С. А. Гребенников, В. Н. Басков, Г. О. Киселёв, А. В. Рогожин // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3–2 (86). – С. 49-56.

7. Устройство для мониторинга системы подачи воздуха и диагностических параметров работы ДВС сельскохозяйственной техники / Ю. В. Катаев, А. С. Саяпин, Е. В. Пестряков, М. Н. Костомахин, Н. А. Петрищев // Агроинженерия. – 2025. – Т. 27, № 6. – С. 82-91.

8. Проектирование интеллектуальной системы контроля технического состояния парка мобильных машин / В. Н. Щукина, С. Н. Девянин, С. П. Казанцев, А. И. Матвеев // Агроинженерия. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 52-56.

9. Химченко, А. В. Оценка возможности применения искусственных нейронных сетей для самодиагностики двигателя внутреннего сгорания с отключением цилиндров / А. В. Химченко, Н. И. Мищенко, О. В. Савчук // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89, № 3. – С. 175-186. – DOI 10.17816/0321-4443-106169.

10. Организация технического сервиса по фактическому состоянию машин на основе оценки их параметрической надежности / О. Н. Дидманидзе, Д. В. Варнаков, В. В. Варнаков, А. М. Карев. – М. : ООО «УМЦ Триада», 2016. – 128 с. – ISBN 978-5-9546-0107-7.

11. Дидманидзе, О. Н. Формирование подхода к созданию цифрового двойника трактора сельскохозяйственного назначения / О. Н. Дидманидзе, Н. Н. Пуляев, А. С. Гузалов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2022. – № 61. – С. 33-37.

12. Калачин, С. В. Определение эффективного алгоритма машинного обучения для прогнозирования режимов работы дизельного двигателя / С. В. Калачин, К. З. Кухмазов, И. А. Мурог // Нива Поволжья. – 2023. – № 2 (66). – С. 3001.

13. Жерон, О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn, Keras и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем / О. Жерон. – М. : Диалектика-Вильямс, 2020. – 1040 с.

14. Альт, В. В. Цифровая технология оценки мощности тракторного парка сельхозпредприятия / В. В. Альт, О. Ф. Савченко, О. В. Елкин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2019. – Т. 13, № 4. – С. 25-31.

Об авторах:

Савченко Олег Федорович, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Сибирский физико-технический институт аграрных проблем СФНЦА РАН» (630501, Российская Федерация, Новосибирская область, р.п. Краснообск, ул. Центральная, 7), кандидат технических наук, sof-oleg46@yandex.ru.

Альт Виктор Валентинович, руководитель, ФГБНУ «Сибирский физико-технический институт аграрных проблем СФНЦА РАН» (630501, Российская

Федерация, Новосибирская область, р.п. Краснообск, ул. Центральная, 7), академик РАН, доктор технических наук, профессор, alt@sfscs.ru.

Солошенко Алексей Алексеевич, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Сибирский физико-технический институт аграрных проблем СФНЦА РАН» (630501, Российская Федерация, Новосибирская область, р.п. Краснообск, ул. Центральная, 7).

About the authors:

Oleg F. Savchenko, Leading Researcher, Siberian Institute of Physics and Technology of Agrarian Problems SFSCA RAS (630501, Russian Federation, Novosibirsk region, Krasnoobsk settlement, Centralnaya street, 7), Candidate of Technical Sciences, sof-oleg46@yandex.ru.

Viktor V. Alt, Head, Siberian Institute of Physics and Technology of Agrarian Problems SFSCA RAS (630501, Russian Federation, Novosibirsk region, Krasnoobsk settlement, Centralnaya street, 7), Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, alt@sfscs.ru.

Aleksey A. Soloshenko, Junior Researcher, Siberian Institute of Physics and Technology of Agrarian Problems SFSCA RAS (630501, Russian Federation, Novosibirsk region, Krasnoobsk settlement, Centralnaya street, 7).

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ РЫБОВОДНЫХ ПРУДОВЫХ ХОЗЯЙСТВ ЮГА РОССИИ

В. Е. Костин, Е. Ю. Силаева, А. А. Силаев

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический институт», Волгоград, Российская Федерация», Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. Показана актуальность развития аквакультуры в России. Приведены географические и климатические особенности, влияющие на особенности водоснабжения и её автоматизацию. Показаны пути компенсации негативных факторов, возникающих в работе прудовых хозяйств, расположенных на левом берегу Волгоградского водохранилища Волгоградской области, за счёт применения элементов системы автоматизации. Приведено обоснование применения распределенной системы автоматизации водоснабжения рыбоводного хозяйства с элементами автономного электропитания.

Ключевые слова: прудовая аквакультура, насосная станция, автоматизация водоснабжения прудового хозяйства, испарение с водной поверхности, Волгоградское водохранилище.

FEATURES OF AUTOMATION OF WATER SUPPLY OF FISH- BREEDING POND FARMS IN THE SOUTH OF RUSSIA

V. E. Kostin, E. Yu. Silaeva, A. A. Silaev

Volgograd State Technical Institute, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The relevance of the development of aquaculture in Russia is shown. Geographical and climatic features affecting the water supply and its automation are given. The paper shows ways to compensate for the negative factors that arise in the operation of pond farms located on the left bank of the Volgograd reservoir in the Volgograd region through the use of automation system elements. The rationale for the application of a distributed automation system for the water supply of fish farming with elements of autonomous power supply is given.

Keywords: pond aquaculture, pumping station, automation of pond water supply, evaporation from the water surface, Volgograd reservoir.

Устойчивое развитие аквакультуры является одним из условий обеспечения продовольственной безопасности, так как предоставляет населению возможность приобретения пищевой продукции должного качества по сложившимся ценам в объемах и ассортименте, соответствующих рекомендуемым рациональным нормам потребления [1, 2].

На территории России в местах основного проживания населения (Европейская часть России) основная доля аквакультуры приходится на прудовые хозяйства, которые обеспечивают рынок рыбной продукцией: карп, толстолобик, белый амур и т.д., выращивая товарную рыбу в искусственных или приспособленных прудах. Но в текущих условиях аквакультура не обеспечивает в полном объеме население рыбной продукцией. Например, по оценкам аналитического центра рыбного союза, потребление рыбы в России составило в 2023 году порядка 22,6 кг на человека в год и 22,7 – в 2024 году, что, не соответствует рекомендуемым рациональным нормам потребления Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Основной причиной такого низкого потребления, как выяснил проведенный всероссийский опрос аналитического центра национального агентства финансовых исследований, является достаточно высокая цена самих рыбных продуктов, так – в целом по стране цены на рыбную продукцию за 2024 год выросли в среднем на 20...25 %. А при сложившейся цене электрической энергии для рыбоводных хозяйств, стоимость электроэнергии может превышать 50 % в себестоимости товарной рыбы [3]. В то же время основным потребителем электроэнергии в прудовом хозяйстве является система водоснабжения, которая обеспечивает рыбу средой обитания.

Таким образом, для снижения себестоимости товарной рыбы, выращиваемой в прудовых хозяйствах необходимо снизить потребление электроэнергии при текущих объемах выращивания рыбы за счёт повышения энергоэффективности системы водоснабжения.

Одним из направлений повышения энергоэффективности системы водоснабжения является её автоматизация.

Типовая система водоснабжения прудового хозяйства состоит из следующих элементов:

- источник воды;
- насосная станция;
- магистральный канал;
- система прудов;
- элементы запорно-регулируемой арматуры.

Рассмотрим особенности автоматизации системы водоснабжения рыбоводных прудовых хозяйств, расположенных на левом берегу Волгоградского водохранилища Волгоградской области, которые обусловлены источником воды, географическим положением и климатом [4].

Источником воды для рыбоводного хозяйства является Волгоградское водохранилище, имеющее следующие особенности:

- значительные сезонные колебания уровня воды;
- мутность воды, наличие мусора и взвешенных частиц в воде в зависимости от сезона и погоды;
- высокая температура воды и низкое содержание в ней растворённого кислорода в летний период;
- ровный продольный рельеф берега.

Для компенсации колебаний уровня воды необходимо предусмотреть:

– автоматический контроль уровня, чтобы исключить «сухой ход» насосной станции;

– регулирование производительности насосной станции в зависимости от текущего уровня воды и требуемого расхода за счёт требуемого числа включённых насосов и регулирования их частоты вращения;

– в случае критичного падения уровня предусмотреть либо резервный запас воды в прудовом хозяйстве, либо резервный насос с более высоким напором.

Для очистки воды от мусора и взвешенных частиц необходимо предусмотреть:

– механическую систему фильтрации с функциями автоматической самоочистки, например по сигналу от датчика перепада давления;

– датчики мутности на входе водозабора для оценки качества забираемой воды и корректировки работы фильтров.

Это позволит не допустить засорение всех элементов системы водоснабжения, что отразится в том числе и на энергоэффективности насосной станции.

Высокая температура воды и низкое содержание в ней растворённого кислорода в летний период требует от системы водоснабжения повышать циркуляцию воды и добавлять элементы автоматической аэрации воды. Это конечно увеличивает расходы на электроэнергию, но является необходимым в условиях Юга России.

Ровный продольный рельеф берега водохранилища, с одной стороны, упрощает строительство большого распределённого прудового хозяйства, но при этом невозможно его самотечное водоснабжение. Поэтому требуется постоянная работа насосных станций, что повышает важность её автоматизации для экономии электроэнергии.

Из-за большой площади прудового хозяйства оптимальна структура с удалёнными локальными программируемыми логическими контроллерами и системой мониторинга параметров с автономными источниками электроэнергии на каждом ключевом узле системы водоснабжения, включая пруды. Для этого необходимо на территории прудового хозяйства развернуть беспроводную систему управления и сенсорную сеть, построенную на технологии LORAWAN с низким электропотреблением [5].

К основным географическим и климатическим факторам левого берега Волгоградского водохранилища, влияющим на особенности системы водоснабжения прудовых хозяйств и её автоматизацию, относится континентально-умеренный климат с сухим жарким летом и холодной зимой. Он характеризуется:

– ясной погодой с высоким уровнем солнечной активности;

– высокой температурой летом;

– наличием постоянных ветров.

Сезонность климата предполагает сезонную работу всего прудового хозяйства с выращиванием рыбы в теплые месяцы на большой территории и с содержанием рыбы в зимовальных прудах зимой. Это приводит к необходимости заполнения водой весной и спуска осенью большинства прудов в достаточно короткий строго регламентируемый срок. Это требует наличие насосной станции, производительность которой обеспечивает наполнение прудов в начале сезона

за определённый период времени. Кроме того, необходима система элементов автоматического регулирования водопотоков прудового хозяйства для распределения воды по прудам.

Сезонность работы прудового хозяйства и высокая солнечная радиация позволяет использовать в качестве источников автономного электропитания распределённых элементов автоматизированной системы управления водоснабжения солнечные батареи, что снижает потребление электроэнергии и сети.

Высокая летняя температура и наличие постоянных ветров существенно влияют на интенсивность потерь воды на испарения с водной поверхности прудов. Так, например, согласно многолетним наблюдениям, годовое испарение с водной поверхности в Волгоградской области составляет около 1000 мм. А так как средняя глубина прудов рыбоводных хозяйств составляет около 1,5 м [6], то в обязательном порядке необходима компенсация потерь воды за счёт работы насосной станции в течении всего сезона.

При этом для повышения эффективности работы насосов необходимо учитывать не только текущее значение уровня воды в прудах, но и прогнозировать потери воды на ближайшие сутки по метеорологическим данным. Также должен быть предусмотрен приоритет водоснабжения для различных категорий прудов и в зависимости от параметров воды конкретного пруда.

Также для снижения негативных факторов от высокой температуры необходимо предусмотреть элементы автоматической аэрации, электропитания которых можно также организовать от солнечных батарей.

Таким образом, для повышения энергоэффективности прудового хозяйства и как следствия снижения себестоимости выращиваемой рыбы необходимо применять комплексную автоматизированную систему водоснабжения, при проектировании которой необходимо учитывать особенности расположения рыбоводного хозяйства. Такая система автоматизации позволит:

- компенсировать колебания уровня водохранилища;
- не допускать засорения системы водоснабжения, обеспечивая её бесперебойность;
- компенсировать негативные климатические факторы (испарение, перегрев);
- точно поддерживать гидрохимический режим для каждого пруда;
- обеспечить минимальные эксплуатационные затраты за счет оптимизации работы насосного оборудования и применения альтернативных возобновляемых источников электроэнергии.

Применение подобных систем позволит вывести прудовую аквакультуру на новый уровень рентабельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматика – этап индустриализации села / И. Ф. Бородин, В. И. Загинайлов, В. Т. Сергованцев [и др.] // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2008. – № 1. – С. 11-13.

2. Указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/73438425/>.

3. Интеграция фотовольтаики в прудовую аквакультуру / В. Е. Костин, И. В. Юдаев, Н. А. Соколова, В. А. Котельникова, В. Г. Кочетков // Энергетика и цифровизация: теория и практика трансформации: материалы II Международной научно-практической конференции, г. Волгоград, 25 ноября 2022 г.). – Волгоград, 2023. – С. 33-47.

4. Долгов, С. В. Водный потенциал Волгоградской области и его современные изменения / С. В. Долгов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2018. – № 4. – С. 77-88. – DOI 10.1134/S2587556618040040.

5. Специфика реализаций комплексов управления на базе технологии LORAWAN / В. Г. Довбня, С. Н. Фролов, К. П. Сулима, А. Н. Щитов // T-Comm. – 2020. – № 9. – С. 24-30.

6. Анализ потребности в водных ресурсах рыбоводного хозяйства для определения параметров насосной станции / И. В. Юдаев, В. Е. Костин, Е. Ю. Силаева, А. А. Силаев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2025. – № 3(81). – С. 133-144. – DOI 10.24411/2078-1318-2025-3-133-144.

Об авторах:

Костин Василий Евгеньевич, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический институт» (400005, Российская Федерация, Волгоград, пр. им. Ленина, 28), кандидат технических наук, доцент, vek@post.volpi.ru.

Силаева Елена Юрьевна, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический институт» (400005, Российская Федерация, Волгоград, пр. им. Ленина, 28), ey_silaeva@mail.ru.

Силаев Алексей Александрович, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический институт» (400005, Российская Федерация, Волгоград, пр. им. Ленина, 28), кандидат технических наук, доцент, aa_silaev@mail.ru

About authors:

Vasily E. Kostin, Associate Professor, Volgograd State Technical Institute (400005, Russian Federation, Volgograd, Lenin Ave., 28), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, vek@post.volpi.ru.

Elena Yu. Silaeva, senior lecturer, Volgograd State Technical Institute (400005, Russian Federation, Volgograd, Lenin Ave., 28), ey_silaeva@mail.ru.

Alexey A. Silaev, Associate Professor, Volgograd State Technical Institute (400005, Russian Federation, Volgograd, Lenin Ave., 28), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, aa_silaev@mail.ru.

АНАЛИЗ ДАННЫХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ. ОПЫТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ФОРМУЛЫ 1

Е. В. Титова

Научный руководитель – Д. А. Пупкова

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье проводится сравнение телеметрических систем в сельском хозяйстве и автоспорте. Несмотря на разные цели (операционная эффективность и долговечность в сельском хозяйстве против пиковой производительности в экстремальных условиях Формулы 1), системы имеют общие архитектурные принципы. Анализ охватывает архитектуру, датчики и обработку данных в каждой области. На его основе определены перспективы развития и возможности кросс-отраслевого переноса технологий.*

***Ключевые слова:** телеметрия, сельскохозяйственная техника, Формула 1, точное земледелие, датчики, сбор данных.*

REAL-TIME DATA ANALYSIS AS A TOOL FOR IMPROVING EFFICIENCY. AGRICULTURAL EXPERIENCE AND FORMULAS 1

E. V. Titova

Scientific advisor – D. A. Pupkova

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The article compares telemetry systems in agriculture and motorsport. Despite the different goals (operational efficiency and durability in agriculture versus peak performance in the extreme conditions of Formula 1), the systems share common architectural principles. The analysis covers architecture, sensors, and data processing in each area. Based on it, the prospects for development and opportunities for cross-industry technology transfer are determined.*

***Keywords:** telemetry, agricultural machinery, Formula 1, precision farming, sensors, data collection.*

Благодаря современным технологиям исчезают барьеры между несовместимыми областями деятельности человека. С одной стороны – Формула 1, где учитываются: большая скорость, высокий бюджет и мгновенный результат. На

другом – сельское хозяйство, одна из старейших отраслей человеческой деятельности, которая заключается в целенаправленном выращивании растений и разведении домашних животных для получения продукции (продуктов питания, сырья для промышленности) и прибыли. Что может объединять две настолько разные сферы?

Однако за столь сильным внешним контрастом стоит более глубокое технологическое единство. В обеих сферах деятельности стоит задача повышения эффективности в условиях ограниченности ресурсов. В первом случае, это ресурс времени, топлива, износа шин, во втором – семена, вода, удобрение и топливо. Для максимизации эффекта требуется постоянный контроль над системой [1-3].

Основным инструментом для обеспечения такого контроля стала телеметрия и анализ данных в реальном времени. В болидах такие системы очень развиты: на машинах стоят сотни датчиков, которые передают данные о состоянии в режиме реального времени. Гигабайты информации передаются инженерам, позволяя принимать решения, которые влияют на исход гонки [4-6].

В то же время сельское хозяйство характеризуется динамичным развитием. Все чаще используются такие термины как «Точное земледелие» [7-9]. Новые трактора и комбайны – сложные системы, которые имеют десятки датчиков, GPS-модули, системы связи и передачи информации (таблица 1). Они собирают данные о состоянии почвы, урожайности, расходе топлива и работе всех узлов, требуя схожую точность к их обработке, как и данные с гоночного болида.

Таблица 1 – Основные датчики, устанавливаемые на сельхозтехнике

Вид	Описание
Датчики уровня	Классический датчик уровня бункера – определяет уровень зерна в бункере во время загрузки и выгрузки. Чувствителен к влажности, требует предварительной калибровки в соответствии с культурой.
	Мембранный датчик уровня бункера – малочувствителен к влаге, обеспечивает более точное определение уровня зерна.
	Система измерения уровня сыпучих продуктов Harvest – состоит из двух измерительных модулей, реализует линейный емкостный метод измерения. Данные об уровне продукта выводятся посредством интерфейса RS-485.
Датчики скорости	Датчик скорости комбайна – измеряет скорость вращения моста комбайна.
	Индукционный датчик оборотов двигателя – используется в комбайнах Claas LEXION, MEGA, MEDION, JAGUAR.
Датчики угла наклона	Датчик угла наклона – обеспечивает непрерывный контроль за изменением угла наклона относительно горизонтальной оси. Позволяет передавать информацию в виде цифрового и аналогового сигнала. Например, устанавливается на жатку уборочного комбайна, информирует о высоте подъема жатки.
	Беспроводной датчик угла наклона – предназначен для измерения угла отклоняемых частей механизмов и определения направления вращения. Информация передается по радиоканалу Bluetooth LE.
Датчики температуры	Датчик сигнализатора температуры масла в гидробаке.

Телеметрия – технология удаленного сбора, передачи и анализа данных от различных устройств или объектов. Такие данные могут поступать с датчиков, программного обеспечения, машин, медицинских приборов и других источников. Информация передается автоматически без участия человека, зачастую в режиме реального времени [10, 11]. Фиксируется устойчивая тенденция к усложнению структуры и процессов в аграрном секторе. Требуется постоянный мониторинг всех систем, чтобы предотвратить внеплановые остановки и ремонты техники, которые влекут за собой простои и значительные денежные затраты, а также потерю урожая. Основой изменений является многоуровневая система сбора, обработки и передачи информации, начинающихся с массива специализированных датчиков.

Таблица 2 – Основные датчики, устанавливаемые на болидах Формулы 1

Вид	Описание
Датчики двигателя	Датчики для контроля оборотов двигателя и расхода топлива в реальном времени. Например, в комплексных системах управления двигателем используют датчики давления воздуха, масла, топлива, температуры воздуха и других параметров. Это позволяет программно регулировать угол опережения зажигания в зависимости от оборотов двигателя, положения дроссельной заслонки и давления во впускном трубопроводе.
	Датчики для измерения расхода жидкости – используют ультразвук, что обеспечивает точность показаний и мгновенный анализ топливных характеристик болида.
Датчики аэродинамики	Датчики для контроля скорости ветра – трубки Пито, смонтированные на шасси, измеряют этот параметр, исходя из давления воздуха, проходящего через два отверстия. В обычных условиях трубка Пито располагается на носовом обтекателе, но на тестах команды также устанавливают высокую мачту над верхним воздухозаборником, которая улавливает малейшие изменения скорости воздушного потока.
	Аэродинамические сетки или решетки – матрица из датчиков Кия, которые составляют карту проходящего через эту область воздушного потока. Обычно сетки устанавливают позади передних колес для расчета их влияния на аэродинамику машины или за боковыми понтонами, чтобы лучше понять характер движения воздушных масс к заднему антикрылу и диффузору.
Датчики тормозной системы	Датчики для контроля температуры тормозных дисков и эффективности торможения. Например, инфракрасные термочувствительные камеры, которые охватывают широкую зону, включая шины и близлежащие области шасси, и отображают разные температуры определенными цветами. Это позволяет команде понять, до каких значений нагревается та или иная область протектора шины.
	Датчики для контроля баланса тормозов – например, переключатель на руле, который регулирует положение толкателей цилиндров относительно педали тормоза, – так пилот может эффективнее тормозить, регулируя баланс перед сложными поворотами.
Телеметрия	Сотни датчиков на болиде, которые непрерывно передают информацию в командные центры. Объем данных, генерируемых одним болидом за гонку, достигает 300 гигабайт.

Новейшие болиды Формулы 1 представляют собой не просто гоночный автомобиль, а сложнейшую систему, где сотни датчиков (таблица 2) непрерывно снимают показатели с каждого узла автомобиля. Они позволяют не только отслеживать текущее состояние машины, но и прогнозировать ее поведение, оптимизировать производительность и предугадать критические отказы. Каждый датчик выполняет строго определенную функцию, а их совместная работа обеспечивает высочайший уровень точности.

Как показывает анализ, современная сельскохозяйственная техника, в своей технологической сложности сопоставимая с гоночными болидами, представляет собой сложные системы, чья функциональность обеспечивается плотной сетью датчиков. Эта сеть трансформирует исполнительные механизмы в источники данных для точного земледелия. Однако серьезные различия все же присутствуют – максимальная производительность в условиях гонки против операционной эффективности в продолжительном цикле сельхозработ.

Основное различие заключается в фокусе телеметрических систем. В сельском хозяйстве данные служат, в первую очередь, для управления агротехнологическим процессом и ресурсами. Датчики решают более простые задачи: обеспечить непрерывность работы, предотвратить потери урожая и оптимизировать режим движения. В Формуле 1 телеметрия нацелена на достижение максимальной производительности и надежности в экстремальных условиях. Датчики предоставляют данные для мгновенной оптимизации работы всех систем болида в режиме реального времени.

Выводы

1. Проведенный анализ показывает, что современные системы телеметрии стали универсальным инструментом повышения эффективности в различных отраслях. Сравнительный анализ выявил как общие принципы, так и специфические особенности работы и обработки данных.

2. Несмотря на существенные различия в условиях эксплуатации, где сельхозтехника ориентирована на операционную эффективность и надежность в продолжительном цикле работе, а системы Формулы 1 нацелены на достижение максимальной производительности в экстремальных условиях, объединяющим фактором выступает основная задача оптимального использования ограниченных ресурсов: топливо, время, материалы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Метод предварительной обработки данных вибрации в погружной части системы телеметрии / А. В. Кудрявцев, И. Р. Енгальчев, А. Н. Китабов, А. Р. Кашапов // Перспективы развития информационных технологий. – 2011. – № 3-1. – С. 66-71.

2. Викторов, А. С. Распределенная система обработки данных телеметрии / А. С. Викторов // Молодежь и системная модернизация страны : сборник научных статей 2-й Международной научной Конференции студентов и молодых ученых. В 4-х томах, Курск, 25-26 мая 2017 года / Ответственный редактор А. А.

Горохов. Том 3. – Курск : Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2017. – С. 151-154.

3. Викторов, А. С. Архитектура периферийной вычислительной системы обработки данных телеметрии / А. С. Викторов // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2019. – № 1(47). – С. 5.

4. Создание цифровой модели процесса комплектации и сборки для ремонтного производства / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Л. А. Гринченко, Д. А. Пупкова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 2(70). – С. 458-466.

5. Оценка качества услуг по техническому обслуживанию и ремонту автотранспорта / Н. Ж. Шкаруба, Г. Н. Темасова, Ю. Г. Вергазова [и др.]. – М. : ООО «Издательство «Спутник+», 2021. – 172 с. – ISBN 978-5-9973-6210-2.

6. Возможности использования данных электронных систем сельскохозяйственных машин для построения предсказательных моделей / В. М. Помогаев, Г. В. Редреев, П. И. Ревякин, А. С. Басакина // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2(46). – С. 153-166.

7. Помогаев, В. М. Способ и процессная модель предварительной обработки данных автоматизированных систем контроля технического состояния зерноуборочных комбайнов / В. М. Помогаев, П. И. Ревякин, А. С. Басакина // Resources and Technology. – 2024. – Т. 21, № 4. – С. 44-65.

8. Юрченко, К. А. Интеллектуальные системы и цифровизация в сельском хозяйстве: от датчиков до искусственного интеллекта / К. А. Юрченко // Научные достижения и практические решения в агропромышленном комплексе: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Омск, 30 октября 2025 года. – Омск : Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2025. – С. 112-114.

9. Исследование влияния параметров макрогеометрии на герметичность соединений вала с манжетой / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Л. А. Гринченко [и др.] // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2023. – № 6. – С. 40-47. – DOI 10.31857/S0235711923060111.

10. Оценка технического состояния машины по данным ее системы управления / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин, Н. Н. Пуляев // Чтения академика В. Н. Болтинского : семинар, Москва, 20-21 января 2021 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Сам Полиграфист», 2021. – С. 10-19.

11. Study of the Influence of Macrogeometry Parameters on the Tightness of Shaft–Seal Joints / O. A. Leonov, N. Zh. Shkaruba, L. A. Grinchenko [et al.] // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2023. – Vol. 52, No. 6. – P. 40-47. – DOI 10.1134/S1052618823060109.

Об авторах:

Титова Елена Владимировна, студент 3 курса бакалавриата, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49).

Научный руководитель – Пупкова Дарья Александровна, доцент кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук.

About the authors:

Elena V. Titova, 3rd year undergraduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).

Scientific advisor – Darya A. Pupkova, Associate Professor of the Department of Metrology, Standardization, and Quality Management, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Candidate of Technical Sciences.

СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ В ПТИЧНИКАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ СОДЕРЖАНИЯ

В. Ю. Майорова

Научный руководитель – В. Н. Беленов

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье рассмотрены наиболее часто встречающиеся способы содержания птиц. Приведена информация о влиянии параметров микроклимата на рост и продуктивность птицы. Представлен краткий обзор систем вентиляции и целесообразность их применения для поддержания оптимальных параметров микроклимата в птичниках. Показана взаимосвязь элементов систем принудительной вентиляции.*

***Ключевые слова:** системы вентиляции, параметры микроклимата, птичник, клеточное и напольное содержание, отрицательное давление, вытяжка воздуха, температурный режим.*

VENTILATION SYSTEMS IN POULTRY HOUSES FOR VARIOUS TYPES OF CONTAINMENT

V. Y. Mayorova

Scientific advisor – V. N. Belenov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The article describes the most common methods of keeping birds. It provides information about the impact of microclimate parameters on the growth and productivity of birds. The article provides a brief overview of ventilation systems and their effectiveness in maintaining optimal microclimate parameters in poultry houses. It also shows the relationship between the elements of forced ventilation systems.*

***Keywords:** ventilation systems, microclimate parameters, poultry house, cage and floor housing, negative pressure, air extraction, and temperature control.*

В настоящее время в условиях промышленного птицеводства применяют разные способы содержания птиц, которые отличаются условиями размещения, использованием подстилки и выгулов. Для взрослой птицы и молодняка всех видов применяется напольная система содержания (в помещениях с выгулами и без выгулов) и клеточная, также на выбор способа содержания влияет возраст птицы, плотность посадки. Независимо от принятого способа содержания в птицеводческих зданиях необходимо поддерживать параметры микроклимата [1, 2].

Неоптимальный микроклимат может провоцировать развитие целого ряда патологических состояний, многократно повышают риск возникновения респираторных заболеваний, а это, в свою очередь, влияет на снижение роста и продуктивности птиц [1, 2]. Система вентиляции в птичнике представляет собой совокупность технических средств, позволяющих обеспечить максимальный комфорт поголовья независимо от погодных условий [3, 4]. Требования к вентиляции у птицы меняются по мере ее роста и изменения климатических условий, начиная с потребности в минимальном объеме свежего воздуха (независимо от наружной температуры) в холодное время года до создания высокоскоростного потока воздуха для поддержания комфортности поголовья во время жаркого времени года или/и при высокой влажности.

Следовательно, основная функция вентиляции – создание и поддержание оптимального микроклимата внутри птичника. Это многогранная задача включает:

- удаление избыточного тепла, выделяемого птицей (особенно актуально для бройлеров и взрослых несушек в теплое время года), и предотвращение перегрева. Зимой – минимальный воздухообмен для удаления влаги без чрезмерного охлаждения помещения.

- удаление лишней влаги, выделяемой при дыхании птицы и испарении с помета. Высокая влажность приводит к сырости подстилки, развитию патогенов, респираторным заболеваниям и обморожениям.

- постоянное удаление вредных газов: аммиака (NH_3), углекислого газа (CO_2) и сероводорода (H_2S). Высокие концентрации аммиака обжигают слизистые, угнетают иммунитет и повышают восприимчивость к инфекциям.

- обеспечение птицы достаточным количеством кислорода для нормального дыхания и метаболизма.

- контроль качества воздуха; удаление пыли (перьевой, кормовой, подстилочной), которая является переносчиком бактерий и вирусов и раздражает дыхательные пути.

- равномерное распределение воздуха; предотвращение образования «застойных» зон с плохим микроклиматом и сквозняков, которые являются стресс-факторами для птицы.

Для решения данных задач и применяются различные виды вентиляционных систем. Самая простая – естественная (гравитационная) система, в которой воздухообмен в помещении происходит с помощью приточных и вытяжных каналов за счет разности плотностей холодного наружного и теплого внутреннего воздуха, а также под влиянием ветра [3].

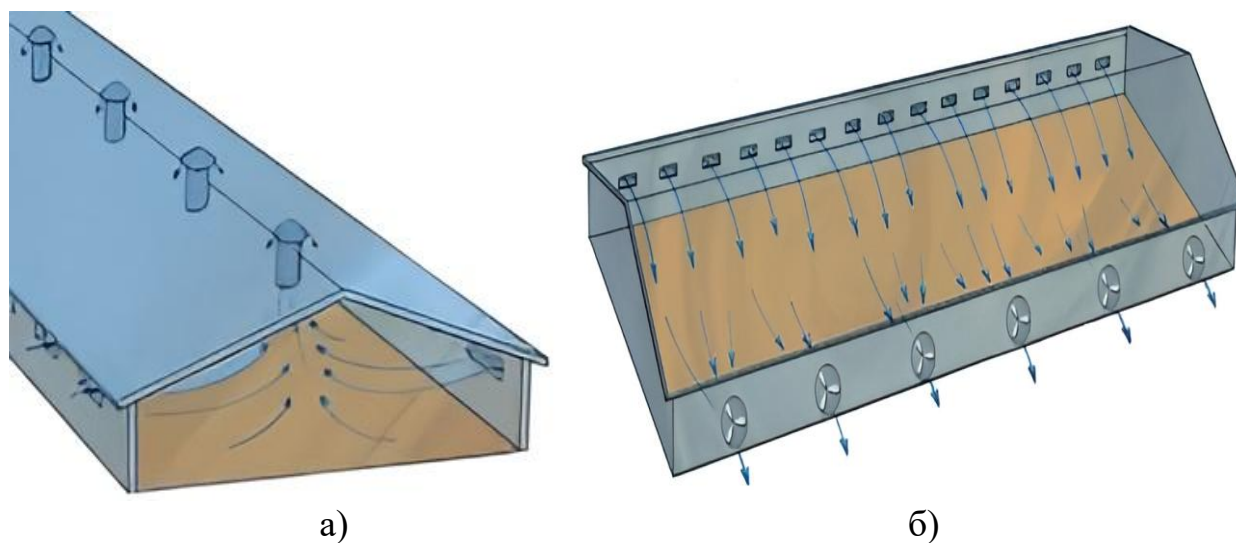
Преимущества гравитационной вентиляции – небольшая стоимость, простота и надежность устройства и эксплуатации, бесшумность работы. Однако она хорошо работает только при большом перепаде температур внутреннего и внешнего воздуха.

Принудительная вентиляция дороже, сложнее, является источником шума, однако с помощью ее можно регулировать кратность воздухообмена в широких пределах.

Работа большинства принудительных систем искусственной вентиляции основана на принципе отрицательного давления и во многом зависит от эффективности изоляции птичника. В холодный период года отрицательное давление обеспечивает равномерное поступление воздуха, а также придает ему достаточную скорость, направляет к середине помещения и не позволяет сразу после входа воздействовать на поголовье, вызвав переохлаждение [3, 4]. В случае плохой изоляции холодный поток проникает через щели в фундаменте, стенах, окон и дверей, самих вентиляторов, определяя намочение подстилки и нарушения температурного режима [5]. На рисунках 1 и 2 представлены несколько схем реализации системы отрицательного давления в птичниках:

Вертикальная вентиляция (рисунок 1а) – вытяжка воздуха производится через вентиляционные люки в крыше птичника. Уличный воздух поступает через приточные клапаны, расположенные с обеих сторон птичника.

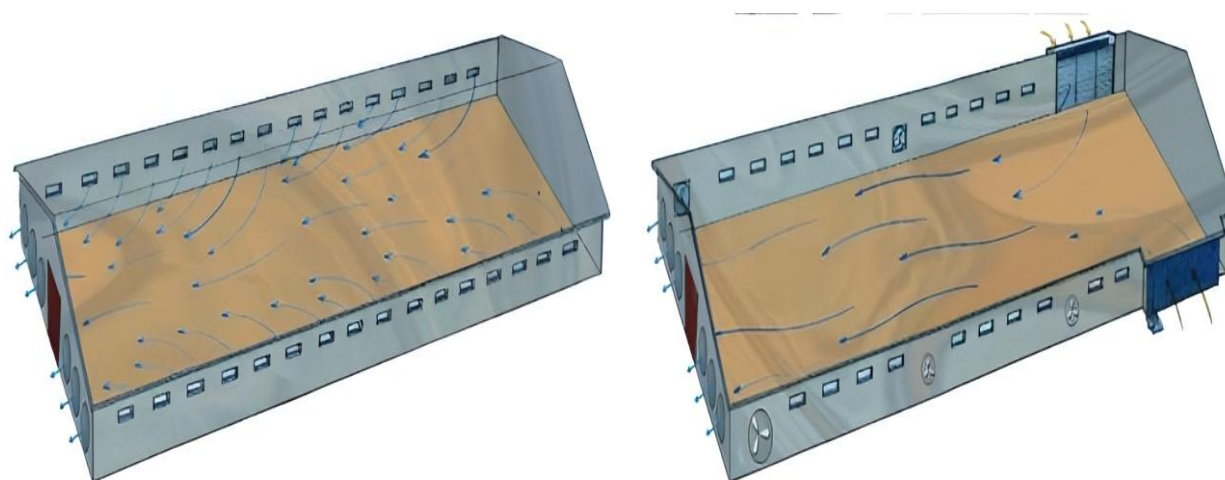
Поперечная вентиляция (рисунок 1б) – вытяжка воздуха производится через вентиляторы, расположенные по одной стороне здания. Уличный воздух заходит в клапаны, расположенные на противоположной стороне птичника. Система снабжена регулировочным механизмом и позволяет менять скорость вращения вентиляторов.



а) б)
**Рисунок 1 – Системы вентиляции птичников:
а) вертикальная; б) поперечная**

Продольная вентиляция (рисунок 2а) построена по принципу поперечной вентиляционной системы, но движение воздушных масс происходит вдоль помещения, т.к. вентиляторы установлены на торцевой стене.

Тоннельная вентиляция (рисунок 2б) построена по принципу продольной вентиляции, за исключением того, что приточный воздух поступает при помощи вентиляционных жалюзи, которые смонтированы на противоположной стороне от вентиляторов. При этом создается «тоннельный эффект».



а) б)
Рисунок 2 – Системы вентиляции птичников:
а) продольная; б) тоннельная

Необходимо учитывать, что в холодное время года разрежение, создаваемое работой вытяжных вентиляторов и регулируемое количеством и степенью открытия приточных клапанов, позволяет избежать воздействия холодного поступающего воздуха на птицу и подстилку. Поэтому в зимнее время разрежение в птичнике должно быть выше, чем летом [6].

Важную роль в управлении вентиляцией птичника играют приточные форточки/клапаны, чья конструкция, расположение, настройка и работа отвечают за траекторию движения воздуха и определяют эффективность работы всей вентиляционной системы в целом [7].

Исходя из вышесказанного правильно подобранная система вентиляции в производственных помещениях птицеводческого хозяйства является важнейшим средством формирования подходящих для поголовья условий микроклимата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Газалов, В. С. Электротехнология : учебное пособие / В. С. Газалов, В. Н. Беленов. – зерноград : Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. зернограде, 2016. – 197 с.
2. Сторчевой, В. Ф. Электротехнологии и электрический нагрев / В. Ф. Сторчевой, Н. Е. Кабдин, Я. С. Чистова. – Москва, 2021.
3. Кузьмина, Т. Н. Современные системы вентиляции для птичников / Т. Н. Кузьмина, В. В. Малородов // Мировое и российское птицеводство: состояние, динамика развития, инновационные перспективы: Материалы XX Международной конференции, Сергиев Посад, 08-10 октября 2020 года. – Сергиев Посад : Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, 2020. – С. 451-453.

4. Работоспособность технических систем : учебник для ВУЗов по изучению дисциплины / С. К. Тойгамбаев, О. Н. Дидманидзе, А. С. Апатенко [и др.]. – М. : Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2022. – 379 с.

5. Морозова, С. А. В комфортных условиях – организация системы вентиляции в птичниках / С. А. Морозова // Агробизнес. – 2021. – № 1(67). – С. 76-80.

6. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов и систем автоматического управления / И. Ф. Бородин, С. А. Андреев. – Москва, 2021.

7. Скляр, А. В. Особенности регулировки минимального уровня вентиляции в птичниках в холодный период года / А. В. Скляр, В. А. Попов // Птицеводство. – 2024. – № 12. – С. 61-65. – DOI 10.33845/0033-3239-2024-73-12-61-65.

Об авторах:

Майорова Виктория Юрьевна, магистрант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49).

Научный руководитель – Беленов Виталий Николаевич, доцент кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), v.belenov@rgau-msha.ru

About the authors:

Victoria Y. Majorova, Master's Student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).

Scientific advisor – Vitaly N. Belenov, Associate Professor of the Department of Automation and Robotics of Technological Processes named after Academician I. F. Borodin, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), v.belenov@rgau-msha.ru.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ЭНЕРГИИ

С. В. Соловьёв

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. *Представлен анализ современных подходов к беспроводной передаче энергии. Проанализированы перспективы внедрения устройств беспроводной передачи энергии. Отмечается, существуют технические противоречия, связанные с фундаментальными законами физики. В текущий момент сформировался ряд технологических подходов, позволяющих решить задачи, связанные с улучшением технических характеристик беспроводной передачи энергии с наибольшей эффективностью. Выполнена систематизация основных методов беспроводной передачи энергии. Представлен обзор ключевых лидеров в области беспроводной передачи энергии и их специализация. Сделан вывод о том, что перспективы развития беспроводной передачи энергии заключаются не в вытеснении проводных сетей, а в их дополнении для реализации повсеместного доступа к разным источникам питания. Основными направлениями развития должны стать дальнейшая миниатюризация передатчиков, разработка интеллектуальных протоколов для одновременного обслуживания множества динамически перемещающихся устройств и создание экономически жизнеспособных моделей.*

Ключевые слова: *беспроводная передача энергии, зарядные устройства, индуктивность, катушки, повышение эффективности.*

ANALYSIS OF MODERN APPROACHES TO WIRELESS ENERGY TRANSMISSION

S. V. Solovyov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. *An analysis of modern approaches to wireless energy transmission is presented. The prospects for the introduction of wireless energy transmission devices are analyzed. It is noted that there are technical contradictions related to the fundamental laws of physics. Currently, a number of technological approaches have been developed to solve problems related to improving the technical characteristics of wireless energy transmission with the greatest efficiency. The basic methods of wireless energy transmission have been systematized. An overview of the key leaders in the field of wireless energy transmission and their specialization is presented. It is concluded that the prospects for the development of wireless energy transmission lie not in displacing wired*

networks, but in supplementing them to provide widespread access to various power sources. The main directions of development should be the further miniaturization of transmitters, the development of intelligent protocols for simultaneous maintenance of a variety of dynamically moving devices and the creation of economically viable models.

Keywords: *wireless power transmission, chargers, inductance, coils, efficiency improvement.*

Беспроводная передача энергии (БПЭ) – технология, серьёзно меняющая взгляд на восприятие взаимодействия человека с электричеством, так как данная технология не подразумевает применение физических проводников. Первоначально БПЭ не воспринималась как ключевой компонент будущего технологического развития. Но данная БПЭ стала стремительно развиваться и становиться одним из ключевых компонентов будущей инфраструктуры [1].

Актуальность изучения БПЭ объясняется рядом современных вызовов и возможностей. В частности, в ходе быстрого роста количества используемых электронных устройств, возникли проблемы, связанные с удобством и безопасностью процессов их зарядки [1, 2]. Ещё одна из причин роста интереса к БПЭ – это развитие распределенной энергетики на основе возобновляемых источников энергии, требующей создание универсальных и гибких систем передачи энергии, позволяющих осуществлять передачу энергии в труднодоступные районы [2-4]. Ещё более новым стимулом развития БПЭ, стало появление ряда перспективных областей, например Интернет вещей (IoT), требующих надёжных технических решений, позволяющих обеспечить автономное электропитание [5, 10].

Несмотря на всю перспективность БПЭ, в настоящий момент существует ряд технических противоречий, связанных с фундаментальными законами физики. Главным образом проблемы развития БПЭ связаны с достижением баланса между мощностью передачи, расстоянием, эффективностью и безопасностью. Так как, чем больше расстояние, на которое необходимо передать энергию, тем ниже эффективность и сложнее обеспечить направленность и безопасность данного технологического процесса [3, 7, 8, 9].

Стоит отметить, что в текущий момент сформировался ряд технологических подходов, позволяющих решить задачи, связанные с улучшением технических характеристик БПЭ с наибольшей эффективностью.

Далее представлена таблица 1, систематизирующая основные современные методы БПЭ.

Таблица 1 наглядно показывает, что отсутствуют универсальные решения, увеличивающие эффективность БПЭ. Развитие БПЭ идёт параллельно сразу в нескольких направлениях. С одной стороны, идёт усовершенствование технологий, предназначенных для передачи энергии на малые расстояния (индуктивных и резонансных). Так выполнено более чем на 90 % повышение эффективности для систем зарядки электромобилей и увеличено до 30 % допустимое смещение (применение многокатушечных устройств). С другой стороны, идёт усовершенствование технологий, предназначенных для передачи энергии и на большие рас-

стояния (например, направленные микроволновые системы). Прототипы разработанных устройств позволяют осуществлять передачу мощностей в несколько киловатт на расстояние в несколько километров, пусть и с потерей эффективности [3].

Таблица 1 – Основные современные методы БПЭ

Технология	Физический принцип	Типичная дальность / условия	Ключевые области применения	Основные ограничения
Индуктивная связь	Электромагнитная индукция	Миллиметры – несколько сантиметров. Требуется близкого контакта и выравнивания.	Зарядка смартфонов, носимой электроники, электробритв	Крайне малая дальность, критичная необходимость точного позиционирования устройств
Резонансная индуктивная связь	Магнитный резонанс (согласованные частоты катушек)	До нескольких метров	Беспроводные зарядные устройства стандарта Qi, зарядка электромобилей (статическая и динамическая)	Эффективность падает с расстоянием; необходима настройка резонанса; вопросы электромагнитной совместимости
Радиоволновая / микроволновая передача	Излучение и улавливание электромагнитных волн радио- или СВЧ-диапазона	От метров до километров. Требуется прямой видимости	Питание удаленных датчиков IoT, экспериментальные системы для космических применений, зарядка дронов	Низкая общая эффективность; рассеивание энергии в среде; строгие требования к безопасности из-за потенциального биологического воздействия
Лазерная передача	Преобразование энергии в когерентный световой пучок с последующей фотовольтаической конверсией	Большие расстояния (километры) Требуется точного наведения и прямой видимости	Космические программы (передача энергии со спутников), военные системы, специализированные промышленные задачи	Высокие потери в атмосфере (туман, дождь); необходимость сложных систем слежения; проблемы безопасности для глаз и окружающей среды
Ультразвуковая передача	Использование высокочастотных акустических волн	Несколько метров. Эффективна в жидкостях и твердых средах	Беспроводная зарядка подводных устройств, медицинских имплантатов внутри тела	Низкая скорость передачи энергии; потери в воздухе; возможное влияние на окружающую среду

В ходе анализа ряда научных публикаций, имеющих на рынке технологических решений, а также известных крупных государственных проектов, лидерами в области БПЭ являются как ряд стран, так и отдельных научных сообществ, которые показывают наиболее перспективные результаты в разных направлениях.

В таблице 2 представлен обзор ключевых лидеров в области БПЭ и их специализация.

Таблица 2 – Лидеры в области БПЭ и их специализации

Страна/Регион	Область специализации и ключевые достижения
Япония	Микроволновая передача на большие расстояния, космическая энергетика. Основоположник в регулировании и практических экспериментах по передаче энергии с помощью СВЧ и лазеров.
США	Фундаментальные исследования, коммерциализация, стартапы. Лидер в области резонансной магнитно-индуктивной передаче энергии (WiTricity, MIT)-10 и дальнобойных систем.
Китай	Крупные государственные проекты (космическая солнечная энергетика), массовое производство. Ключевой инвестор и конкурент в глобальной борьбе за солнечную энергию из космоса.
Европейский Союз	Передовые исследования, стандартизация, прикладные решения (медицина, IoT). Сильные научные школы, фокус на автомобильном секторе, медицинских имплантах и «умных» материалах.
Южная Корея	Инфраструктурные проекты и потребительская электроника. Активное тестирование «электрических дорог» для динамической зарядки и внедрение в бытовую технику.

Так, в статье «Гибридная беспроводная система передачи энергии с высокой устойчивостью к смещению» [6], отмечается, что в процессе беспроводной зарядки между передающей и приемной катушками часто возникают смещения, включая смещения в переднем, заднем, боковом и вертикальном направлениях. Эти неизбежные смещения приводят к изменению параметров системы, что негативно сказывается на характеристиках зарядки. В качестве решения была разработана новая конструкция магнитной муфты с диагональным пересечением соленоидов (ММДПС). Интеграция ММДПС в систему БПЭ с гибридной топологией обеспечивает превосходную устойчивость к смещению по осям X, Y, Z и в диагональных направлениях XY, одновременно сохраняя характеристики выходного напряжения, не зависящие от нагрузки. Разработан упрощенный метод параметрического проектирования для оптимизации устойчивости гибридной системы БПЭ к смещению в нескольких направлениях. Собран аппаратный прототип системы БПЭ с рабочей частотой 200 кГц и мощностью 200 Вт. Результаты экспериментов показывают, что гибридная система БПЭ, работающая на нагрузках от 40 Ом до 80 Ом, способна компенсировать смещения до ± 90 мм (40,9 %) по осям X и Y, сохраняя колебание выходного напряжения в пределах 5 %. Также, система БПЭ может работать при максимальном вертикальном смещении +40 мм вдоль оси Z и диагональных смещениях XY до ± 40 мм (12,8 %).

Анализ современных подходов к БПЭ показывает, что, несмотря на отсутствие единого универсального решения улучшения параметров устройств БПЭ, имеется широкий спектр методов, каждый из которых оптимизирован для конкретных задач и условий эксплуатации. В настоящий момент отмечается активный переход просто от прототипов к масштабированию, сертификации, коммерциализации и конечной интеграции устройств БПЭ в инфраструктуру.

Основными проблемами, не позволяющими массово внедрить технологию БПЭ, остаются:

- энергоэффективность передачи энергии на большие расстояния, особенно для мобильных приемников.
- проблемы безопасности передачи энергии и нанесение вреда здоровью человека, требующие долгосрочных исследований и четкого нормативного регулирования для всех частотных диапазонов.
- стоимость и сложность создания инфраструктуры для динамической зарядки или энергетических систем космического базирования.
- необходимость глобальной стандартизации и обеспечения электромагнитной совместимости в условиях роста плотности беспроводных сигналов.

В заключение следует сказать, что перспективы развития БПЭ заключаются не в вытеснении проводных сетей, а в их дополнении для реализации повсеместного доступа разным источникам питания. Основными направлениями развития должны стать дальнейшая миниатюризация передатчиков, разработка интеллектуальных протоколов для одновременного обслуживания множества динамически перемещающихся устройств и создание экономически жизнеспособных моделей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев, А. Р. Технологии беспроводной передачи энергии / А. Р. Андреев // Юность и знания – гарантия успеха – 2023 : Сборник научных статей 10-й Международной молодежной научной конференции, Курск, 19-20 сентября 2023 года. Том 2. – Курск : Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2023. – С. 436-438.
2. Технологии беспроводной передачи энергии и их внедрение в повседневную жизнь человека / Ф. В. Кошкин, К. Ю. Дубовсков, В. В. Шинкарев, Е. К. Полуэктов // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8, № 4(30). – С. 141-150.
3. Радиков, Е. А. Беспроводная передача энергии / Е. А. Радиков, Д. Г. Шилкин // Молодой исследователь 2023 : сборник статей Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 августа 2023 года. – Пенза : Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 61-63.
4. Белов, С. И. Интеллектуальный анализ оптимизации работы микроэнергосистем в сельских электросетях / С. И. Белов, О. В. Лештаев // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике : Материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары, 06-08 июня 2024 года. – Чебоксары : Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, 2024. – С. 254-259.
5. Маркеева, А. В. Интернет вещей (IoT): возможности и угрозы для современных организаций / А. В. Маркеева // Общество: социология, психология, педагогика. – 2016. – № 2. – С. 42-46.
6. A Hybrid Wireless Power Transfer System with High Misalignment Tolerance Using Diagonal Crossed Solenoid Magnetic Coupler / Z. Li, Y. Zhang, SS. Yu, [et al.] // Chinese Journal of Electrical Engineering. – 2025. – No. 11(1). – Pp. 138-150.

7. Патент № 2181103 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Термоадаптивный блок озонатора : № 99121820/12 : заявл. 19.10.1999 : опубл. 10.04.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, В. А. Драгин [и др.] ; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

8. Патент № 2185319 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2001114848/12 : заявл. 30.05.2001 : опубл. 20.07.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, С. В. Вербицкая [и др.] ; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

9. Дидманидзе, О. Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве с использованием компьютерных технологий / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. Н. Журилин. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2018. – 150 с.

10. Патент № 2253608 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2004111052/15 : заявл. 12.04.2004 : опубл. 10.06.2005 / Д. А. Нормов, А. В. Снитко, А. А. Шевченко [и др.] ; заявитель Кубанский Государственный аграрный университет.

Об авторе:

Соловьев Сергей Владимирович, доцент кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49) кандидат технических наук, доцент, ser-solovyev@yandex.ru.

About the author:

Sergey V. Solovyov, associate professor of power supply and thermal power engineering department after named I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), Candidate of Technical Sciences, associate professor, ser-solovyev@yandex.ru.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ ПЛОДОВООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Л. С. Шпиндлер

Научный руководитель – Е. А. Четвериков

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** Существующие физические методы контроля качества продукции сельскохозяйственного производства являются эффективными, но требуют значительных временных затрат. Использование данных методов в комбинации со средствами распознавания повреждений на основе технического зрения и цифровой обработки изображения возможно позволит значительно увеличить скорость сортировки. В статье произведен анализ таких методов для автоматизированной сортировки плодоовощной продукции с целью изучения возможности разработки оборудования и программного обеспечения для цифровизированной оценки качества.*

***Ключевые слова:** система технического зрения (СТЗ), гиперспектральный анализ, автоматизированная сортировка.*

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE SYSTEM FOR AUTOMATIC SORTING OF FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS AT PROCESSING ENTERPRISES

L. S. Shpindler

Scientific advisor – E. A. Chetverikov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** Existing physical methods for quality control of agricultural products are effective but time-consuming. Using these methods in combination with damage detection tools based on machine vision and digital image processing could significantly increase sorting speed. This article analyzes these methods for automated fruit and vegetable sorting to explore the feasibility of developing equipment and software for digital quality assessment.*

***Keywords:** machine vision system (VS), hyperspectral analysis, automated sorting.*

В настоящее время агропромышленный комплекс страны производит большое количество различных видов плодоовощной продукции, необходимой

для процесса переработки. Ключевым фактором здесь является качество исходного сырья. Так, поверхностные повреждения плодов – ушибы, царапины – не оказывают существенного влияния на процесс переработки, в то время даже небольшие участки гнили резко ухудшают вкус и химический состав сока и других консервантов, что напрямую снижает его потребительские свойства и сроки годности [1-3]. Одной из проблем в процессе послесборочной переработки является проблема ручной сортировки. До сих пор на многих производствах осуществляется ручная сортировка различных плодов, что снижает эффективность отбора здоровых продуктов из-за присутствия человеческого фактора [3, 4].

Автоматизированная сортировка фруктов и овощей – ключевой элемент современных агропромышленных производств. Рассмотрим предельный случай – процесс на яблоках, имеющих шарообразную форму и адаптивно удовлетворяющих условиям математического моделирования: здесь важна точная детекция дефектов при переработке яблок в консерванты, где гниль, в отличие от некритичных механических повреждений, существенно ухудшает качество и срок хранения продукта [5, 6, 7]. Это создаёт потребность в самообучаемых алгоритмах, способных игнорировать поверхностные дефекты, но точно выявлять внутреннюю гниль. В связи с этим проанализируем существующие методы оценки качества плодов.

Система технического зрения (СТЗ) играет ключевую роль в автоматизации сортировки плодов, позволяя анализировать форму, цвет, размер и поверхностные дефекты. Эти системы исключают субъективный человеческий фактор и особенно важны для производства консервантов, где качество сырья напрямую определяет вкус и срок хранения продукта. Метод использует комплекс камер и алгоритмы глубокого обучения для классификации внешних дефектов. Однако, несмотря на преимущества СТЗ имеет ряд ограничений, система:

- не способна оценить внутренние повреждения плодов;
- чрезмерно отбраковывает яблоки с незначительными дефектами кожуры;
- не подходит для точной оценки степени поражения гнилью.

Альтернативный подход со сверхточной нейронной сетью (точность 96,88 %) также имеет ограничения:

- не оценивает площадь повреждений;
- требует дообучения для новых сортов и дефектов;
- склонен к переобучению.

Для преодоления перечисленных ограничений перспективным представляется:

- разработка методов интерпретации внешних дефектов как индикаторов внутренних повреждений;
- внедрение комплексного подхода, сочетающего сверхточные нейронные сети с алгоритмами нечеткой логики;
- использование нечеткой логики для оценки степени повреждения в процентных диапазонах.

Предлагаемое решение:

Для эффективной сортировки плодовоовощной продукции с целью дальнейшей ее переработки разработать интеллектуальную систему, объединяющую:

- компьютерное зрение для анализа изображений;
- глубокое обучение для классификации дефектов;
- нечеткую логику для оценки степени повреждения.

Такой подход позволяет точно определять пригодность плодов для переработки, учитывая как внешние дефекты, так и возможные внутренние повреждения [8, 9]. Воспользуемся оптическим методом на основе флуоресценции хлорофилла, являющимся наиболее надежным для выявления повреждений, дополняющий «внешний» анализ машинного зрения (рисунок 1).

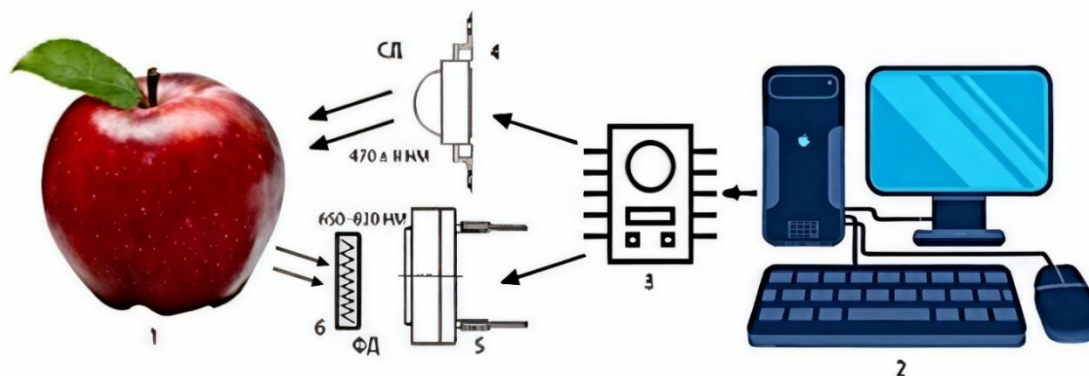


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства для контроля степени зрелости плодов: 1 – объект исследования, 2 – светофильтр, 3 – управляемый источник питания СД (светодиод, типа ARPL-3W-EPL40), 4 – усилитель для ФД (фотодиод, типа ФД-7К), 5 – микроконтроллер, 6 – компьютер

Технически сортировка осуществляется на конвейере, где с помощью системы распознавания происходит сортировка по степени повреждений того или иного плода. Возможны несколько градаций вплоть до 10 возможных вариантов повреждений от «целый» до «гнилой» (рисунок 2).

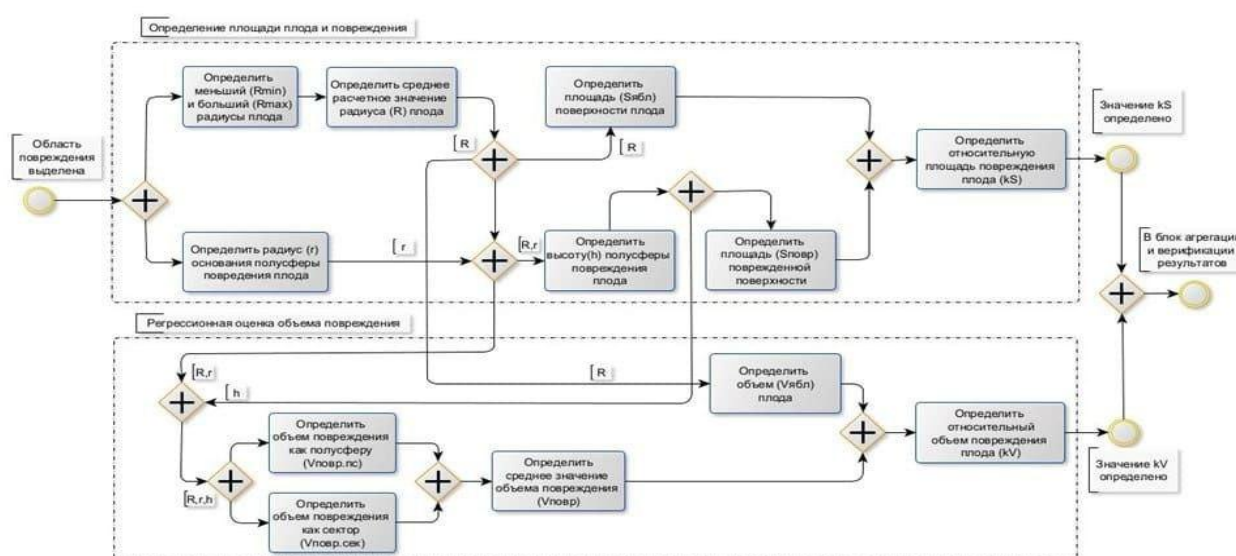


Рисунок 2 – Схема конвейера-классификатора яблок: 1 – конвейерная лента; 2 – камера технического зрения; 3 – персональный компьютер; 4 – лазерный датчик; 5 – исполнительный механизм; 6 – мотор-редуктор; 7 – плод

Смоделируем процесс выявления степени повреждений по внешним признакам (рисунок 3). В качестве прототипа возьмем яблоки, т.к. шарообразная форма имеет наиболее простые математические соотношения. Здесь решается задача регрессионного блока – используя эмпирические данные связать поверхностные повреждения с внутренними, объемными.

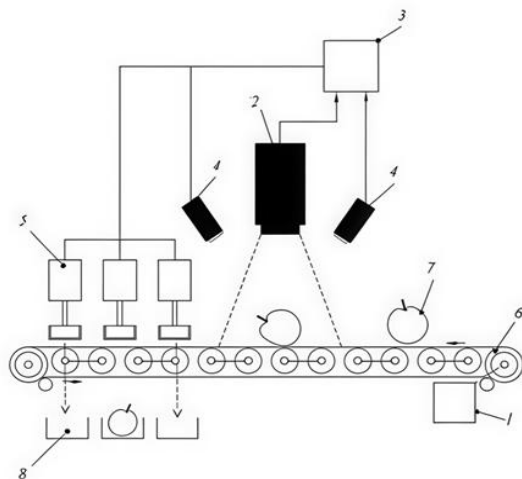


Рисунок 3 – Алгоритм косвенной оценки объема повреждения плодов

$$k_V = f(k_S) \quad (1)$$

где k_V, k_S – относительный объем и площадь повреждения.

$$k_S = \frac{S_{\text{повр}}}{S_{\text{пл}}} \quad (2)$$

$$k_V = \frac{V_{\text{повр}}}{V_{\text{пл}}} \quad (3)$$

где $S_{\text{повр}}, V_{\text{повр}}$ – площадь и объем повреждения; $S_{\text{ябл}}, V_{\text{ябл}}$ – площадь и объем плода.

Для определения значений k_V, k_S введем ряд условий и ограничений. В частности, для оценки порядка величины дефекта аппроксимация плода в виде сферы и повреждения в виде полусферы представляется достаточным. Данный подход выбран в связи с необходимостью анализа большого количества образцов и упрощения алгоритма косвенной оценки.

С учетом допущений определим площадь поверхности $S_{\text{ябл}}$ и объем $V_{\text{ябл}}$ плода 2 (рисунок 4):

$$S_{\text{ябл}} = 4\pi R^2 \quad (4)$$

$$V_{\text{ябл}} = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad (5)$$

где $R = \frac{R_{\text{min}} + R_{\text{max}}}{2}$ – среднее расчетное значение радиуса плода; $R_{\text{min}}, R_{\text{max}}$ – меньший и больший измеренные радиусы плода.

С помощью проекции участка кривой поверхности повреждения плода (рисунок 5) можно вычислить площадь:

$$S = 2 \int \int_G \sqrt{1 + f_x'^2(x, y) + f_z'^2(x, y)} dw \quad (6)$$

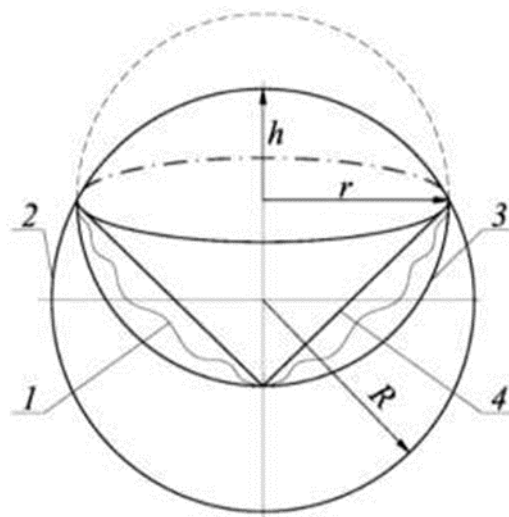


Рисунок 4 – Аппроксимация плода в виде сферы и повреждения в виде полусферы

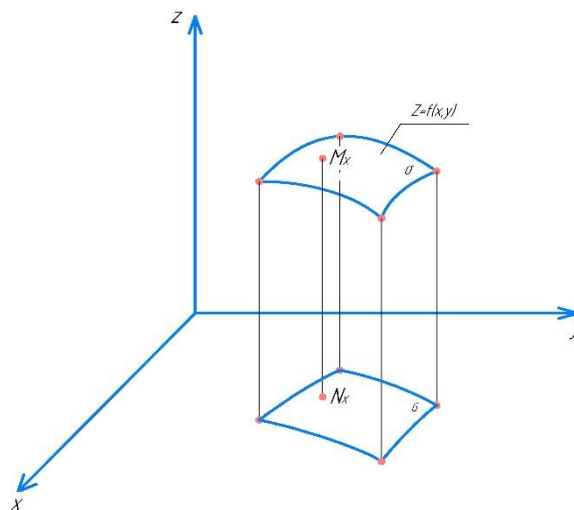


Рисунок 5 – Проекция участка кривой поверхности повреждения плода

В процессе разработки для проверки предстоит получить данные с различными партиями плодов, что позволит скорректировать ряд гипотез и эмпирических зависимостей, связанных с формой распространения гнили, зависимостью между площадью поражения и объемом поврежденного участка, а также погрешностями в оценке формы плода при отклонениях от сферической модели.

Определим объем повреждения:

$$V_{\text{повр}} = \frac{V_{\text{повр}}^{\text{пс}} - V_{\text{повр}}^{\text{сек}}}{2}, \quad (7)$$

где $V_{\text{повр}}^{\text{пс}}$, $V_{\text{повр}}^{\text{сек}}$ – распространение гнили в виде полусферы 3 и сектора 4

$$V_{\text{повр}}^{\text{пс}} = \frac{2}{3}\pi r^3 + \pi h^2 \left(R - \frac{h}{3}\right) \quad (8)$$

$$V_{\text{повр}}^{\text{сек}} = \frac{2}{3}\pi r^2 h - \pi h^2 \left(r - \frac{h}{2}\right) + \pi h^2 \left(R - \frac{h}{2}\right) \quad (9)$$

При обучении нейронной сети на языке программирования Python могут быть использованы библиотеки OpenCV-Python, PIL (Pillow), NumPy, Scikit-

image, которые применяются для цифрового анализа изображений. Также представлена функция для определения площади повреждения плода с помощью проекции участка кривой поверхности повреждения на Python (рисунок 6).

```
import numpy as np
from typing import Tuple, Callable

def calculate_surface_area_integral(f_x_func: Callable, f_y_func: Callable,
                                   integration_region: Tuple[float, float, float, float],
                                   method: str = 'trapezoidal',
                                   grid_density: int = 200) -> float:
    x_min, x_max, y_min, y_max = integration_region

    if x_max <= x_min or y_max <= y_min:
        raise ValueError("Некорректная область интегрирования")

    x_points = np.linspace(x_min, x_max, grid_density)
    y_points = np.linspace(y_min, y_max, grid_density)
    X, Y = np.meshgrid(x_points, y_points)
    f_x_values = f_x_func(X, Y)
    f_y_values = f_y_func(X, Y)
    integrand = np.sqrt(1.0 + f_x_values**2 + f_y_values**2)

    if method == 'simpson':
        from scipy import integrate
        S = integrate.simps(integrate.simps(integrand, x_points, axis=1), y_points)
    else:
        S = np.trapz(np.trapz(integrand, x_points, axis=1), y_points)

    return 2.0 * S
```

Рисунок 6 – Функция для определения площади поверхности повреждения плода

Выводы. На основании проведенного анализа предложен алгоритм автоматизированной сортировки плодоовощной продукции для существующих методов. Установлено, что использование системы интеллектуального контроля, связывающей машинное зрение, статистические данные и средства обработки с использованием алгоритмов нечеткой логики, позволит значительно снизить время обработки, а также повысить качество хранящейся продукции и консервантов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Милонова, М. В. Влияние санкций на аграрно-промышленный комплекс России / М. В. Милонова, А. А. Астапенко // Международная торговля и торговая политика. – 2023. – № 9(3). – С. 127-133.
2. Дубовицкий, А. А. Анализ современного состояния отрасли садоводства в России и перспективы развития на основе реализации рыночного потенциала / А. А. Дубовицкий, Э. А. Климентова, Л. В. Григорьева // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 15, № 4(75). – С. 124-138. – DOI 10.53914/issn2071-2243_2022_4_124.
3. Цифровая индустрия и цифровые возможности в АПК: состояние, потенциал и тренды / А. В. Панин, Д. В. Тимохин, Л. А. Головина, О. В. Логачева // Экономика сельского хозяйства России. – 2021. – № 11. – С. 26-31. – DOI 10.32651/2111-26.

4. Эпштейн, Д. Б. О развитии АПК на основе цифровой трансформации / Д. Б. Эпштейн // Российский экономический журнал. – 2023. – № 5. – С. 46-62. – DOI 10.52210/0130-9757_2023_5_46.

5. Lu, Y. Development of a multispectral Structured Illumination Reflectance Imaging (SIRI) system and its application to bruise detection of apples / Y. Lu, R. Lu // Transactions of the ASABE. – 2017. – Vol. 60, No. 4. – Pp. 1379-1389. – DOI 10.13031/trans.12158.

6. Dijkman, R. M. Semantics and analysis of business process models in BPMN / R. M. Dijkman, M. Dumas, C. Ouyang // Information and Software Technology. – 2008. – Vol. 50, No. 12. – Pp. 1281-1294. – DOI 10.1016/j.infsof.2008.02.006.

7. Дидманидзе, О. Н. Моделирование производственных процессов по уборке фруктов / О. Н. Дидманидзе, А. А. Зангиев, Н. Х. Сулейманов. – М. : Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина, 1998. – 114 с.

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

9. Четвериков, Е. А. Электродинамические и тепловые свойства СВЧ нагревательных установок стационарного типа при различных способах возбуждения электромагнитного поля в рабочей камере / Е. А. Четвериков, К. В. Асеев // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы VII международной научно-практической конференции, Саратов, 18 апреля 2016 года. – Саратов : ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2016. – С. 248-250.

Об авторах

Шпиндлер Людмила Сергеевна, студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), lyuda.shpindler@yandex.ru.

Научный руководитель – Четвериков Евгений Александрович, доцент кафедры автоматизации и роботизации имени академика И. Ф. Бородин, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук, доцент, e.chetverikov@rgau-msha.ru.

About the authors:

Lyudmila S. Shpindler, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), lyuda.shpindler@yandex.ru.

Scientific advisor – Evgeny A. Chetverikov, Associate Professor of the I. F. Borodin Department of Automation and Robotics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e.chetverikov@rgau-msha.ru.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛЬТОДОБАВОЧНОГО АВТОТРАНСФОРМАТОРА

А. В. Богдан (мл)

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина», Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. На примере конкретной схемы линии 0,4 кВ с качеством электроэнергии не соответствующим ГОСТ 32144-13 представлены результаты сравнения возможности применения вольтодобавочного автотрансформатора или прокладки по существующим опорам дополнительной линии СИП, присоединенной к проблемной ЛЭП в начале и в промежуточной точке. Определено оптимальное по минимуму потерь электроэнергии расположение точки подключения. Проанализированы величины напряжения у потребителей для сравниваемых способов. Сделан вывод о существенном сокращении потерь наряду с повышением напряжения у потребителей при использовании дополнительной линии.
Ключевые слова: вольтодобавочный автотрансформатор, напряжение, потери мощности, линия СИП, оптимальная точка подключения, эффективность.

AN ADDITIONAL LINE AS AN ALTERNATIVE TO USING A VOLTAGE-BOOST AUTOTRANSFORMER

A. V. Bogdan (Jr.)

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

Abstract. Using the example of a specific circuit of a 0.4 kV line with an electricity quality that does not comply with GOST 32144-13, the results of comparing the possibility of using a voltage-add-on autotransformer or laying an additional SIP line connected to a problematic transmission line at the beginning and at an intermediate point are presented. The optimal location of the connection point has been determined to minimize power losses. The voltage values of consumers for the compared methods are analyzed. It is concluded that there is a significant reduction in losses along with an increase in consumer voltage when using an additional line.

Keywords: additional voltage autotransformer, voltage, power loss, SIP line, optimal connection point, efficiency.

Растущие требования потребителей к качеству электроснабжения, утвержденные [1], вынуждают владельцев сетей вкладывать значительные средства в их модернизацию или использовать собственные источники генерации [2]. Одним из давно известных предложений по решению проблемы является установка

вольтдобавочных автотрансформаторов (ВДАТ) в протяженных ЛЭП, в местах значительного падения напряжения. В России повышающие автотрансформаторы РНБ-ВИЭСХ, предложенные академиком И. А. Будзко [3] изготавливались заводами Главсельэлектро в 50-х годах 20-го века. В наше время предлагаются варианты применения российских ВДАТ и зарубежных, например, фирмы Ensto [4-6]. Каждый ВДАТ имеет регулировку напряжения.

Общим недостатком схем с автотрансформатором является возможность резкого повышения напряжения на общей части обмотки при обрыве общей части обмотки, за счет неисправности контактных соединений. В этом случае создается режим с резким повышением напряжения. Кроме того, мал диапазон регулирования, а при подмагничивании может искажаться форма напряжения.

Есть еще одна существенная особенность применения вольтдобавочного АТ: – это создание дополнительных потерь мощности, которые будут состоять из 4-х частей: 1) в линиях до ВДАТ, 2) в линиях после ВДАТ, 3) в обмотках ВДАТ, 4) на намагничивание ВДАТ. Потери в обмотках и на намагничивание минимизируются изготовителями автотрансформаторов, так как для их уменьшения необходимо применять высококачественный материал магнитопровода и увеличивать сечения проводников обмоток, что отражается на стоимости ВДАТ. Об увеличении потерь в линиях до ВДАТ и линиях после ВДАТ производители обычно умалчивают, хотя они могут быть очень существенными.

Для определения возможности применения ВДАТ в конкретной схеме электроснабжения проведен расчет режима принятой для анализа сети, показанной на рисунке 1.,

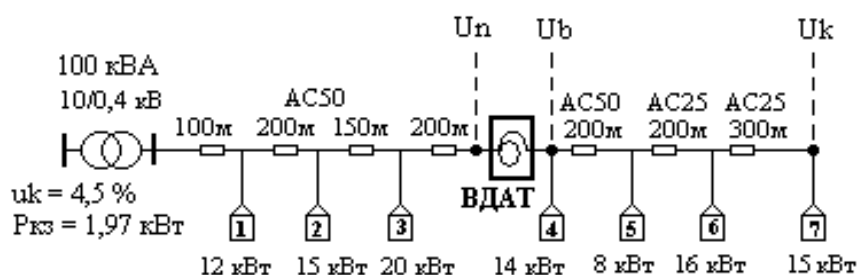


Рисунок 1 – Подключение ВДАТ для подъема напряжения у потребителей

Расчет проводился по схеме замещения, в которой нагрузки представлены постоянными сопротивлениями. В результате расчета получена зависимость напряжений в узлах присоединений нагрузок. За счет использования ВДАТ напряжение у конечного потребителя (U_k) поднимается до необходимого. Расчет показывает, что при росте коэффициента трансформации автотрансформатора значительно растут потери мощности в линиях сети за счет увеличения токов до и после точки подключения ВДАТ. Дополнительные потери в ВДАТ в расчете не учитывались.

Взамен установки ВДАТ предлагается на существующих опорах расположить дополнительный провод марки СИП, параллельно существующей основной линии, подключенный к ней в начале и некоторой промежуточной точке **b**.

Если на расчетной схеме, показанной на Рисунке 3, точку подключения **b** выбрать на потребителе № 5, то в зависимости от площади поперечного сечения СИП напряжение у потребителей в точке подключения и рядом с ней будет повышаться (рисунок 4).

Возникает задача определения оптимальной точки подключения дополнительной линии. В качестве целевой функции принят минимум суммарных потерь. Для схемы (рисунок 2) установлено, что точка **b** находится на расстоянии $2/3$ длины линии независимо от соотношения площадей поперечного сечения основной и дополнительной линии. Значение для оптимальной точки подключения дополнительной линии получено при равномерном распределении нагрузок с плотностью P_{yd} вдоль основной линии. Ток дополнительной линии I_d определяется величиной соотношения сопротивлений основной и дополнительной линий.

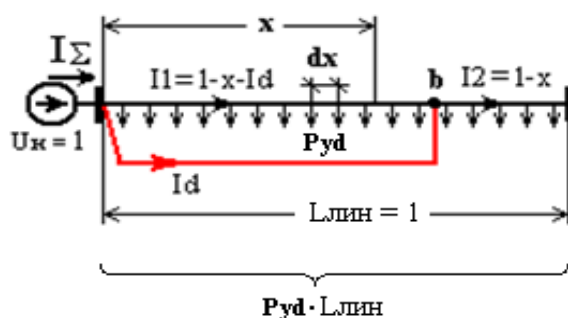


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения оптимальной точки **b подключения дополнительной линии**

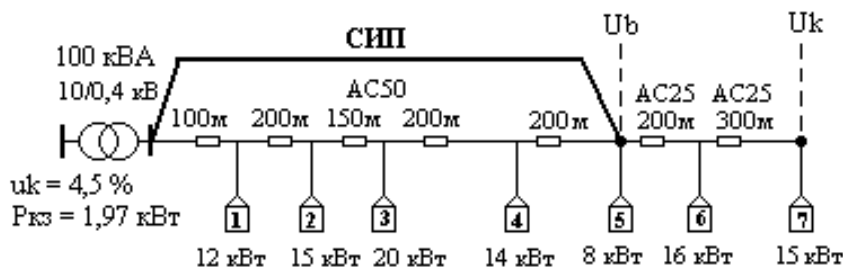


Рисунок 3 – Подключение дополнительной линии взамен ВДАТ

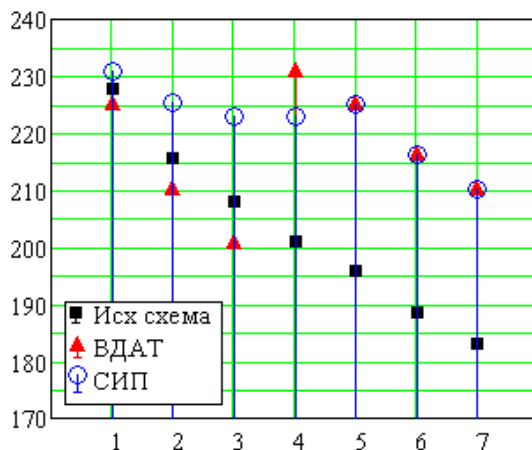


Рисунок 4 – Значения напряжений у потребителей при установке ВДАТ или дополнительной линии СИП

Аналитический расчет оптимальных условий использования дополнительной линии был проверен с помощью расчета токов, напряжений и потерь мощности по ранее принятой схеме электроснабжения (Рисунок 3), но без установки ВДАТ, путем перемещения точки подключения **б**. Нагрузки представлялись постоянными сопротивлениями, что допустимо для сети 0,4 кВ. Получено, что минимум потерь мощности достигается при подключении линии СИП к потребителю № 5, независимо от соотношения сечений основной и дополнительной линий. Общая длина основной линии 1350 м. Расстояние от начала линии до нагрузки № 5 900 м, то есть она удалена от начала линии на $900/1350 = 0,667$ ее длины, что подтверждает аналитический расчет.

Для сравнения результатов численного расчета показаны (Рисунок 4) величины напряжения на нагрузках для разных вариантов. В исходном состоянии, при отсутствии ВДАТ и линии СИП напряжение в конце основной линии $U_k = 183$ В, что значительно ниже допустимого. Общее потребление нагрузками $P_{\text{нр}} = 65,8$ кВт, потери мощности $dP = 10,7$ кВт, что составляет 13,96 %.

При использовании ВДАТ (Рисунок 1) с коэффициентом трансформации $k_{\text{АТ}} = 1,16$:

$$U_k = 207,7 \text{ В}, P_{\text{нр}} = 73,3 \text{ кВт}, dP = 14,6 \text{ кВт (16,6 \%)}.$$

При использовании СИП-4 сечением 120 мм^2 (Рисунок 3):

$$U_k = 207,5 \text{ В}, P_{\text{нр}} = 73,3 \text{ кВт}, dP = 6,3 \text{ кВт (7,6 \%)}.$$

Следует отметить, что при подключении ВДАТ напряжение у потребителя № 3 резко снизилось до 202 В (Рисунок 4), так как увеличился ток по части линии до подключения ВДАТ и падение напряжения на этом участке. Применение же СИП увеличило напряжение у всех потребителей. Напряжение у потребителей будет расти при увеличении сечения дополнительной линии.

Стоимость провода линии СИП-4 различного сечения колеблется от 200 до 500 руб./м в зависимости от его сечения. Средняя стоимость прокладки СИП по существующим опорам 50...70 руб./м. Для схемы, приведенной на рисунке 1 замена ВДАТ на дополнительную линию СИП уменьшает потери в линии на 8,3 кВт. Техничко-экономический расчет показывает, что в отличие от использования ВДАТ, полезность которого заключается лишь в повышении напряжения, окупаемость дополнительной линии за счет сокращения потерь электроэнергии составляет 4-5 лет в зависимости от сечения, применяемого СИП. Окупаемость ускоряется, когда сечение дополнительного провода в 2...4 раза превышает сечение основного.

При установке вольтодобавочного трансформатора потери в линии увеличиваются. Стоимости вольтодобавочных устройств различных изготовителей и мощности до 50 кВт составляют 200...500 тыс. руб. Высокая стоимость вольтодобавочных трансформаторов наряду с увеличением потерь делает подобную реконструкцию нерентабельной.

ВЫВОДЫ:

1. Использование ВДАТ требует применения регуляторов напряжения, может вносить искажения в форму напряжения и увеличивает потери электроэнергии. Их применение можно рассматривать как временную меру, так они только

увеличивают напряжение при существенных затратах на их установку и эксплуатацию.

2. Применение дополнительных линий СИП позволяет не только поднять напряжение у потребителей на ЛЭП, но одновременно снизить потери электроэнергии, которые обычно велики на проблемных линиях. Для регулирования величины напряжения в течение суток регуляторы не требуются. Мероприятие окупается за счет значительного снижения потерь в линиях питания потребителей, поэтому может рассматриваться как плановая реконструкция.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spesemc.ru/upload/files/gost/gost-32144-2013.pdf>.

2. Лештаев, О. В. Анализ показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения с сетевыми солнечными электростанциями малой мощности / О. В. Лештаев, Н. А. Стушкина, В. И. Загинайлов // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 5. – С. 48-53. – DOI 10.34286/1995-4646-2021-80-5-48-53.

3. Будзко, И. А. Сельские электрические сети / И. А. Будзко. – М. : Сельхозгиз, 1955. – 423 с.

4. Перинский, Т. В. Проект с применением пунктов автоматического регулирования напряжения / Т. В. Перинский, О. С. Родионов // Новости электротехники. – 2007. – № 4.

5. Мамедов, Т. А. Обобщенная оценка энергоэффективности централизованного электроснабжения и производства продукции / Т. А. Мамедов, В. И. Загинайлов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2019. – № 3. – С. 33-36. – DOI 10.18635/2071-2219-2019-3-33-36.

6. Ахметшин, А. Р. Применение вольтодобавочных трансформаторов в РЭС 0,4-10 кВ для улучшения показателей качества электроэнергии / А. Р. Ахметшин, А. И. Федоров // XVII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техники и технологии». – 2012.

Об авторе:

Богдан Александр Владимирович (мл), магистрант, ФГБОУ ВО «Кубанского государственного аграрного университета им. И. Т. Трубилина» (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Калинина, 13), prostovvti@mail.ru.

About the author:

Alexander V. Bogdan (Jr.), master's student, Kuban State Agrarian University (350044, Russian Federation, Krasnodar, st. Kalinina, 13), prostovvti@mail.ru.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВОДЫ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В. С. Черногоров

Научный руководитель – С. А. Андреев

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрены современные способы борьбы с образованием льда в системах сельскохозяйственного водоснабжения. Произведен анализ механизма образования кристаллических зародышей в воде при отрицательных температурах. Приведена информация о разнонаправленном влиянии механических воздействий на температуру нуклеации воды. Сделан вывод о необходимости тщательного выбора момента времени для приложения механических воздействий. Предложено определять начало кристаллизации воды по ее диэлектрической проницаемости. Обоснована целесообразность использования ультразвукового оборудования для реализации механических воздействий.

Ключевые слова: система водоснабжения, образование льда, нуклеация, кристаллизация воды, давление, механические воздействия, диэлектрическая проницаемость, ультразвук.

STUDY OF THE DEPENDENCE OF WATER CRYSTALLIZATION TEMPERATURE ON THE INTENSITY OF MECHANICAL STRESS

V. S. Chernogorov

Scientific advisor – S. A. Andreev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. This article examines modern methods for combating ice formation in agricultural water supply systems. The mechanism of crystal nucleation in water at subzero temperatures is analyzed. Information is provided on the multidirectional influence of mechanical stress on water nucleation temperature. A conclusion is reached regarding the need for careful timing of mechanical stress application. It is proposed to determine the onset of water crystallization based on its permittivity. The feasibility of using ultrasonic equipment for mechanical stress application is substantiated.

Keywords: water supply system, ice formation, nucleation, water crystallization, pressure, mechanical stress, permittivity, ultrasound.

Актуальность исследования зависимости температуры кристаллизации воды от интенсивности механических воздействий обусловлена проблемой борьбы с образованием льда в емкостях с водой при отрицательных температурах. Такими емкостями являются водонапорные баки в автономных системах водоснабжения, открытые участки трубопроводов, а также различные гидравлические устройства, подвергающиеся воздействию низких температур в зимнее время года. На сегодняшний день известен ряд способов предотвращения замерзания воды, среди которых можно выделить разработку емкостей со специфическими формами, искусственный нагрев воды, а также использование теплоизоляции [1].

К сожалению, использование специфических стереометрических соотношений элементов водяных резервуаров не всегда возможно. Этим объясняется ограниченность этого способа или его низкая эффективность применительно к емкостям произвольной формы. Искусственный нагрев воды реализуется крайне просто, однако в большинстве случаев экономически нецелесообразен из-за больших энергетических затрат [2]. Использование теплоизоляции (пенопластовых или пенопропиленовых листов, минеральной ваты с гидроизоляционной пленкой и др.) не исключает замерзание воды, а лишь замедляет этот процесс, что приводит к положительному результату только при кратковременном снижении температуры [3].

Теоретически остается возможность снизить температуру замерзания воды увеличением давления в резервуаре. В таблице 1 представлены значения температуры нуклеации от давления.

Таблица 1 – Зависимость температуры нуклеации от давления

Давление, МПа	0,1	1,0	30,0	40,0	50,0	60,0	110,0	210,0
Температура нуклеации, °С	0	-1	-2	-3	-4	-5	-10	-22

Известно, что при замерзании пресной воды происходит увеличение ее объема примерно на 10 %. Уникальность воды заключается в том, что при увеличении давления ее вязкость уменьшается, что определяет замедление процесса кристаллизации. Вода претерпевает замерзание, когда молекулы связываются в твердую кристаллическую структуру, а повышенное давление затрудняет такое связывание. Вместе с тем надо признать, что повышение давления в водонапорном баке является нетехнологичным, что существенно сдерживает практическое использование описываемой зависимости.

На температуру замерзания воды также существенно влияют всевозможные примеси. Например, растворенная в воде соль, состоящая из сильных ионов натрия и хлора, присоединяется к молекулам воды. Соль препятствует формированию твердого тела. Увеличение концентрации соли снижает температуру начала замерзания воды до тех пор, пока вода не достигнет насыщения и не сможет удерживать соль. Известно, что при достаточной концентрации соли температура нуклеации может снизиться до -21°C . Для перехода воды в твердую фазу в ней должны содержаться отправные точки процесса (центры нуклеации). Примечательно, что такими центрами могут быть частицы пыли. При отсутствии

центров нуклеации у молекул воды отсутствуют основания, вокруг которых могут наращиваться кристаллы. Доказательством такого объяснения являются факты замерзания очищенной дистиллированной воды при температуре -40°C .

Для объяснения эффекта можно воспользоваться следующими рассуждениями. Одним из условий кристаллизации является равенство давления насыщенного пара растворителя, находящегося над раствором, давлению пара, находящегося над твёрдым растворителем. Вследствие того, что давление пара растворителя, находящегося над раствором, всегда ниже, чем над чистым растворителем, это равенство всегда будет выполняться при температуре более низкой, чем температура замерзания растворителя. Именно по этой причине вода в океане начинает замерзать при температуре около -2°C . Благодаря разности между температурой кристаллизации растворителя и температурой начала кристаллизации раствора происходит понижение температуры кристаллизации. Изменение температуры кристаллизации разбавленных растворов не зависит от природы растворённого вещества и пропорционально моляльной концентрации раствора. Из-за возрастания концентрации раствора в процессе кристаллизации растворителя растворы не имеют определённой температуры замерзания и кристаллизуются в некотором интервале температур.

В то же время добавление солей или иных твердых частиц в воду существенно снижает экономическую эффективность способа и требует добавление в технологию процесса очистки.

Общепризнанным фактом является утверждение об уменьшении температуры замерзания воды при ее интенсивном течении. Например, известно, что вода в бурных потоках горных рек или водопадов практически не замерзает. Знаменитый Ниагарский водопад, обеспечивая ежесекундное падение с высоты 53 м около 5700 тонн воды, покрывается льдом при температуре воздуха ниже $35...40^{\circ}\text{C}$.

По-видимому, причиной эффекта является постоянное распределение теплоты по всему объёму воды, нарушение образования начальных кристаллов льда на поверхности и выделение кинетической энергии при движении. При этом можно выделить следующие факторы:

- перемешивание воды препятствует формированию кристаллической структуры;
- перемешивание воды определяет перемещение более нагретой воды к поверхности, препятствуя его охлаждению до температуры замерзания;
- перемешивание воды влечет за собой образование ледяной каши, которая содержит частицы льда, но сплошным льдом не является.

Следует отметить, что перемешивание воды не изменяет саму точку замерзания, определяемую физической константой, а изменяет условия фазового перехода.

Вместе с тем однозначной зависимости температуры кристаллизации воды до состояния льда от интенсивности механического воздействия не существует. Примечательность нулевой температуры по шкале Цельсия заключается в том, что при ней формируется энергетическая целесообразность превращения воды в лед. При более низких температурах структура кристалла льда обладает меньшей

энергией по сравнению с колеблющейся молекулой воды. При замерзании воды высвобождается тепловая энергия, которую можно зафиксировать инфракрасной камерой. Образование ледяных кристаллов начинается в тот момент, когда случайные механические колебания вызывают выстраивание участка молекул воды в шестиугольную форму. Сформировавшийся зародыш имеет возможность перерасти в ядро кристаллизации и положить начало последующему образованию льда. С другой стороны, остается вероятность растворения зародыша и тогда замерзание воды не произойдет. Причиной протекания процесса по второму сценарию является энергетический барьер, характеризующий границу между льдом и водой. Преодоление этой границы является энергозатратным, поскольку молекулы, выстроившиеся в структуру льда, взаимодействуют с молекулами окружающей жидкости. В результате сложившиеся неравновесные силы определяют нестабильность новой структуры до достижения ею определенного размера. При этом энергетические затраты на взаимодействие с замороженным участком превышают энергетический выигрыш за счет высвобождения энергии при образовании льда. При охлаждении воды энергетический барьер снижается, а случайное механическое воздействие побуждает зародышевую структуру к превышению критического размера. Дальнейший рост льда происходит более уверенно, поскольку кристаллическая структура обладает большей стабильностью.

Примером противоположной тенденции является простейший опыт с пластиковой бутылкой, наполненной водой и помещенной в морозильную камеру. При небольшой отрицательной температуре в камере вода в бутылке не замерзает, но после легкого постукивания по поверхности процесс образования льда начинает развиваться.

Известна зависимость скорости нуклеации воды, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$:

$$v = K \cdot \exp\left(-\frac{G}{kT}\right), \quad (1)$$

где K – предэкспоненциальный множитель, характеризующий частоту столкновений молекул, вязкость и коэффициент диффузии, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; G – энергетический барьер (энергия, требуемая на образование ледяной структуры), Дж; k – постоянная Больцмана, Дж/°С; T – температура, °С.

В показателе степени формулы (1) разностороннее влияние на скорость нуклеации оказывают параметры G и T .

Таким образом, механические воздействия, прикладываемые к охлаждаемой воде, влияют на температуру ее замерзания двояким образом: на начальном этапе образования жесткой структуры механические воздействия оказывают тормозящее влияние, а на последующем способствуют нуклеации. Вследствие указанного обстоятельства момент приложения внешнего механического воздействия должен быть тщательно выбран на основе информации о состоянии воды. Как видно из вышеизложенного, температура воды не может служить надежной характеристикой этого состояния. Зная температуру, мы не можем зафиксировать момент начала образования кристаллических структур, поскольку не владем информацией о давлении и наличии примесей. При ручном, а, тем более, при автоматическом включении источника механического воздействия достоверная информация может быть извлечена косвенным образом, например,

из диэлектрической проницаемости воды [4, 5]. На сегодняшний день известно, что диэлектрические проницаемости воды и льда отличаются друг от друга в несколько раз (рисунок 1).

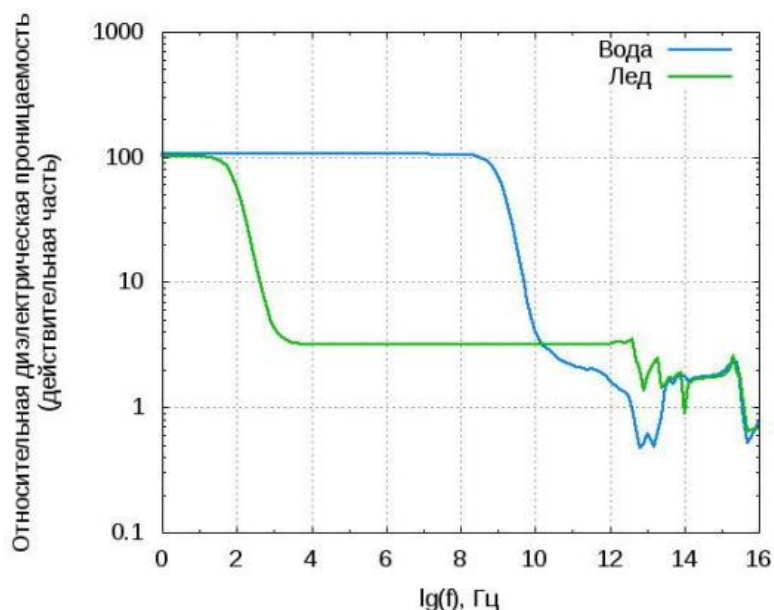


Рисунок 1 – Зависимость относительной диэлектрической проницаемости воды и твердого льда от частоты внешнего электрического поля

Для оперативного распознавания агрегатного состояния воды можно использовать кондуктометрический способ, реализуемый простой схемой с последовательным соединением источника переменного напряжения, двух электродов с площадью активной поверхности F , расстоянием между электродами d и регистрирующего прибора. При возникновении зародышей твердых структур величина диэлектрической проницаемости ϵ среды между электродами изменяется. Это изменение повлияет на емкость C плоского конденсатора, образуемого электродами:

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{F}{d} \quad (2)$$

где ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума

Одновременно изменяется емкостное сопротивление X_c , определяемое выражением:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}, \quad (3)$$

где f – частота переменного напряжения, Гц.

Изменение емкостного сопротивления приводит к изменению тока в измерительной цепи и последующему срабатыванию регистрирующего прибора.

Для создания механического воздействия может быть использован ультразвуковой генератор с пьезоэлектрическим или магнитострикционным излучателем [6]. Использование ультразвукового оборудования обусловлено возможностью оперативного изменения параметров воздействия в широких пределах, малой инерционностью и экономической целесообразностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черногоров, В. С. Использование ультразвука для предотвращения образования льда на элементах конструкций систем сельскохозяйственного водоснабжения / В. С. Черногоров / Юность и Знания – Гарантия Успеха – 2025 : Сборник научных статей 12-й Международной молодежной конференции (25-26 сентября 2025 года) в 4-х томах, том 4. – 2025. – С. 278-282.
2. Сторчевой, В. Ф. Электротехнологии и электрический нагрев / В. Ф. Сторчевой, Н. Е. Кабдин, Я. С. Чистова. – М., 2021.
3. Андреев, С. А. Ресурсосберегающее автономное теплоснабжение объектов АПК / С. А. Андреев, Ю. А. Судник, Е. А. Петрова // Международный научный журнал. – 2011. – № 5. – С. 83-91.
4. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов и систем автоматического управления / И. Ф. Бородин, С. А. Андреев. – М., 2021.
5. Селезнева, Д. М. Исследования эффективности обеспыливания воздуха комбинированным электрофильтром / Д. М. Селезнева // Наука. Технологии. Инновации : Сборник научных трудов в 9 ч., Новосибирск, 30 ноября – 04 декабря 2020 года. Том 5. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. – С. 61-64.
6. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В. Н. Хмелев, А. Н. Сливин, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок, А. В. Шалунов. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.

Об авторах:

Черногоров Владислав Сергеевич, магистрант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), vladislav.chernogorov@mail.ru.

Научный руководитель – Андреев Сергей Андреевич, профессор кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородин, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), доктор технических наук, energo-andreev@rgau-msha.ru.

About the authors:

Vladislav S. Chernogorov, Master's student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), vladislav.chernogorov@mail.ru.

Scientific advisor – Sergey A. Andreev, Professor of the Department of Automation and Robotics of Technological Processes, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Doctor of Technical Sciences, energo-andreev@rgau-msha.ru.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Н. С. Баракин¹, В. С. Афанасьева², Е. И. Рубцова³, Д. П. Харченко¹

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина», г. Краснодар, Российская Федерация

²ФГКОУ «Ставропольское президентское кадетское училище», г. Ставрополь, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», г. Ставрополь, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается проблема применения классических инверторов напряжения для питания мобильных сельскохозяйственных потребителей, в частности, при пастбищном содержании КРС. Отмечаются ключевые недостатки существующих решений: высокая стоимость, узкий функционал (отсутствие дополнительных выходов с разными уровнями и формами напряжения), а также необходимость завышения мощности или установки дополнительных устройств (плавного пуска, частотных преобразователей) для обеспечения пуска асинхронных электродвигателей без перегрузок. В качестве решения предложена разработка многофункционального преобразователя, интегрирующего функции инвертора и устройства плавного пуска, а также обеспечивающего несколько независимых выходов для различных потребителей. Приведены функциональная и принципиальная схемы устройства, описаны его режимы работы и представлены результаты экспериментальных исследований, подтвердившие его работоспособность и эффективность, в частности, обеспечение пускового тока электродвигателя на уровне двукратного от номинального.

Ключевые слова: сельскохозяйственное электроснабжение, инвертор напряжения, плавный пуск, преобразователь напряжения, пусковые токи.

VOLTAGE CONVERTER FOR A MOBILE POWER GENERATOR

N. S. Barakin^a, V. S. Afanasyeva^b, E. I. Rubtsova^c, D. P. Kharchenko^a

^aKuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

^bStavropol Presidential Cadet School, Stavropol, Russian Federation

^cStavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

Abstract. This article examines the use of conventional voltage inverters to power mobile agricultural loads, particularly those used for grazing cattle. Key drawbacks of existing solutions are highlighted: high cost, limited functionality (lack of additional outputs with different voltage levels and waveforms), and the need to increase power

or install additional devices (soft starters, frequency converters) to ensure the smooth starting of asynchronous electric motors. A proposed solution is the development of a multifunctional converter that integrates the functions of an inverter and a soft starter, providing multiple independent outputs for different loads. The article presents a functional and schematic diagram of the device, describes its operating modes, and presents the results of experimental studies confirming its operability and efficiency, specifically, providing an electric motor starting current of only twice the nominal value.

Keywords: *agricultural power supply, voltage inverter, soft starter, voltage converter, starting currents.*

Применение классических инверторов напряжения при питании отдельных сельскохозяйственных потребителей приводит к неоправданным затратам на их приобретение. Кроме того, эти инверторы напряжения обладают узкими функциональными возможностями. Так, например, для питания технологических машин доильных установок при пастбищном содержании КРС необходимо иметь дополнительные выходы от преобразователей напряжения для подключения потребителей с другими уровнями напряжения и его формами [1]. Мобильные энергетические установки часто используют возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Типовой состав этих энергетических установок включает аккумулятор, заряд которого производится от ВИЭ, электрической сети, бензоагрегата [2, 3]. Аккумулятор подключается к инвертору напряжения трехфазного или однофазного типа. Инвертор напряжения преобразует постоянный ток в переменный. Здесь необходимо учитывать то обстоятельство, что при работе инвертора тока с электроприводами асинхронного вида возникают значительные пусковые токи. Для того чтобы не вышел из строя инвертор приходится устанавливать такой аппарат с завышением подключаемой мощности. Второй вариант – это дополнительная установка устройства плавного пуска или преобразователя частоты тока. Это все приводит к дополнительным затратам на покупку оборудования. В связи с этим необходима разработка преобразователя напряжения, сочетающего в себе две функции: инвертора напряжения и устройство плавного пуска.

Совместно в Кубанском ГАУ и Ставропольском ГАУ был разработан преобразователь напряжения, совмещающий такие функции и имеющий дополнительные выходы для подключения других потребителей [4]. Функциональная схема преобразователя представлена на рисунке 1.

Работа преобразователя заключается в следующем. Фотоэлектрический преобразователь ФЭПР и аккумуляторная батарея подают напряжение постоянного тока на входной фильтр Ф. Имеющееся постоянное напряжение преобразуется в пульсирующее и подается на высокочастотный трансформатор ТV. Управление преобразованием производится с помощью микроконтроллера МК и транзисторных ключей ТК первичной обмотки трансформатора. С первой вторичной обмотки трансформатора высокое напряжение выпрямляется диодным мостом VD и сглаживается на конденсаторе С. Микроконтроллер МК образует ШИМ управление транзисторными ключами ТК вторичной стороны трансформатора и

создает трехфазную систему напряжений для питания электродвигателя. Выходной фильтр Φ совместно с индуктивной составляющей обмоток электродвигателя производят сглаживание пульсаций напряжения. Со второй выходной обмотки напряжение также выпрямляется диодным мостом VD и через транзисторные ключи TK могут подключаться потребители постоянного и переменного тока.

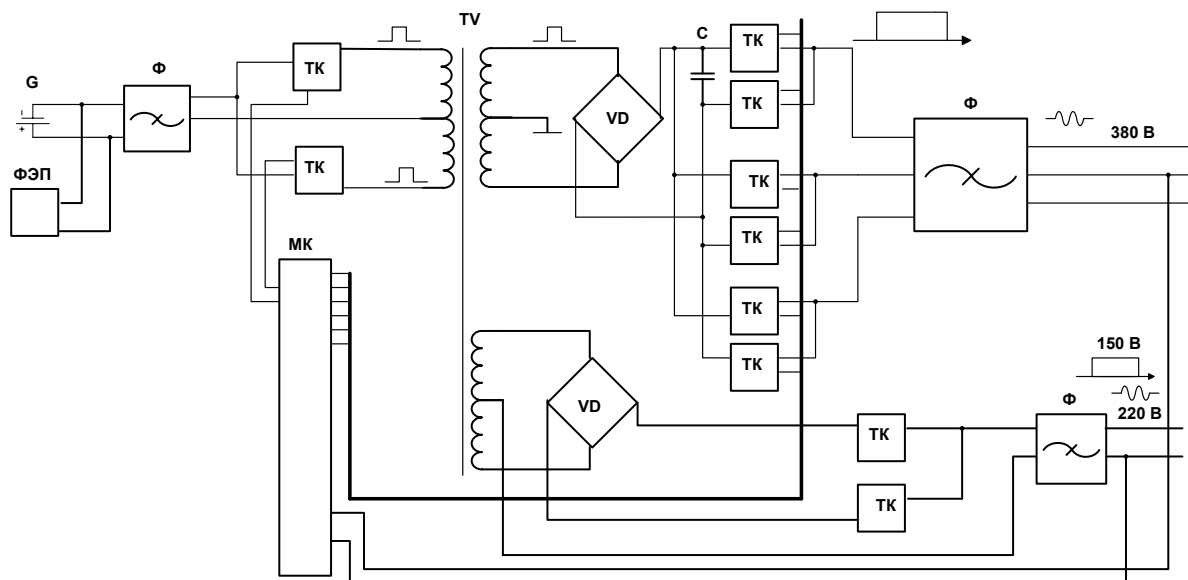


Рисунок 1 – Функциональная блок-схема преобразователя напряжения

Базируясь на классических схемах построения инверторов напряжения и учитывая требования сельскохозяйственных потребителей электроэнергии была разработана принципиальная схема преобразователя напряжения (рисунок 2).

На выходе у преобразователя имеются следующие напряжения: однофазное переменное синусоидальное напряжение 220 В ($U_{1\text{ВЫХ}}$) для подключения цепей управления и другого оборудования малой мощности; трехфазное переменное синусоидальное напряжение 380 В ($U_{2\text{ВЫХ}}$) для подключения электродвигателей (до 5 кВт); пульсирующее напряжение 48...150 В ($U_{3\text{ВЫХ}}$) для подключения электротехнологических установок постоянного тока (до 2 кВт).

По полученной схеме был изготовлен преобразователь напряжения и проведены эксперименты на функционирование. Внешний вид экспериментальной установки представлен на рисунке 3. В результате экспериментальных исследований была подтверждена успешная работа преобразователя во всех режимах. Пуск электрической машины производился только двухкратным током, что дает возможность не превышать предельные параметры выходных транзисторов.

Проведенный анализ показал, что использование стандартных инверторов напряжения в составе мобильных энергоустановок для сельскохозяйственных нужд является экономически и технически неоптимальным из-за высоких затрат, ограниченного функционала и необходимости применения дополнительной аппаратуры для управления пуском электроприводов.

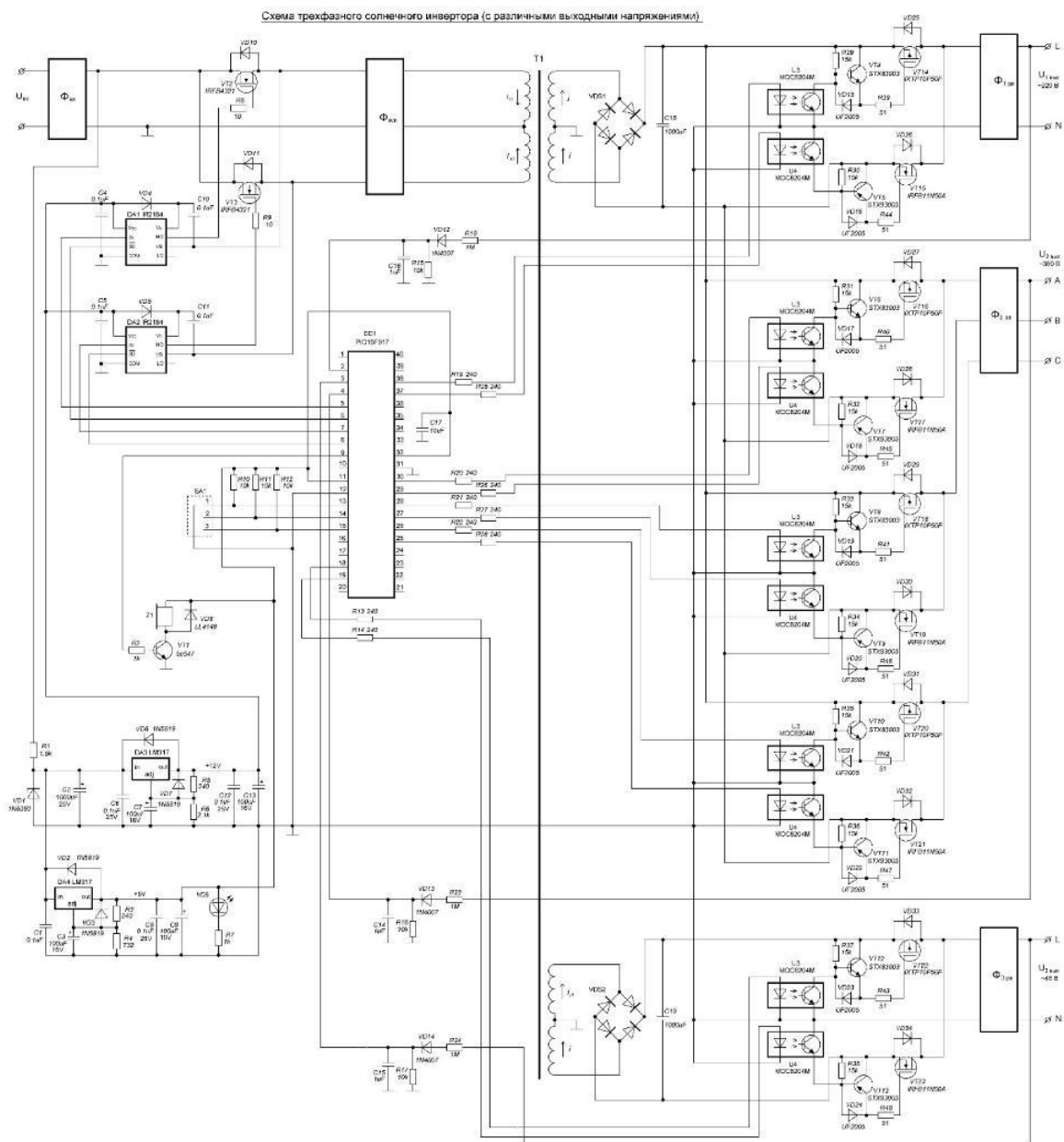


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема трехфазного преобразователя напряжения



Рисунок 3 – Внешний вид экспериментальной установки

Для решения этих проблем была разработана новая конструкция преобразователя напряжения, которая успешно интегрирует функции инвертора и устройства плавного пуска. Устройство обеспечивает несколько выходов: однофазное переменное напряжение 220 В, трехфазное 380 В для питания асинхронных электродвигателей мощностью до 5 кВт, а также пульсирующее напряжение 48...150 В для потребителей постоянного тока. Такая архитектура позволяет одновременно и эффективно питать разнородных сельскохозяйственных потребителей от единого источника на основе ВИЭ.

Экспериментальные исследования изготовленного образца подтвердили его работоспособность и основные преимущества. Ключевым результатом является обеспечение плавного пуска асинхронного электродвигателя с двукратным пусковым током, что устраняет необходимость завышения мощности силовых ключей и позволяет снизить стоимость и габариты устройства. Таким образом, разработанный преобразователь представляет собой технически и экономически обоснованное решение для повышения эффективности мобильного электроснабжения в сельском хозяйстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Способы повышения надежности электроснабжения предприятий АПК с использованием ВИЭ / В. С. Афанасьева, Д. А. Овсянников, Н. С. Баракин, И. Н. Шишигин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 5(143). – DOI 10.60797/IRJ.2024.143.67.

2. Дидманидзе, О. Н. Эффективность тягово-транспортных средств при использовании накопителей энергии / О. Н. Дидманидзе, С. А. Иванов, Н. Н. Пуляев. – М. : Мегапринт, 2018. – 189 с. – ISBN 978-5-907095-06-9.

3. Будущее тракторостроения в России / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, Е. П. Парлюк, Н. Н. Пуляев // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : Сборник статей 26-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 12-13 мая 2022 года. – М. : Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 15-21.

4. Афанасьева, В. С. Ветросолнечная установка для выгульных пастбищ крупного рогатого скота / В. С. Афанасьева, И. Н. Шишигин, А. П. Волошин // Сельский механизатор. – 2025. – № 5. – С. 30-32.

5. Баракин, Н. С. Преобразователь напряжения для подключения электрооборудования при лагерном содержании КРС / Н. С. Баракин, В. С. Афанасьева, Д. П. Харченко // Сельский механизатор. – 2026. – № 1. – С. 25-27.

Об авторах:

Баракин Николай Сергеевич, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина» (350044, Российская Федерация, Краснодарский край, Краснодар, улица им. Калинина, дом 13), кандидат технических наук, barakin85@mail.ru.

Афанасьева Виктория Сергеевна, преподаватель ОД «Физика, химия и биология», ФГКОУ «Ставропольское президентское кадетское училище» (355003, Российская Федерация, Ставропольский край, Ставрополь, ул. Ленина, 328), avs_25@mail.ru.

Рубцова Елена Ивановна, доцент, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (355035, Российская Федерация, Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12), кандидат технических наук, el-mash@kubsau.ru.

Харченко Дмитрий Павлович, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина» (350044, Российская Федерация, Краснодарский край, Краснодар, улица им. Калинина, дом 13), кандидат технических наук, dmitryph85@mail.ru.

About the authors:

Nikolai S. Barakin, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (350044, Russian Federation, Краснодар Krai, Краснодар, Kalinina Street, 13), Candidate of Technical Sciences, barakin85@mail.ru.

Viktoria S. Afanasyeva, Teacher of the Educational Department «Physics, Chemistry and Biology», Stavropol Presidential Cadet School (355003, Russian Federation, Stavropol Krai, Stavropol, Lenin Street, 328), avs_25@mail.ru.

Elena I. Rubtsova, Associate Professor, Stavropol State Agrarian University (355035, Russian Federation, Stavropol, Zootechnical Lane, 12), Candidate of Technical Sciences, el-mash@kubsau.ru.

Dmitry P. Kharchenko, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (350044, Russian Federation, Краснодар Krai, Краснодар, Kalinina Street, 13), Candidate of Technical Sciences, dmitryph85@mail.ru.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЗЕРНОСУШИЛКИ

Д. И. Лыгин, Л. С. Шпиндлер

Научный руководитель – Е. А. Четвериков

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье предложен алгоритм управления процессом сушки зерна конвективным тепловым потоком, который может быть использован для постановки теоретических экспериментов в автоматизированных зерносушилках. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности процесса сушки зерна за счет автоматизации управления технологическим процессом, а также современными требованиями к качеству обработки зерновых.*

***Ключевые слова:** автоматизированные зерносушилки, энергоэффективность, алгоритмы управления, конвективная сушка.*

DEVELOPMENT OF A CONTROL ALGORITHM FOR AN AUTOMATED GRAIN DRYER

D. I. Lygin, L. S. Shpindler

Scientific advisor – E. A. Chetverikov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The article proposes an algorithm for controlling the grain drying process using a convective heat flow, which can be used for conducting theoretical experiments in automated grain dryers. The relevance of this work is due to the need to improve the efficiency of the grain drying process by automating the control of the technological process, as well as the current requirements for the quality of grain processing.*

***Keywords:** automated grain dryers, energy efficiency, control algorithms, convective drying.*

Система автоматического управления зерносушильными комплексами – это важный элемент процесса сбора и хранения урожая сельскохозяйственных культур [1-3]. Она предназначена для контроля и регулирования процесса сушки зерна, чтобы предотвратить его порчу и сохранить качество. Система автоматически отслеживает температуру, влажность и скорость потока воздуха, чтобы создать оптимальные условия для сушки зерна (рисунок 1). В зерносушилках происходит удаление лишней влаги из зерна, чтобы сохранить его качество и предотвратить развитие плесени.

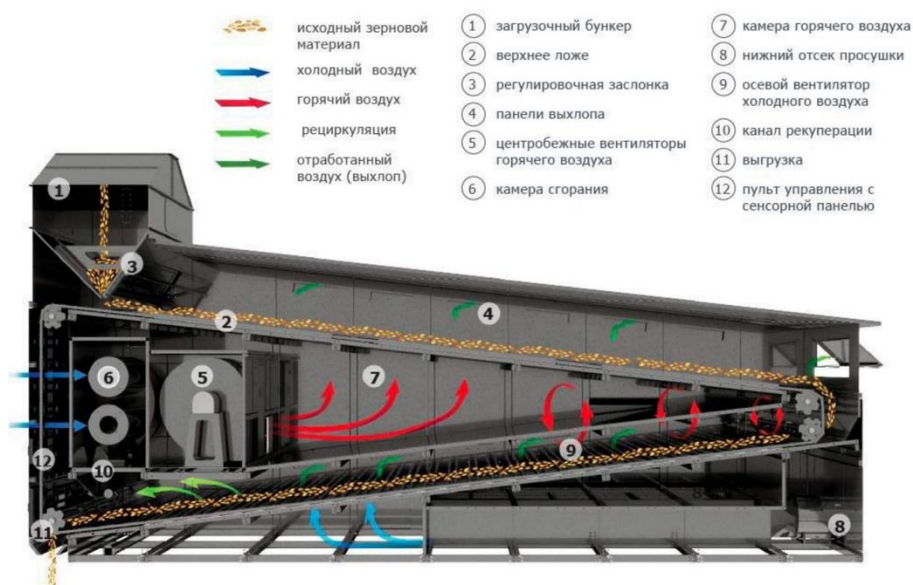


Рисунок 1 – Технологическая схема работы сушилки

Процесс сушки зерна включает несколько этапов:

1. Подготовка зерна. Зерно очищается от примесей, таких как солома, пыль и другие нежелательные элементы.

2. Загрузка зерна. Зерно загружается в зерносушилку с помощью конвейера или другого механизма для перемещения зерна внутри сушилки.

3. Стимуляция зерна с помощью малых доз СВЧ энергии [4-6]. На этом этапе создается необходимый градиент влажности, позволяющий избегать пере-сушивания внешних слоев зерна и снизить общую энергоемкость процесса сушки.

4. Сушка зерна. Зерно подвергается процессу сушки, в результате которого его влажность снижается до необходимого уровня. Для этого зерно перемещается из одной зоны в другую, где контролируются температура и влажность.

5. Выгрузка зерна.

После того как зерно достигает нужного уровня влажности, оно выгружается из сушилки с помощью конвейера или другого механизма. В системе автоматического управления зерносушилки учитываются различные факторы.

Для того, чтобы отслеживать и контролировать работу оборудования, а также снижать экономические и технологические затраты, необходимо развивать системы автоматизации в направлении дистанционного управления непосредственно с места производства. Это позволит оперативно реагировать на различные условия и связанные с ними факторы.

Изначально необходима функциональная схема управления процессом сушки зерна (рисунок 2). Ее составим на основании основных параметров входов и выходов, а также объекта управления. Уравнения через MATLAB имеет следующий вид [7, 8]:

$$T(V) = \frac{pT_0 e^{-p\tau_1} + T_0 - e^{-p\tau_1} T_0}{p} \quad (1)$$

где $\tau_1 = d_{пр}/3600V$ – время задержки в одном зерновом слое при скорости агента сушки V .

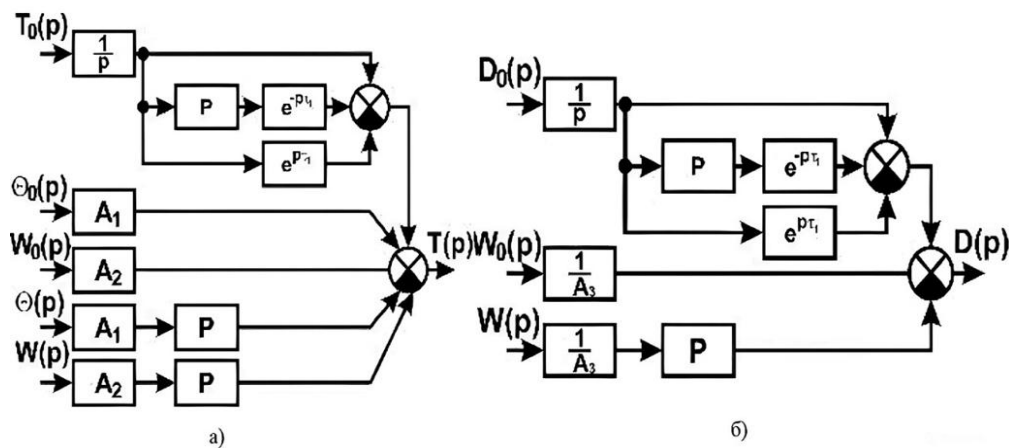


Рисунок 2 – Функциональная схема: а) зависимость температуры от параметров зерна и воздуха; б) зависимости влагосодержания на выходе зернового слоя от входных параметров

Из этого следует уравнение, описывающее зависимость температуры теплоносителя на выходе из слоя $T(z)$ от начальных данных, включающих температуру воздуха $T_0(z)$, температуру зерна $\theta_0(z)$ и его влажность $W_0(z)$:

$$T(z) = T_0 \frac{1}{p} (1 + pe^{-p\tau_1} - e^{-p\tau_1}) - A_1 \theta(z)p + A_1 \theta_0 - A_2 W(z)p + A_2 W_0 \quad (2)$$

Математическое выражение, описывающее связь между влагосодержанием теплоносителя на выходе из слоя $D(z)$ и влагосодержанием на входе в слой D_0 , начальной влажностью W_0 и текущей влажностью зерна $W(z)$, выглядит следующим образом:

$$D(z) = D_0 \frac{1}{p} (1 + pe^{-p\tau_1} - e^{-p\tau_1}) - \frac{1}{A_3} W(z)p + \frac{1}{A_3} W_0 \quad (3)$$

С постоянной времени T_1 , уравнение (3) будет представлено как:

$$\theta(z) = \frac{1}{T_1 p + 1} (\theta_0 - T(z)) + \theta_0 + W_0 A_1 + W(z)p A_1 + Q_v \frac{1}{p} A_2 \quad (4)$$

$$A_1 = \frac{r'}{c_3 \varepsilon}; A_2 = \frac{1}{c_3 \rho_3}.$$

Система выполняет расчет тепло-влагообмена в слое зерна при конвективном обдуве:

$$W(z) = \frac{k}{p+K} W_3, \quad (5)$$

где $K = 7,1 * 10^{-2} e^{0,05T}$.

В моделировании использован ступенчатый метод и представлен в виде типовых блоков автоматики [9-11]. Обобщенный алгоритм функционирования представлен на рисунке 3.

Для установки выполняется ввод параметров культуры выбранного вида, выбор режима работы и критериев работы оборудования. Затем запускается программа, соответствующая указанным параметрам, с возможностью настройки. При выполнении программы «выгрузка» вентиляция слоя. При работе подпрограммы «сушка» происходит подстройка скорости устройства загрузки, определение мощности ТЭНа и скорости блока воздухоподачи.

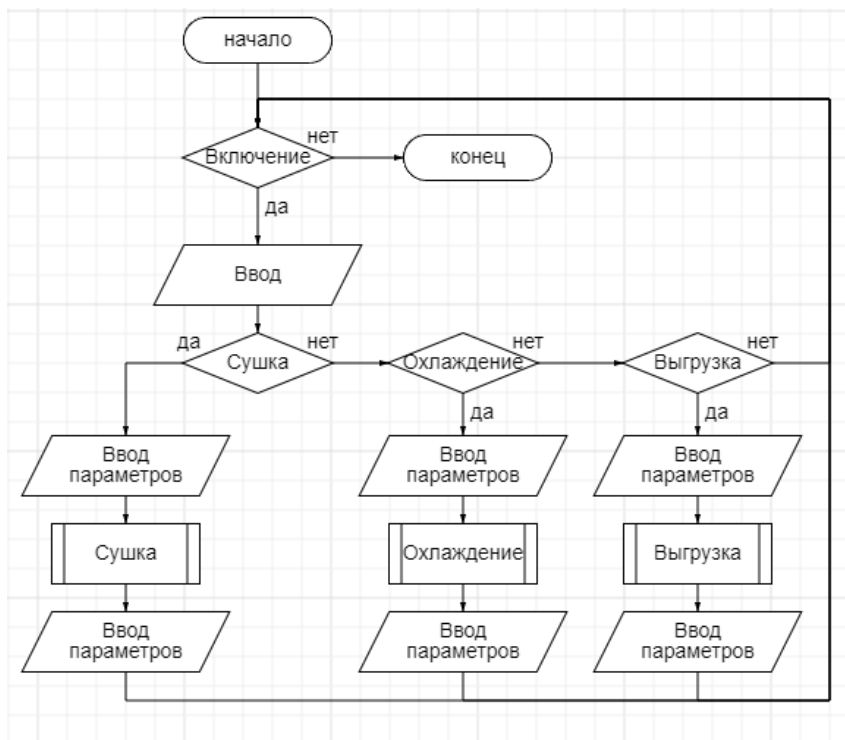


Рисунок 3 – Обобщенный алгоритм функционирования

Ввиду защиты информации и прав на программное обеспечение на рисунке 4 представлен строчный код, созданный по алгоритму рисунка 3. Учитывает все этапы функционирования схемы автоматизированного управления процессом сушки на установках конвейерного типа производительностью 50 т/ч.

```

graph TD
    subgraph Operator_HMI
        A[Оператор / HMI] --> B[Задание параметров];
        B --> C;
        C --> A;
    end
    subgraph Control_System
        C[Система Управления] --> G[Регулятор скорости конвейера];
        G --> H[Регулятор мощности горелки/нагревателя];
        H --> C;
    end
    subgraph Grain_Dryer_Process
        D[Зерносушилка Конвейерная] --> E[Датчик Влажности];
        E --> C;
        C --> D;
        D --> F[Датчик Температуры Агента Сушки];
        F --> C;
        C --> D;
        D --> I[Датчик Влажности на Выходе];
        I --> C;
        C --> D;
        D --> J[Датчик Температуры Зерна на Выходе];
        J --> C;
        C --> D;
        D --> A;
    end
    subgraph Environmental_Sensors
        K[Датчик Температуры Окр. Среды] --> C;
        L[Датчик Влажности Окр. Среды] --> C;
    end
    subgraph Management_Algorithm
        C --> 1[1. Мониторинг входных данных];
        1 --> C;
        C --> 2[2. Сравнение (Текущая Влажность/Температура vs. Целевая/Максимальная)];
        2 --> C;
        C --> 3[3. Расчет коррекции (скорость, температура)];
        3 --> C;
        C --> 4[4. Выдача команд (актуаторам)];
        4 --> G;
        G --> C;
        C --> 5[5. Постоянный цикл обратной связи];
        5 --> C;
    end

```

Рисунок 4 – Строчный код управления конвейерной зерносушилкой производительностью 50 т/ч

Результаты испытаний отдельных моделей и модели зерносушилки комбинированного типа в целом подтверждают, что она может служить адекватной моделью объекта управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Четвериков, Е. А. Обоснование параметров сушки зерна микроволновым полем / Е. А. Четвериков, А. Е. Шестаев // Актуальные проблемы энергетики АПК: Материалы IX Международной научно-практической конференции. – Саратов, 2018. С. – 29-30.

2. Авторское свидетельство № 1232157 А1 СССР, МПК А01С 1/00. Установка для СВЧ-обработки : № 3828665 : заявл. 05.11.1984 : опубл. 23.05.1986 / И. Ф. Бородин, Г. А. Шарков, С. А. Андреев ; заявитель Московский Ордена Трудового Красного Знамени Институт инженеров сельскохозяйственного производства имени В. П. Горячкина.

3. Improving the efficiency of convective grain drying by using low-intensity RF radiation / A. V. Volgin, V. A. Kargin, E. A. Chetverikov, A. P. Moiseev, L. A. Lagina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – No. 954(1). – Pp. 012017.

4. Power electromagnetic strike machine for engineering geological surveys / K. M. Usanov, A. V. Volgin, E. A. Chetverikov, V. A. Kargin, A. P. Moiseev, Z. I. Ivanova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – No. 87. – Pp. 032049.

5. Интенсификация сушки растительного материала за счет использования инфракрасного излучения / Л. А. Лягина, А. В. Волгин, Е. А. Четвериков, Н. Н. Белова, А. П. Моисеев // Известия Международной академии аграрного образования. – 2019. – № 44.

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. Математическая модель процесса комбинированной сушки товарного зерна в установках конвейерного типа / Е. А. Четвериков, К. М. Усанов, А. В. Волгин [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 12. – С. 171-176.

8. Четвериков, Е. А. Электродинамические и тепловые свойства СВЧ нагревательных установок стационарного типа при различных способах возбуждения электромагнитного поля в рабочей камере / Е. А. Четвериков, К. В. Асеев // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы VII международной научно-практической конференции, Саратов, 18 апреля 2016 года. – Саратов : ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2016. – С. 248-250.

9. Четвериков, Е. А. Методика выбора конструкции рабочих камер установок СВЧ сушки сельскохозяйственной продукции / Е. А. Четвериков, А. А. Полудин // Актуальные проблемы энергетики АПК : Материалы X национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 22 апреля 2019 года. – Саратов : ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2019. – С. 253-256.

10. Работоспособность технических систем : Учебник для ВУЗов по изучению дисциплины / С. К. Тойгамбаев, О. Н. Дидманидзе, А. С. Апатенко [и др.]. – М. : Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева, 2022. – 379 с.

11. Газалов, В. С. Электротехнология : учебное пособие / В. С. Газалов, В. Н. Беленов. – зерноград : Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г. зернограде, 2016. – 197 с.

Об авторах

Лыгин Дмитрий Игоревич, магистрант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49).

Шпндлер Людмила Сергеевна, студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), lyuda.shpindler@yandex.ru.

Научный руководитель – Четвериков Евгений Александрович, доцент кафедры автоматизации и роботизации имени академика И. Ф. Бородина, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук, доцент, e.chetverikov@rgau-msha.ru.

About the authors:

Dmitry I. Lygin, master's student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).

Lyudmila S. Shpindler, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), lyuda.shpindler@yandex.ru.

Scientific advisor – Evgeny A. Chetverikov, Associate Professor of the I. F. Borodin Department of Automation and Robotics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e.chetverikov@rgau-msha.ru.

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ ДЛЯ ИТ-СПЕЦИАЛИСТА: ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ О «ЖЕЛЕЗЕ»

А. А. Сердюк, Н. А. Ямщиков

Научный руководитель – Н. А. Стушкина

ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** Показана практическая значимость физических основ электротехники и электроники для ИТ-специалистов. Проанализирована прямая связь между законом Ома, рассеиваемой мощностью и тепловым троттлингом процессоров. Рассмотрены принципы работы полупроводниковых компонентов как физического базиса двоичной логики. Выявлено влияние архитектурных решений – иерархии памяти и сетей на кристалле – на производительность многопоточных приложений. Сделан вывод, что понимание этих взаимосвязей является ключевым фактором для создания энергоэффективного, надежного и оптимизированного программного обеспечения.*

***Ключевые слова:** электротехника, энергопотребление, тепловыделение, МОП-транзистор, КМОП-технология, тактовая частота, троттлинг, иерархия памяти, кэш-память, сеть на кристалле, производительность, оптимизация кода.*

FUNDAMENTALS OF ELECTRICAL ENGINEERING FOR AN IT SPECIALIST: WHAT YOU NEED TO KNOW ABOUT HARDWARE

A. A. Serdyuk, N. A. Yamshchikov

Scientific advisor – N. A. Stushkina

Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The practical significance of the physical foundations of electrical engineering and electronics for IT specialists is shown. The direct relationship between Ohm's law, power dissipation, and thermal throttling of processors is analyzed. The principles of operation of semiconductor components as the physical basis of binary logic are considered. The influence of architectural solutions – hierarchies of memory and on-chip networks – on the performance of multi-threaded applications is revealed. It is concluded that understanding these relationships is a key factor for creating energy-efficient, reliable, and optimized software.*

***Keywords:** electrical engineering, power consumption, heat dissipation, MOSFET, CMOS technology, clock frequency, throttling, memory hierarchy, cache memory, network on chip, performance, code optimization.*

Для IT-специалиста ключевое значение имеет понимание электрической мощности [1]:

$$P = V \times I$$

Рассеиваемая на компоненте мощность численно равна количеству тепла, которое необходимо отводить. Закон Ома и производные формулы [1]:

$$P = I^2 \times R, P = V^2 / R$$

объясняют, почему для сохранения стабильности сигналов при повышении тактовой частоты часто требуется увеличение рабочего напряжения, приводящее к нелинейному скачку энергопотребления и тепловыделения [2]. Именно это физическое ограничение делает эффективное охлаждение критическим для стабильной работы серверного оборудования под нагрузкой и напрямую определяет эксплуатационные затраты на электропитание и охлаждение в дата-центре.

Микросхемы работают на стабильном постоянном токе низкого напряжения, в то время как электросеть поставляет переменный ток. Преобразование осуществляется современными импульсными блоками питания (БП), которые сначала выпрямляют переменный ток, а затем с высокой эффективностью (КПД > 90 %) преобразуют его в стабильное постоянное напряжение требуемого уровня. Качество этого преобразования напрямую влияет на энергоэффективность, тепловой режим и общую надёжность вычислительных систем в дата-центре.

Физически цифровые «0» и «1» представляют собой аналоговые уровни напряжения. На гигагерцевых частотах линии передачи данных на материнской плате или в процессоре ведут себя как высокочастотные линии, где важную роль играет согласование волнового сопротивления. Несогласованность приводит к отражениям сигнала, его искажению и, как следствие, к ошибкам. Именно поэтому при проектировании высокоскоростной шины памяти, например DDR5, инженеры уделяют внимание не только длине, но и строгой синхронизации длины всех сигнальных линий в группе, чтобы избежать временного рассогласования.

Управляемая проводимость полупроводников лежит в основе всей микроэлектроники [3]. Процесс легирования создаёт области с разным типом проводимости (р-тип и n-тип). Хотя на их границе (р-n переходе) строятся базовые элементы вроде диодов, фундаментом современной цифровой логики стал другой принцип – полевой эффект, реализованный в МОП-транзисторах.

МОП-транзистор (металл-оксид-полупроводник) – это управляемый электронный ключ, основа современных процессоров [4]. Напряжение на управляющем электроде создаёт электрическое поле, которое индуцирует или разрушает проводящий канал между истоком и стоком, включая или выключая ток. Именно это дискретное состояние «включен/выключен» является физическим представлением бита информации (1/0). Миллиарды таких транзисторов, интегрированных на одном кристалле, формируют процессор.

Современные процессоры построены на комплементарной МОП-технологии, где логические элементы состоят из пар n-МОП и р-МОП транзисторов [5]. Эта архитектура обеспечивает высокую помехоустойчивость и практически нулевое энергопотребление в статическом состоянии, когда выход схемы стабилен.

Основной расход энергии происходит динамически по двум причинам: при перезаряде паразитных ёмкостей и из-за возникновения сквозного тока в краткий момент переключения, когда оба транзистора частично открыты. Именно динамические потери определяют зависимость мощности от частоты и напряжения, что легло в основу алгоритмов энергосбережения, таких как динамическое управление частотой и напряжением.

Тактовая частота, генерируемая на основе стабильного кварцевого резонатора [6] и умножаемая системами ФАПЧ [7], задаёт ритм работы синхронных цепей процессора. Исторический рост частоты как способ повышения производительности упёрся в физические пределы [8]:

1. Тепловой барьер: Мощность рассеяния растёт пропорционально частоте и квадрату напряжения. Дальнейшее увеличение частоты ведёт к непропорциональному скачку тепловыделения, с которым не справляются системы охлаждения, что вызывает защитное снижение частоты – троттлинг.

2. Задержки распространения: за время одного такта электрический сигнал должен успеть пройти по цепочкам транзисторов. На гигагерцевых частотах длительность такта становится сравнимой с этим временем, что резко снижает полезную отдачу от дальнейшего роста частоты, так как значительная часть такта будет тратиться на преодоление этих задержек.

Для борьбы с задержками доступа к данным процессор использует иерархию памяти [9], каждый уровень которой представляет собой компромисс между скоростью, объёмом и стоимостью:

- Регистры и кэш (SRAM): находятся на кристалле процессора. Сверхбыстрые, но малого объёма.
- ОЗУ (DRAM): Отдельные модули. На порядок медленнее кэша, но значительно больше по объёму.

Для программиста важно знать про промах кэша, когда нужных данных нет в быстром кэше и приходится идти в медленную ОЗУ, что может увеличить время доступа в сотни раз. Написание «кэш-дружелюбного» кода, который работает с данными, расположенными последовательно в памяти, и многократно использует одни и те же данные после загрузки в кэш, эффективно используя блоки данных размером с кэш-линию, обычно 64 байта.

Эффективная коммуникация между десятками ядер, кэшами и контроллерами в современном процессоре – нетривиальная задача. Устаревшая шинная архитектура с общей магистралью стала «узким местом» [10]. Ей на смену пришли сети на кристалл – внутренняя микросеть с пакетной маршрутизацией, аналогичная принципам построения интернета [11]. Для IT-специалиста это означает, что производительность многонитового приложения зависит не только от количества ядер, но и от эффективности их взаимодействия через сеть на кристалле. Плохо спроектированная многопоточность, порождающая интенсивный обмен данными между ядрами, может столкнуться с задержками и конфликтами в этой внутренней сети, сводя на нет преимущества параллелизма.

Как применить рассмотренные физические принципы на практике? Ниже представлен анализ типичной проблемы, возникающей при развёртывании и эксплуатации ИТ-инфраструктуры, для корректного решения которых необходимо применение рассмотренных ранее физических закономерностей.

Задача: Анализ причин деградации производительности (троттлинга). На сервере под 100 % нагрузкой наблюдается снижение частоты процессоров с 3,5 ГГц до 2,8 ГГц. Известно:

- TDP каждого из двух процессоров: 150 Вт;
- Температура в стойке: +32°C;
- $T_{j\text{макс}}$ процессора: 100°C – температура перехода;
- $R_{\text{пт}}$ системы охлаждения: 0,35 °C/Вт (для входящего воздуха +25°C) – полное тепловое сопротивление системы.

Решение:

1. Расчёт тепловой мощности и перегрева:

a. $P_{\text{общ}} = 2 \times 150 \text{ Вт} = 300 \text{ Вт}$;

b. $\Delta T = P_{\text{общ}} \times R_{\text{пт}} = 300 \times 0,35 = 105 \text{ °C}$.

2. Оценка температуры кристалла (T_j):

a. При расчётной температуре (+25°C): $T_j = 25 + 105 = 130\text{°C}$ (превышает $T_{j\text{макс}}$);

b. При фактической температуре (+32°C): $T_j = 32 + 105 = 137\text{°C}$ (критическое превышение).

Вывод:

Троттлинг – защитная реакция на перегрев. Система охлаждения не справляется с суммарным тепловыделением двух процессоров в условиях повышенной температуры в стойке.

Рекомендации для ИТ-специалиста:

1. Аппаратные решения: замена кулеров, улучшение вентиляции;

2. Программно-конфигурационные:

a. Power Capping: Ограничение максимальной мощности процессора через BIOS/crpower;

b. Управление нагрузкой: Оптимизация расписания задач для снижения пикового тепловыделения;

c. Контроль обдува: Увеличение скорости вентиляторов через IPMI/BMC;

d. Оптимизация кода: Снижение вычислительной сложности критичных участков.

Понимание тепловых расчётов позволяет решать проблемы производительности на уровне ПО и конфигурации, минимизируя необходимость в аппаратных изменениях.

Теоретические основы электротехники и микроэлектроники служат фундаментом для всех высокоуровневых ИТ-абстракций. Для специалиста это знание преобразуется в практические навыки: прогнозирование теплового троттлинга, проектирование энергоэффективных архитектур, написание кода с учётом иерархии памяти и оценка производительности многоядерных систем с учётом ограничения сетей на кристалле. Таким образом, при проектировании высоко-

нагруженных систем и оптимизации кода необходимо учитывать не только логику алгоритмов, но и физико-архитектурные ограничения аппаратного обеспечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соболев, А. В. Теоретические основы электротехники / А. В. Соболев, В. И. Загинайлов, А. А. Цедяков. – М. : РГАУ – МСХА, 2022. – 164 с.
2. Пахомов, С. Эра многоядерных энергоэффективных процессоров [Электронный ресурс] // КомпьютерПресс. – 2006. – № 10. – Режим доступа: <https://compress.ru/article.aspx?id=16962> (дата обращения: 28.10.2025).
3. Как работает МОП-транзистор: ключевые принципы и отличия от других типов транзисторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.zip-2002.ru/articles/kak_rabotaet_mosfet-tranzistor_klyuchevyie_printsiyu_i_otlichiya_ot_drugih_tipov_tranzistorov/ (дата обращения: 09.11.2025).
4. Что такое полупроводник: принцип работы и применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dip8.ru/articles/chto-takoe-poluprovodnik/> (дата обращения: 11.11.2025).
5. Андреев, С. А. Аккумуляция энергии в маломощных гелиосистемах автономного электроснабжения / С. А. Андреев, В. И. Загинайлов, Д. В. Шибаров // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 5(81). – С. 70-76.
6. Кварцевый резонатор: устройство, принцип работы и применение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ruselectronic.com/kvartsevuj-rezonator/> (дата обращения: 19.11.2025).
7. Система фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elektrolife.ru/teoriya/fazovaja-avtopodstrojka/> (дата обращения: 19.11.2025).
8. Пределы электроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elementy.ru/time/pico/pico-4.html> (дата обращения: 28.11.2025).
9. Структура и иерархия памяти ЭВМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://citforum.ru/hardware/svk/glava_8.shtml (дата обращения: 28.11.2025).
10. Шинная архитектура ЭВМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rudesignshop.ru/blog/shinnaya-arhitektura-evm/> (дата обращения: 01.12.2025).
11. Лештаев, О. В. Анализ показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения с сетевыми солнечными электростанциями малой мощности / О. В. Лештаев, Н. А. Стушкина, В. И. Загинайлов // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 5. – С. 48-53. – DOI 10.34286/1995-4646-2021-80-5-48-53.

Об авторах:

Сердюк Александр Александрович, студент, ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (111024, Российская Федерация, Москва, улица Авиамоторная, 8А), 0alexser0@gmail.com.

Ямщиков Никита Алексеевич, студент, ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (111024, Российская Федерация, Москва, улица Авиамоторная, 8А), n.a.yamshikov@edu.mtuci.ru.

Научный руководитель – Стушкина Наталья Алексеевна, доцент кафедры теории электрических цепей, ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (111024, Российская Федерация, Москва, улица Авиамоторная, 8А), кандидат технических наук, доцент, energo-stushkina@mail.ru.

About the authors:

Aleksander A. Serdyuk, student, Moscow Technical University of Communications and Informatics (111024, Russian Federation, Moscow, Aviamotornaya Street, 8A), 0alexser0@gmail.com.

Nikita A. Yamshchikov, student, Moscow Technical University of Communications and Informatics (111024, Russian Federation, Moscow, Aviamotornaya Street, 8A), n.a.yamshikov@edu.mtuci.ru.

Scientific advisor – Natalia A. Stushkina, associate professor of electrical circuit theory department, Moscow Technical University of Communications and Informatics (111024, Russian Federation, Moscow, Aviamotornaya Street, 8A), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, energo-stushkina@mail.ru.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ В АПК

Е. А. Овсянникова, А. В. Черниченко, А. Г. Степанова

ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье произведен анализ и представлены преимущества использования машинного зрения для автоматизации процессов сортировки и упаковки сельскохозяйственной продукции. Проведен сравнительный анализ современных технологий, включая методы обработки изображений (OpenCV, нейросетевые модели YOLO и ResNet) и типы роботизированных систем (манипуляторы, конвейерные линии). На основании изученного материала, сделан вывод, что автоматизация процессов сортировки позволяет снизить трудозатраты на 40...60 % и минимизировать потери продукции за счет раннего выявления дефектов.

Ключевые слова: машинное зрение, автоматизация, зрение, сортировка сельхозпродукции, манипуляторы, нейросетевые возможности.

THE USE OF MACHINE VISION IN AGRICULTURE

E. A. Ovsyannikova, A. V. Chernichenko, A. G. Stepanova

Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article analyzes and presents the advantages of using machine vision to automate the processes of sorting and packaging agricultural products. A comparative analysis of modern technologies is carried out, including image processing methods (OpenCV, neural network models YOLO and ResNet) and types of robotic systems (manipulators, conveyor lines). Based on the studied material, it is concluded that automation of sorting processes can reduce labor costs by 40...60 % and minimize product losses due to early detection of defects.

Keywords: machine vision, automation, vision, sorting of agricultural products, manipulators, neural network capabilities.

В условиях растущего населения и увеличения спроса на качественную сельскохозяйственную продукцию повышение эффективности производства становится критически важной задачей [6]. Сельское хозяйство является одной из важнейших отраслей экономики, обеспечивающей население продовольствием. Традиционные методы сортировки и упаковки сельскохозяйственной продукции, как правило, трудоемки, требуют значительных затрат ручного труда и подвержены человеческому фактору, что приводит к снижению производительности и увеличению потерь продукции. Так, по данным Ассоциации производителей

плодов и овощей (2024), до 18 % урожая томатов в РФ бракуется из-за ошибок при отбраковке.

Современные технологии, такие как робототехника и машинное зрение, открывают новые возможности для автоматизации процессов постурожайной обработки сельскохозяйственной продукции.

Роботизированные системы способны анализировать до 200 объектов в минуту с точностью свыше 95 %, минимизируя влияние человеческого фактора и сокращая потери продукции. Внедрение таких решений не только повышает эффективность производства, но и снижает себестоимость конечного продукта, что особенно актуально в условиях глобальной конкуренции на агропродовольственных рынках [1, 2].

Условия и методы

В данной работе проведен аналитический обзор современных роботизированных систем и технологий компьютерного зрения, применяемых в сортировке и упаковке сельскохозяйственной продукции. Исследование базируется на анализе научных публикаций, патентных данных, технической документации производителей робототехники и кейсов внедрения автоматизированных решений в агропромышленном секторе.

Для достижения поставленных целей использовались следующие категории данных:

- Научные публикации (Scopus, Web of Science, Springer, IEEE Xplore) – анализ последних исследований в области машинного обучения, робототехники и агротехнологий.
- Открытые отчеты и статистика (FAO, Министерство сельского хозяйства РФ, отраслевые ассоциации) – оценка масштабов потерь продукции и экономической эффективности автоматизации.
- Технические спецификации производителей робототехники (Fanuc, ABB, KUKA, Soft Robotics) – сравнение характеристик промышленных решений.
- Кейсы внедрения – изучение успешных примеров использования роботизированных систем в сельском хозяйстве (например, автоматизированные линии сортировки фруктов в ЕС).

Методы анализа

Для систематизации информации применялись следующие подходы:

- Сравнительный анализ – сопоставление различных технологий компьютерного зрения (CNN, YOLO, трансформеры) по точности, скорости обработки и адаптивности к разным типам сельхозпродукции [3].

Результаты сравнения современных решений представлены в таблице 1.

Классификация роботизированных систем производится по следующим критериям:

- разделение на категории по типу захвата (вакуумные, мягкие грипперы, пневматические);
- степень автономности;
- интеграция с производственными линиями.

- SWOT-анализ – выявление сильных и слабых сторон автоматизации в сельском хозяйстве, возможностей и угроз для массового внедрения.
- Экономическая оценка – расчет ROI (окупаемости инвестиций) на основе данных о стоимости внедрения, снижении потерь и повышении производительности.

Таблица 1 – Сравнение ТОП-5 роботизированных систем для сортировки томатов

Система / Производитель	Технология	Точность (%)	Скорость (плодов/мин)	Цена (€ тыс.)	Применяемый алгоритм
TOMRA 5A (Норвегия)	Оптическая сортировка	98.5	220	350–400	YOLOv5 + спектральный анализ
Greefa Helix (Нидерланды)	3D-сканирование	97.8	180	300–350	CNN + RGB-D камеры
Unitec Smile (Италия)	Мультиспектральная съемка	96.2	200	250–300	ResNet-50
«Садтех-Робот» (РФ)	Гибридное зрение	94.0	150	120–180	MobileNetV3
Elifant ML (Израиль)	ИИ + ИК-сенсоры	99.0	190	400–450	Vision Transformer

При анализе робототехнических решений учитывались следующие параметры:

- Точность распознавания (≥ 95 % для минимизации брака);
- Скорость обработки (количество объектов в минуту);
- Адаптивность к вариациям формы, размера и цвета продукции;
- Надежность в условиях пыли, влажности и других факторов агропроизводства.

Анализ данных показал, что внедрение робототехники с компьютерным зрением позволяет достичь точности сортировки 95...99 % в зависимости от типа продукции (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение технологий компьютерного зрения для сортировки

Алгоритм	Точность (%)	Скорость (объектов/мин)	Применение
YOLOv7	96,5	200	Томаты, яблоки
Mask R-CNN	98,2	150	Нежные фрукты (персики)
ResNet-50	94,8	180	Картофель, морковь

Например, для помидоров системы на базе алгоритмов YOLOv7 и Mask R-CNN демонстрируют точность распознавания дефектов до 97 % при скорости обработки 160...200 плодов/минуту, что в 3...4 раза превышает производительность ручного труда [4].

Перспективы развития:

1. Развитие edge-компьютинга – внедрение легких моделей (например, MobileNet) для работы на маломощных устройствах.
2. Использование мультиспектральных камер – повышение точности детекции болезней растений.
3. Кооперация фермеров – создание shared-робототехники для снижения затрат (по модели AgriBot в Германии).
4. Необходимость интеграции образовательных учреждения и предприятий АПК, для подготовки специалистов, владеющих необходимыми навыками работы на современном оборудовании [5].

Выводы:

1. Алгоритмы на основе трансформеров (ViT) показывают высочайшую точность (> 98 %), но требуют значительных вычислительных ресурсов. Для массового применения оптимальны гибридные системы (YOLO + CNN), сочетающие скорость и точность;
2. Снижение потерь продукции [5, 6];
3. Экономическая эффективность: SWOT-анализ выявил, что основным барьером внедрения остается высокая стоимость, однако расчет ROI показал, что окупаемость достигается за 2...3 года благодаря: сокращению затрат на ручной труд (до 40 % экономии); увеличению выручки за счет продажи продукции премиум-класса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидорова, Е. Л. Применение нейросетевых алгоритмов для сортировки плодоовощной продукции / Е. Л. Сидорова, В. М. Данилов // Вестник БГСХА. – 2023. – № 1. – С. 45-52.
2. Трухачев, В. И. Какие сельскохозяйственные тракторы нужны завтра России? / В. И. Трухачев, О. Н. Дидманидзе, С. Н. Девянин // Чтения академика В. Н. Болтинского : сборник статей, Москва, 22-24 января 2020 года. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Мегаполис», 2020. – С. 11-19.
3. Раднаев, Д. Н. Автоматизация постурожайной обработки сельхозпродукции с использованием компьютерного зрения / Д. Н. Раднаев, С. С. Калашников // Инновации в АПК. – 2022. – № 4. – С. 78-85.
4. Росстат. Внедрение робототехники в сельском хозяйстве РФ (2020–2024). – Москва, 2024. – 156 с.
5. Форсайт-образование. Университет 4.0 / Л. И. Хоружий, О. Г. Каратаева, Е. А. Яшина [и др.]. – М. : Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 562 с. – ISBN 978-5-4497-2011-5.

6. Селезнева, Д. М. Исследования эффективности обеспыливания воздуха комбинированным электрофильтром / Д. М. Селезнева // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов в 9 ч., Новосибирск, 30 ноября – 04 декабря 2020 года. Часть 5. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. – С. 61-64.

7. Иванов, Ю. Г. Автоматизированная система управления электроприводом местной вентиляции коровника с управляемым вектором потока воздуха / Ю. Г. Иванов, В. И. Загинайлов, Д. А. Понизовкин // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 4(25). – С. 34-40.

Об авторах

Овсянникова Елена Александровна, старший преподаватель кафедры теории электрических цепей, ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (111024, Российская Федерация, Москва, улица Авиамоторная, 8А), energo-ovs@mail.ru.

Черниченко Ангелина Витальевна, доцент кафедры теории электрических цепей, ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (111024, Российская Федерация, Москва, улица Авиамоторная, 8А), кандидат технических наук, a.v.chernichenko@mtuci.ru.

Степанова Анастасия Георгиевна, доцент кафедры теории электрических цепей, ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (111024, Российская Федерация, Москва, улица Авиамоторная, 8А), кандидат технических наук, a210104@mail.ru.

About the authors:

Elena A. Ovsyannikova, senior lecturer of electrical circuit theory department, Moscow Technical University of Communications and Informatics (111024, Russian Federation, Moscow, Aviamotornaya Street, 8A), energo-ovs@mail.ru.

Angelina V. Chernichenko, associate professor of electrical circuit theory department, Moscow Technical University of Communications and Informatics (111024, Russian Federation, Moscow, Aviamotornaya Street, 8A), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, a.v.chernichenko@mtuci.ru.

Anastasiya G. Stepanova, associate professor of electrical circuit theory department, Moscow Technical University of Communications and Informatics (111024, Russian Federation, Moscow, Aviamotornaya Street, 8A), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, a210104@mail.ru.

ХРАНЕНИЕ МЯСА И МЯСОПРОДУКТОВ С ПОМОЩЬЮ ОЗОНА

А. В. Елисеев¹, Е. А. Федоренко¹, Т. А. Нормова²

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

²ООО МИП «Электротехнологии», г. Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены преимущества озона для хранения мяса и мясопродуктов. Описан механизм действия озона как мощного окислителя, эффективно подавляющего гнилостные бактерии, плесень и патогены без токсичных остатков. Приведены примеры применения озонирования в холодильных камерах, при дезинфекции тары и оборудования для консервации, а также в сушильных камерах. Показано, что регулярная озонация увеличивает сроки хранения охлажденного мяса, рыбы и сыров в 1,5...2 раза и повышает микробиологическую стабильность продукции. Сделан вывод о перспективности озоновых технологий как экологичного и экономичного решения для мясной промышленности.

Ключевые слова: озон, хранение мяса, мясопродукты, озонирование холодильных камер, дезинфекция тары, консервация, сушка мясных продуктов, патогенные микроорганизмы, экологическая безопасность, продление сроков хранения.

STORING MEAT AND MEAT PRODUCTS WITH OZONE

A. V. Eliseev^a, E. A. Fedorenko^a, T. A. Normova^b

^aRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

^bLLC MIP «Electrotechnologies», Krasnodar Russian Federation

Abstract. The advantages of ozone for storing meat and meat products are discussed. The mechanism of action of ozone as a powerful oxidizer, effectively suppressing putrefactive bacteria, mold, and pathogens without leaving toxic residues, is described. Examples of ozonation applications in refrigeration chambers, for disinfecting containers and canning equipment, and in drying chambers are provided. Regular ozonation is shown to increase the shelf life of chilled meat, fish, and cheese by 1.5–2 times and improve the microbiological stability of products. A conclusion is made regarding the potential of ozone technologies as an environmentally friendly and cost-effective solution for the meat industry.

Keywords: ozone, meat storage, meat products, refrigeration chamber ozonation, container disinfection, canning, drying of meat products, pathogenic microorganisms, environmental safety, shelf-life extension.

В пищевой отрасли хранению готовой продукции и сырья уделяется особое внимание. Для обеспечения длительной сохранности пищевых продуктов применяются холодильные камеры, различные технологии консервирования, а также физические методы, направленные на замедление процессов порчи. Несмотря на высокую эффективность этих способов, они не всегда полностью решают проблему микробиологической чистоты. Технологические парадоксы, такие как избыточное развитие бактерий, плесени или недостаточная очистка поверхностей и воздуха, неизбежно приводят к ухудшению органолептических свойств, появлению посторонних запахов и снижению качества продукции. Современные методы хранения уже доказали свое удобство и надежность, однако для достижения максимальной сохранности требуются дополнительные инновационные решения, способные эффективно устранять патогены без вреда для продукта [6-9]. В этой связи особую актуальность приобретают экологически безопасные методы дезинфекции, которые позволяют уничтожать вредные микроорганизмы, не оставляя токсичных остатков и не изменяя вкусовые, питательные и товарные характеристики продукции. Одним из наиболее перспективных направлений является использование озона – мощного природного окислителя. Озон обладает высокой реакционной способностью благодаря своим окислительным свойствам, что позволяет применять его как для обработки складских и производственных помещений, так и непосредственно для воздействия на пищевые продукты. Важнейшее преимущество озона заключается в том, что после реакции он полностью распадается на обычный кислород, не образуя вредных соединений. Это делает его идеальным решением для длительного хранения не только мяса и мясопродуктов, но и зерна, овощей, фруктов, рыбы, сыров и других скоропортящихся товаров.

Озон особенно эффективно проявляет себя при использовании в холодильных камерах. В условиях низких температур и контролируемой влажности многие продукты со временем начинают издавать неприятные запахи из-за начавшихся процессов гниения и микробиологической активности. Даже при оптимальных параметрах хранения мясо, рыба, сыры и яйца постепенно теряют свежесть, цвет, текстуру и питательную ценность. Установка озонатора в холодильную камеру позволяет непрерывно или периодически обеззараживать воздух, существенно замедляя развитие гнилостных бактерий, плесени и дрожжей. Регулярная озонация (один-два раза в сутки по 2...3 часа) при концентрациях 5...20 мг/м³ обеспечивает уничтожение поверхностной микрофлоры и предотвращает перекрестное обсеменение. По результатам многочисленных исследований и практического опыта, мясо, рыба, сыры и яйца при такой обработке могут храниться примерно в 1,5...2 раза дольше по сравнению с традиционным охлаждением без потери качества [4, 5]. В некоторых случаях сроки хранения охлажденного мяса увеличиваются до 2...5 раз, при этом сохраняются сочность, нежность и естественный цвет продукта.

Озон приобретает особую ценность при предварительной обработке тары, оборудования и оснастки для консервации и фасовки. Перед упаковкой мясных продуктов требуется тщательная дезинфекция банок, крышек, конвейерных ли-

ний, разделочных столов и другого инвентаря. Традиционно для этого используются агрессивные химические моющие и дезинфицирующие средства, которые могут оставлять нежелательные остатки. Озон проникает в мельчайшие щели, уничтожает споры плесневых грибов, патогенные бактерии (включая *Salmonella*, кишечные палочки) и биопленки на поверхностях. Полное обеззараживание тары и оборудования существенно повышает микробиологическую стабильность консервированной и фасованной продукции, продлевает ее сроки годности и минимизирует риски порчи. Этот метод особенно востребован на предприятиях, производящих экологически чистые и органические мясные продукты, где применение синтетической химии строго ограничено или запрещено.

В процессе сушки мясных продуктов (вяленое мясо, мясные чипсы, сушеные колбасы) озон также играет ключевую роль в контроле микробиологической безопасности. Традиционная сушка, особенно естественная или при умеренных температурах, создает благоприятные условия для развития плесени, бактерий и дрожжей из-за длительного контакта с воздухом. Озонирование воздуха в сушильных камерах формирует стерильную среду, подавляя рост патогенов на всех этапах. Это не только значительно повышает безопасность готовой продукции, но и позволяет сохранить достаточное количество полезных веществ, витаминов и белков, поскольку исключает необходимость в чрезмерно высоких температурах или химической обработке для достижения требуемой микробиологической чистоты.

Озон, уже доказавший свою высокую эффективность, в современных технологиях хранения пищевой продукции, открывает широкие перспективы для дальнейшего развития мясной и пищевой индустрии в целом [1, 2, 3]. Универсальность этого газа – от периодической дезинфекции воздуха в загруженных холодильных камерах до глубокой обработки тары, оборудования и сушильных установок – позволяет интегрировать озоновые технологии в существующие производственные процессы без существенных капитальных вложений. Практическое применение озона демонстрирует устойчивую положительную динамику: увеличение сроков хранения, снижение потерь от порчи, улучшение органолептических показателей и экономический эффект за счет уменьшения использования химических дезинфектантов. Будущие исследования в области пищевых технологий, включая оптимизацию концентраций, режимов обработки и комбинированные методы (озон + вакуумная упаковка, озон + низкие температуры), несомненно, раскроют еще больше возможностей для безопасного и эффективного использования озона в хранении мяса и мясopодуктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов, П. А. Использование озона в птицеводческих хозяйствах для обеззараживания воздуха помещений / П. А. Попов // Ветеринария и санитария. – 2009. – № 3. – С. 57-62.
2. Применение процесса озонирования в сельском хозяйстве / И. В. Баскаков, В. И. Оробинский, А. П. Тарасенко [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3(50). – С. 120-126. – DOI

10.17238/issn2071-2243.2016.3.120.

3. Пуляев, Н. Н. Теоретические основы разработки технологий оперативного управления процессами / Н. Н. Пуляев. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Автограф», 2019. – 100 с.

4. Лалаян, А. С. Обеспечение аграрного производства озоновыми стерилизаторами и дезинфекторами [Электронный ресурс] / А. С. Лалаян. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-agrarnogo-proizvodstva-ozonovymi-sterilizatorami-i-dezinfektorami> (дата обращения: 27.01.2026).

5. Патент № 2181103 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Термоадаптивный блок озонатора: № 99121820/12: заявл. 19.10.1999: опубл. 10.04.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, В. А. Драгин, Т. А. Нормова [и др.] ; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

6. Патент № 2185319 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2001114848/12: заявл. 30.05.2001: опубл. 20.07.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, С. В. Вербицкая, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

7. Патент № 2253608 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор: № 2004111052/15: заявл. 12.04.2004: опубл. 10.06.2005 / Д. А. Нормов, А. В. Снитко, А. А. Шевченко, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский Государственный аграрный университет.

8. Патент № 2324342 С1 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с варроатозом пчел: № 2006128062/12: заявл. 01.08.2006: опубл. 20.05.2008 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, С. А. Николаенко, Т. А. Нормова; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».

9. Патент № 2237404 С2 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с аскосферозом (варианты): № 2002135255/12: заявл. 25.12.2002: опубл. 10.10.2004 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, И. А. Заболотная [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

Об авторах:

Елисеев Архип Витальевич, инженер, студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), royt369p@gmail.com.

Федоренко Евгений Александрович, доцент кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук, доцент, a.fedorenko@rgau-msha.ru

Нормова Татьяна Александровна, главный экономист, ООО МИП «Электротехнологии» (350044, Российская Федерация, Краснодарский край,

Краснодар, СНТ 1, Яблонева ул., д. 652), кандидат технических наук, доцент, tanormova@mail.ru.

About the authors:

Arkhip V. Eliseev, engineer, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya str., 49), poyt369p@gmail.com.

Evgeniy A. Fedorenko, Associate Professor at the Department of Power Supply and Thermal Engineering named after Academician I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya str., 49), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, a.fedorenko@rgau-msha.ru.

Tatyana A. Normova, Chief Economist, LLC MIP «Electrotechnologies» (350044, Russian Federation, Krasnodar Krai, Krasnodar, SNT-1, Yablonevaya St., Building 652), Candidate of Technical Sciences, associate professor, tanormova@mail.ru.

ТРАНСФОРМАТОРЫ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ИМПУЛЬСНОЙ ТЕХНИКЕ

Е. А. Овсянникова, А. В. Черниченко, А. Г. Степанова

ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье рассмотрены области применения трансформаторов их классификация, Описаны идеальная и реальная модели устройства, а также основные режимы его работы, такие как холостой ход, короткое замыкание и работа под нагрузкой. Представлена классификация трансформаторов по назначению, включая силовые, измерительные, изоляционные, автотрансформаторы и высокочастотные трансформаторы для импульсных источников питания. Проведен анализ появления основных видов потерь и вопросы электробезопасности при эксплуатации трансформаторов в системах электроснабжения и автоматизированных установках. В статье рассматривается применение трансформаторов в электроэнергетике, автоматике и цифровых устройствах.*

***Ключевые слова:** трансформатор, коэффициент трансформации, магнитопровод, режимы работы, высокочастотный трансформатор, импульсный источник питания.*

TRANSFORMERS IN POWER SUPPLY SYSTEMS AND PULSE TECHNOLOGY

E. A. Ovsyannikova, A. V. Chernichenko, A. G. Stepanova

Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** This article examines the application areas and classification of transformers. It describes ideal and real-world models of the device, as well as its main operating modes, such as no-load, short-circuit, and under-load operation. It also presents a classification of transformers by purpose, including power, instrument, insulation, autotransformers, and high-frequency transformers for switching power supplies. An analysis of the main types of losses and electrical safety issues associated with transformer operation in power supply systems and automated installations is provided. The article discusses the use of transformers in the electric power industry, automation, and digital devices.*

***Keywords:** transformer, transformation ratio, magnetic circuit, operating modes, high-frequency transformer, pulse power supply.*

В настоящее время невозможно представить не один производственный процесс без использования электрической энергии. Трансформатор является основным устройством в электротехнике и энергетике, предназначенный для изменения уровня переменного напряжения и тока, не меняя частоту, что помогает передавать электроэнергию на большие расстояния и питать потребителей различных категорий надежности [6]. В современных автоматизированных комплексах и системах управления трансформаторы применяются в силовых сетях и в качестве низковольтных источников питания для аппаратуры [3, 5, 7].

На рисунке 1 представлена схема идеального трансформатора. Первичная обмотка (число витков – N_1) подключена к источнику напряжения U_1 , через неё течёт ток I_1 . Во вторичной обмотке (число витков – N_2) из-за изменения магнитного потока возникает напряжение U_2 и течёт ток I_2 , направление которого, согласно закону Ленца, препятствует изменению потока. Если связь между обмотками идеальна, то весь магнитный поток проходит через обе обмотки. В этом случае соотношения между напряжениями и токами, указанные выше, полностью характеризуют работу трансформатора (рисунок 1) [1-3].

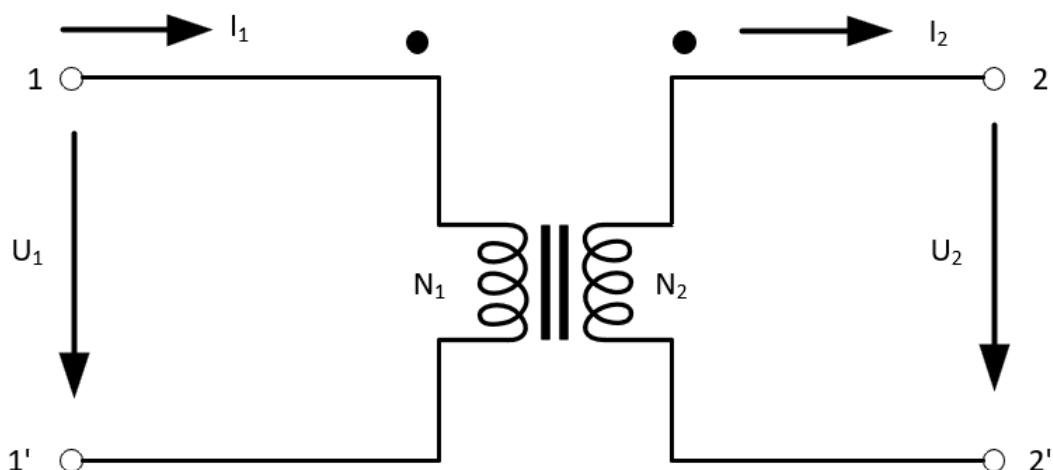


Рисунок 1 – Схема идеального трансформатора

В идеальном трансформаторе справедливо:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = k, \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = k, \quad P_1 = P_2 \text{ (без потерь) [1, 2].}$$

где k – коэффициент трансформации, N_1, N_2 – числа витков, I_1, I_2 – токи, P – мощность. Если $k > 1$ – трансформатор понижающий (напряжение уменьшается, ток во вторичной обмотке трансформатора больше). Если $k < 1$ – повышающий.

В реальном устройстве есть потери, поэтому $P_2 < P_1$ и КПД $\eta = P_2/P_1$ обычно составляет 95...99 % для силовых сетевых трансформаторов.

Классификация современных трансформаторов осуществляется по следующим признакам:

1. Понижающие и повышающие силовые трансформаторы. Используются в энергосистемах: генераторное напряжение повышают (например, до сотен кВ)

для передачи на дальние расстояния с малыми токами и потерями; у потребителя напряжение понижают до 6-10 кВ и далее до 230/400 В.

2. Изоляционные (развязочные) трансформаторы 1:1. Обеспечивают гальваническую развязку цепей: безопасность обслуживания, снижение помех, устранение петель заземления.

3. Автотрансформаторы. Имеют общую часть обмотки. Компактнее и эффективнее при небольшом диапазоне изменения напряжения (например, 220-110 В), но без гальванической развязки.

4. Измерительные трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН). Позволяют безопасно измерять большие токи и высокие напряжения, понижая их до стандартных значений (например, 5 А, 100 В) для приборов и релейной защиты.

5. Трёхфазные трансформаторы. Схемы соединений обмоток (Y, Δ, Y/Δ, Y/Y₀ и т.д.) влияют на фазовые сдвиги, наличие нулевого провода, подавление третьих гармоник. Применяются на подстанциях и в промышленности.

6. Высокочастотные (на феррите). В импульсных источниках питания (SMPS). При высокой частоте можно сильно уменьшить габариты и массу.

7. Специализированные. Сварочные (низкое напряжение, большой ток), строчные (в старых телевизорах), аудио-трансформаторы (согласование импеданса), импульсные трансформаторы в цифровых интерфейсах (Ethernet-магнетики).

К преимуществам трансформаторов можно отнести гибкое преобразование уровней напряжения и токов, высокий КПД (особенно у крупных силовых), возможность гальванической развязки и повышения электробезопасности, работа в широком диапазоне мощностей: от милливатт до сотен мегаватт [3, 4].

К недостаткам можно отнести работу только с переменным (или пульсирующим) током, рост массы и габаритов при низкой частоте, потери на сердечнике и меди, нагрев, из-за чего требуется охлаждение (естественное, масло, принудительный обдув)

Классический трансформатор имеет ряд недостатков, таких как - большие массогабаритные показатели; - необходимость следить за уровнем и качеством трансформаторного масла; - обычный трансформатор обеспечивает прямое преобразование без каких-либо изменений или улучшений [3, 4].

Высокочастотные трансформаторы работают на частотах от десятков до сотен килогерц, иногда выше. Благодаря высокой частоте они могут быть намного меньше, чем обычные трансформаторы на 50 Гц, и именно поэтому используются в импульсных блоках питания и современных электронных устройствах.

В таких трансформаторах применяют ферритовые сердечники, которые хорошо работают на высоких частотах и почти не нагреваются от вихревых токов. Количество витков в обмотках намного меньше, а конструкция специально подбирается так, чтобы уменьшить потери и ограничить паразитные емкости [5].

К особенностям высокочастотных трансформаторов относятся:

- способность работы на прямоугольных импульсах от силовых ключей;
- возможность обеспечения гальванической развязки и преобразование напряжения;

- высокая эффективность и компактность;
- использование проводов типа литцендрат служит для уменьшения потерь на высоких частотах;

Высокая частота позволяет уменьшить размеры и массу устройства, но делает расчёт более сложным, так как нужно учитывать форму импульсов, коммутационные процессы, потери в феррите и электромагнитные помехи.

Для измерений и релейной защиты применяются измерительные трансформаторы тока и напряжения. Они приводят большие токи и напряжения к стандартным уровням, которые подходят для работы микропроцессорных устройств и модулей АСУ ТП. Применение таких трансформаторов позволяет организовать селективную защиту, удаленное управление и следить за состоянием оборудования, не подключая электронные блоки напрямую к высоковольтным цепям. Это повышает надежность цифровых систем контроля.

В системах автоматизации важны также высокочастотные трансформаторы импульсных источников питания. Они используются в программируемых логических контроллерах, промышленных компьютерах, телекоммуникационном оборудовании и во встроенных источниках питания модулей ввода-вывода. Работа на частотах в десятки и сотни кГц позволяет значительно уменьшить габариты и массу трансформатора по сравнению с сетевыми трансформаторами на 50 Гц. Это упрощает размещение источников питания внутри модулей автоматики и уменьшает размеры шкафов управления [4].

Пример – импульсный понижающий источник питания представлен на рисунке 2.

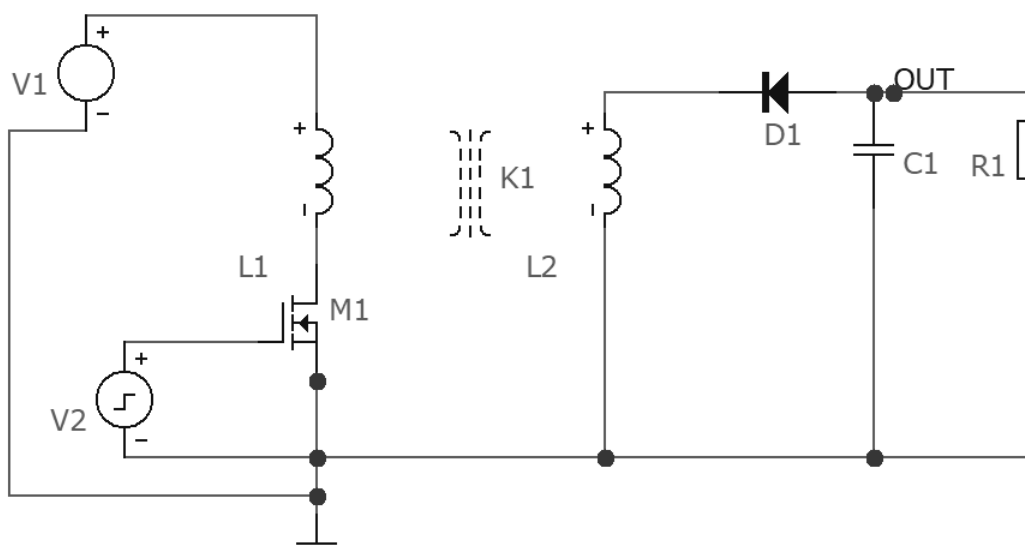


Рисунок 2 – Схема импульсного понижающего источника

Постоянное напряжение от выпрямителя подается на первичную обмотку L1 через транзистор M1, которым управляет источник импульсов V2. Когда транзистор открыт, энергия накапливается в магнитном поле трансформатора (обмотки L1 и L2). Когда транзистор закрывается, энергия передается во вторич-

ную цепь. Во вторичной обмотке L2 возникает высокочастотное напряжение, которое выпрямляется диодом D1, сглаживается конденсатором C1 и подается на нагрузку R1 (выход OUT). Такая схема обеспечивает гальваническую развязку между первичной и вторичной цепями и преобразует уровень напряжения для питания модулей автоматики.

Типичные зависимости токов и напряжений от времени для такой схемы показаны на рисунках 3 и 4. Ток в первичной обмотке изменяется пилообразно, отражая циклы накопления и отдачи энергии (рисунок 3). Выходное напряжение после переходного процесса выходит на стабильный уровень с небольшими колебаниями (рисунок 4). Результаты анализа подтверждают, что высокочастотные трансформаторы можно применять для питания цифровых устройств и систем управления, если правильно подобрать параметры трансформатора, ключевых элементов и фильтров.

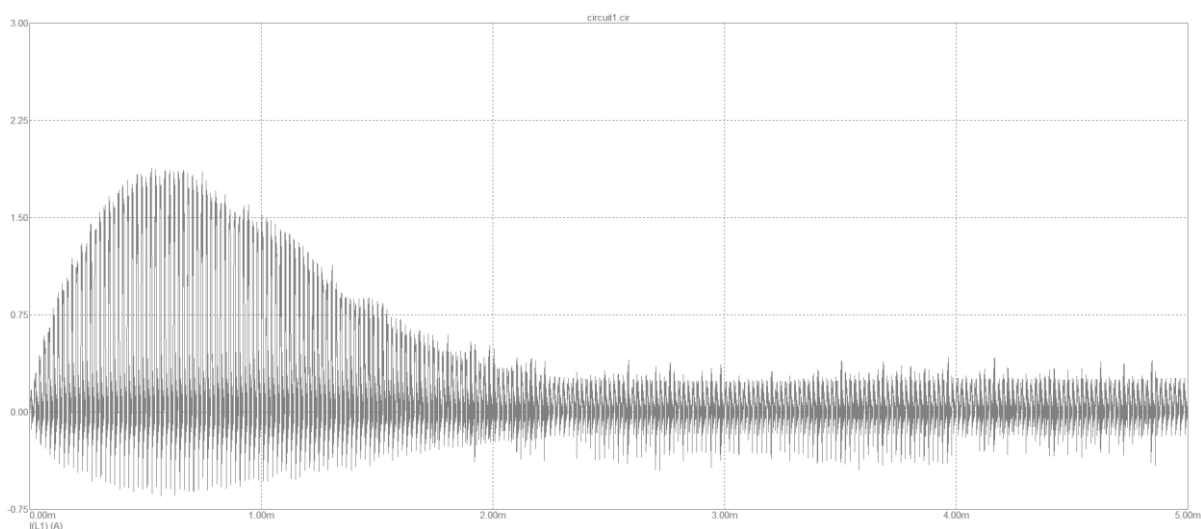


Рисунок 3 – График временной зависимости тока

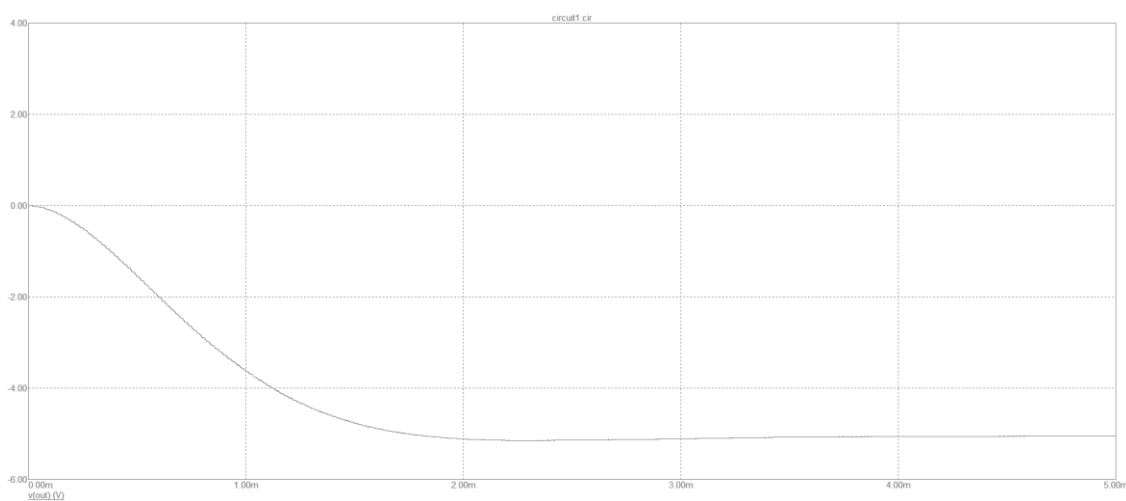


Рисунок 4 – График временной зависимости напряжения

Таким образом, трансформатор – это простой, но очень важный компонент в энергетике, электронике и автоматизации. Он меняет напряжение и ток, обеспечивает изоляцию и помогает системам питания и автоматике работать хорошо.

В тексте рассматривается, как работает трансформатор, используя электромагнитную индукцию, как магнитопровод и обмотки влияют на работу, режимы работы с потерями и типы трансформаторов, включая высокочастотные модели.

Трансформаторы важны в автоматизации и цифровизации, так как питают контроллеры, компьютеры и связь. Если понимать, как трансформаторы ведут себя в таких системах, можно правильно выбрать тип, оценить характеристики и обеспечить надёжную работу на производстве. Дополнительное изучение включает расчёт магнитопроводов и анализ работы трансформаторов в цифровых системах управления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трансформаторы отбора мощности: современное состояние, области применения и развитие нормативной базы / М. А. Кубаткин, В. С. Ларин, Д. А. Матвеев [и др.] // Энергоэксперт. – 2019. – № 1(69). – С. 18-22.

2. ГОСТ Р 56738-2015. Трансформаторы силовые и реакторы. Требования и методы испытаний электрической прочности изоляции. – Введ. 01.08.2016. – М. : Стандартинформ, 2016.

3. Лоскутов, А. Б. Решение проблем при переходе электроэнергетики на цифровые технологии / А. Б. Лоскутов // Интеллектуальная электротехника. – 2018. – № 1 (1). – С. 9-25.

4. Форсайт-образование. Университет 4.0 / Л. И. Хоружий, О. Г. Каратаева, Е. А. Яшина [и др.]. – М. : Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 562 с. – ISBN 978-5-4497-2011-5.

5. Селезнева, Д. М. Исследования эффективности обеспыливания воздуха комбинированным электрофильтром / Д. М. Селезнева // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов в 9 ч., Новосибирск, 30 ноября – 04 декабря 2020 года. Часть 5. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. – С. 61-64.

6. Дидманидзе, О. Н. Транспортная энергетика / О. Н. Дидманидзе, Н. Н. Пуляев, Р. Н. Егоров. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Автограф», 2021. – 152 с.

7. Лещинская, Т. Б. Показатели надежности распределительных линий / Т. Б. Лещинская, С. И. Белов // Техника в сельском хозяйстве. – 1996. – № 3. – С. 5-8.

Об авторах

Овсянникова Елена Александровна, старший преподаватель кафедры теории электрических цепей, ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (111024, Российская Федерация, Москва, улица Авиамоторная, 8А), energo-ovs@mail.ru.

Черниченко Ангелина Витальевна, доцент кафедры теории электрических цепей, ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (111024, Российская Федерация, Москва, улица Авиамоторная, 8А), кандидат технических наук, a.v.chernichenko@mtuci.ru.

Степанова Анастасия Георгиевна, доцент кафедры теории электрических цепей, ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики» (111024, Российская Федерация, Москва, улица Авиамоторная, 8А), кандидат технических наук, a210104@mail.ru.

About the authors:

Elena A. Ovsyannikova, senior lecturer of electrical circuit theory department, Moscow Technical University of Communications and Informatics (111024, Russian Federation, Moscow, Aviamotornaya Street, 8A), energo-ovs@mail.ru.

Angelina V. Chernichenko, associate professor of electrical circuit theory department, Moscow Technical University of Communications and Informatics (111024, Russian Federation, Moscow, Aviamotornaya Street, 8A), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, a.v.chernichenko@mtuci.ru.

Anastasiya G. Stepanova, associate professor of electrical circuit theory department, Moscow Technical University of Communications and Informatics (111024, Russian Federation, Moscow, Aviamotornaya Street, 8A), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, a210104@mail.ru.

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖИВОТНЫХ НА КРОЛИКОВОДЧЕСКОЙ ФЕРМЕ

Р. В. Буранов, А. Г. Крахмалёв

Научный руководитель – Ю. А. Судник

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье рассматривается функциональная схема и архитектура цифровой системы автоматизированного мониторинга физиологического состояния сельскохозяйственных животных. Система интегрирует установленные на животных сенсорные устройства, беспроводные сети передачи данных и централизованные средства анализа информации. Особое внимание уделено принципам построения функциональной схемы, отражающей специфику диагностического мониторинга показателей. Описаны ключевые компоненты системы, их взаимодействие и алгоритмы работы.*

***Ключевые слова:** функциональная схема, система автоматического контроля, мониторинг здоровья животных, беспроводные сети.*

DIGITAL MONITORING SYSTEM FOR ANIMAL PHYSIOLOGICAL STATUS INDICATORS AT A RABBIT FARM

R. V. Buranov, A. G. Krahmalev

Scientific advisor – Yu. A. Sudnik

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The article discusses the functional scheme and architecture of a digital system for automated monitoring of the physiological state of farm animals. The system integrates sensor devices installed on the animals, wireless data transmission networks, and centralized information analysis tools. Special attention is paid to the principles of building a functional scheme that reflects the specifics of diagnostic monitoring of indicators. The key components of the system, their interaction, and operation algorithms are described.*

***Keywords:** functional scheme, automatic control system, animal health monitoring, wireless networks.*

Современные тенденции развития сельского хозяйства требуют внедрения интеллектуальных систем автоматического контроля состояния животных, обес-

печивающих оперативное выявление их заболеваний. Разработанная система мониторинга здоровья кроликов представляет собой комплексное решение, основанное на принципах автоматического контроля и сетевых технологий. Функциональная схема цифровой системы (рисунок 1) отражает её архитектуру и логику работы.

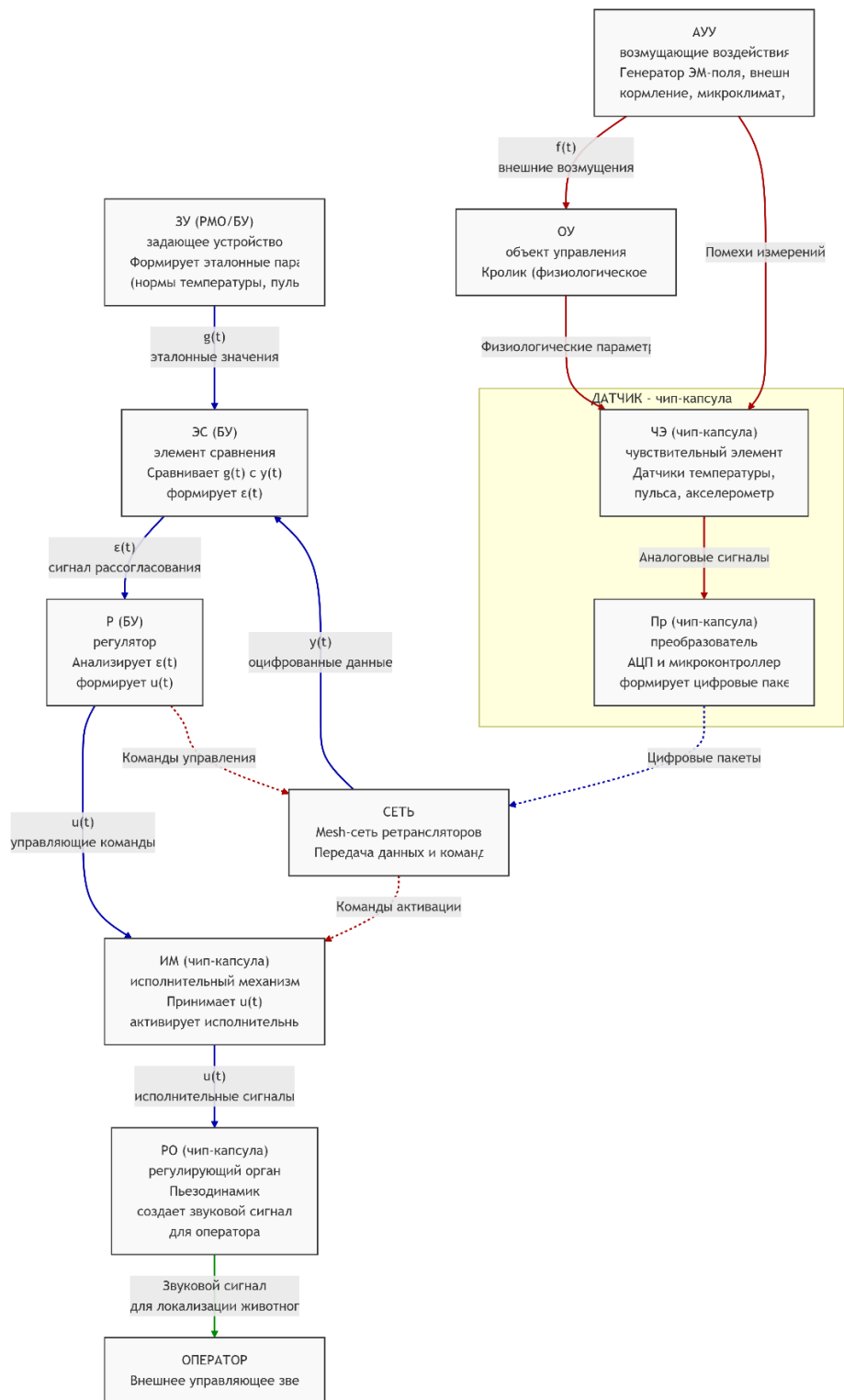


Рисунок 1 – Функциональная схема системы автоматизированного контроля показателей здоровья кроликов

Система построена по трехуровневой архитектуре, обеспечивающей четкое разделение её функций.

Первый уровень включает чип-капсулы, установленные на животных, и стационарные генераторы электромагнитного поля для осуществления её зарядки. Этот уровень обеспечивает первичный сбор данных о физиологических состояниях кроликов.

Второй уровень состоит из mesh-сети ретрансляторов, обеспечивающих надежную передачу информационных данных в условиях фермерских помещений. Этот уровень решает задачу обеспечения требуемой дальности связи и отсутствия электрических помех.

Третий уровень включает блок автоматического контроля для обработки и принятия решений от полученной информации о состоянии животных, а также рабочее место оператора для визуализации информации.

Цифровая система работает следующим образом: чип-капсула, размещённая на животных, включает датчики измерения температуры тела, частоты сердечных сокращений и двигательной активности посредством акселерометра. Ретранслятор принимает сигнал от чип-капсулы, усиливает их и передает в блок управления оператора – ветеринара. Такой блок осуществляет генерацию звукового сигнала для оператора – ветеринара для осуществления обнаружения конкретного больного животного.

Принцип работы цифровой системы мониторинга реализуется в виде непрерывного автоматизированного цикла. Он начинается с циклического измерения параметров животного чип-капсулой и передачи таких данных через mesh-сеть (распределённая, одноранговая сеть, в которой устройства связаны друг с другом, образуя ответвления от других узлов) на блок управления, который обрабатывает информацию, сохраняет ее в базе данных и с помощью диагностических алгоритмов присваивает каждому животному один из статусов: «Норма», «Внимание» или «Тревога». Результат этого анализа отображается на рабочем месте оператора – ветеринара. В случае формирования статуса «Тревога», блок управления отправляет через ретрансляторы команду на конкретную чип-капсулу животного, активируя ее пьезодинамик для подачи звукового сигнала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент № 2846600 С1 Российская Федерация, МПК А61В 5/0205, G01К 13/20. Способ определения состояния здоровья кроликов : заявл. 11.12.2024 : опубл. 10.09.2025 / Р. В. Буранов, А. Г. Крахмалев, Ю. А. Судник [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

2. Кравченко, В. Н. Обоснование способа идентификации кроликов с использованием искусственного интеллекта / В. Н. Кравченко, Р. Ф. Филонов, Р. В. Буранов // Техника и технологии в животноводстве. – 2023. – № 4 (52). – С. 76-80.

3. Буранов, Р. В. Аддитивные технологии в производстве. 3д печать металлических изделий / Р. В. Буранов// Перспективы развития информационных систем и технологий в современном обществе : Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Орёл, 2024. – С. 194-197.

4. Эйдис, А. Л. Управление техническими системами / А. Л. Эйдис, Е. П. Парлюк. – М. : Издательство ООО «ВНИИПР», 2010. – 72 с.

5. Дидманидзе, О. Н. Анализ способов повышения эффективности и качества консервируемых кормов / О. Н. Дидманидзе, Н. Н. Пуляев, А. Б. Мустаяпова // Техника и оборудование для села. – 2025. – № 11(341). – С. 28-30. – DOI 10.33267/2072-9642-2025-11-28-30.

6. Судник, Ю. А. Системы автоматического управления : учебное пособие для студентов технических вузов, обучающихся по направлению «Агроинженерия» и направленности «Автоматизация и роботизация технологических процессов» / Ю. А. Судник, В. В. Солдатов. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Мегаполис», 2022. – 490 с. – ISBN 978-5-6049097-2-0.

Об авторах:

Буранов Роман Вадимович, студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), buranov.roman2016@gmail.com.

Крахмалёв Алексей Геннадьевич, студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), krakhmal02@mail.ru.

Научный руководитель: Судник Юрий Александрович, профессор кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени И. Ф. Бородин, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), доктор технических наук, профессор, sudnik@rgau-msha.ru.

About the authors:

Roman V. Buranov, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), buranov.roman2016@gmail.com.

Alexey G. Krakhmalev, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), krakhmal02@mail.ru.

Scientific advisor: Yuriy A. Sudnik, professor of Department of Automation and Robotization of Technological Processes named after I. F. Borodin, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Doctor of Technical Sciences, professor.

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ МЯГКИМ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ЗАХВАТОМ В РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛИЧНОГО ОВОЩЕВОДСТВА

В. С. Панов, Е. А. Шабает

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье рассматриваются принципы управления мягким пневматическим захватным устройством, применяемым в роботизированных системах сбора плодов томата в условиях тепличного овощеводства. Показано, что использование управления по давлению позволяет обеспечить адаптацию захвата к форме и размерам плодов, а также ограничение контактных усилий, снижая риск механических повреждений. Описана конструкция мягкого пневматического захвата, основные управляемые и ограничивающие параметры, а также алгоритм его работы при сборе плодов. Приведенные принципы управления обеспечивают устойчивость и воспроизводимость процесса захвата сельскохозяйственной продукции в условиях вариации ее размеров и формы.*

***Ключевые слова:** мягкий пневматический захват, роботизация, тепличное овощеводство, управление по давлению, сбор плодов.*

PRINCIPLES OF CONTROL OF SOFT PNEUMATIC GRIPPER IN ROBOTIC GREENHOUSE VEGETABLE GROWING SYSTEMS

V. S. Panov, E. A. Shabaev

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** This article examines the control principles of a soft pneumatic gripper used in robotic tomato harvesting systems in greenhouse vegetable growing. It is shown that pressure control allows for adaptation of the gripper to the shape and size of the fruit, as well as limiting contact forces, reducing the risk of mechanical damage. The design of the soft pneumatic gripper, its main control and limiting parameters, and its operating algorithm for fruit harvesting are described. These control principles ensure the stability and reproducibility of the gripping process for agricultural produce, regardless of its size and shape.*

***Keywords:** soft pneumatic gripper, robotics, greenhouse vegetable growing, pressure control, fruit harvesting.*

Тепличное овощеводство является одним из наиболее динамично развивающихся направлений агропромышленного комплекса. Рост объемов производ-

ства овощей закрытого грунта сопровождается увеличением требований к эффективности, стабильности и качеству технологических операций, в том числе процессов сбора плодов. В настоящее время сбор томатов в тепличных комплексах в значительной степени остается трудоемким и зависит от качества ручного труда, что приводит к росту себестоимости продукции, влиянию человеческого фактора и кадровым ограничениям.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности тепличного производства является внедрение роботизированных систем для сбора плодов. Ключевым элементом таких систем выступает захватное устройство, обеспечивающее взаимодействие робота с объектом. При работе с сельскохозяйственными культурами, требующими деликатного обращения, такими как томаты, особое значение приобретает не только конструкция захвата, но и принципы его управления.

Мягкие пневматические захватные устройства, основанные на использовании эластомерных актуаторов, позволяют адаптироваться к форме и размерам плодов, снижая риск их повреждения. Однако эффективность применения таких захватов во многом определяется алгоритмами и принципами управления, обеспечивающими согласованную работу исполнительных элементов [1].

Целью настоящей работы является рассмотрение принципов управления мягким пневматическим захватом в составе роботизированных систем для сбора плодов томата в тепличных условиях.

Система управления мягким пневматическим захватом должна учитывать специфические условия тепличного овощеводства и особенности объекта захвата. Основные требования к управлению включают:

- адаптацию захвата к различным размерам и форме плодов;
- ограничение усилий сжатия для предотвращения механических повреждений;
- плавность включения и отключения захвата;
- устойчивую работу при колебаниях давления в пневмосистеме;
- возможность интеграции с системами технического зрения и позиционирования.

В отличие от жестких захватных устройств, управление мягким захватом должно обеспечивать не точное позиционирование механических звеньев, а формирование требуемого деформационного состояния исполнительных элементов. Мягкий пневматический захват, предназначенный для работы в роботизированных системах тепличного овощеводства, как правило, включает несколько функциональных модулей. В его состав входят мягкие исполнительные элементы (пальцы захвата), пневматический привод, система подачи и регулирования давления, а также блок управления [2]. Каждый палец захвата оснащается мягким пневматическим актуатором, при подаче избыточного давления обеспечивающим поворот и обхват плода. Управление осуществляется за счет изменения давления в полости актуаторов, что позволяет реализовать согласованное движение всех элементов захвата, что соответствует современным подходам к построению автоматизированных систем управления в роботизированных платформах [3].

Блок управления формирует управляющие сигналы на основе заданных параметров захвата и данных от датчиков давления. В простейших системах обратная связь может осуществляться по давлению, в более сложных – с учетом информации о положении или угле поворота пальцев. Управление мягким пневматическим захватом реализуется за счет формирования управляющих воздействий на пневматические актуаторы, определяющих их деформационное состояние. В качестве основного управляющего параметра используется избыточное давление рабочей среды, подаваемое во внутреннюю полость актуаторов [4].

В системе управления мягким захватом можно выделить следующие основные параметры:

- управляемые параметры: избыточное давление в мягких поворотных актуаторах; скорость нарастания и сброса давления;
- определяемые параметры: угол поворота пальцев захвата, степень обхвата плода, контактное усилие;
- ограничивающие параметры: максимально допустимое давление, предельный угол поворота, время удержания.

Угол поворота пальцев захвата определяется величиной подаваемого давления и конструктивными параметрами актуаторов. Контактное усилие формируется как следствие деформации мягких элементов и распределяется по поверхности плода, что снижает локальные напряжения.

Основным принципом управления является управление по давлению с использованием заранее установленных функциональных зависимостей между давлением и углом поворота пальцев захвата. На основе заданного целевого угла поворота формируется требуемое значение давления, подаваемое в актуаторы. Данный подход позволяет отказаться от прямого управления положением исполнительных элементов и реализовать адаптивный захват без применения сложных датчиков положения. Обратная связь в системе может осуществляться по сигналу датчиков давления, что упрощает аппаратную реализацию.

Ограничение усилий захвата обеспечивается заданием верхнего предела давления, соответствующего допустимым деформациям мягких актуаторов. Таким образом, даже при ошибках позиционирования или изменении размеров плодов риск их повреждения минимизируется.

Для многопальцевых хватных устройств важным принципом является синхронное управление несколькими актуаторами. Согласованное изменение давления в пальцах захвата обеспечивает равномерный обхват плода и устойчивость удержания.

Алгоритм управления мягким пневматическим захватом формируется исходя из логики поэтапного взаимодействия исполнительных элементов с объектом захвата и может быть реализован в программном обеспечении контроллера.

1. Инициализация системы. Перед началом работы выполняется проверка готовности пневмосистемы, датчиков давления и исполнительных клапанов. Давление в актуаторах устанавливается на минимальный уровень, соответствующий исходному положению пальцев захвата.

2. Обнаружение и оценка плода. На основании данных системы технического зрения или заданных параметров определяется ориентировочный размер

плода и его положение в пространстве. Полученная информация используется для выбора целевого угла поворота пальцев захвата [5, 6].

3. Формирование управляющего воздействия. На основе заданного целевого угла поворота (φ) формируется требуемое значение давления (P) для каждого актуатора с учетом допустимых ограничений. Расчет может выполняться по заранее заданным зависимостям $P = f(\varphi)$.

4. Плавная подача давления. Управляющий сигнал подается на электропневматические клапаны, обеспечивая постепенное увеличение давления в актуаторах. Скорость нарастания давления ограничивается для исключения ударных нагрузок на плод.

5. Фаза удержания. После достижения заданного давления система переходит в режим стабилизации, при котором поддерживается постоянное давление, обеспечивающее надежный обхват плода без превышения допустимых усилий [7].

6. Транспортировка и отпуск. В процессе перемещения плода давление поддерживается на заданном уровне. Для освобождения объекта выполняется плавный сброс давления и возврат пальцев захвата в исходное положение.

Использование данного алгоритма обеспечивает воспроизводимость процесса захвата и устойчивость работы системы в условиях вариации размеров и формы плодов [8].

Применение управления по давлению позволяет отказаться от прямого позиционного управления пальцами захвата и обеспечивает формирование требуемого угла их поворота за счет конструктивных свойств пневматических актуаторов. Ограничение максимального давления выступает основным средством обеспечения безопасности взаимодействия захватного устройства с хрупкими плодами.

Описанный алгоритм работы мягкого пневматического захвата, включающий этапы инициализации, плавной подачи давления, удержания и сброса, обеспечивает стабильность функционирования захватного устройства и воспроизводимость процесса захвата при сборе плодов томата в условиях тепличного овощеводства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Application of soft grippers in the field of agricultural harvesting: a review / D. Zhang [et al.] // *Machines*. – 2025. – Т. 13, No. 1. – Pp. 55.

2. Navas, E. Soft gripper for small fruits harvesting and pick and place / E. Navas, R. R. Shamshiri, V. Dworak // *Frontiers in Robotics and AI editor's picks*. – 2025. – Pp. 157.

3. Компьютерное моделирование автоматического управления сельскохозяйственным малым беспилотным летательным аппаратом с переменной массой / М. И. Белов, С. А. Андреев, Е. А. Шабаев [и др.] // *Инженерные технологии и системы*. – 2025. – Т. 35, № 4. – С. 700-722.

4. Modeling and analysis of a composite structure-based soft pneumatic actuators for soft-robotic gripper / M. Yu [et al.] // *Sensors*. – 2022. – Т. 22, No. 13. – Pp. 48-51.

5. Оптимизация производственных процессов в плодово-ягодных питомниках / А. А. Зангиев, О. Н. Дидманидзе, В. С. Иволгин, А. Н. Синалеев. – М. : Агроконсалт, 2002. – 148 с. – ISBN 5-94325-021-2.

6. Configuration identification of on-demand variable stiffness strain-limiting layers in zig-zag soft pneumatic actuators using deep learning methods / P. D. S. H. Gunawardane [et al.] // *The International Journal of Robotics Research*. – 2025.

7. Grasping profile control of a soft pneumatic robotic gripper for delicate gripping / G. Phanomchoeng [et al.] // *Robotics*. – 2023. – Т. 12, No. 4. – P. 107.

8. Панов, В. С. Разработка захватного устройства с использованием технологий мягкой робототехники / В. С. Панов, Е. А. Шабаетв // *Экстремальная робототехника*. – 2025. – № 1(36). – С. 268-272.

Об авторах:

Панов Валентин Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), v.panov@rgau-msha.ru.

Шабаетв Евгений Адимович, и.о. заведующего кафедрой автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородин, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук, доцент, e.shabaev@rgau-msha.ru.

About the authors:

Valentin Sergeevich Panov, graduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), v.panov@rgau-msha.ru.

Evgeny A. Shabaev, Acting Head of the Department of Automation and Robotics of Technological Processes named after Academician I. F. Borodin, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e.shabaev@rgau-msha.ru.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРООЗОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ СТИМУЛИРОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛИ ХЛОРЕЛЛЫ

В. Л. Болотин¹, Т. А. Нормова²

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

²ООО МИП «Электротехнологии», г. Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. В статье проведена инвестиционная оценка проекта по производству суспензии хлореллы, представлен детальный расчет себестоимости, точки безубыточности и рентабельности на 1 тонну готовой продукции.

Ключевые слова: электроозонная технология, хлорелла, эффективность, инвестиции, финансовая нагрузка.

FEASIBILITY STUDY FOR THE USE OF ELECTROOZONE TECHNOLOGY TO STIMULATE CHLORELLA MICROALGAE

V. L. Bolotin^a, T. A. Normova^b

^aRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

^bLLC MIP «Electrotechnologies», Krasnodar Russian Federation

Abstract. This article provides an investment assessment of a chlorella suspension production project and a detailed cost estimate, breakeven point, and profitability per ton of finished product.

Keywords: electroozone technology, chlorella, efficiency, investment, financial burden.

Актуальность проекта по производству суспензии хлореллы в Краснодарском крае в 2026 году обусловлена следующими макроэкономическими и региональными факторами:

1. Продовольственная безопасность: в условиях высокой стоимости импортных премиксов, аминокислот, витаминов и ветеринарных препаратов, использование хлореллы как природного биостимулятора позволяет сократить падеж молодняка КРС на 15...20 % и увеличить привес на 10...12 % [7].

2. Климатический потенциал и экологическая повестка региона: Краснодарский край обладает избыточной солнечной инсоляцией и развитой базой аг-

рохолдингов, что минимизирует затраты на логистику и обеспечивает стабильный спрос. Необходима также биологическая очистка водоемов и рыбоводных прудов Краснодарского края от «цветения» (сине-зеленых водорослей).

3. Инфляционная защита: при прогнозируемой инфляции в 5,5 % и ключевой ставке 15,5 %, вложения в реальный производственный сектор с циклом окупаемости до 1 года являются наиболее эффективной стратегией сбережения капитала [1, 2].

Таким образом, в настоящее время большое значение имеет реализация продукции и получение прибыли от деятельности хозяйствующих субъектов, в том числе на основе использования в производстве технических новинок отечественных ученых [3-6, 8]. Для проведения инвестиционной оценки проекта по производству суспензии хлореллы в Краснодаре (февраль 2026 г.) ниже представлен расчет себестоимости, точки безубыточности и рентабельности на 1 тонну готовой продукции. Для реализации проекта по производству 40 тонн суспензии хлореллы в месяц на базе 10 емкостей-ванн в собственном помещении представим следующий расчет.

Эконом-вариант предполагает использование открытых систем культивирования, что минимизирует стартовые затраты (1500 тыс. руб.), в которые входит стоимость емкостей, системы освещения, насосного и лабораторного оборудования, запас сырья и фонд оплаты труда на 1-й месяц. Ниже представлено детальное сравнение базового сценария (40 тонн) и модернизированного варианта с установкой озонатора, который увеличивает выход суспензии на 71 % (до 68,4 тонн). Примем переменные затраты на тонну равными, так как технология культивирования сохраняется. В постоянные затраты в месяц добавлена минимальная надбавка на обслуживание озонатора и дополнительную электроэнергию – 5 тыс. руб.

В таблице 1 проведен расчет финансовых и инвестиционных показателей проектов «А» эконом и «Б» с озонатором, текущей стоимости (это общая сумма прибыли за 3 года, пересчитанная на сегодняшний день), чистого дисконтированного дохода (это чистая прибыль инвестора за 3 года за вычетом вложенных денег), срока окупаемости (время в днях, за которое доходы первого месяца полностью покроют вложения).

Таблица 1 – Сравнительный анализ инвестиционных проектов

Показатель	Эконом-вариант	С озонатором	Разница (эффект)
Инвестиции, руб.	1500000	1570000	+70000
Объем продукции, т	40	68,4	+28,4
1. Выручка, руб.	2000000	3420000	+1420000
2. Переменные затраты, руб.	178280	304859	+126579
3. Постоянные затраты, руб.	150000	155000	+5000
4. Налог, руб.	20000	34200	+14200
5. Чистый денежный поток, руб.	1651720	2925941	+1274221
6. Текущая стоимость, руб.	44530371	78883369	+34352998
7. Чистый доход, руб.	43030371	77313369	+34282998
8. Индекс прибыли, руб.	29,69	50,24	+20,55
9. Срок окупаемости, дней	27,7	16,5	Быстрее на 11 дней

На рисунке 1 графически наглядно представим критический объем производства, ниже которого проект начнет приносить убытки.

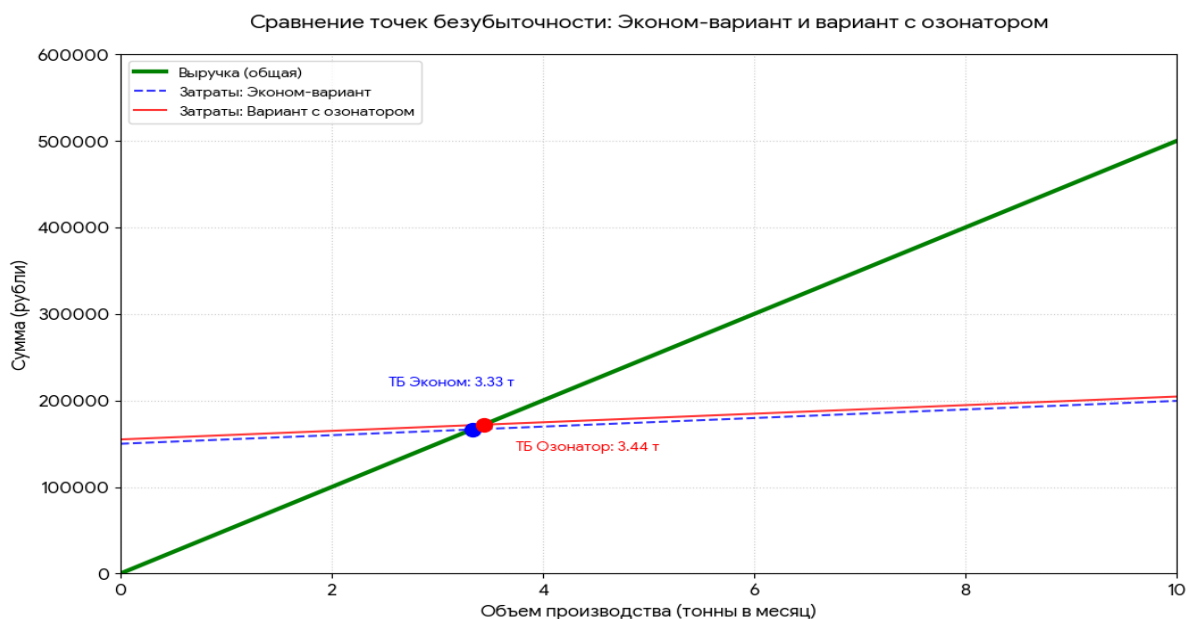


Рисунок 1 – Сравнение точек безубыточности

1. Линия выручки (зеленая) показывает доход при цене 50 000 руб. за тонну.
2. Линия затрат эконом (синяя пунктирная) стартует со 150 000 руб.
3. Линия затрат озонатор (красная сплошная) стартует со 155 000 руб.

Как видно на графике, линии затрат идут почти параллельно и очень близко друг к другу. Это визуально подтверждает, что внедрение озонатора не несет существенной финансовой нагрузки на проект, но позволяет увеличить плановый объем реализации с 40 до 68,4 тонн, что выводит проект на принципиально иной уровень прибыли.

Для исследуемого проекта это 3,44 тонны (при плане в 68,4 тонны), даже если производство загружено всего на 5 % от мощности, проект уже не теряет деньги, а покрывает все расходы (зарплату, налоги, электричество). Расстояние на графике между точкой безубыточности и плановым объемом реализации называется запасом финансовой прочности. В варианте с озонатором этот запас составляет 20 раз. Это главный аргумент для инвестора или банка. Проект с таким запасом прочности выдержит любое падение спроса или цен на рынке.

На графике видно, что линия затрат варианта с озонатором почти совпадает с эконом-вариантом (разница в точке безубыточности всего 110 кг). Это доказывает, что покупка озонатора за 70 000 руб. практически не увеличивает риски проекта, но при этом открывает возможность получать сверхприбыль за счет роста объема производства. Каждая следующая произведенная тонна дает почти чистую прибыль, так как постоянные расходы уже «оплачены» первыми четырьмя тоннами. Это мотивирует к максимальной загрузке мощностей. Если в какой-то месяц производство падает (например, из-за технических работ), график служит ориентиром. Руководитель производства четко видит «красную

зону». Если объем за месяц выше 3,5 тонн – паники быть не должно, предприятие в безопасности.

Детальный расчет подтверждает эффективность варианта с озонатором. Несмотря на то, что стартовые затраты возросли на 70 000 руб., проект получает:

1. Дополнительно 34,3 миллиона рублей чистой прибыли за 3 года;
2. Рост отдачи на каждый вложенный рубль почти в 2 раза (с 29,7 до 50,2 руб.);
3. Сокращение срока окупаемости (возврата вложений) почти на 2 недели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виленский, П. Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика : учебное пособие / П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк. – М. : Дело, 2025. – 1104 с.

2. Нормова Т. А. Модель эффективной системы управления финансовыми ресурсами организации / Т. А. Нормова, Н. Ф. Григорьев, Ю. А. Павелко // Естественно-гуманитарные исследования. – 2019. – № 25 (3). – С. 141-147.

3. Патент № 2181103 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Термоадаптивный блок озонатора : № 99121820/12 : заявл. 19.10.1999 : опубл. 10.04.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, В. А. Драгин, Т.А. Нормова [и др.] ; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

4. Патент № 2185319 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор : № 2001114848/12 : заявл. 30.05.2001 : опубл. 20.07.2002 / В. К. Андрейчук, Д. А. Нормов, С. В. Вербицкая, Т.А. Нормова [и др.] ; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

5. Патент № 2253608 С1 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Озонатор : № 2004111052/15 : заявл. 12.04.2004 : опубл. 10.06.2005 / Д. А. Нормов, А. В. Снитко, А. А. Шевченко, Т.А. Нормова [и др.] ; заявитель Кубанский Государственный аграрный университет.

6. Патент № 2324342 С1 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с варроатозом пчел: № 2006128062/12 : заявл. 01.08.2006 : опубл. 20.05.2008 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, С. А. Николаенко, Т. А. Нормова ; заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет».

7. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2026 год и на плановый период 2027 и 2028 годов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/prognoz_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_na_2026_god_i_na_planovyy_period_2027_i_2028_godov.html?ysclid=moszbe b16w192576754.

8. Дидманидзе, О. Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве с использованием компьютерных технологий / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. Н. Журилин. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2018. – 150 с.

Об авторах:

Болотин Владимир Леонидович, инженер, соискатель ученой степени, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49).

Нормова Татьяна Александровна, главный экономист, ООО МИП «Электротехнологии» (350044, Российская Федерация, Краснодарский край, Краснодар, СНТ 1, Яблонева ул., д. 652), кандидат технических наук, доцент, tanormova@mail.ru.

About the authors:

Vladimir L. Bolotin, engineer, academic degree applicant, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).

Tatyana A. Normova, Chief Economist, LLC MIP «Electrotechnologies» (350044, Russian Federation, Krasnodar Krai, Krasnodar, SNT-1, Yablonevaya St., Building 652), Candidate of Technical Sciences, associate professor, tanormova@mail.ru.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ДОСТАВКИ АГРОДРОНАМИ ГРУЗОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Д. В. Белов

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье определен круг сельскохозяйственных технологических процессов, реализуемых с применением агродронов. Выявлены особенности использования агродронов при доставке специфических грузов на возделываемые территории в растениеводстве открытого грунта. Рассмотрена технология сбрасывания грузов с летящих агродронов. Найдены решения дифференциальных уравнений движения грузов при отсутствии и наличии сопротивления воздуха. Описано строение и принцип действия современных систем непрерывного вычисления точек падения (CCIP) и сброса (CCRP), а также выявлены их недостатки при массовом использовании на низкоскоростных агродронах.*

***Ключевые слова:** агродрон, сбрасывание грузов, уравнения движения, системы непрерывного вычисления.*

MODERN TECHNICAL SOLUTIONS FOR AUTOMATION OF AGRICULTURAL CARGO DELIVERY BY AGRODRONES

D. V. Belov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** This article identifies a range of agricultural processes implemented using agrodrones. The specific features of using agrodrones for delivering specific loads to cultivated areas in open-field crop production are identified. The technology for dropping loads from flying agrodrones is examined. Solutions are found to the differential equations of load motion in the absence and presence of air resistance. The design and operating principle of modern continuous calculation of impact points (CCIP) and drop point (CCRP) systems are described, and their shortcomings in widespread use on low-speed agrodrones are identified.*

***Keywords:** agrodrome, load dropping, equations of motion, continuous calculation systems.*

Ряд технологических процессов современного растениеводства открытого грунта успешно осуществляется с использованием беспилотных воздушных агродронов. При этом роль агродронов сводится к полету над возделываемыми

территориями и сбрасыванию разнообразных материальных объектов. К таким объектам относятся средства защиты растений, удобрения или биологически активные вещества. Для повышения эффективности доставки сбрасываемых объектов иногда прибегают к их размещению в специальных емкостях. В таких случаях при приближении агродрона к месту доставки грузов производится их сбрасывание с последующим разрушением оболочки транспортной емкости или эмиссией доставляемых веществ через соответствующие отверстия [1].

Очевидно, что при сбрасывании грузов особое значение приобретает точность процесса, достижение которой определяется автоматическим согласованием координат расположения места приземления с координатами, направлением и скоростью полета агродрона [2]. При условии постоянства расположения мест приземления грузов задача управления их сбрасыванием сложности не представляет. Для ее решения достаточно однократно рассчитать динамическую траекторию падения материального объекта с разных высот при различных скоростях движения агродрона и по мере приближения к цели вывести агродрон на расчетные координаты. При этом формирование команд на сброс грузов осуществляется по результатам анализа информации, получаемой либо от спутника, либо от автономной навигационной системы, включающей соответствующие радиомаяки.

Гораздо сложнее управлять процессом сбрасывания материальных объектов при заранее неизвестной траектории полета агродрона. В этом случае управление полетом осуществляется оператором по видеоинформации, получаемой телекамерой, установленной на агродроне и передаваемой на Землю по радиоканалу. Место приземления груза также определяется визуально, а момент его сброса, как правило, устанавливается на основании опыта оператора. При этом учет высоты полета, скорости движения агродрона, расстояния до места приземления груза происходит интуитивно. Несомненно, при постоянной работе на однотипных агродронах у оператора формируется адекватное восприятие основных параметров полета. Однако приобретение необходимых навыков требует длительной подготовки, которая не всегда возможна.

Для минимизации субъективности при принятии решения о моменте сброса материальных объектов особую актуальность приобретает автоматизация процесса оперативного расчета динамической траектории движения агродрона и сбрасываемого груза [3]. При автоматизированном анализе полета бортовой компьютер получает информацию о высоте расположения агродрона и скорости его поступательного движения. По мере приближения к месту предполагаемого приземления сбрасываемого груза оператору остается тем или иным способом определить расстояние между этим местом и агродроном и использовать его в качестве исходной информации.

Наиболее простое (но и наименее точное) вычисление величины отношения груза определяется в результате решения системы дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = 0 \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = mg \end{cases} \quad (1)$$

где m – масса груза, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; t – время, с; x и y – текущие координаты груза в свободном падении при совмещении начала координатных осей с положением агродрона в момент сброса, м; v – поступательная скорость агродрона, м/с (рисунок 1).

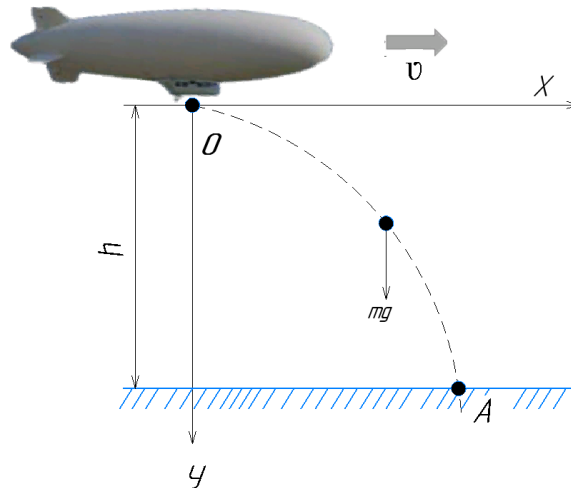


Рисунок 1 – Траектория движения свободнопадающего груза

Уравнения (1) сформированы без учета силы сопротивления воздуха. В присутствии этого допущения величина отброса груза по оси абсцисс может быть вычислена в соответствии с выражением:

$$x = v \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (2)$$

Исходя из условия, что при скоростях падения меньших 220 м/с силу сопротивления воздуха можно считать пропорциональной квадрату скорости падения [4], уравнения движения груза сводятся к виду:

$$\begin{cases} x'' = -C(h - y) \frac{F(v)}{v} x' \\ y'' = g - C(h - y) \frac{F(v)}{v} y' \end{cases} \quad (3)$$

где C – баллистический коэффициент, $0,07 \leq C < 2,2$; $F(v)$ – сила сопротивления воздуха, Н. Для уравнений системы (3) решениями будут:

$$\begin{cases} u = v e^{-Cv} \\ p = \frac{\sqrt{2gh}}{v} \left(1 + \frac{Ch}{2}\right) \\ T = \sqrt{\frac{2h}{g}} \left(1 + \frac{Ch}{6}\right) \\ x = v \sqrt{\frac{2H}{g}} \left(1 + \frac{CH}{6}\right) \end{cases} \quad (4)$$

В этих решениях u – скорость движения груза непосредственно перед падением, м/с; p – тангенс угла падения; T – продолжительность падения, с. Воспользовавшись выражениями (4), оказывается возможным определение момента сброса груза по достижению рассчитанного соотношения известных расстояний [5]. Для оперативного машинного решения задачи составлен алгоритм, представленный на рисунке 2.

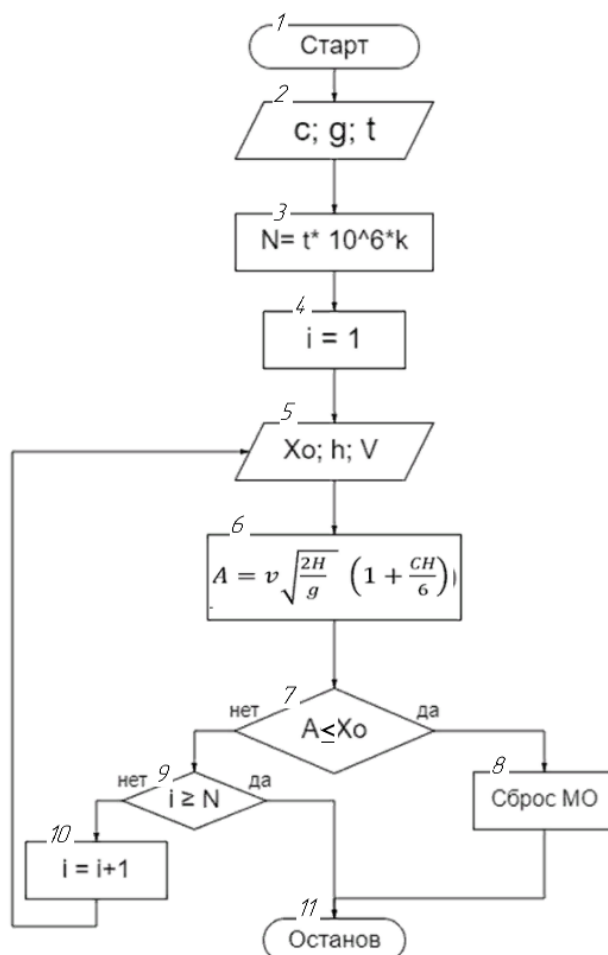


Рисунок 2 – Алгоритм автоматического определения момента сброса груза

Поскольку оператор наблюдает за движением агродрона на мониторе или через электронные очки, весьма сложной технической задачей является выявление на полученном изображении точки ожидаемого приземления груза и включение дальномера для измерения расстояния именно между этой точкой и агродроном. На сегодняшний день получили распространение два решения, основанные на использовании средств машинного зрения и искусственного интеллекта: ССIP (Continuously Computed Impact Point – непрерывно вычисляемая точка попадания) и ССRP (Continuously Computed Release Point – непрерывно вычисляемая точка сброса).

Указанные решения можно рассматривать как новые ступени развития принципа горизонтального бомбардирования, основанного на бомбовых прицелах Карла Нордена [6]. Эти прицелы устанавливались в носовой части самолетов

Brewster F2A Buffalo, Vought SB2U Vindicator, North American B-25 Mitchell, Boeing B-17 Flying Fortress, B-29 Superfortress и B-47 Stratojet, эксплуатируемых на больших высотах, обеспечивающих достаточную аэродинамическую эффективность. Прицел Нордена представлял собой оптически синхронное гиросtabilизированное устройство, работающее совместно с механической аналоговой вычислительной машиной. Этот прицел обеспечивал попадание груза в круг с радиусом 30 м при скорости движения самолета 500 км/ч на высоте 6 км.

Система ССIP обеспечивает определение координат точки приземления груза в текущем режиме с учетом фактического места нахождения агродрона и скорости его движения. Система ССRP функционирует обратным образом: оператор указывает точку приземления груза, а баллистический компьютер вычисляет координаты точки на траектории полёта, при достижении которой необходимо осуществить сброс. Результаты расчета и соответствующие инструкции отображаются на лобовом стекле (HUD) самолета или отправляются оператору по радиоканалу. Эксплуатация ССRP в автоматическом режиме позволяет значительно снизить нагрузку на пилота, поскольку роль последнего сводится к управлению полетом, выбору места приземления груза и наведению на него лазерного луча.

Для использования ССRP необходима активации баллистического вычислителя, при этом процесс направленного сброса груза требует от оператора более активных действий, чем простой сброс через ССIP. Задание точки приземления груза можно произвести двумя способами. По первому способу необходимо определить точку приземления груза и направить к ней агродрон. После этого следует нажать кнопку «Активация точки прицеливания». По второму способу пилот или оператор нажимает на кнопку «Переключение цели для бомбардировки», что приведет к автоматической установке точки на одной из баз. Для возвращения ручного управления сбросом, необходимо нажать кнопку «Деактивация точки прицеливания».

Применение обоих способов приведет к появлению маркера на указанной точке, а также к появлению сообщения об активированном ССIP/RP. Одновременно появится белая вертикальная линия, исходящая от заданной точки. Эта линия имеет кружок по центру и горизонтальную линию чуть выше этого кружка. Горизонтальная линия будет смещаться к центру вслед за тангажом агродрона по мере приближения агродрона к точке приземления груза. Для сброса нужно удерживать прицел над кружком на вертикальной линии и продолжать нажатие на кнопку сброса груза, либо на кнопку сброса грузов серией.

При зажатии кнопки сброса грузов можно заметить, что они не уходят с пилонов. В то же время появляется перекрестие вокруг кружка на вертикальной линии. При этом необходимо удерживать кнопку сброса грузов, одновременно воздействуя на прицел на кружке. По мере приближения к цели необходимо производить корректировку траектории движения агродрона тангажом, не меняя положения руля или элеронов. По мере приближения к цели горизонтальная линия будет приближаться к кружку и в нужный момент произойдет автоматическое сбрасывание грузов.

Следует отметить, что несмотря на эффективность применения оборудования, реализующего принципы ССIP и ССRP на пилотируемых самолетах или крупных беспилотных летательных средствах, попытки его использования на малогабаритных агродронах не приводят к ожидаемому результату. Это объясняется необходимостью проведения большого объема непрерывных вычислительных операций бортовым компьютером, постоянным включением лазерного дальномера, а также использованием внешнего навигационного оборудования (спутников или наземных радиомаяков). Каждый из перечисленных факторов существенно снижает эффективность технологического процесса по следующим причинам:

- для проведения вычислительных операций необходим достаточно мощный бортовой компьютер, требующий использование аккумулятора повышенной емкости, что приводит к увеличению массы и стоимости агродрона;
- эксплуатация лазерного дальномера в непрерывном режиме отрицательным образом сказывается на энергетических показателях процесса;
- использование внешнего навигационного оборудования снижает автономность доставки грузов и определяет экономическую и техническую зависимость от третьих лиц.

Таким образом, разработка новых энергосберегающих технических решений по автоматизации доставки агродронами грузов сельскохозяйственного назначения, заключающейся в их транспортировке и сбросе в заданную точку при независимости от внешнего навигационного оборудования и упрощении архитектуры бортовых электронных систем, является актуальной задачей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент № 2849618 С1 Российская Федерация, МПК А01С 15/00, А01С 21/00, В64U 101/40. Устройство для ультрамалообъемного опрыскивания сельскохозяйственных растений с использованием беспилотного летательного средства и способ ультрамалообъемного опрыскивания сельскохозяйственных растений таким устройством : заявл. 24.10.2024 : опубл. 28.10.2025 / С. А. Андреев, Д. В. Белов.
2. Белов, Д. В. Математическое описание падения грузов сельскохозяйственного назначения с движущихся летательных аппаратов с учетом сопротивления воздуха / Д. В. Белов, Н. Е. Кабдин, С. А. Андреев // Технологии, машины и оборудование для проектирования, строительства объектов АПК : сборник научных статей 2-й Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров, Курск, 14 марта 2024 года. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 71-80.
3. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов и систем автоматического управления : учебник для ВУЗов / И. Ф. Бородин, С. А. Андреев. – 2-е издание, исправленное и дополненное. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство ЮРАЙТ», 2021. – 386 с.
4. Мхитарян, А. М. Аэродинамика / А. М. Мхитарян. – М. : Машиностроение, 1976. – 418 с.

5. Белов, Д. В. Расчет координат расположения беспилотных летательных аппаратов при сбрасывании грузов сельскохозяйственного назначения / Д. В. Белов, С. А. Андреев // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 68-74.

6. Дидманидзе, О. Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве с использованием компьютерных технологий / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. Н. Журилин. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2018. – 150 с.

7. Гладуэлл, М. Бомбардировочная мафия: Мечты о гуманной войне и кровавые будни Второй мировой / М. Гладуэлл. – М. : Альпина Паблишер, 2022. – 226 с. – ISBN 978-5-9614-7492-3.

Об авторе:

Белов Дмитрий Владимирович, старший преподаватель кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородин, ФГБ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), dmitri.belov@rgau-msha.ru.

About the author:

Dmitry V. Belov, Senior Lecturer, Department of Automation and Robotics of Technological Processes named after Academician I.F. Borodin, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), dmitri.belov@rgau-msha.ru.

ЭЛЕКТРООЗОННАЯ СТИМУЛЯЦИЯ РОСТА МИКРОВОДОРОСЛИ

В. Л. Болотин

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В статье рассмотрена актуальная проблема повышения эффективности культивирования микроводоросли хлореллы (*Chlorella vulgaris*) в целях её использования в качестве ресурсосберегающей витаминно-кормовой добавки в сельском хозяйстве. В связи с высокой энергоёмкостью традиционных технологий производства суспензии хлореллы, целью исследования являлась разработка и испытание метода стимуляции роста биомассы с применением озонозвоздушной смеси для снижения затрат. Описана конструкция и принцип работы экспериментальной установки, генерирующей и дозирующей озонозвоздушную смесь. В лабораторных условиях проведены серии экспериментов по определению оптимальных параметров обработки: концентрации озона и времени экспозиции. Полученные результаты подтверждают перспективность использования озонирования для интенсификации процесса выращивания хлореллы при минимальных производственных затратах.*

***Ключевые слова:** хлорелла (*Chlorella vulgaris*), микроводоросли, ресурсосберегающие технологии, витаминно-кормовая добавка, озонозвоздушная смесь, стимуляция роста, культивирование, оптимизация параметров, концентрация озона, время обработки*

ELECTROOZONE STIMULATION OF MICROALGAE GROWTH

V. L. Bolotin

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** This article examines the pressing issue of increasing the efficiency of chlorella (*Chlorella vulgaris*) microalgae cultivation for its use as a resource-saving vitamin and feed supplement in agriculture. Due to the high energy intensity of traditional chlorella suspension production technologies, the aim of this study was to develop and test a method for stimulating biomass growth using an ozone-air mixture to reduce costs. The design and operating principle of an experimental setup generating and dosing an ozone-air mixture are described. A series of laboratory experiments were conducted to determine the optimal processing parameters: ozone concentration and exposure time. The results confirm the potential of using ozonation to intensify the chlorella cultivation process with minimal production costs.*

Keywords: *Chlorella (Chlorella vulgaris), microalgae, resource-saving technologies, vitamin-feed additive, ozone-air mixture, growth stimulation, cultivation, parameter optimization, ozone concentration, processing time.*

Одной из ресурсосберегающих технологий кормления животных является использование в качестве витаминно-кормовой добавки биомассы микроскопических водорослей. К ним относится хлорелла – микроскопическое растение, содержащее в своем составе большое количество белка, полного набора незаменимых аминокислот, углеводов, жиров, витаминов и биологических стимуляторов. В сельском хозяйстве хлорелла используется в виде суспензии, для приготовления которой используется штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111. Однако в сельском хозяйстве России на сегодняшний день, в связи с высокой энергоемкостью производства (нагрев и освещение), использование суспензии хлореллы крайне ограничено [1]. Поэтому перед производителями хлореллы встает необходимость в повышении продуктивности при минимальных производственных затратах и экологической чистоте процесса.

Для проведения экспериментального исследования нами была разработана экспериментальная установка, позволяющая вырабатывать озонозодушную смесь с требуемыми параметрами по температуре, давлению, концентрации озона и подавать её в ёмкость, в которой находится микроводоросль [2].

Экспериментальная установка состоит из герметичного корпуса электроозонатора, разрядного устройства, источника питания высокого напряжения (высоковольтный трансформатор), генератора высокочастотных сигналов и усилителя мощности, ёмкостей с суспензией хлореллы, гибких трубопроводов, посредством которых соединены узлы установки, и диффузоров – распылителей.

Принцип действия экспериментальной установки заключается в следующем. Питательное напряжение подается через блок управления на компрессор и источник питания, включающий в себя генератор сигналов, создающий частоту следования импульсов 500 Гц длительностью импульсов 57,6 мкс. Следом за генератором импульсов устанавливается усилитель мощности, подающий сигнал на источник высокого напряжения, последний подает высокое напряжение к электродам электроозонатора, приводя его в рабочий режим [4-8]. Компрессор подаёт воздух под давлением в герметичный корпус электроозонатора, где он смешивается с озоном, в результате на выходе получается озонозодушная смесь с заданной концентрацией озона. Выработанная озонозодушная смесь через диффузоры поступает в ёмкости с суспензией хлореллы (рисунок 1).

В лабораториях национального центра зерна имени П. П. Лукьяненко был поставлен эксперимент по выявлению влияния озонозодушной смеси, при различных значениях концентрации и экспозиции, на рост и развитие клеток хлореллы [2, 3]. Первоначально был проведен эксперимент по нахождению области эффективной концентрации озона. Для проведения этого эксперимента было обработано озонозодушной смесью три ёмкости с суспензией хлореллы объёмом 1000 мл каждая, клетки которой прошли активное деление и «омолодились», со следующими значениями концентрации озона: 3,0 мг/м³; 5,0 мг/м³; 7,0 мг/м³; 9,0 мг/м³; 11,0 мг/м³; 13,0 мг/м³. Обработку каждой ёмкости проводили в течение

10 минут. Четвёртую ёмкость оставили без обработки в качестве контрольной. Результаты эксперимента были сведены в таблицу 1.

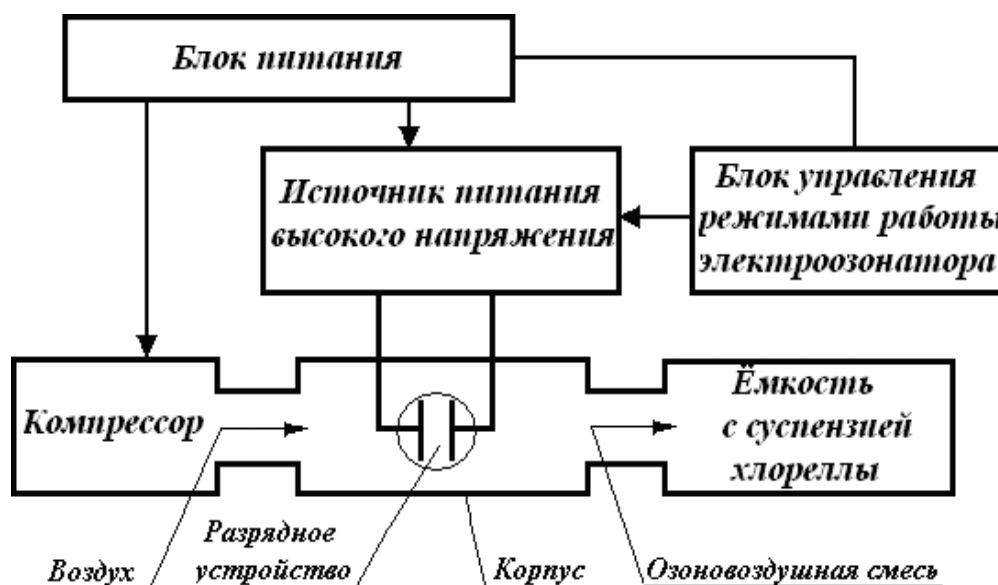


Рисунок 1 – Структурная схема экспериментальной установки

Таблица 1 – Результаты эксперимента по нахождению эффективной концентрации озона

Номер опыта	Концентрация озона, $[O_3]$, мг/м ³	Время обработки, τ , мин	Количество клеток под квадратом камеры, N , шт.					Среднее число клеток под квадратом, $N_{ср}$, шт.	Концентрация клеток хлореллы, $C_{ХЛ}$, кл/мл
			1	2	3	4	5		
1	3,0	10	62	61	78	67	60	65	$16,15 \cdot 10^6$
2	5,0		81	72	62	71	63	70	$17,05 \cdot 10^6$
3	7,0		88	86	78	88	77	83	$20,6 \cdot 10^6$
4	9,0		78	75	73	70	60	71	$18,1 \cdot 10^6$
5	11,0		54	51	65	67	53	58	$14,55 \cdot 10^6$
6	13,0		50	53	55	74	49	56	$14,05 \cdot 10^6$
Контроль	-	-	70	51	62	41	60	57	$14,1 \cdot 10^6$

По результатам эксперимента была также построена зависимость концентрации клеток хлореллы в суспензии от концентрации озона, подаваемого в ёмкость (рисунок 2).

При анализе полученных данных пришли к выводу, что оптимальная область положительного влияния озона на клетки хлореллы лежит в пределах от $3,0 \text{ мг/м}^3$ до $9,0 \text{ мг/м}^3$, а именно при $7,0 \text{ мг/м}^3$ была достигнута максимальная концентрация клеток микроводоросли $20,6 \cdot 10^6$ кл/мл. Для определения эффективного времени воздействия озона на клетки хлореллы при концентрации $7,0 \text{ мг/м}^3$ был проведён эксперимент со следующими уровнями времени: 2 мин, 4 мин, 6 мин, 8 мин, 10 мин, 12 мин, 14 мин. В таблице 2 содержатся результаты этого опыта.

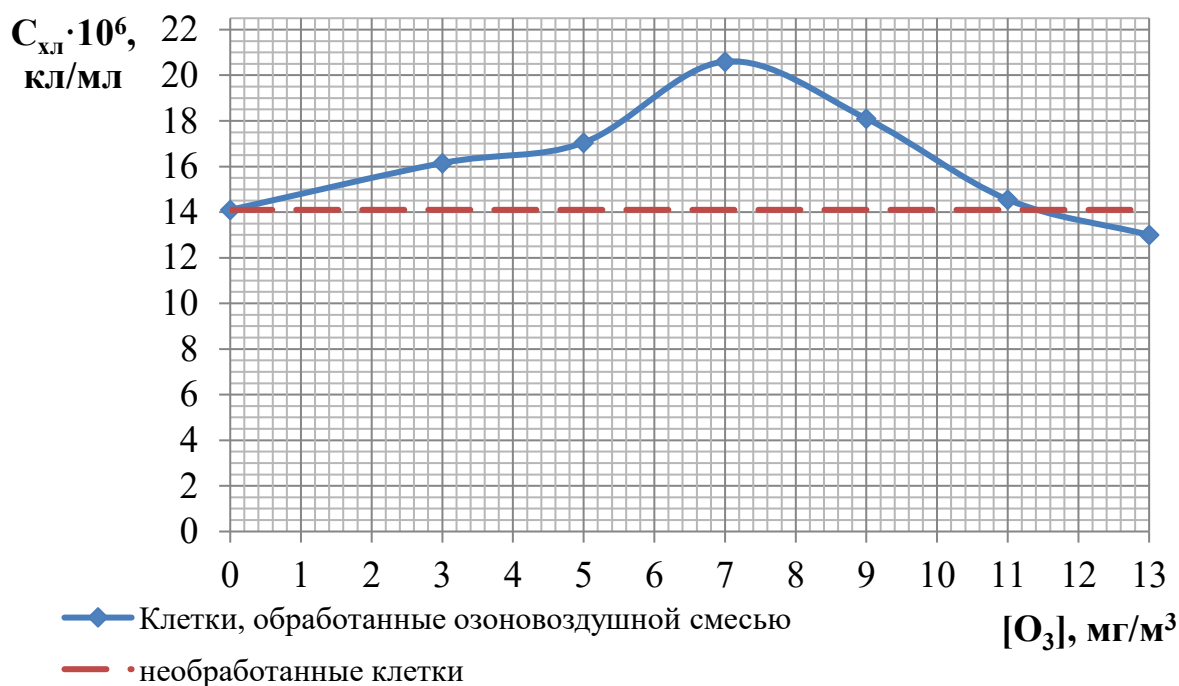


Рисунок 2 – Данные поискового эксперимента по нахождению эффективной концентрации озона

Таблица 2 – Результаты эксперимента по нахождению эффективного времени воздействия озона на клетки хлореллы

Номер опыта	Концентрация озона, [O ₃], мг/м ³	Время обработки, τ, мин	Количество клеток под квадратом камеры, N, шт.					Среднее число клеток под квадратом, N _{ср} , шт.	Концентрация клеток хлореллы, C _{chl} , кл/мл
			1	2	3	4	5		
1	7,0	2	77	74	83	72	64	74	18,55 · 10 ⁶
2		4	88	86	82	80	87	85	21,2 · 10 ⁶
3		6	97	94	83	90	100	93	23,45 · 10 ⁶
4		8	82	84	89	87	92	87	21,8 · 10 ⁶
5		10	86	84	67	94	73	81	20,2 · 10 ⁶
6		12	80	67	77	71	75	74	18,45 · 10 ⁶
7		14	65	56	71	47	35	55	13,9 · 10 ⁶
Контроль	-	-	70	51	62	41	60	57	14,1 · 10 ⁶

По результатам эксперимента была также построена зависимость концентрации клеток хлореллы в суспензии от времени обработки озоновоздушной смесью (Рисунок 3).

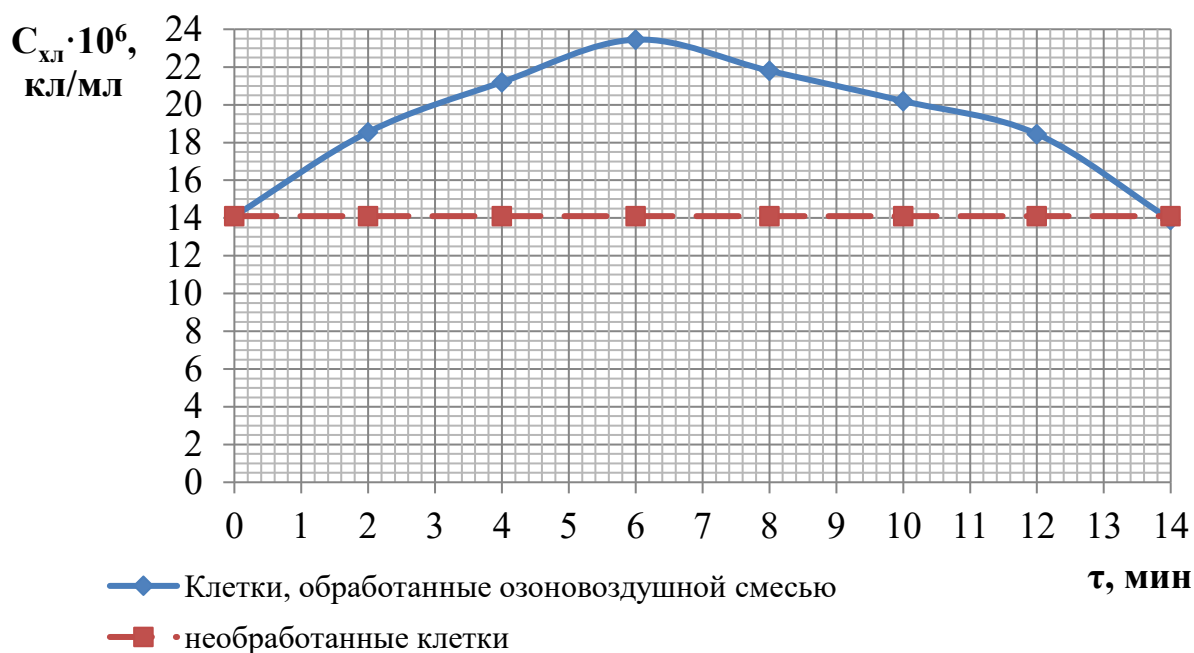


Рисунок 3 – Зависимость концентрации клеток хлореллы в суспензии от времени обработки озоновоздушной смесью

Как видно из представленной зависимости область эффективного воздействия озона на клетки хлореллы находится в пределах 4...10 минут, а именно 6 минут оказались наиболее результативными. В дальнейших экспериментах необходимо определить периодичность обработки для полного обеспечения технологического процесса и получить удельные характеристики использования озона для выращивания микроводоросли [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент № 2299543 С2 Российская Федерация, МПК А01С 1/00. Способ обработки семян сельскохозяйственных культур, устройство для его реализации : № 2005124671/12 : заявл. 02.08.2005 : опубл. 27.05.2007 / А. В. Педан, С. В. Оськин, Д. А. Нормов ; заявитель ФГОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет».
2. Нормов, Д. А. Механизм воздействия озоновоздушной смеси на семена кукурузы и методика проведения экспериментального исследования влияния электроозонирования на ростовые процессы семян / Д. А. Нормов, А. А. Шевченко, Е. А. Сапрунова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 105. – С. 775-787.
3. Нормов, Д. А. Озонирование повышает посевные качества семян / Д. А. Нормов, А. А. Шевченко, Е. А. Федоренко // Сельский механизатор. – 2009. – № 1. – С. 14-15.
4. Патент № 2324342 С1 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с варроатозом пчел: № 2006128062/12: заявл. 01.08.2006: опубл. 20.05.2008 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, С. А. Николаенко, Т. А. Нормова;

заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».

5. Дидманидзе, О. Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве с использованием компьютерных технологий / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. Н. Журилин. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2018. – 150 с.

6. Патент № 2237404 С2 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с аскоферозом (варианты): № 2002135255/12: заявл. 25.12.2002: опубл. 10.10.2004 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, И. А. Заболотная, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

7. Патент № 2234837 С1 Российская Федерация, МПК А01К 55/00. Способ обработки пчел: № 2002135256/12: заявл. 25.12.2002: опубл. 27.08.2004 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, Ю. Н. Помазанова, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

8. Патент № 2179151 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Электроразрядный термоадаптивный элемент озонатора: № 2000107683/12: заявл. 28.03.2000: опубл. 10.02.2002 / Д. А. Нормов, В. К. Андрейчук, Р. С. Шхалахов, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

Об авторе:

Болотин Владимир Леонидович, инженер, соискатель ученой степени, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49).

About the author:

Vladimir L. Bolotin, Engineer, academic degree applicant, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).

РАСЧЕТ ОЗОНАТОРА БАРЬЕРНОГО ТИПА

А. В. Пискарёва

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В работе представлены принцип действия, ключевые конструктивные параметры и методика расчёта озонатора барьерного типа. Рассмотрено влияние таких параметров, как величина разрядного промежутка, свойства диэлектрика, частота питающего напряжения и система охлаждения, на эффективность генерации озона.*

***Ключевые слова:** барьерный озонатор, генератор озона, расчет озонатора, барьерный разряд, озонирование.*

CALCULATION OF THE BARRIER TYPE OZONATOR

A. V. Piskareva

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Annotation.** The paper presents the principle of operation, key design parameters and calculation method of a barrier-type ozonator. The influence of parameters such as the size of the discharge gap, the properties of the dielectric, the frequency of the supply voltage and the cooling system on the efficiency of ozone generation is considered.*

***Keywords:** barrier ozonator, ozone generator, ozonator calculation, barrier discharge, ozonation*

Озонатор барьерного типа – это устройство, в котором озон (O_3) генерируется в результате действия электрического разряда в газообразном кислородосодержащем потоке. Разряд происходит в зазоре между двумя электродами, разделенными диэлектрическим барьером, что предотвращает переход разряда в дуговой и обеспечивает стабильность процесса [1, с. 193].

Согласно монографии «Теория и практика получения и применения озона» под редакцией В. В. Лунина [1], основные конструктивные параметры озонатора барьерного типа, которые определяют его энергетическую эффективность и производительность, делятся на несколько групп, и многие из них взаимосвязаны (таблица 1).

Из таблицы видно, что ключевыми для проектирования и оптимизации озонатора являются параметры, обеспечивающие стабильность разряда и управление температурой.

Таблица 1 – Основные конструктивные параметры озонатора барьерного типа

Конструктивные параметры	Влияние
Величина разрядного промежутка	Оптимизация этого параметра вместе с частотой и давлением газа напрямую влияет на плотность разряда и выход озона.
Материал и свойства диэлектрика	Материал влияет на устойчивость к пробое, диэлектрическую проницаемость и термическую стойкость.
Электродная система	Металл-диэлектрик или диэлектрик-диэлектрик. Если оба электрода покрыты диэлектриком, повышается надёжность.
Конструкция охлаждения	Эффективный отвод тепла (водяное, воздушное охлаждение) необходим для поддержания стабильной концентрации и высокой производительности.
Площадь поверхности электродов	Прямо определяет общую производительность озонатора. Большая площадь способствует большему синтезу озона.
Частота питающего напряжения	Повышение частоты (обычно до нескольких кГц) увеличивает количество импульсов разряда в единицу времени, что может повышать производительность.
Форма питающего напряжения	Синусоидальная, импульсная или пилообразная форма влияет на стабильность и эффективность формирования микроразрядов.
Состав и состояние озonoобразующего газа	Чистота кислорода, наличие примесей (например, малых добавок азота), влажность и давление газа оказывают сильное влияние на выход озона и стабильность процесса.

Производительность озонатора по озону выбирается в соответствии с областью применения. На основании руководства по параметрам озонирования воды и оборудования [2] можно сделать вывод, что концентрация озона до 5 мг/л соответствует требованиям озонирования питьевой воды и пищевых продуктов. Время озонирования 15 мин [2]. Примем объем озонируемой за один раз воды 10 л, тогда требуемую производительность озонатора можно вычислить по формуле 1.

$$P = Q_{H_2O} \cdot C, \quad (1)$$

где P – теоретическая производительность озонатора (г/час или мг/ч);

Q_{H_2O} – расход воды (л/ч);

C – требуемая остаточная концентрация озона в воде (г/м³).

Таким образом, для поддержания концентрации озона в воде 5 мг/л необходима производительность озонатора: $10 \cdot 4 \cdot 5 = 200$ мг/ч.

Расход воздуха для озонатора производительностью 200 мг/ч можно вычислить по формуле 2.

$$Q_{\text{возд}} = G \cdot C, \quad (2)$$

где $Q_{\text{возд}}$ – расход воздуха (м³/ч);

G – целевая производительность по озону (г/ч);

C – концентрация озона на выходе (г/м³).

Следовательно, в заданном случае расход воздуха составит:

$$0,2 \cdot 5 = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Рассмотрим геометрические размеры озонатора. Для нашего расчета выберем цилиндрическую конструкцию. Мощность и, следовательно, производительность озонатора линейно зависят от разрядной площади [3, с. 28]. В настоящее время для увеличения разрядной площади для трубчатых озонаторов используется уменьшение диаметра трубчатых электродов (таблица 2).

Таблица 2 – Диаметр трубчатых электродов озонатора

Диаметр	Марка озонатора	Особенности
50...80 мм	Озония, Трейлигаз	Просты в изготовлении, ремонте, но имеют низкую удельную площадь. Энергоэффективность ниже.
12...18 мм	Ведеко, Шмидинг	Компромисс между эффективностью и технологичностью. Широко распространены в современных промышленных установках.
4...5 мм	Разработки Вятского ГУ и Курчатова института.	Требуют высокой точности изготовления и качества газоподготовки (во избежание засорения).
< 3 мм	Тринити	Переход в область микроразрядных технологий.

Для нашего расчета примем диаметр диэлектрической трубки (кварц): $d = 20$ мм и ширину газового зазора: $\Delta = 1$ мм = 0,001 м.

Диаметр внутреннего высоковольтного электрода равен внутреннему диаметру трубки или меньше. Примем, что электрод расположен внутри трубки, а разряд происходит с ее внешней стороны.

Длина активной обтекаемой газом части разрядной зоны L . Площадь разрядной зоны можно вычислить по формуле (3):

$$A = \pi \cdot d \cdot L, \quad (3)$$

где A – площадь разрядной зоны (м^2);

d – диаметр диэлектрической трубки (см);

L – длина активной части разрядной зоны (см).

Примем $L = 20$ см, тогда $A = \pi \cdot 2 \cdot 20 = 126 \text{ см}^2 = 0,013 \text{ м}^2$.

Напряжение зажигания в барьерном разряде зависит от давления, ширины зазора и свойств диэлектрика [3]. Для воздуха при атмосферном давлении и зазоре 1 мм напряжение зажигания $U = 4,5$ кВ [4]. Для поддержания стабильного разряда необходимо напряжение на 20...40 % выше U . Примем $U_{\text{пик}} = 7$ кВ.

Выбираем значение частоты $f = 10$ кГц. Повышение частоты увеличивает плотность разряда, но также и потери в диэлектрике [5].

Реактор барьерного озонатора представляет собой конденсатор с двумя диэлектриками: основным (трубка) и газовым зазором.

Емкость газового зазора можно рассчитать по формуле (4):

$$C_{\Gamma} = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{\Delta}, \quad (4)$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ (Ф/м);

A – площадь разрядной зоны (м^2);

Δ – ширина газового зазора (м).

Следовательно, $C_r = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0,013}{0,001} = 1,11 \cdot 10^{-10} = 111 \text{ пФ}$

Емкость диэлектрической стенки (C_d) зависит от ее толщины (например, $t_d = 1,5 \text{ мм}$) и диэлектрической проницаемости ($\varepsilon \sim 4$ для кварца [4, 8, 9]). Можно рассчитать емкость диэлектрической стенки по формуле (5):

$$C_d = \frac{(\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot A)}{t_d}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ (Ф/м)}$;
 ε – диэлектрическая проницаемость (м^2);
 A – площадь разрядной зоны (м^2);
 t_d – толщина стенки (м).

Таким образом, $C_d = \frac{(8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 0,013)}{0,0015} = 2,97 \cdot 10^{-10} = 297 \text{ пФ}$.

Мощность, вложенную в разряд озонатора, т.е. активную мощность, можно рассчитать по формуле (3) Мэнли [3].

$$P = 4 \cdot f \cdot c_d \cdot U_{\text{гор}} \cdot \left(U_{\text{пик}} - U_{\text{гор}} \cdot \left(1 + \frac{C_{\text{газ}}}{C_d} \right) \right), \quad (6)$$

где P – активная мощность (Вт);
 f – частота (Гц);
 $U_{\text{гор}}$ – напряжение горения разряда (В);
 $U_{\text{пик}}$ – внешнее приложенное напряжение (В);
 $C_{\text{газ}}$ и C_d – емкости газового промежутка и диэлектриков (мкФ).

Таким образом, из формулы (3) видно, что можно менять частоту и напряжение питания, изменяя тем самым активную мощность.

$$P = 4 \cdot 10000 \cdot 2,9 \cdot 10^{-9} \cdot 4500 \cdot \left(7000 - 4500 \cdot \left(1 + \frac{111 \cdot 10^{-12}}{297 \cdot 10^{-12}} \right) \right) = 44 \text{ Вт}$$

Активная мощность, собственно идущая на разряд ($P = 44 \text{ Вт}$), составляет лишь малую часть полной из-за реактивного характера нагрузки. КПД с учетом потерь на нагрев обычно составляет 50...70 % [5-7, 10]. Таким образом, входная электрическая мощность на ВВИП составит около 150 Вт.

Таким образом, представленный расчет дает основные параметры для проектирования озонатора барьерного типа. Также необходимо учесть некоторые конструктивные особенности и материалы. Диэлектрик – кварцевое стекло, которое обладает высокой диэлектрической прочностью, химической стойкостью к озону, хорошей теплопередачей. Толщина стенки 1,5...2 мм. Внутренний электрод – алюминиевая фольга или проводящее покрытие, плотно прилегающее к внутренней стенке трубки. Внешний – корпус из нержавеющей стали AISI 316L (устойчив к озону).

При мощности 150 Вт в разряде необходим отвод тепла. Рекомендуется принудительное воздушное охлаждение вентилятором, обдувающим внешний электрод.

В качестве блока питания необходим высоковольтный преобразователь с выходным синусоидальным или импульсным напряжением до 10 кВ (пик.) и частотой 10 кГц, с возможностью регулировки для управления производительностью. Он должен иметь защиту от перегрузки по току и пробоя.

Для достижения заявленной производительности необходима точная настройка и балансировка параметров: давления газа, его влажности, амплитуды и формы питающего напряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теория и практика получения и применения озона / В. В. Лунин, В. Г. Самойлович, С. Н. Ткаченко, И. С. Ткаченко. – М. : Изд-во Московского университета, 2016. – 416 с.

2. Параметры озонирования воды и оборудования: профессиональное руководство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inner.su/articles/parametry-ozonirovaniya-vody-i-oborudovaniya-professionalnoe-rukovodstvo>.

3. Матюнин, А. Н. Исследование систем генерации озона в барьерном разряде с высокоомными электродами : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Матюнин Алексей Николаевич. – Чебоксары, 2019. – 140 с.

4. Инженерный справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/ElectricityAndMagnethism/ElectricalHardnessMaterials/ElectricalHardnessMaterialsANDAirsmall/?ysclid=ml46kqws9a39151441>.

5. Оборудование и технология сточных вод / В. Н. Филипов, А. П. Зинovieв, Г. И. Рыжов, С. А. Зинovieв. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2003.

6. Патент № 2324342 С1 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с варроатозом пчел: № 2006128062/12: заявл. 01.08.2006: опубл. 20.05.2008 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, С. А. Николаенко, Т. А. Нормова; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».

7. Патент № 2237404 С2 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с аскоферозом (варианты): № 2002135255/12: заявл. 25.12.2002: опубл. 10.10.2004 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, И. А. Заболотная, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

8. Патент № 2234837 С1 Российская Федерация, МПК А01К 55/00. Способ обработки пчел: № 2002135256/12: заявл. 25.12.2002: опубл. 27.08.2004 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, Ю. Н. Помазанова, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

9. Дидманидзе, О. Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве с использованием компьютерных технологий / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. Н. Журилин. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2018. – 150 с.

10. Патент № 2179151 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Электроразрядный термоадаптивный элемент озонатора: № 2000107683/12: заявл. 28.03.2000: опубл. 10.02.2002 / Д. А. Нормов, В. К. Андрейчук, Р. С. Шхалахов,

Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

Об авторах:

Пискарёва Анастасия Владимировна, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49).

About the authors:

Anastasia V. Piskareva, graduate student, Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy, (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИНВЕРТОРА ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

А. Г. Ничипуров

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В исследовании рассмотрены три метода и два способа регулирования внутреннего сопротивления инвертора, применяемого в системах распределённой генерации. Проанализированы их математические зависимости, выходные характеристики и особенности применения. Сделан вывод о целесообразности применения метода регулирования напряжения через управление мощностью в системах распределённой генерации по причине возможности программной подстройке: выходного импеданса, напряжения и тока инвертора под параметры и состояние энергосистемы.*

***Ключевые слова:** инвертор, источники распределённой генерации, виртуальное сопротивление инвертора, импеданс.*

REGULATION OF THE INTERNAL RESISTANCE OF THE INVERTER OF DISTRIBUTED GENERATION SOURCES

A. G. Nicipurov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** The study considers three methods and two ways of regulating the internal resistance of an inverter used in distributed generation systems. Their mathematical dependencies, output characteristics and application features are analyzed. It is concluded that it is advisable to use the voltage regulation method through power management in distributed generation systems due to the possibility of software adjustment of the output impedance, voltage and current of the inverter to the parameters and state of the power system.*

***Keywords:** inverter, distributed generation sources, virtual inverter resistance, impedance.*

Введение. В последние годы инверторы получили широкое распространение в электроэнергетике. Они применяются в системах распределённой генерации, солнечных и ветровых электростанциях, источниках бесперебойного питания.

Актуальность данного исследования обусловлена ростом доли инверторных источников распределённой генерации и необходимостью обеспечения устойчивости их параллельной работы с энергосистемой.

Цель исследования – рассмотрение методов регулирования внутреннего сопротивления инвертора и определение наиболее подходящего способа регулирования для систем распределённой генерации.

Материалы и методы исследования. В качестве материалов исследования в работе рассматриваются алгоритмы управления инверторами источников распределённой генерации, а также влияние выходного фильтра и регуляторов системы управления на выходной импеданс инвертора. Методика исследования включает теоретический анализ принципов формирования выходного импеданса инвертора, анализ влияния параметров фильтров и настройки регуляторов.

Результаты и обсуждения

Инвертор служит для преобразования постоянного тока в переменный. При работе инвертора с нагрузкой или при параллельном подключении к сети большое значение имеет его внутреннее сопротивление. От этого параметра зависят токи, устойчивость режима работы энергосистемы, распределение мощности и качество электроэнергии. В отличие от традиционных генераторов, внутреннее сопротивление инвертора не является постоянной физической величиной и может изменяться с помощью системы управления.

Под внутренним сопротивлением инвертора понимают его способность противодействовать изменению тока при изменении нагрузки или параметров электросети.

У инвертора сопротивление в основном задаётся программно. Физические элементы, такие как силовые ключи (транзисторы) и фильтры (катушки, конденсаторы), имеют малое собственное сопротивление, поэтому поведение инвертора как источника напряжения определяется алгоритмами управления.

Регулирование внутреннего сопротивления позволяет сделать инвертор, который удерживает напряжение и меньше реагирует на изменение нагрузки или наоборот, при увеличении нагрузки напряжение заметно падает.

Регулирование внутреннего сопротивления инвертора необходимо для решения ряда практических задач:

- обеспечения устойчивой работы при подключении к сельским распределительным сетям.
- равномерного распределения токов и мощности между параллельно работающими инверторами;
- ограничения токов короткого замыкания (в том числе за счёт виртуального сопротивления и алгоритмов ограничения тока);
- повышения качества электроэнергии (в том числе по показателям, нормируемым ГОСТ 32144-2013) [1];
- предотвращения колебаний напряжения и частоты;
- обеспечения приоритетности работы источника распределённой генерации над энергосистемой у потребителя.

Без регулирования внутреннего сопротивления инвертор может работать нестабильно, вызывать перегрузки и приводить к срабатыванию защит.

Метод формирования виртуального сопротивления инвертора

Суть метода заключается в том, что система управления инвертора (контроллер) искусственно создаёт падение напряжения, пропорциональное току нагрузки. Падение не происходит на инверторе, а происходит через управление инвертором. Конкретно падение формируется в контроллере, в блоке формирования задания напряжения. В результате инвертор начинает вести себя так, как будто у него есть внутреннее сопротивление (рисунок 1) [2].

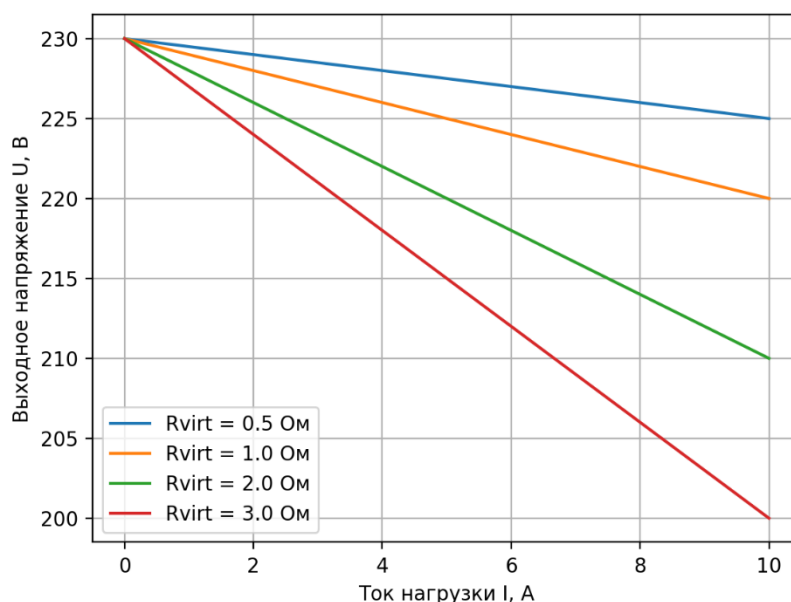


Рисунок 1 - Выходная U-I характеристика инвертора (метод формирования виртуального сопротивления)

$$U_{\text{ref}} = U_0 - R_{\text{virt}} \cdot I \quad (1)$$

где U_{ref} – опорное (задаваемое) напряжение, В;

U_0 – номинальное (базовое) напряжение, В;

R_{virt} – коэффициент виртуального сопротивления, Ом;

I – выходной ток инвертора, А.

При увеличении тока напряжение на выходе инвертора немного уменьшается. Это позволяет ограничить токи и улучшить устойчивость работы.

Преимущества виртуального сопротивления:

- гибкость настройки;
- отсутствие дополнительных потерь;
- возможность адаптации под различные режимы работы (автономно, параллельно с сетью).

Метод виртуального сопротивления позволяет регулировать:

- выходное напряжение;
- выходной ток;
- распределение тока и мощности между источниками;
- выходной импеданс инвертора.

Метод линейного регулирования

При увеличении тока система управления снижает напряжение на выходе инвертора по заданному закону. Коэффициент этой зависимости определяет величину эквивалентного внутреннего сопротивления. Регулирование происходит за счет изменения времени открытого состояния силовых ключей инвертора (рисунок 2) [3].

$$U = U_0 - k \cdot I, \quad (2)$$

где U – выходное напряжение инвертора, В;
 U_0 – номинальное (базовое) напряжение, В;
 k – коэффициент линейного регулирования, Ом;
 I – ток нагрузки, А.

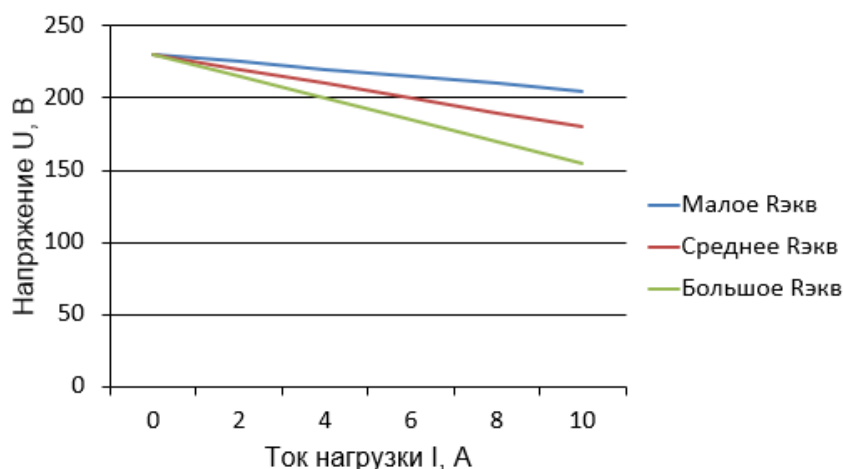


Рисунок 2 – Выходная U-I характеристика инвертора (метод линейного регулирования)

Наклон U-I характеристики определяется коэффициентом линейного регулирования и эквивалентным внутренним сопротивлением инвертора.

Таким образом, выходное напряжение инвертора уменьшается линейно с ростом тока нагрузки, что эквивалентно наличию внутреннего сопротивления источника.

Преимущества метода линейного регулирования:

- легко реализуется в контроллерах с ограниченными ресурсами;
- предсказуемая статическая характеристика;
- подходит для медленно меняющихся нагрузок.

При этом метод имеет ограниченную применимость в распределённой генерации из-за отсутствия учёта динамики переходных процессов и устойчивости взаимодействия инвертора с электрической сетью и другими источниками.

Метод регулирования напряжения через управление мощностью

При изменении нагрузки инвертор изменяет напряжение и частоту в зависимости от передаваемой мощности (рисунок 3) [4].

Алгоритм работы:

- измеряются напряжение (U) и ток (I)
- вычисляются активная (P) и реактивная (Q) мощности;

- формируются корректировки частоты (f) и напряжения (U);
- изменяются параметры ШИМ;
- силовые ключи формируют новое напряжение.

$$U = U_0 - k_0 \cdot (Q - Q_0), \quad (3)$$

где U – выходное напряжение инвертора, В;
 U_0 – номинальное напряжение, В;
 k_q – коэффициент droop по реактивной мощности, В/ВАр;
 Q – текущая реактивная мощность, ВАр;
 Q_0 – номинальная реактивная мощность Вар.

$$f = f_0 - k_p \cdot (P - P_0), \quad (4)$$

где f – выходная частота инвертора, Гц;
 f_0 – номинальная частота, Гц;
 k_p – коэффициент droop по активной мощности Гц/Вт;
 P – текущая активная мощность, Вт;
 P_0 – номинальная активная мощность, Вт.

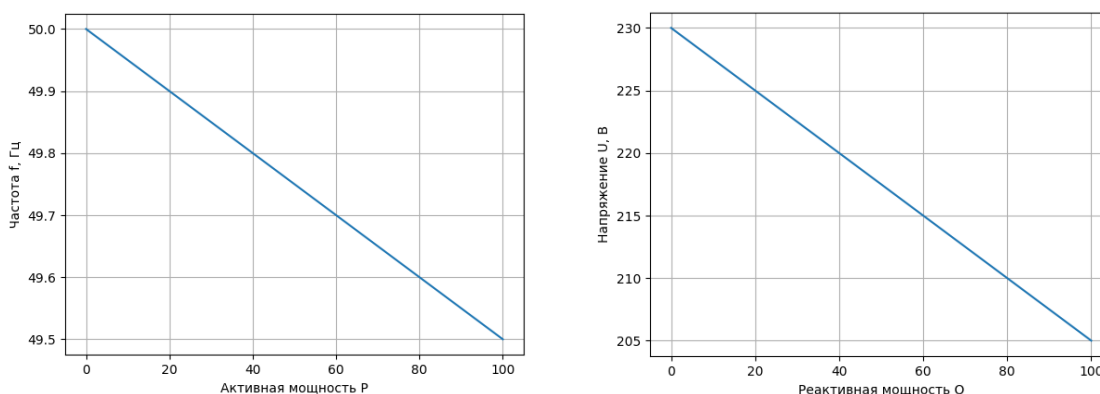


Рисунок 3 – Регулирование напряжения и частоты через управление мощностью

Такой подход позволяет косвенно влиять на внутреннее сопротивление, особенно на его реактивную составляющую. Инвертор становится более устойчивым при параллельной работе с сетью и другими источниками.

Этот метод хорошо подходит для сетей с возобновляемыми источниками энергии и используется в современных системах управления.

Преимущества метода регулирования напряжения через управление мощностью:

- не требует обмена данными между источниками;
- обеспечивает самосинхронизацию инверторов;
- позволяет делить нагрузку между источниками.

Однако этот метод обладает ограниченной точностью регулирования напряжения при изменяющихся режимах сети и замедленной динамикой регулирования во время быстрых изменениях нагрузки.

Различия коэффициентов линейного регулирования, droop по реактивной мощности и виртуального сопротивления

Коэффициент линейного регулирования определяет статическую зависимость выходного напряжения от тока нагрузки, коэффициент $d_{\text{воор}}$ по реактивной мощности задаёт изменение напряжения в зависимости от реактивной мощности, тогда как коэффициент виртуального сопротивления формирует активную составляющую выходного импеданса инвертора в динамике посредством алгоритмов управления.

Влияние выходного фильтра

Выходной фильтр инвертора, как правило, выполняется на основе индуктивностей и ёмкостей. Его параметры напрямую влияют на электрическое сопротивление инвертора.

Увеличение индуктивности фильтра приводит к росту реактивного сопротивления и снижению резких изменений тока. Однако при этом увеличиваются габариты и стоимость оборудования.

Изменение параметров фильтра обычно выполняется на этапе проектирования и не используется для оперативного регулирования.

Настройка регуляторов системы управления

Регуляторы системы управления представляют собой программные элементы, обеспечивающие автоматическое поддержание токов, напряжений и мощности инвертора. Настройка их параметров оказывает существенное влияние на эквивалентное внутреннее сопротивление и динамические характеристики инвертора

Физически регуляторы – это программные алгоритмы, выполняемые в цифровом контроллере инвертора, который через ШИМ управляет силовыми ключами.

Регулирование тока и напряжения также влияет на эквивалентное внутреннее сопротивление инвертора.

При высоких коэффициентах пропорционального и интегрального регуляторов система управления быстро реагирует на изменение нагрузки, что приводит к снижению эквивалентного внутреннего сопротивления инвертора.

Современные инверторные устройства с расширенными алгоритмами управления способны искусственно создавать эффект, похожий на инерцию вращающихся генераторов и электрическое сопротивление синхронных и асинхронных генераторов [5, 6].

Выводы. В исследовании рассмотрены основные способы регулирования внутреннего сопротивления инвертора, применяемые в современных системах электроснабжения.

Наиболее распространённым и гибким является метод регулирования напряжения через управление мощностью, который позволяет адаптировать работу инвертора под различные режимы эксплуатации, т.к. данный метод обладает высокой адаптивностью и позволяет осуществлять программную подстройку выходного импеданса, напряжения и тока инвертора под параметры и состояние энергосистемы, обеспечивая устойчивую работу как в сетевом, так и в автономном режимах работы.

Регулирование по виртуальному сопротивлению может применяться в качестве вспомогательного метода для повышения устойчивости и качества переходных процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://specemc.ru/upload/files/gost/gost-32144-2013.pdf>.

2. Обзор ограничивающего тока управления инверторами формирования сети при переходных процессах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.iee-business.com/knowledge/inverters-voltage-control-impedance-current-limiters-transient-analysis-fault-currents-power-system-stability-80-ru_RU.

3. Операция Islanded основанной на инверторе микросетки. Используя метод управления свисанием [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.exponenta.ru/physmod/sps/ug/power-Microgrid-IslandedOperation-DroopControl.html>.

4. Пустохин, П. Ю. Обеспечение электромагнитной совместимости сетевого инвертора напряжения на основе виртуальной синхронной машины с активной фильтрацией гармоник тока / П. Ю. Пустохин, А. М. Зюзев, А. В. Костылев // Энергосбережение и инновации в энергетике (ЭСиК). – 2025. – № 3(68).

5. Сарнаков, Д. Д. Виртуальная инерция в современных энергосистемах [Электронный ресурс] / Д. Д. Сарнаков // Материалы конференции (ТПУ). – 2023. – С. 35-38. – Режим доступа: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/77654/1/conference_tpu-2023-C133_p35-38.pdf.

6. Мамедов, Т. А. Обобщенная оценка энергоэффективности централизованного электроснабжения и производства продукции / Т. А. Мамедов, В. И. Загинайлов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2019. – № 3. – С. 33-36. – DOI 10.18635/2071-2219-2019-3-33-36.

Об авторе:

Ничипуров Алексей Геннадьевич, аспирант кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академик И. А. Будзко, «ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49).

About author:

Aleksey G. Nicipurov, postgraduate student power supply and thermal power engineering department after named I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49).

ДЕЗИНФЕКЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ОЗОНА

М. Е. Федоренко¹, Д. А. Нормов²

ГБОУ города Москвы «Школа «Марьино» имени маршала авиации А. Е. Голованова», г. Москва, Российская Федерация

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрены преимущества применения озона для дезинфекции сельскохозяйственных помещений. Описаны механизмы действия озона как эффективного окислителя, превосходящего традиционные химические средства по уничтожению бактерий, вирусов и спор плесени при полном разложении до кислорода. Приведены примеры использования озонирования в животноводческих комплексах, теплицах, зерно- и овощехранилищах, а также при обработке оборудования и кормов. Показано, что озоновая обработка снижает заболеваемость животных, улучшает качество воздуха, предотвращает порчу продукции и продлевает сроки хранения. Сделан вывод о перспективности озоновых технологий как экологически безопасного и экономически выгодного решения для санитарной обработки в аграрном секторе.

Ключевые слова: озон, дезинфекция сельскохозяйственных помещений, озонирование воздуха, животноводческие комплексы, теплицы, зернохранилища, патогенные микроорганизмы, экологическая безопасность, профилактика заболеваний животных, сохранение продукции.

DISINFECTION OF AGRICULTURAL PREMISES WITH OZONE

M. E. Fedorenko, D. A. Normov

Marino School named after Marshal of Aviation A. E. Golovanov, Moscow, Russian Federation

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. The advantages of using ozone for disinfection of agricultural premises are considered. The mechanisms of action of ozone as an effective oxidizing agent are described, surpassing traditional chemical agents for the destruction of bacteria, viruses and mold spores when completely decomposed to oxygen. Examples of the use of ozonation in livestock complexes, greenhouses, grain and vegetable storages, as well as in the processing of equipment and feed are given. Ozone treatment has been shown to reduce animal morbidity, improve air quality, prevent product spoilage, and prolong shelf life. The conclusion is made about the prospects of ozone technologies as an en-

vironmentally safe and economically beneficial solution for sanitation in the agricultural sector.

Keywords: *ozone, disinfection of agricultural premises, air ozonation, livestock complexes, greenhouses, granaries, pathogenic microorganisms, environmental safety, prevention of animal diseases, preservation of products.*

В сельском хозяйстве особое значение придается поддержанию гигиены и санитарного состояния помещений, где содержатся животные, хранится продукция или выращиваются растения. Фермы, животноводческие комплексы, птичники, свинарники, коровники, теплицы и зернохранилища постоянно подвергаются риску развития патогенных микроорганизмов, плесени, вирусов и бактерий [1]. Эти факторы приводят к вспышкам заболеваний скота и птицы, снижению продуктивности, порче кормов и урожая, а также к значительным экономическим потерям. Традиционные методы дезинфекции с использованием химических средств часто имеют серьезные недостатки: остаточные токсичные вещества, необходимость длительного проветривания, негативное влияние на здоровье животных и персонала, а также экологические риски [2].

В связи с этим все большую актуальность приобретают альтернативные методы обеззараживания, которые обеспечивают высокую эффективность при минимальном воздействии на окружающую среду и биологические объекты [5-8]. Одним из наиболее перспективных решений является применение озона – мощного природного окислителя, который получают из обычного воздуха с помощью озонаторов. Озон обладает выраженными дезинфицирующими свойствами: он в 15...20 раз эффективнее хлора в отношении вегетативных форм бактерий и в 300...600 раз – в отношении споровых форм. При этом озон полностью разлагается до молекулярного кислорода, не оставляя токсичных остатков, что делает его экологически чистым и безопасным для применения в аграрной сфере.

Озон особенно эффективен при дезинфекции животноводческих помещений. В коровниках, свинарниках и птичниках накапливается большое количество аммиака, сероводорода и других газов, способствующих развитию респираторных заболеваний и снижению иммунитета у животных. Установка озонаторов позволяет проводить регулярную санацию воздуха в присутствии животных при низких концентрациях (на уровне ПДК), что улучшает комфортность содержания, снижает запахи и подавляет патогенную микрофлору. При более высоких концентрациях (в отсутствие животных) озон обеспечивает глубокую дезинфекцию поверхностей, оборудования, кормушек и поилок. Исследования показывают, что озонирование воздуха в птицеводческих комплексах повышает сохранность молодняка на 0,8...2 %, увеличивает выводимость яиц и снижает заболеваемость респираторными инфекциями. Аналогичный эффект наблюдается в свиноводстве: озоновая обработка помещений и оборудования значительно уменьшает риск распространения инфекций, что особенно важно для крупных комплексов.

В теплицах и парниках озон применяется для обеззараживания воздуха и почвы перед посевом или высадкой рассады. Традиционные методы – серные шашки или химические препараты – часто оставляют вредные остатки и требуют

тщательного смывания. Озон позволяет создать стерильную среду без химии: он уничтожает споры плесневых грибов, бактерии и вирусы в труднодоступных местах, включая вентиляционные системы и конструкции. При правильном подборе концентраций озон не наносит вреда растениям, а в некоторых случаях даже стимулирует их рост за счет улучшения качества воздуха. Это особенно актуально для закрытых грунтовых хозяйств, где высокая влажность способствует быстрому развитию патогенов.

Особую ценность озон представляет при обработке хранилищ зерна, овощей и кормов [3]. В зернохранилищах и овощехранилищах без должной дезинфекции быстро развивается плесень, гниль и вредители, что приводит к потерям до 20...30 % продукции. Озонирование воздуха в таких помещениях подавляет развитие микроорганизмов, замедляет процессы дыхания зерна и овощей, а также вызывает уход грызунов и насекомых из-за неприятного для них запаха озона. При этом не требуется эвакуация продукции – обработка проводится в рабочем режиме. Озон также эффективен для дезинфекции кормов: он уничтожает патогены на поверхности сена, силоса и комбикормов, предотвращая микотоксикозы у животных. Такой подход позволяет значительно продлить сроки хранения и сохранить питательную ценность кормов.

Предварительная обработка оборудования и тары озоном также заслуживает внимания [4]. Перед закладкой новой партии продукции или семян требуется тщательная очистка полов, стен, потолков и инвентаря. Озон проникает во все щели и поры, уничтожая биопленки и споры, которые устойчивы к традиционным моющим средствам. Это особенно важно для предприятий, ориентированных на производство органической продукции, где запрещено использование синтетических дезинфектантов.

Озон, доказавший свою эффективность в различных направлениях сельскохозяйственного производства, открывает широкие возможности для оптимизации санитарных процессов. Его универсальность – от регулярной санации воздуха в присутствии животных до глубокой дезинфекции пустых хранилищ и теплиц – позволяет интегрировать технологию в существующие производственные циклы без значительных изменений инфраструктуры. Применение озоновых генераторов демонстрирует устойчивую положительную динамику: снижение заболеваемости, рост продуктивности, экономия на химических препаратах и повышение экологической безопасности. Дальнейшие исследования и внедрение озоновых технологий в аграрный сектор позволят повысить конкурентоспособность отечественного сельского хозяйства и обеспечить более высокие стандарты качества продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов, П. А. Использование озона в птицеводческих хозяйствах для обеззараживания воздуха помещений / П. А. Попов // Ветеринария и санитария. – 2009. – № 3. – С. 57–62.
2. Применение процесса озонирования в сельском хозяйстве / И. В. Бас-

каков, В. И. Оробинский, А. П. Тарасенко [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3(50). – С. 120-126. – DOI 10.17238/issn2071-2243.2016.3.120.

3. Дидманидзе, О. Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве с использованием компьютерных технологий / О. Н. Дидманидзе, О. П. Андреев, А. Н. Журилин. – М. : ООО «УМЦ «Триада», 2018. – 150 с.

4. Пуляев, Н. Н. Технологическое и энергетическое оборудование / Н. Н. Пуляев. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Автограф», 2019. – 90 с.

5. Патент № 2324342 С1 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с варроатозом пчел: № 2006128062/12: заявл. 01.08.2006: опубл. 20.05.2008 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, С. А. Николаенко, Т. А. Нормова; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет».

6. Патент № 2237404 С2 Российская Федерация, МПК А01К 51/00. Способ борьбы с аскоферозом (варианты): № 2002135255/12: заявл. 25.12.2002: опубл. 10.10.2004 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, И. А. Заболотная, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

7. Патент № 2234837 С1 Российская Федерация, МПК А01К 55/00. Способ обработки пчел: № 2002135256/12: заявл. 25.12.2002: опубл. 27.08.2004 / Д. А. Нормов, Д. А. Овсянников, Ю. Н. Помазанова, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

8. Патент № 2179151 С2 Российская Федерация, МПК С01В 13/11. Электроразрядный термоадаптивный элемент озонатора: № 2000107683/12: заявл. 28.03.2000: опубл. 10.02.2002 / Д. А. Нормов, В. К. Андрейчук, Р. С. Шхалахов, Т. А. Нормова [и др.]; заявитель Кубанский государственный аграрный университет.

Об авторах:

Федоренко Маргарита Евгеньевна, ученик, ГБОУ города Москвы «Школа «Марьино» имени маршала авиации А. Е. Голованова» (109651, Российская Федерация, Москва, Батайский пр-д, д. 21), fedorenko_me@mail.ru.

Нормов Дмитрий Александрович, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), доктор технических наук, профессор, danormov@mail.ru.

About the authors:

Margarita E. Fedorenko, student, Marino School named after Marshal of Aviation A. E. Golovanov (109651, Russian Federation, Moscow, Bataysky Prospekt, 21), fedorenko_me@mail.ru.

Dmitriy A. Normov, professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), Doctor of Technical Sciences, professor, danormov@mail.ru.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ НЕСИММЕТРИИ В СЕТЯХ 0,38 КВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. А. Цедяков

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье рассмотрено распределение тока несимметрии в четырехпроводных воздушных сетях 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения, оказывающего существенное влияние на оценку порога срабатывания стандартных защит от коротких замыканий. Представлены идеализированные расчетные схемы, по которым проводился анализ токов несимметрии и полученные расчетные кривые тока в заземляющем проводе силового трансформатора. Были проведены экспериментальные исследования в производственных условиях, на основании которых построены экспериментальные кривые изменения тока в нулевом проводе линии 0,38 кВ и заземляющем проводе нейтрали силового трансформатора по часам суток. Анализ распределения тока несимметрии позволил установить: долю тока несимметрии в цепи заземления нейтрали силового трансформатора и нулевом проводе воздушной линии, расчетный режим для определения тока несимметрии и количественную оценку тока несимметрии.

Ключевые слова: ток несимметрии, воздушные линии 0,38 кВ, ток утечки, нейтраль силового трансформатора, нулевой провод линии, защита от короткого замыкания.

DISTRIBUTION OF ASYMMETRY CURRENTS IN 0,38 KV AGRICULTURAL NETWORKS

A. A. Tsedyakov

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. This article examines the distribution of the asymmetry current in four-wire 0,38 kV agricultural overhead networks, which has a significant impact on the assessment of the threshold for standard short circuit protection. Idealized calculation schemes are presented, according to which the analysis of the asymmetry currents was carried out and the calculated current curves in the grounding wire of a power transformer were obtained. Experimental studies were carried out in production conditions, on the basis of which experimental curves of current change in the zero wire of the 0,38 kV line and the grounding wire of the neutral conductor of the power transformer were constructed by the hour of the day. The analysis of the asymmetry current distri-

tribution allowed us to establish: the proportion of the asymmetry current in the grounding circuit of the neutral conductor of the power transformer and the zero wire of the overhead line, the calculation mode for determining the asymmetry current and the quantification of the asymmetry current.

Keywords: unbalance current, 0,38 kV overhead lines, leakage current, neutral conductor of the power transformer, zero line wire, short circuit protection.

Для оценки порога срабатывания защиты необходим анализ распределения тока несимметрии в схеме четырехпроводной воздушной сети 0,38 кВ [1]. Анализ проводится по идеализированной расчетной схеме, в которой не учитывается сопротивление земли, а значения сопротивлений повторных заземлений нулевого провода приняты одинаковыми (рисунок 1).

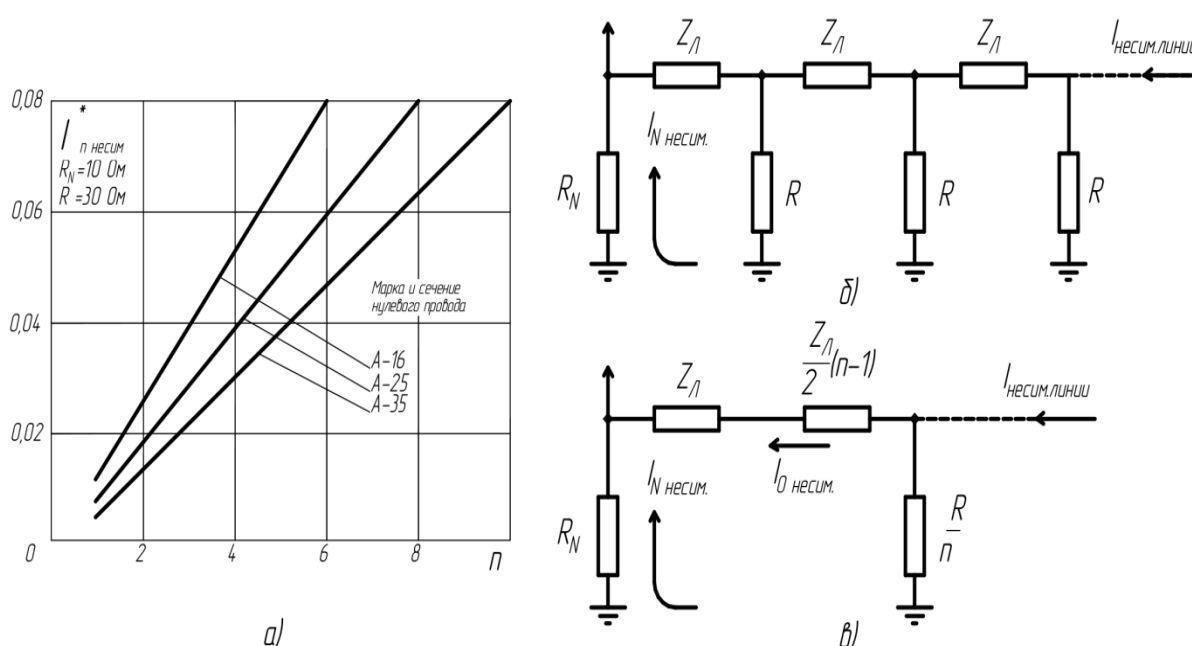


Рисунок 1 – К расчету распределения тока несимметрии: а – расчетные кривые тока в заземляющем проводе трансформатора в долях от полного тока несимметрии; б, в – расчетные схемы

Величина тока несимметрии в заземляющем проводе трансформатора определяется по выражению:

$$I_{N(\text{несим})} = \sum_1^K \dot{I}_{K(\text{несим})} \frac{n \cdot Z_{Л0}}{2(R + nR_N) + nZ_{0Л}(n+1)} \quad (1)$$

где: $I_{K(\text{несим})}$ – расчетное значение тока несимметрии К-ой линии;
 $Z_{Л0}$ – сопротивление нулевого провода между повторными заземлителями линии.

Ток несимметрии в нулевом проводе линии определяется как:

$$I_{0(\text{несим})} = I_{\text{несим.линии}} \times \frac{2(R + nR_N)}{2(R + nR_N) + nZ_{0Л}(n+1)} \quad (2)$$

Практически величина тока несимметрии в цепи заземления нейтрали трансформатора $I_{\text{несим}}$ значительно меньше рассчитанной по выражению (2), так как несимметрия однофазных нагрузок в четырехпроводной трехфазной сети 0,38 кВ является вероятностной и зависит от случайного совпадения включения однофазных нагрузок во времени и по фазам.

Теоретические и экспериментальные исследования несимметрии токов в сетях 0,38 кВ, показывают, что последняя существует в сетях практически постоянно, значения токов в нулевых проводах линий достигают до 0,2 от номинального (рисунок 2, б) с наиболее вероятной повторяемостью 0,1.

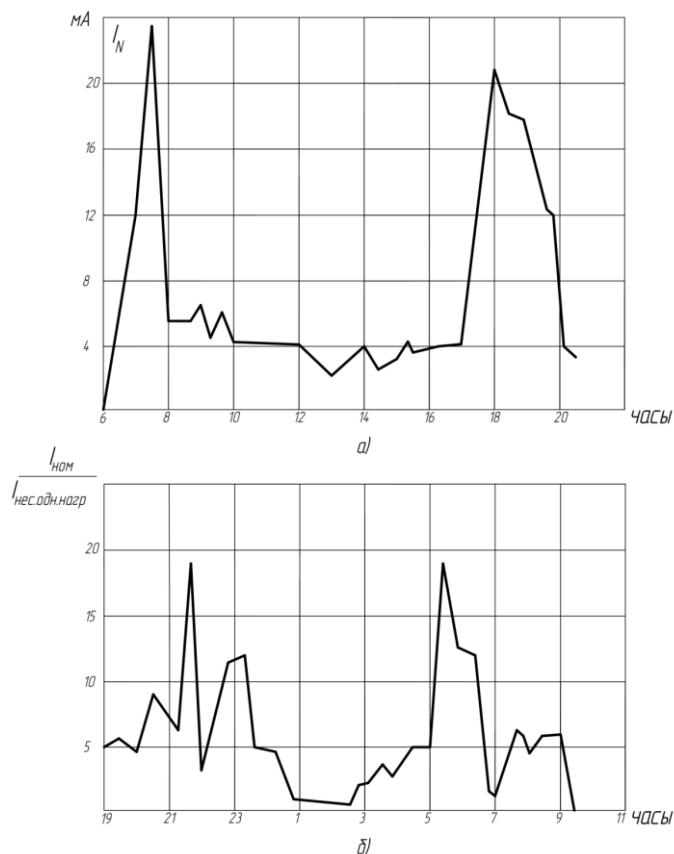


Рисунок 2 – Экспериментальные кривые изменения тока в заземляющем проводе нейтрали силового трансформатора (а) и в нулевом проводе линии 0,38 кВ (б) по часам суток

Учитывая также, что однофазная нагрузка сосредоточена на двух-трех линиях, и токи несимметрии отдельных линий складываются в цепи земля-нейтраль трансформатора геометрически, ток $I_{\text{несим}}$ в связи с этим, может быть меньше значений, рассчитанных по току несимметрии одной линии.

В проводимых нами экспериментальных исследованиях на ТП мощностью 160 кВА [2], величина тока в заземляющем проводе нейтрали силового трансформатора, фиксируемая измерительным прибором [3, 4], через отрезки времени 15...30 минут, с 6 до 23 часов в течении двух суток, составляла максимум 0,025 А в утренние и вечерние часы (рисунок 2, а).

Анализ распределения тока несимметрии показывает:

1. Доля тока несимметрии в цепи заземления нейтрали силового трансформатора значительно меньше тока в нулевом проводе линии:

$$I_{N(\text{несим})}^* \ll I_{0(\text{несим})}^* \quad (3)$$

2. За расчетный режим для определения тока $I_{\text{несим}}$ может быть принят режим работы ТП 10/0,4 кВ при включенной нагрузке на одной линии.

3. Для количественной оценки ток несимметрии линии можно принять по статистическим данным:

$$I_{\text{несим}} = 0,2 I_{\text{раб.}} \quad (4)$$

линии линии

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цедяков, А. А. Распределение тока короткого замыкания «фаза-земля» в четырехпроводных воздушных сетях 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения / А. А. Цедяков, С. И. Белов, Д. С. Карлаков // Международный технический журнал. – 2024. – № 6(94). – С. 7-17. – DOI 10.34286/2949-4176-2024-94-6-7-17.

2. Цедяков, А. А. Электрические станции и подстанции / А. А. Цедяков, Н. А. Стушкина. Часть 1. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2019. – 89 с.

3. Электрические станции и подстанции / Н. А. Стушкина, А. А. Цедяков, О. В. Лештаев, С. И. Белов. – М. : Общество с ограниченной ответственностью «Мегополис», 2023. – 88 с. – ISBN 978-5-605-06609-5.

4. Иванов, Ю. Г. Автоматизированная система управления электроприводом местной вентиляции коровника с управляемым вектором потока воздуха / Ю. Г. Иванов, В. И. Загинайлов, Д. А. Понизовкин // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 4(25). – С. 34-40.

Об авторе:

Цедяков Андрей Александрович, доцент кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49) кандидат технических наук, andrey.tsedyakov@mail.ru.

About author:

Andrey A. Tsedyakov, associate professor of power supply and thermal power engineering department after named I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), Candidate of Technical Sciences, associate professor.

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ВОДОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

С. С. Артемьев, Р. Т. Гусейнов, И. Б. Царёв

ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», г. Троицк, Российская Федерация

Аннотация. Одним из ключевых мероприятий по обеспечению и поддержанию надежности технического оборудования является диагностика. Диагностика электродвигателей водонасосных установок позволяет выявить неисправности, которые могут привести к поломке оборудования. Своевременная диагностика помогает избежать серьёзных повреждений. Представлены некоторые виды водонасосных установок. Описаны методы диагностики электродвигателей водонасосных установок различных типов. Представлены результаты диагностики консольно-моноблочного циркуляционного насоса.

Ключевые слова: диагностика, метод технической диагностики, водонасосные установки, электродвигатель.

DIAGNOSTICS OF ELECTRIC MOTORS FOR VARIOUS TYPES OF WATER PUMP UNITS

S. S. Artemyev, R. T. Guseinov, I. B. Tsarev

South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russian Federation

Abstract. *Diagnostics is a key measure in ensuring and maintaining the reliability of technical equipment. Diagnostics of electric motors in water pumping units allows for the identification of faults that could lead to equipment failure. Timely diagnostics helps prevent serious damage. Several types of water pumping units are presented. Diagnostic methods for various types of electric motors in water pumping units are described. Diagnostic results for a cantilever-mounted monoblock circulation pump are presented.*

Keywords: *diagnostics, technical diagnostic method, water pumping units, electric motor.*

На мясоперерабатывающем комбинате ООО «Агрофирмы Ариант» (далее МПК) используются насосные установки для перекачивания воды, которая необходима для технологических нужд при переработке сырья, а также для поддержания гигиены. Кроме того, используются насосные установки и в энергетической сфере, необходимые для водоснабжения, теплоснабжения и водоотведения [1].

Рассмотрим некоторые виды водонасосных установок, эксплуатируемых на МПК.

Погружной центробежный насос GRUNDFOS SP60-2B, необходимый для подъема воды из скважины в систему автономного водоснабжения предприятия чистой водой (рисунок 1а).

Погружной канализационный насос SULZER AS0841.177-S13/4, необходимый для перекачивания сточных вод в ходе технологического процесса на очистных сооружениях мясоперерабатывающего комбината (рисунок 1б).

Консольно-моноблочный центробежный насос GRUNDFOS NB50-125/111 A-F-A-BAQE, перекачивающий теплоноситель в контуре подогрева приточной вентиляции в помещениях МПК (рисунок 1в).

Вертикальный многоступенчатый центробежный насос типа «ин-лайн» GRUNDFOS CR 5-29 A-FGJ-A-E-HQQE, необходимый для питания паровых котлов подготовленной водой в паро-водогрейной котельной МПК (рисунок 1г).

Вертикальный одноступенчатый центробежный насос типа «ин-лайн» GRUNDFOS TP65-120/2 A-F-A-BQBE-GX1, перекачивающий теплоноситель в контуре отопления логистического центра мясоперерабатывающего комбината (рисунок 1д).



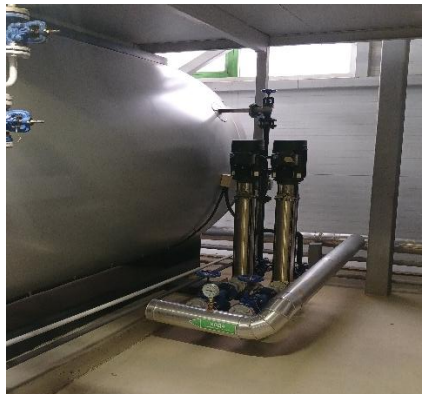
а



б



в



г



д

Рисунок 1 – Виды водонасосных установок, эксплуатируемых в МПК

Диагностика электродвигателей водонасосных установок может различаться в зависимости от типов установок. Электродвигатели для насосных установок различаются по принципу действия, конструкции и степени защиты [2, 3, 4]. Некоторые типы:

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором – основной тип, применяющийся в большинстве центробежных и циркуляционных насосов.

Асинхронные двигатели с фазным ротором – используются в тяжёлых условиях пуска и при необходимости точной регулировки скорости.

Синхронные двигатели – применяются в мощных насосных установках, где важна стабильность частоты вращения и возможность работы с опережающим коэффициентом мощности.

Погружные электродвигатели – с герметичной конструкцией и водяным охлаждением, для чистой воды или стоков.

Двигатели с повышенным классом защиты (IP55, IP65) – для работы в условиях повышенной влажности и запылённости.

Рассмотрим методы и инструмент, используемые в ходе диагностики электродвигателей водонасосных установок, работающих на МПК ООО «Агрофирмы Ариант» на примере консольно-моноблочного центробежного насоса GRUNDFOS NB50-125/111 A-F-A-BAQE.

Для комплексной диагностики рекомендуется использовать несколько методов. Перед диагностикой рекомендуется свериться с технической документацией конкретного насоса и информацией на шильдике электродвигателя. Рассмотрим некоторые методы диагностики [5, 6, 7].

Визуальный осмотр – проверка внешнего вида корпуса, состояния вентиляционных отверстий, ламелей корпуса, чистоты и отсутствия загрязнений.

Электрические методы – измерение электрических параметров, например, сопротивления обмоток производят мультиметром, проверку сопротивления изоляции – мегаомметром. При работе можно измерить электрический ток, потребляемый электродвигателем с помощью токоизмерительных клещей (рисунок 2).



Рисунок 2 – Измерение рабочего тока электродвигателя

Температурная диагностика – измерение температуры корпуса и подшипников с помощью контактных термометров, бесконтактных инфракрасных термометров или тепловизоров. Повышенная температура может указывать на проблемы с вентиляцией, перегрузку или неисправности в обмотках (рисунок 3) [8, 9, 10].

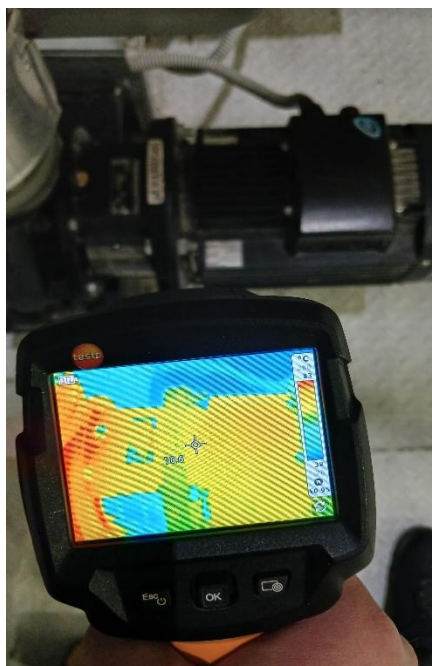


Рисунок 3 – Проведение температурной диагностики

Вибрационная диагностика – анализ вибрации с помощью специальных вибрационных датчиков, закреплённых на корпусе. Если амплитуда вибраций выходит за пределы 2,8 мм/с, это может свидетельствовать о неисправностях в подшипниках, нарушении центровки или ослабленных креплениях (рисунок 4).



Рисунок 4 – Анализ вибрации подшипникового узла электродвигателя

Акустическая диагностика – выявление отклонений в работе отдельных узлов на слух: скрипов, металлического стука или других звуковых аномалий, которые могут сигнализировать о механических неисправностях.

Инструменты, используемые для диагностики электродвигателей: 1. Мультиметр FLUKE 17B – для измерения сопротивления, напряжения; 2. Мегаомметр МЕГЕОН 13125 – для измерения сопротивления изоляции; 3. Токоизмерительные клещи FLUKE 376 – для измерения рабочего тока двигателя без разрыва цепи; 4. Инфракрасный пирометр TESTO 104-IR или тепловизор TESTO 870 – для бесконтактного измерения температуры корпуса насоса и двигателя; 5. Виброметр SMART SENSOR AS63B – для измерения амплитуды вибрации в

подшипниковых узлах; 6. Стетоскоп механика – для выявления отклонений на слух; 7. Средства индивидуальной защиты – диэлектрические перчатки, защитные очки, обувь с изолирующей подошвой.

Методы диагностики направлены на обнаружение и идентификацию неисправностей электродвигателей, влияющих на поддержание надежности водонасосных установок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 31.13330.2021 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения СНиП 2.04.02-84 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fkr-spb.ru/upload/iblock/52e/39qmq037smbcw7bj6g8vqsrq1qufp1wd.pdf?ysclid=movnl114464533>.

2. Гриценко, А. В. Диагностирование электрических бензонасосов автомобилей / А. В. Гриценко, К. А. Цыганов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 4. – С. 22-23.

3. Гриценко, А. В. Комплексное диагностирование электрического бензонасоса системы топливоподачи / А. В. Гриценко, Д. Б. Власов, А. М. Плаксин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – Т. 4, № 5-4(25-4). – С. 239-243.

4. Основные неисправности вибрационных насосов / В. А. Буторин, В. А. Дак, Р. Т. Гусейнов, И. Б. Царев // Достижения науки – агропромышленному производству: реализация социально-гуманитарных и инженерно-технических задач : Материалы Международной научно-практической конференции Института агроинженерии, Челябинск, 17-18 мая 2023 года / Под редакцией С. Д. Шепелёва. – Челябинск : Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2023. – С. 280-285.

5. Буторин, В. А. Факторы, влияющие на упорные подшипниковые узлы погружных электродвигателей / В. А. Буторин, Р. Т. Гусейнов // Перспективы развития АПК в работах молодых учёных : Сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых учёных, Тюмень, 05 февраля 2014 года. Часть 1. – Тюмень : Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2014. – С. 191-195.

6. К вопросу выбора частотного преобразователя / В. Н. Левинский, Р. Т. Гусейнов, В. А. Афонькина, И. Б. Царев // Проблемы и перспективы развития энергетики, робототехники и электротехнологий: Материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием, Саратов, 23 декабря 2024 года. – Саратов, 2025. – С. 163-169.

7. Частотный преобразователь как инструмент диагностики электродвигателей насосов / Р. Т. Гусейнов, И. Б. Царев, В. А. Афонькина, В. Н. Левинский // 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. 104-110.

8. Иванов, Ю. Г. Автоматизированная система управления электроприводом местной вентиляции коровника с управляемым вектором потока воздуха / Ю. Г. Иванов, В. И. Загинайлов, Д. А. Понизовкин // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 4(25). – С. 34-40.

9. Возможность применения инфракрасной сушки деталей погружных насосов / В. М. Попов, В. А. Буторин, Р. Т. Гусейнов [и др.] // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. – 2024. – № 1(20). – С. 4-13.

10. Патент № 2409884 С1 Российская Федерация, МПК H02K 15/00, G01R 31/34. способ эксплуатационного контроля нагрева и защиты электродвигателей : № 2010102149/07 : заявл. 26.01.2010 : опубл. 20.01.2011 / А. И. Некрасов, А. А. Некрасов, Ю. С. Борисов [и др.] ; заявитель Российская академия сельскохозяйственных наук Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЭСХ Россельхозакадемии).

Об авторах:

Артемьев Сергей Сергеевич, магистрант Института агроинженерии, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (457100, Российская Федерация, Челябинская область, Троицк, ул. Гагарина, 13), artemevserge87@yandex.ru.

Гусейнов Руслан Тофикович, доцент Института агроинженерии, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (457100, Российская Федерация, Челябинская область, Троицк, ул. Гагарина, 13), кандидат технических наук, ruslan-ural8@mail.ru.

Царёв Игорь Борисович, доцент Института агроинженерии, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (457100, Российская Федерация, Челябинская область, Троицк, ул. Гагарина, 13), кандидат технических наук, i.b.tsarev@yandex.ru.

About the authors:

Sergey S. Artemyev, Master's student, Institute of Agricultural Engineering, South Ural State Agrarian University (457100, Russian Federation, Chelyabinsk Region, Troitsk, Gagarin Street, 13), artemevserge87@yandex.ru.

Ruslan T. Guseinov, Associate Professor, Institute of Agricultural Engineering, South Ural State Agrarian University (457100, Russian Federation, Chelyabinsk Region, Troitsk, Gagarin Street, 13), Candidate of Technical Sciences, ruslan-ural8@mail.ru.

Igor B. Tsarev, Associate Professor, Institute of Agricultural Engineering, South Ural State Agrarian University (457100, Russian Federation, Chelyabinsk Region, Troitsk, Gagarin Street, 13), Candidate of Technical Sciences, lv_74rus@mail.ru.

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ АГРОКУЛЬТУР

Л. В. Навроцкая¹, В. И. Загинайлов²

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», г. Москва, Российская Федерация

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. При производстве новых высокоурожайных сортов сельскохозяйственных культур, в том числе и продукции овощеводства, широко используются хромосомные aberrации семян агрокультур. Наиболее эффективными из электротехнологий, обеспечивающих повышение выхода хромосомных aberrаций семян агрокультур, является лазерное воздействие. Целью исследований является определение выхода хромосомных aberrаций семян агрокультур при лазерном воздействии на них. С увеличением поглощения семенами лазерной энергии увеличивается выход хромосомных aberrаций. Так при лазерном воздействии на сухие семена огурца сорта «Водолей» выход хромосомных aberrаций увеличился в два раза по отношению к сухим не обработанным семенам, что вызывает усиление стимуляции роста проростков и повышению урожайности агрокультур.

Ключевые слова: хромосомные aberrации, лазерное облучение, проростки, стимуляция семян, урожайность агрокультур, внутренняя энергия семян.

METHOD FOR INCREASING THE YIELD OF AGRICULTURAL CROPS

L. V. Navrotskaya^a, V. I. Zaginailov^b

^aDmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russian Federation

^bRussian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. In the production of new high-yielding agricultural crops, including vegetable products, chromosomal aberrations of crop seeds are widely used. Among the electrical technologies that enhance the yield of chromosomal aberrations in crop seeds, laser treatment is the most effective. The aim of the research is to determine the yield of chromosomal aberrations in crop seeds under laser exposure. As the absorption of laser energy by the seeds increases, the yield of chromosomal aberrations also increases. For instance, when dry seeds of the cucumber variety «Vodoley» were exposed to laser treatment, the yield of chromosomal aberrations doubled compared to untreated dry seeds, leading to enhanced stimulation of seedling growth and increased crop productivity.

Keywords: *chromosomal aberrations, laser irradiation, seedlings, seed stimulation, crop yield, internal energy of seeds.*

Овощи играют важную роль в питании человека, обеспечивая здоровый образ жизни и являясь источником природных антиоксидантов и других биологически активных веществ. В мире овощеводство является наиболее развивающейся отраслью сельского хозяйства [1]. Однако ассортимент производимой продукции овощеводства в России ограничен. В большинстве стран мира используется более 30...35 видов овощных культур, в России – не более 12...15, в том числе: 6 основных видов овощных культур: капуста, томат, огурец, морковь, лук репчатый, свекла столовая [1].

Улучшить ассортимент производимой продукции овощеводства в России, обеспечить её стабильный рост позволит производство высококачественных семян конкурентоспособных сортов и гибридов овощных культур отечественной селекции. В селекционном процессе и производстве новых высокоурожайных сортов сельскохозяйственных культур, в том числе и продукции овощеводства, широко используются хромосомные aberrации семян агрокультур [2, 3], которые можно получить искусственным путем. В настоящее время применяются различного вида технологии, в том числе и электротехнологии: облучение семян ионизирующим, инфракрасным, СВЧ излучением, а также излучением коронного разряда и лазерное непрерывное и импульсное излучение различных длин волн, частот и длительности воздействия [3, 4], которые могут способствовать появлению хромосомных aberrаций в семенах сельскохозяйственных культур. Однако практически не разработаны устройства и способы электротехнологий, позволяющих регулировать выход хромосомных aberrаций, стимулирующих рост, повышение урожайности агрокультур и качества получаемой продукции.

С развитием фотоэнергетики растений, которая появилась на стыке физиологии, энергетики, биохимии и биофизики, с одной стороны, и гелиотехники растений – с другой, изучение действия лазерного света на растения начинает занимать все более видное место. Выявлен принципиально новый – нефотосинтетический путь биологической трансформации и запасания световой энергии. Эта проблема была поставлена А. А. Шаховым и др. который показал, что одна из форм нефотосинтетической трансформации и запасания световой энергии – интенсивное фотоиндуцированное накопление и длительное сохранение свободных радикалов в семенах.

Точным подбором свойств луча удастся управлять процессами, происходящими в семенах на атомно-молекулярном уровне. Здесь огромную роль играет возможность строгой дозировки и локализации вводимой энергии, точной настройки частоты света в резонанс с исследуемой системой. По-видимому, из-за селективно-резонансного поглощения при действии невысокого по интенсивности лазерного света в клетке происходит фотостимуляция процессов, а после интенсивного облучения – повреждение биохимических процессов, нарушение клеточных структур, в том числе и процессов в клеточном ядре, что в итоге приводит к фотомутагенезу.

Среди лазеров, представляющих наибольший интерес для биологов, различают импульсные и непрерывного действия. Обосновано применение лазерного импульсного излучения красной длины волны. В видимой области спектра для стимуляции семян в основном используется излучение красной длины волны, как максимально поглощаемое фотохромной системой.

При лазерном облучении семян с наибольшей частотой возникают положительные изменения хозяйственно ценных признаков, являющихся морфологическими мутациями количественных признаков – скороспелые, крупнозерновые, плотноколосные, морозоустойчивые и др., а также и качественные морфологические мутации: окраска, форма колоса, остистость, продуктивность и т.д., и это связано с мелкими хромосомными aberrациями [3, 4].

По мнению Gustafssonetal, мелкие хромосомные aberrации, возникающие при сравнительно невысоких дозах облучения, и вызывают стимуляцию роста и развития проростков, что приводит к повышению урожайности в 15...20 раз чаще, чем генные мутации.

В качестве источника излучения принят импульсный лазер мощностью в импульсе 250 кВт, с длительностью импульса $10^{-6} \dots 10^{-7}$ с, т.к. при этой длительности импульса наблюдается пробой мембраны, открываются ее каналы одновременно и в клетку поступает максимальное количество энергии; частотой 33...100 Гц, с перестраиваемой длиной волны от 400 до 800 нм. Представлено описание процессов комплексной электрофизической обработки семян, усиливающих стимуляционные процессы развития проростков при появлении в них aberrаций.

Известно, что плотность энергии лазерного импульсного излучения, Дж/см² определяем по формуле:

$$q \approx \frac{(1-k_{\text{отр}}) \cdot E_{\text{имп}}}{h^2 \cdot \theta^2} \quad (1)$$

где $E_{\text{имп}}$ – энергия лазерного импульса, Дж; h – расстояние до семян, м; $k_{\text{отр}}$ – коэффициент отражения, о.е.; θ – угол расходимости лазерного излучения, рад.

Следовательно, энергия, поглощаемая семенами при их лазерном облучении (рисунок 1), определяется по формуле:

$$M \approx \frac{(1-k_{\text{отр}}) \cdot E_{\text{имп}} \cdot f \cdot \tau}{h^2 \cdot \theta^2} \cdot S, \quad (2)$$

где f – частота импульса, Гц; S – площадь поверхности семени, см²; τ – время облучения семян, с.

Соотнося энергии импульсного расфокусированного лазерного излучения $\lambda = 627$ нм, используемого при облучении семян в течение $t = 2 \dots 4$ мин, длительностью импульса от 10 до 100 нс, плотностью энергии $q = 0,00045$ Дж/см², поглощенной облученными сухими семенами и энергии не облученных, имеющих только свою внутреннюю энергию семян (энтальпию $H_c = c_c \cdot \rho_c \cdot V_c \cdot t_c$) получим по разработанной формуле коэффициент повышения выхода хромосомных aberrаций в два раза:

$$K_{\text{ха}} = \frac{M_{\text{л}}}{M_{\text{с}}} = \frac{(1-k_{\text{отр}}) \cdot E_{\text{имп}} \cdot f \cdot \tau \cdot S}{h^2 \cdot \Theta^2 \cdot H_{\text{с}}}, \quad (3)$$

где $E_{\text{имп}}$ – энергия лазерного импульса, Дж; h – расстояние до семян, м; $k_{\text{отр}}$ – коэффициент отражения излучения, о.е.; Θ – угол расходимости лазерного излучения, рад; $H_{\text{с}}$ – энтальпия, внутренняя энергия сухого семени, Дж, которая определяется по формуле:

$$H_{\text{с}} = c_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{с}} \cdot V_{\text{с}} \cdot t_{\text{с}} \quad (4)$$

где $c_{\text{с}}$ – теплоёмкость сухого семени, Дж/кг·°С; $\rho_{\text{с}}$ – плотность сухого семени, кг/м³; $V_{\text{с}}$ – объём сухого семени, см³; $t_{\text{с}}$ – температура семени.

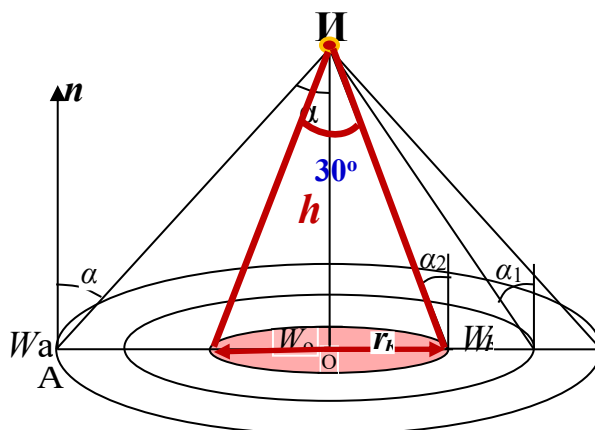


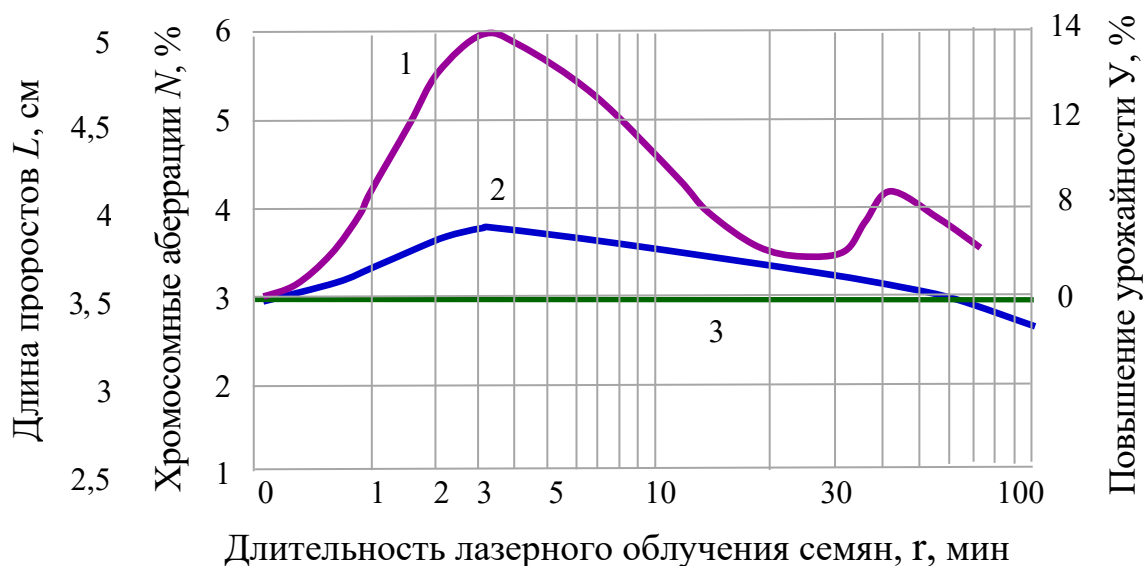
Рисунок 1 – Облучение рабочей ёмкости выбранным источником излучения

На основании проведённых теоретических научных исследований были проведены экспериментальные исследования [7]. Семена огурца сорта «Водолей» подвергались импульсному расфокусированному лазерному облучению в течение 2...4 мин. Контролем служили семена того же сорта, не подвергавшиеся никакой обработке.

После прорастания семян проводили цитогенетический анализ их корешков и расчёт появившихся хромосомных aberrаций. На основании экспериментальных данных построена зависимость изменения выхода хромосомных aberrаций, стимуляции роста проростков и повышения урожайности от длительности лазерного облучения (рисунок 2).

В результате проведенных экспериментов был определён оптимальный режим облучения семян и разработан способ повышения выхода хромосомных aberrаций в два раза по отношению к сухим не обработанным семенам.

Способ повышения выхода хромосомных aberrаций агрокультур культур, предусматривает лазерное облучением с $\lambda = 627$ нм, семян сельскохозяйственных культур в течение 1...180 минут с $f = 30...100$ Гц и длительностью импульса от 10 до 100 нс, соотнося энергии импульсного расфокусированного лазерного излучения $\lambda = 627$ нм, используемого при облучении семян в течение $t = 2...4$ мин., плотностью энергии $q = 0,00045$ Дж/см².



1 – выход хромосомных aberrаций; 2 – стимуляция семян; 3 – контроль

Рисунок 2 – Зависимость выхода хромосомных aberrаций, стимуляции роста проростков и повышения урожайности от времени лазерного облучения сухих семян огурца сорта «Водолей»

В ходе проведения научных исследований получены следующие научные результаты:

1. Найден способ повышения выхода хромосомных aberrаций в два раза, который заключается в лазерной обработке сухих семян агрокультур;
2. Определены параметры источника лазерного облучения семян;
3. Определены режимы облучения семян агрокультур;
4. Найдено выражение для расчета коэффициента повышения выхода хромосомных aberrаций проростков при соотношении лазерной энергии, получаемой их семенами при облучении и внутренней энергии семян (энтальпией).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление Правительства РФ от 25 августа 2017 г. № 996 «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71755402/>.
2. Баюров, Л. И. Хромосомные aberrации и их использование в селекции растений / Л. И. Баюров // Научный журнал КубГАУ. – 2025. – № 210(06). – С. 1-20.
3. Дидманидзе, О. Н. Моделирование производственных процессов по уборке фруктов / О. Н. Дидманидзе, А. А. Зангиев, Н. Х. Сулейманов. – М. : Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина, 1998. – 114 с.

4. Организационно-технологические основы производства и реализации продукции плодово-ягодных питомников / А. М. Карев, Р. Н. Егоров, Н. Н. Пуляев, В. С. Иволгин. – М. : ООО «УМЦ Триада», 2016. – 110 с.

5. Патент 2312482 Российская Федерация, МПК А 01 С 1/08. Способ получения фотомутантов сельскохозяйственных культур [Тест] / Навроцкая Л. В.; заявитель и патентообладатель Навроцкая Л. В. – № 2004123362; заявл. 30.07.04; опубл. 20.12.07, Бюл. № 35. – 30 с.

6. Экспериментальное исследование влияния электрофизических факторов на урожайность сельхоз культур / Ю. В. Валуева, В. Г. Меркулова, Л. Н. Медведева, Н. Б. Лукьянов, А. С. Зайцев // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 6. – С. 30-38.

7. Загинайлов, В. И. Электрофизические методы и средства контроля и управления сельскохозяйственными технологиями : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / Загинайлов Владимир Ильич. – Москва, 2007. – 334 с.

8. Навроцкая, Л. В. Воздействие лазерного излучения на семена сельскохозяйственных культур / Л. В. Навроцкая, В. И. Загинайлов, С. Р. Навроцкая // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 1. – С. 74-79.

Об авторах:

Навроцкая Людмила Васильевна, доцент, ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева» (125047, Российская Федерация, Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1), кандидат технических наук, доцент, navrotskayl@mail.ru.

Загинайлов Владимир Ильич, профессор кафедры электроснабжения и теплоэнергетики имени академика И. А. Будзко, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49) доктор технических наук, профессор.

About the authors:

Ludmila V. Navrotskaya, Associate Professor, Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (125047, Russian Federation, Moscow, Miusskaya Square, 9, Building 1), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, navrotskayl@mail.ru.

Vladimir I. Zaginaylov, Professor of power supply and thermal power engineering department after named I. A. Budzko, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya st., 49), Doctor of Technical Sciences, Professor.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ И УПРАВЛЕНИЕ МИКРОКЛИМАТОМ В КОРОВНИКЕ

Д. С. Логунов

Научный руководитель – Д. М. Селезнева

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

***Аннотация.** В данной статье представлена автоматизированная система мониторинга коровника с использованием технологии Интернета вещей (IoT) для управления параметрами животноводческого помещения. Используя датчики для отслеживания факторов окружающей среды, таких как температура, влажность, качество воздуха и освещение, система обеспечивает здоровую и комфортную среду для коров. Она также отслеживает состояние здоровья коров, включая уровень активности, температуру тела и молочную продуктивность, что позволяет выявлять проблемы на ранней стадии.*

***Ключевые слова:** вентиляция, отопление, микроклимат, коровник, автоматизация.*

AUTOMATED MONITORING AND MICROCLIMATE CONTROL IN A DAIRY BARN

D. S. Logunov

Scientific advisor – D. M. Selezneva

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

***Abstract.** This paper presents an automated monitoring system for a dairy barn utilizing Internet of Things (IoT) technology to manage the environmental parameters of livestock housing. By employing sensors to monitor environmental factors such as temperature, humidity, air quality, and lighting, the system maintains a healthy and comfortable environment for cattle. It also tracks the health status of the cows, including activity levels, body temperature, and milk yield, enabling early detection of potential health or production issues.*

***Keywords:** ventilation, heating, microclimate, dairy barn, automation.*

Автоматизация коровника представляет собой значительный переход от традиционных сельскохозяйственных практик к более эффективным, основанным на данных и автоматизированным системам управления скотом. В связи с растущим спросом на повышение продуктивности и благосостояния животных в сельскохозяйственной отрасли интеграция автоматизации с помощью технологии IoT стала критически важной [3].

Традиционное управление коровником требует постоянного наблюдения человека и ручного труда для обеспечения оптимальных условий окружающей среды, что приводит к неэффективности, задержкам и человеческим ошибкам. Данная статья посвящена разработке автоматизированной системы, использующей сенсорные сети, IoT и мобильные приложения для удаленного мониторинга и управления окружающей средой в коровнике в реальном времени.

Управление коровником может быть сложной задачей, требующей много времени и усилий для обеспечения здоровья и продуктивности коров. Традиционные методы часто связаны с ручным трудом, что может привести к задержкам в обнаружении проблем, таких как плохие условия или больные коровы. В условиях растущего спроса на молоко и молочные продукты фермерам необходимы более совершенные решения для эффективного управления коровниками [1, 2].

Система мониторинга и автоматизации коровника предлагает современный способ решения этих задач. Она использует датчики для отслеживания важных факторов, таких как температура, влажность и качество воздуха, обеспечивая комфорт коров. Система также автоматизирует такие задачи, как кормление, уборка и доение, делая работу фермера проще и быстрее [4, 5].

Используя эту технологию, фермеры могут лучше заботиться о коровах, повысить надои молока и сэкономить время. Система также отправляет предупреждения при возникновении проблем, помогая фермерам быстро их устранять. Это делает ведение хозяйства более эффективным, продуктивным и благоприятным для коров [6, 9].

Выбор аппаратных компонентов в этой системе основан на энергоэффективных, экономичных элементах, способных обрабатывать данные и управление в реальном времени:

1. Микроконтроллер ESP8266: Этот контроллер с поддержкой Wi-Fi IJIRT 176509 (International journal of innovative research in technology) 6710 является ядром системы, ответственным за обработку данных с датчиков и связь с платформой Blynk IoT [3].

2. Датчик DHT11: Измеряет температуру и влажность в коровнике для обеспечения оптимальных условий окружающей среды для скота.

3. Ультразвуковые датчики HC-SR04: Используются для контроля уровня корма и воды в накопительных баках и кормушках.

4. Датчик качества воздуха MQ135: Контролирует концентрацию вредных газов, таких как метан и аммиак, обеспечивая хорошее качество воздуха для скота [6, 7].

5. Серводвигатели (SG90): Управляют механизмами ворот внутри коровника, позволяя осуществлять автоматизированный контроль доступа для скота [5].

6. 4-канальный модуль реле: Обеспечивает коммутацию электрических компонентов, таких как вентиляторы, освещение, водяные насосы, делая их отзывчивыми на данные датчиков.

Система работает по принципу замкнутого контура обратной связи, в котором данные с датчиков непрерывно передаются на ESP8266. На основе этих данных контроллер запускает соответствующие действия, такие как включение

вентилятора при превышении температуры порогового значения или пополнение воды при падении уровня ниже заданной точки.

Предложенная система собирает данные о различных параметрах окружающей среды в коровнике в течение одной недели. Система поддерживает оптимальную температуру и качество воздуха на протяжении всего тестового периода, даже при изменяющихся внешних условиях. Уровни воды и корма автоматически контролируются и пополняются без вмешательства человека.

Система автоматизации имеет существенные преимущества по сравнению с традиционными методами управления коровником:

1. Сокращение трудозатрат: система значительно сокращает необходимость ручного контроля и вмешательства. Фермерам больше не нужно вручную проверять уровень воды, наличие корма или условия окружающей среды [8].

2. Повышение эффективности: автоматизируя управление ресурсами и контроль окружающей среды, система обеспечивает оптимальные условия для скота, что может улучшить производство молока и общее состояние здоровья.

3. Мониторинг в реальном времени: интеграция с Blynk позволяет фермерам контролировать коровник из любой точки мира, давая возможность немедленно реагировать на возникающие проблемы.

Недостатки данной системы:

1. Зависимость от интернета: система сильно зависит от стабильного интернет-соединения для мониторинга и управления в реальном времени. В удаленных районах с плохим покрытием это может представлять проблему.

2. Начальная стоимость: хотя долгосрочные преимущества автоматизации очевидны, первоначальная стоимость создания такой системы может стать препятствием для мелких фермеров.

3. Сбои системы: как и любая автоматизированная система, существует риск сбоя или отказа. Для бесперебойной работы системы требуется регулярное техническое обслуживание.

Предложенная система автоматизации и мониторинга коровника предлагает комплексное решение для повышения эффективности и устойчивости управления скотом. Интегрируя датчики, технологию IoT и автоматизацию, система обеспечивает мониторинг и управление в реальном времени, сокращая затраты на рабочую силу и улучшая благосостояние животных. Будущие улучшения, такие как прогнозирующее техническое обслуживание и расширенные сенсорные сети, еще больше повысят полезность системы, делая ее ценным инструментом для современных методов ведения сельского хозяйства. В долгосрочной перспективе эта технология обладает потенциалом для революции в сельском хозяйстве, обеспечивая более интеллектуальные, основанные на данных подходы к управлению скотом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев, С. А. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления : учебник / С. А. Андреев, И. Ф. Бородин. – М. : Издательство Юрайт, 2018. – 386 с.

2. Андреев, С. А. Ресурсосберегающее автономное теплоснабжение объектов АПК / С. А. Андреев, Ю. А. Судник, Е. А. Петрова // Международный научный журнал. – 2011. – № 5. – С. 83-91.

3. Занфирова, Л. В. City-farming как одно из направлений оптимизации производства сельскохозяйственной продукции / Л. В. Занфирова, Е. А. Овсянникова, А. Х. Габаев // Инновационные решения в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства : сборник научных трудов всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Нальчик, 04 июня 2021 года. – Нальчик : ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, 2021. – С. 178-180.

4. Определение основных параметров и режимов работы комбинированного облучателя-озонатора воздуха в животноводческих помещениях / Е. А. Овсянникова, В. Ф. Сторчевой, Н. Е. Кабдин, Л. В. Занфирова // Агротехника и энергообеспечение. – 2021. – № 4(33). – С. 22-29.

5. Селезнева, Д. М. Аналитический обзор установок для обеззараживания и обеспыливания сельскохозяйственных установок / Д. М. Селезнева // Доклады ТСХА, Москва, 06-08 декабря 2018 года. Выпуск 291, часть 2. – М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2019. – С. 303-306.

6. Селезнева, Д. М. Исследования эффективности обеспыливания воздуха комбинированным электрофильтром / Д. М. Селезнева // Наука. Технологии. Инновации : Сборник научных трудов в 9 ч., Новосибирск, 30 ноября – 04 декабря 2020 года / под ред. Гадюкиной А. В. Том Часть 5. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. – С. 61-64.

7. Селезнева, Д. М. Разработка и исследование комбинированной электроустановки для обеспыливания и обеззараживания воздуха в помещениях для содержания птицы : дис. ... канд. техн. наук / Селезнева Дарья Михайловна, 2023. – 168 с.

8. Форсайт-образование. Университет 4.0 / Л. И. Хоружий, О. Г. Каратаева, Е. А. Яшина [и др.]. – М. : Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 562 с.

9. Иванов, Ю. Г. Автоматизированная система управления электроприводом местной вентиляции коровника с управляемым вектором потока воздуха / Ю. Г. Иванов, В. И. Загинайлов, Д. А. Понизовкин // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 4(25). – С. 34-40.

Об авторах:

Логунов Дмитрий Сергеевич, магистрант, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), logunovd0@gmail.com.

Научный руководитель – Селезнева Дарья Михайловна, доцент кафедры автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И. Ф. Бородина, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49), кандидат технических наук, energo-dms@rgau-msha.ru.

About the authors:

Dmitry S. Logunov, Master's Student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), logunovd0@gmail.com.

Scientific advisor – **Daria M. Selezneva**, Associate Professor, Department of Automation and Robotics of Technological Processes named after Academician I. F. Borodin, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Candidate of Technical Sciences, energo-dms@rgau-msha.ru.

Научное издание

ЧТЕНИЯ
АКАДЕМИКА
В. Н. БОЛТИНСКОГО

Сборник статей

Материалы издаются в авторской редакции

Подписано в печать 12.05.2026. Формат 60×90/16.
Усл.-печ. л. 14,4.

ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева»
127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49
www.timacad.ru