

УДК 631.152:620.9

Научный обзор



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-151-159

И.А. Рахимжанова¹

В.Г. Петько¹

В.В. Пугачев¹ ✉

М.Б. Фомин¹

В.А. Пушко¹

А.С. Байков¹

В.И. Косилов¹

А.Ф. Абдюкаева¹

Н.М. Губашев²

¹Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

²Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан

✉ pvv056@list.ru

Поступила в редакцию: 17.03.2026

Одобрена после рецензирования: 17.07.2026

Принята к публикации: 01.08.2026

© Рахимжанова И.А., Петько В.Г., Пугачев В.В., Фомин М.Б., Пушко В.А., Байков А.С., Косилов В.И., Абдюкаева А.Ф., Губашев Н.М.

Review



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-409-08-151-159

Ilmira A. Rakhimzhanova¹

Victor G. Petko¹

Vladimir V. Pugachev¹ ✉

Maxim B. Fomin¹

Vladislav A. Pushko¹

Alexey S. Baykov¹

Vladimir I. Kosilov¹

Alfiya F. Abdymukhmetova¹

Nurken M. Gubashev²

¹ Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

² West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan

✉ pvv056@list.ru

Received by the editorial office: 17.03.2026

Accepted in revised: 17.07.2026

Accepted for publication: 01.08.2026

© Rakhimzhanova I.A., Petko V.G., Pugachev V.V., Fomin M.B., Pushko V.A., Baykov A.S., Kosilov V.I., Abdymukhmetova A.F., Gubashev N.M.

Систематизированный обзор и оценка применяемых систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения автономных объектов АПК

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Территориальная удаленность некоторых объектов сельскохозяйственного производства создает определенные трудности в их энергоснабжении. Исходя из этого, актуальным становится применение возобновляемых источников энергии, преобразование которых в специализированных установках позволит обеспечить теплом, горячей водой и электрической энергией автономные объекты АПК.

Методика. В статье проводится анализ систем энергоснабжения для автономных объектов сельского хозяйства: отопление, горячее водоснабжение и электроснабжение. Приводятся типы технологических установок, особенности их функционирования в зависимости от специфики технологических процессов удаленных объектов АПК.

Результаты. По итогам систематизированного анализа установлено, что приоритетным направлением развития таких систем становится комбинированное использование традиционных энергоносителей и возобновляемых источников энергии. Однако в связи с возникающими трудностями снабжения удаленных объектов источниками энергии становится актуальным создание гибридных систем генерации на основе альтернативных источников энергии.

Ключевые слова: энергоснабжение, теплоснабжение, удаленные агропромышленные объекты, возобновляемые источники энергии, автономные энергоустановки, гибридные системы энергоснабжения

Для цитирования: Рахимжанова И.А. и др. Систематизированный обзор и оценка применяемых систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения автономных объектов АПК. *Аграрная наука*. 2026; 409 (08): 151–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-151-159>

Systematized review and assessment of heating, hot water supply, and power supply systems used in autonomous agricultural facilities

ABSTRACT

Relevance. The territorial remoteness of some agricultural production facilities creates certain difficulties in their energy supply. Based on this, the use of renewable energy sources becomes relevant, and their conversion in specialized installations will provide autonomous agricultural facilities with heat, hot water, and electricity.

Methodology. The article analyzes energy supply systems for autonomous agricultural facilities: heating, hot water supply, and electricity supply. It describes the types of technological installations and their functioning features, depending on the specific technological processes of remote agricultural facilities.

Results. Based on the results of a systematic analysis, it has been established that the combined use of traditional energy sources and renewable energy sources is becoming a priority for the development of such systems. However, due to the difficulties in supplying remote facilities with energy sources, the creation of hybrid generation systems based on alternative energy sources is becoming relevant.

Key words: energy supply, heat supply, remote agro-industrial facilities, renewable energy sources, autonomous power plants, hybrid power supply systems

For citation: Rakhimzhanova I.A. *et al.* Systematized review and assessment of heating, hot water supply, and power supply systems used in autonomous agricultural facilities. *Agrarian science*. 2026; 409 (08): 151–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-409-08-151-159>

Введение/Introduction

Наличие в отрасли агропромышленного производства доли удаленных от централизованных энергосетей объектов создает устойчивую потребность в разработке специализированных автономных энергосистем. Летние выгульные площадки для скота, тепличные комплексы, хранилища, небольшие фермерские хозяйства, отгонные пастбища, объекты переработки продукции сельского хозяйства, а также другие удаленные производственные помещения, расположенные в географически изолированных местах, требуют бесперебойного обеспечения теплом, горячей водой и электроэнергией для организации технологических процессов. Особенности сельскохозяйственного производства, такие как сезонные колебания нагрузки и специфические санитарные требования, диктуют необходимость адаптации технических решений к условиям производства [1–3].

Зависимость автономных объектов АПК от локальных источников энергии сопряжена с системными рисками эксплуатационного характера. Перебои в подаче тепла и электричества приводят к нарушению микроклимата в животноводческих помещениях, срыву технологических циклов в растениеводстве и потере значительных объемов продукции. Особенно критичны такие сбои для холодильных установок и систем вентиляции, где даже кратковременные отключения могут привести к необратимым последствиям.

Логистические ограничения, характерные для удаленных сельскохозяйственных объектов, затрудняют оперативный ремонт и поставку топлива, увеличивая эксплуатационные расходы. Это создает замкнутый круг: попытки повысить надежность за счет резервирования мощностей ведут к удорожанию себестоимости продукции.

Актуальность вопросов энергоснабжения автономных объектов сельскохозяйственного производства усиливается на фоне глобальных вызовов современности. Изменение климата требует пересмотра традиционных подходов к проектированию систем с учетом участвовавших аномальных температурных режимов. Геополитическая нестабильность актуализирует задачи импортозамещения технологического оборудования, что особенно важно для стратегически значимых отраслей, к которым относится агропромышленный комплекс.

Цель данной работы — для автономных объектов сельского хозяйства провести систематизированный анализ систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения, получаемых энергоносители как от централизованных систем, так и от возобновляемых

источников энергии и предложить рекомендации по повышению их эффективности.

Материал и методы исследования / Material and methods

Для систематизированного анализа систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения автономных объектов АПК был проведен поиск публикаций на русском языке по базе данных eLibrary за 2015–2025 гг. по следующим ключевым словам: «отопление автономного объекта», «горячее водоснабжение автономного объекта», «электроснабжение автономного объекта», «энергоснабжение автономного объекта».

Снабжение энергоносителями автономных объектов зависит от их типа и производственного процесса, реализуемого в них, поэтому при поиске публикаций в запросе не указывались конкретные типы сельскохозяйственных объектов. Также при поиске анализировались публикации, направленные на решение проблем энергоснабжения от альтернативных источников энергии.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Автономные системы отопления

Автономные системы отопления для объектов агропромышленного комплекса классифицируются по типу используемого энергоносителя. Основные категории включают твердотопливные, жидкотопливные, газовые и электрические источники получения тепла. Каждый тип обладает специфическими характеристиками, определяющими область применения. Так, твердотопливные системы распространены в районах с доступным древесным сырьем или сельскохозяйственными отходами. Коэффициент полезного действия газовых котлов, применяемых в системах теплоснабжения, в настоящее время достигает значений 92%. Жидкотопливные установки требуют организации хранилищ для энергоносителя, что увеличивает эксплуатационные расходы. Электрические системы отличаются простотой монтажа, но зависимы от стабильности электроснабжения. Кроме этого, твердо- и жидкотопливные системы получения тепла для отопления удаленных объектов требуют регулярной поставки энергоносителя (рис. 1) [4, 5].

Рис. 1. Классификация систем отопления

Fig. 1. Classification of heating systems



Выбор отопительной системы определяется теплопотерями объекта и технологическими требованиями производства¹. Через ограждающие конструкции животноводческих комплексов может теряться до 30–40% тепловой энергии, что требует тщательного расчета мощностей оборудования. При теплоснабжении теплиц критичны такие особенности как поддержание стабильного температурного режима и равномерное распределение тепла по объему сооружения. Эксплуатация отопительных систем в АПК характеризуется выраженной сезонностью нагрузок и повышенными требованиями к надежности. Сезонные колебания тепловой нагрузки могут достигать 70%, что требует адаптивных систем регулирования. Отсутствие альтернативных источников тепла в удаленных хозяйствах обуславливает необходимость безотказной работы оборудования [6, 7].

Тепловая мощность и КПД отопительных систем определяются конструкцией теплообменников и технологией теплопередачи. Чугунные теплообменники обладают повышенной коррозионной стойкостью, но отличаются значительной массой и инерционностью. Конденсационные котлы используют скрытую теплоту парообразования продуктов сгорания, увеличивая КПД на 10–12% по сравнению с традиционными моделями. Стальные теплообменники обеспечивают быстрый выход на рабочий режим, но подвержены деформациям при термических перегрузках. Эффективность систем косвенно зависит от площади теплообменной поверхности и скорости циркуляции теплоносителя. Пластинчатые теплообменники демонстрируют высокий коэффициент теплопередачи при компактных размерах. В системах с принудительной циркуляцией достигается равномерное распределение тепла по контуру, однако возрастает энергопотребление насосного оборудования. Как показали исследования, современные технологии изготовления пленочных лучистых электронагревателей позволяют использовать их для обогрева автономных объектов (табл. 1) [8–12].

Требования к качеству топлива варьируются в зависимости от типа отопительного оборудования. Для жидкотопливных котлов критично содержание серы в дизельном топливе, которое не

должно превышать 0,2%, чтобы предотвратить коррозию горелочных устройств. Твердотопливные системы чувствительны к влажности древесины, оптимальный показатель которой не должен превышать 20% для обеспечения эффективного горения. Эксплуатационные условия включают необходимость регулярной очистки топочных камер от сажи и золы для поддержания проектной мощности. Газовые котлы требуют организации системы дымоудаления с соблюдением норм тяги. Для оптимальной работы электрических отопительных установок необходимо создать условия, при которых электрическая энергия отвечает определенным стандартам качества и бесперебойности электроснабжения [5].

Горячее водоснабжение

Автономные системы горячего водоснабжения (ГВС) для объектов АПК преимущественно представлены тремя типами конструктивных решений. Проточные водонагреватели обеспечивают мгновенный нагрев воды за счет газовых или электрических нагревательных элементов, применение которых эффективно при локальном и периодическом водопотреблении, характерном для небольших животноводческих ферм. Однако такие системы требуют стабильного энергоснабжения и обладают ограниченной производительностью при пиковых нагрузках. Накопительные бойлеры, используемые в системах горячего водоснабжения, отличаются наличием теплоизолированной емкости для хранения нагретой воды, что позволяет компенсировать неравномерность потребления. Комбинированные решения интегрируют несколько источников тепловой энергии, включая солнечные коллекторы и резервные нагреватели. Подобные гибридные системы демонстрируют повышенную надежность в условиях сезонных колебаний потребности в горячей воде, характерных для растениеводческих комплексов [7].

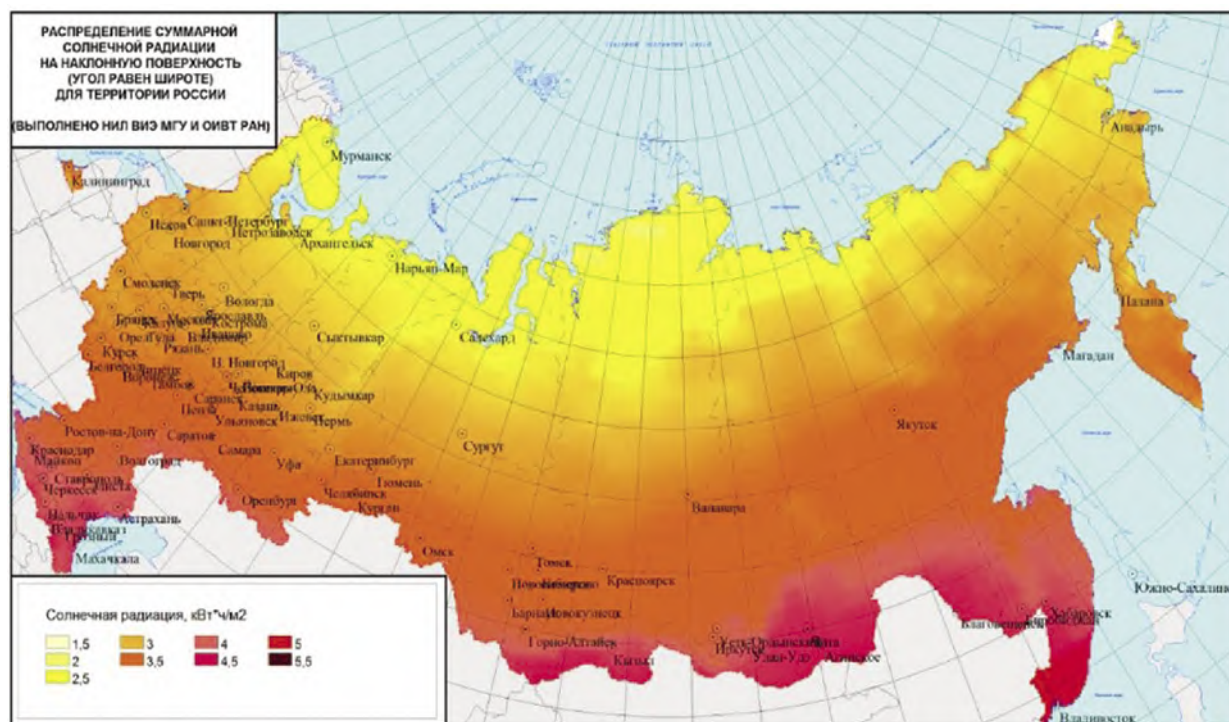
Энергоэффективность систем горячего водоснабжения напрямую зависит от их способности адаптироваться к переменным нагрузкам. Одним из вариантов преобразования альтернативных источников энергии в Оренбургской области являются гибридные энергоустановки, основой которых становятся гелиоколлекторы и солнечные панели, обеспечивающие использова-

Таблица 1. Сравнение систем теплоснабжения по видам источника тепловой энергии

Table 1. Comparison of heating systems by types of thermal energy source

Показатель	Газовое оборудование	Твердотопливный котел	Электрический конвектор	Электрический котел	Пленочный лучистый электроагрегат (ПЛЭН)
КПД, %	91,07	77,11	95	97,65	98
Надежность	средняя	низкая	низкая	средняя	высокая
Экономичный режим	нет	нет	нет	есть	есть
Занимаемая полезная площадь помещения	Уменьшается полезная площадь помещения	Уменьшается полезная площадь помещения	Полезная площадь помещения не уменьшается	Уменьшается полезная площадь помещения	Полезная площадь помещения не уменьшается
Уровень шума	средний	высокий	низкий	низкий	отсутствует
Срок службы	11–15 лет	10–15 лет	До 10 лет	До 10 лет	Более 50 лет

¹ СП 373.1325800.2018 Источники теплоснабжения автономные. Правила проектирования. ООО «СанТехПроект». 2018, 35 с.

Рис. 2. Распределение суммарной солнечной радиации на наклонную поверхность для территории России**Fig. 2.** Distribution of total solar radiation on an inclined surface for the territory of Russia

ние энергии солнца для тепло- и электроснабжения² (рис. 2) [13]. Такие системы минимизируют зависимость от традиционных энергоносителей за счет аккумулирования тепловой энергии в периоды низкого потребления. Оптимизация режимов работы такого оборудования позволит снизить эксплуатационные затраты на объектах с циклическим водопотреблением.

Специфика применения систем ГВС в агропромышленном комплексе определяется отраслевыми особенностями. В животноводческих помещениях критичны требования к санитарной обработке, что предполагает использование высокопроизводительных накопительных систем с постоянным поддержанием температуры. В растениеводческих комплексах актуальны сезонные системы с возможностью интеграции солнечных коллекторов для подогрева поливной воды. Выбор конкретного технического решения должен учитывать объемы водопотребления, климатические условия и доступность энергоресурсов.

Производительность систем горячего водоснабжения напрямую зависит от типа используемого теплообменника и мощности нагревательного элемента. Пластинчатые теплообменники демонстрируют высокий КПД за счет увеличенной площади контакта с теплоносителем, тогда как кожухотрубные конструкции обеспечивают устойчивость к перепадам давления. Для проточных систем критическое значение имеет мгновенная теплопроизводительность, измеряемая в литрах в минуту при заданном температурном напоре. Мощность нагревательных элементов варьируется от 3 кВт для бытовых нужд до 50 кВт для

промышленных объектов АПК. Комбинированные системы, сочетающие электрические ТЭНы с солнечными коллекторами, позволяют снизить энергопотребление на 30-40% за счет использования возобновляемых источников энергии. Оптимальная производительность достигается при согласовании мощности нагревателя с пиковым расходом воды и характеристиками теплообменного оборудования [6].

Конструкция автономных систем ГВС включает элементы рециркуляции для поддержания постоянной температуры в точках водоразбора. Рециркуляционные насосы обеспечивают движение воды по замкнутому контуру, минимизируя тепловые потери в трубопроводах. Это особенно актуально для протяженных сетей сельскохозяйственных объектов, где расстояние между нагревателем и потребителем может превышать 20 метров. Теплоизоляция труб и накопительных резервуаров выполняется из пенополиуретана или минеральной ваты толщиной 30-50 мм, что позволяет снизить тепловые потери на 15-25%. Герметичные конструкции с двойными стенками предотвращают конденсацию влаги и коррозию. Совместное применение рециркуляции и теплоизоляции повышает общий КПД системы на 20-30% по сравнению с базовыми решениями [7].

Солнечные коллекторы характеризуются выраженной сезонной зависимостью эффективности нагрева воды. В летний период их производительность достигает максимума, обеспечивая до 70-90% потребности в горячем водоснабжении, тогда как в зимние месяцы этот показатель снижается до 20-40% из-за уменьшения инсоляции.

² На рис. 2 представлена информация без новых регионов Российской Федерации (с 2014 г.)

Географическое расположение объектов АПК напрямую влияет на экономическую целесообразность применения таких систем, требуя точного расчета оптимальной площади коллекторов и угла их установки. Для компенсации сезонных колебаний производительности солнечные коллекторы требуют интеграции дублирующих источников энергии, таких как электрические или газовые нагреватели. Это увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты, но обеспечивает бесперебойное горячее водоснабжение. Использование аккумуляторов тепла позволяет частично нивелировать суточные колебания выработки энергии, однако их емкость ограничена технико-экономическими факторами. Гибридные системы, сочетающие солнечные коллекторы с тепловыми насосами, демонстрируют повышенную надежность, но отличаются сложностью обслуживания.

Электроснабжение

Автономные системы электроснабжения объектов АПК включают несколько типов источников энергии. Дизельные генераторы остаются распространенным решением благодаря высокой мощности и независимости от погодных условий. Солнечные панели и ветрогенераторы представляют возобновляемые альтернативы с низкими эксплуатационными затратами. Каждый тип обладает специфическими характеристиками, определяющими область применения в агропромышленном комплексе. Гибридные системы сочетают различные источники для повышения надежности энергоснабжения. Они комбинируют преимущества традиционных генераторов с экологичностью возобновляемых технологий. Такие решения особенно актуальны для удаленных объектов с переменными нагрузками.

Надежность электроснабжения критически важна для объектов АПК, таких как животноводческие комплексы и тепличные хозяйства. Перебои в энергоснабжении могут привести к нарушению технологических процессов и существенным экономическим потерям. Требования включают обеспечение бесперебойного питания, резервирование мощностей и автоматическое переключение между источниками. Эти меры направлены на поддержание непрерывности производственных циклов.

Сезонные, а в некоторых случаях и суточные, особенности сельскохозяйственного производства требуют адаптации систем электроснабжения на основе альтернативных источников энергии. Так, на летних выгульных площадках для КРС загруженность электрооборудования, включенного в технологический цикл производства, имеет переменный характер в течение суток. Например, вакуумные насосы и освещение в основном помещении работают только в утренние и вечерние часы, когда организуют процесс доения.

Дизель-генераторные установки характеризуются высокой мощностью (от 10 кВт до нескольких

МВт) и способностью работать в непрерывном режиме. Их эксплуатация требует организации топливного хозяйства с резервуарами для хранения дизельного топлива. Газопоршневые установки отличаются более высоким КПД (до 45%) и возможностью использования попутного нефтяного или биогаза, что снижает экологическую нагрузку. Оба типа генераторов требуют регулярного технического обслуживания и системы отвода выхлопных газов. Возобновляемые источники энергии, такие как солнечные панели и ветрогенераторы, обеспечивают экологически чистую генерацию без расходов на топливо. Фотоэлектрические модули имеют срок службы 25–30 лет, но их производительность зависит от инсоляции и требует точного расчета угла установки. Ветроэнергетические установки эффективны в районах со средней скоростью ветра от 4 м/с, но нуждаются в мачтах высотой 12–24 метра для оптимального использования энергии воздушных потоков [14].

Системы автоматического ввода резерва (АВР) обеспечивают бесперебойное электроснабжение за счет мгновенного переключения между основным и резервным источниками при аварийных ситуациях. Микропроцессорные контроллеры постоянно анализируют параметры сети: напряжение, частоту и нагрузочную способность. При выходе показателей за допустимые пределы происходит запуск резервного генератора с последующим переключением потребителей. Современные системы управления нагрузкой используют программируемые логические контроллеры для оптимизации энергопотребления в реальном времени. Алгоритмы динамического распределения нагрузки отключают второстепенные потребители при пиковых запросах мощности. Интеллектуальные реле приоритета автоматически регулируют последовательность подключения оборудования, предотвращая перегрузку генераторных установок.

Накопители энергии, которые часто входят в состав системы электроснабжения автономных потребителей, выполняют функцию буфера между источниками генерации и потребителями, сглаживая суточные колебания энергопотребления. Литий-ионные аккумуляторы обладают высокой плотностью энергии (150–200 Вт·ч/кг) и большим количеством циклов заряда-разряда (2000–5000). Свинцово-кислотные батареи отличаются более низкой стоимостью, но требуют регулярного обслуживания и вентилируемых помещений для установки. Гибридные системы комбинируют накопители с дизель-генераторами, что позволяет снизить расход топлива на 40–60% за счет их работы в оптимальном нагрузочном режиме.

Автономные энергосистемы должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 54149-2010³ по качеству электроэнергии: стабильность напряжения ($\pm 5\%$), частота (50 Гц $\pm 1\%$) и коэффициент

³ ГОСТ Р 54149-2010. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения

нелинейных искажений (не более 8%). Для соблюдения нормативов применяются стабилизаторы напряжения, частотные преобразователи и фильтры высших гармоник. Особое внимание уделяется защите чувствительного электронного оборудования сельскохозяйственных комплексов от импульсных перенапряжений. Внедрение солнечной генерации позволяет не только снизить затраты на энергоносители, но и обеспечить требуемую надежность и качество электроэнергии для работы высокотехнологичного электрооборудования: частотных приводов насосов, автоматизированных доильных установок, систем климатконтроля [15].

Автономные фотоэлектрические системы демонстрируют прямую зависимость выработки электроэнергии от уровня инсоляции в конкретном регионе. КПД современных фотоэлектрических преобразователей варьируется в пределах 15–22%, что определяет необходимость увеличения площади солнечных панелей для компенсации потерь. Сезонные колебания солнечной активности требуют применения аккумуляторных батарей для сглаживания суточной неравномерности генерации. Данный фактор существенно влияет на общую стоимость системы и сроки ее окупаемости [6].

Ветрогенераторы характеризуются нелинейной зависимостью выходной мощности от скорости ветра, достигая номинальных значений лишь при определенных метеорологических условиях [16–20]. Анализ эксплуатационных данных показывает, что среднегодовая выработка энергии ветроустановками в 2–3 раза ниже теоретического максимума из-за природной изменчивости ветрового режима. Наибольшая эффективность наблюдается в прибрежных и степных зонах, где средняя скорость ветра превышает 5 м/с. Неравномерность генерации ветроэлектростанций требует применения систем аккумулирования энергии повышенной емкости, что увеличивает капитальные затраты [21–25]. Особую проблему представляют периоды штиля, когда необходимо задействовать резервные источники электропитания. Современные гибридные решения комбинируют ветрогенераторы с фотоэлектрическими панелями, позволяя снизить зависимость от одного вида возобновляемой энергии [26–30].

Объекты АПК с периодическим режимом эксплуатации требуют особой конфигурации систем жизнеобеспечения. Сельскохозяйственные комплексы сезонного использования нуждаются в быстром запуске оборудования после длительного простоя. Для этого применяются модульные конструкции с предустановленными параметрами работы и минимальным временем выхода на рабочий режим. Ограниченный обслуживающий персонал обуславливает необходимость максимальной автоматизации процессов управления. Внедрение систем дистанционного контроля и предустановленных сценариев работы снижает

требования к квалификации операторов. Простота технического обслуживания достигается за счет стандартизации узлов и использования самодиагностирующихся компонентов.

Оптимальным решением для автономных объектов АПК является комбинированное использование возобновляемых и традиционных источников энергии. Такая стратегия позволяет покрывать базовые нагрузки за счет стабильных источников, таких как дизель-генераторы или газовые установки, сохраняя возобновляемые ресурсы для переменных потребностей. При этом пиковые нагрузки эффективно компенсируются за счет гибкого перераспределения энергопотоков между источниками. Это обеспечивает устойчивость энергоснабжения при минимальных эксплуатационных издержках. Важным аспектом стратегии является накопление избыточной энергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками. В то же время избыток энергии ветра или солнечного излучения может накапливаться в аккумуляторах энергии без дополнительных затрат на топливо [31]. Накопительные системы позволяют сглаживать суточные колебания генерации и потребления, повышая общую эффективность комплекса. Особое значение это имеет для сельскохозяйственных объектов с сезонными изменениями энергопотребления. Балансировка мощностей требует четкого разделения ролей между источниками разных типов. Традиционные установки целесообразно использовать для обеспечения базовой нагрузки, тогда как ВИЭ оптимальны для покрытия переменной части графика потребления. Для пиковых нагрузок рекомендуется применять гибридные схемы с кратковременным подключением резервных генераторов. Такой подход минимизирует расход топлива и продлевает срок службы оборудования [32, 33].

В автономных энергоснабжающих системах возможно создание синергетических эффектов, которые достигаются через совместную работу разнотипных генерирующих установок. «Снизить потери может использование объединенных комплексов ВИЭ и автономных источников энергии, а также применение современных преобразующих и контролирующих систем, позволяющих обеспечить гарантированное энергообеспечение потребителей» [34]. Интеграция солнечных панелей с ветрогенераторами и дизель-генераторами позволяет компенсировать периоды снижения генерации одного источника за счет других. Примером эффективной синергии служит комбинация тепловых и электрических систем. Когенерационные установки, вырабатывающие одновременно тепло и электроэнергию, могут дополняться тепловыми насосами и солнечными коллекторами. Это создает замкнутый цикл энергообмена, где избыточное тепло одной системы используется другой. В результате повышается общий КПД комплекса при сокращении потребления первичных энергоресурсов.

Типовые схемы интеграции предусматривают объединение тепловых и электрических систем через единую управляющую платформу. Оптимизация баланса мощностей достигается за счет автоматического перераспределения потоков энергии между отоплением, ГВС и электроснабжением. Приоритет отдается каскадному использованию энергии: например, утилизация тепла электрогенераторов для нужд отопления. Такие решения снижают общую установленную мощность оборудования на 15–20% за счет устранения дублирующих функций [35, 36].

Выводы/Conclusion

Проведенный аналитический обзор систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения подтвердил критическую роль автономных систем энергоснабжения для обеспечения устойчивой работы удаленных объектов агропромышленного комплекса. Независимость от централизованных сетей минимизирует риски производственных сбоев, вызванных перебоями в поставках энергии. Каждая система демонстрирует выраженную специфику технической реализации, зависящую от типа сельскохозяйственного объекта и локальных климатических условий. Классификация выявила необходимость дифференцированного подхода при выборе конфигурации систем для различных объектов АПК.

Технический анализ подтвердил преобладание гибридных решений, комбинирующих традиционные и возобновляемые источники энергии. Генераторы на жидком топливе сохраняют свою значимость благодаря высокой мощности и стабильности генерации энергии, тогда как солнечные коллекторы и ветроэнергетические установки

обеспечивают экологическую устойчивость. Оптимальное соотношение компонентов определяется требованиями конкретного сельскохозяйственного объекта. Экономическая целесообразность гибридных систем напрямую зависит от климатических ограничений и доступности ресурсов в регионе эксплуатации.

Несмотря на достоинства применения установок по преобразованию альтернативных источников энергии, нужно учитывать и некоторые недостатки их эксплуатации. Объем вырабатываемой энергии как тепловой, так и электрической будет зависеть от погодных условий в регионе установки. В некоторых системах применяются аккумуляторы для накопления электрической энергии, что будет вызывать увеличение капитальных вложений при их приобретении. Также поле истечения срока эксплуатации может возникнуть сложность в утилизации элементов оборудования.

Синергетический эффект будет достигаться при комбинированном использовании источников тепловой и электрической энергии, что позволяет сократить избыточную мощность оборудования. Предложенные решения направлены на создание сбалансированных энергокомплексов для автономных объектов. Перспективы развития автономных энергосистем для АПК связаны с внедрением цифровых технологий управления и предиктивных моделей обслуживания.

Дальнейшие исследования требуют междисциплинарного подхода, объединяющего достижения агроинженерии, энергетики и информационных технологий, что позволит создать интеллектуальные системы, адаптирующиеся к изменяющимся условиям эксплуатации.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ивашкин В.С., Бурков А.И., Гордеева И.С., Отавина Р.В. Тенденции в области автономного энергоснабжения животноводческих объектов. *Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии и инновации. Материалы всероссийской научно-практической конференции*. Пермь: ОТ и ДО. 2022; 289–293. EDN KUFYXQ
2. Орлова С.С., Панкова Т.А., Миркина Е.Н. Анализ эффективности работы систем теплоснабжения. Основы рационального природопользования. Материалы XI национальной конференции с международным участием. Саратов: Вавиловский университет. 2025; 395–400. EDN EUHLDO
3. Новикова Е.Д. Повышение эффективности энергоснабжения автономных объектов. *Теплоэнергетика. Девятнадцатая всероссийская (одинадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Материалы конференции*. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина. 2024; 1: 106. EDN MESPDV
4. Лебедев В.А., Карабута В.С. Обоснование выбора типа энергоустановки для систем энергоснабжения предприятий агропромышленного комплекса. *Вестник аграрной науки Дона*. 2017; (1): 49–56. EDN YLXXIF
5. Лашина Н.А. Разработка мероприятий по повышению эффективности работы систем теплоснабжения объекта от автономного источника тепла. *Инновационные технологии и стратегии для повышения энергоэффективности в теплоэнергетических системах. Сборник научных статей всероссийской научно-практической конференции*. Курск: Университетская книга. 2025; 189–191. EDN WOSQLZ
6. Воронин С.М., Бадрудинова А.Н., Линенко А.В., Цыганов В.В. Особенности автономного энергоснабжения сельскохозяйственных объектов в Республике Калмыкия. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2025; (4): 95–101. EDN QRRNTA
7. Лявина М.Ю., Купряхин С.М. Обеспечение АПК топливно-энергетическими ресурсами: механизм и эффекты. *Актуальные проблемы и перспективы аграрной науки. Сборник статей национальной научно-практической конференции с международным участием*. Саратов: Вавиловский университет. 2024; 217–223. EDN EYTXH

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Ivashkin V.S., Burkov A.I., Gordeyeva I.S., Otavina R.V. Trends in autonomous power supply of livestock facilities. *Agrotechnologies of the 21st century: development strategy, technologies, and innovations. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*. Perm: OT i DO. 2022; 289–293 (in Russian). EDN KUFYXQ
2. Orlova S.S., Pankova T.A., Mirkina E.N. Analysis of the efficiency of heat supply systems. *Fundamentals of rational nature management. Proceedings of the XI national conference with international participation*. Saratov: Vavilov University. 2025; 395–400 (in Russian). EDN EUHLDO
3. Novikova E.D. Improving the efficiency of energy supply for autonomous facilities. *Thermal Power Engineering. Nineteenth All-Russian (Eleventh International) scientific and technical conference of students, postgraduates, and young scientists. Proceedings*. Ivanovo: Ivanovo State Power University named after V.I. Lenin. 2024; 1: 106 (in Russian). EDN MESPDV
4. Lebedev V.A., Karabuta V.S. Justification of the choice of the type of power plant for power supply systems of enterprises of the agro-industrial complex. *Don agrarian science bulletin*. 2017; (1): 49–56 (in Russian). EDN YLXXIF
5. Lashina N.A. Development of measures to improve the efficiency of facility heating systems using an autonomous heat source. *Innovative technologies and strategies for improving energy efficiency in heat and power systems. Collection of scientific articles from the All-Russian scientific and practical conference*. Kursk: Universitetskaya kniga. 2025; 189–191 (in Russian). EDN WOSQLZ
6. Voronin S.M., Badrudinova A.N., Linenko A.V., Tsyganov V.V. Features of Autonomous Energy Supply for Agricultural Facilities in the Republic of Kalmykia. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2025; (4): 95–101 (in Russian). EDN QRRNTA
7. Lyavina M.Yu., Kupryachin S.M. Providing the agricultural industry with fuel and energy resources: mechanism and effects. *Current problems and prospects of agricultural science. Collection of articles of the National scientific and practical conference with international participation*. Saratov: Vavilov University. 2024; 217–223 (in Russian). EDN EYTXH

8. Челухин В.А., Васильев А.В., Абрамсон Е.В., Аунг П.З., Гринкруг М.С. Преобразователь энергии суточного перепада температур для электроснабжения удаленных сельскохозяйственных объектов. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2022; 69(2): 54–58. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-2-54-58>
9. Зенкевич М.Ю., Прокофьев В.Е., Янович К.В. Вариант схемы гарантированного энергоснабжения автономных объектов на базе комбинированных энергоустановок. *Система знаний: процессы развития современной научной мысли. Сборник научных трудов*. Казань: СитИвент. 2021; 193–197. EDN IKGBJE
10. Панова А.А. Сравнительная характеристика централизованного и автономного теплоснабжения в жилищном строительстве. *Инновационная наука*. 2020; (12): 39–40. EDN RLEVSU
11. Кabanov O.V. Энергоэффективная автономная система теплоснабжения. *Взгляд ученого*. 2019; (1-1): 2–14. EDN PJEMXP
12. Мансурова Ш.П. Децентрализация — один из способов энергоэффективности теплоснабжения. *Академическая публицистика*. 2020; (10): 30–35. EDN OOVNBH
13. Петко В.Г., Фомин М.Б., Рахимжанова И.А., Колесников А.Б., Садчиков А.С., Колесникова И.В. Обзор, анализ и перспективы использования теплогенерирующих ветроустановок в системах отопления и горячего водоснабжения. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021; (4): 190–196. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-190-196>
14. Петко В.Г., Рахимжанова И.А., Фомин М.Б., Колесников А.Б., Садчиков А.С., Колесникова И.В. Обзор и оценка конструктивных схем ветродизель-электрических установок. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022; (1): 135–141. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-135-140>
15. Шеповалова О.В. Использование возобновляемых источников энергии в комплексных системах энергообеспечения сельских зданий. *Ползуновский вестник*. 2011; (2-2): 175–180. EDN BPPIXR
16. Морозов А.А., Добрянский Р.Ф., Горoshko С.Д., Максимов Е.А., Загорская С.Е., Гулевич А.И. Автономные системы газоснабжения для удаленных территорий. *Вестник евразийской науки*. 2024; 16(6). EDN JOEDAN
17. Петко В.Г., Рахимжанова И.А., Шалева М.А. Ветроустановка для теплоснабжения автономных объектов на селе. *Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем. Материалы международной научно-практической конференции*. Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет. 2018; 131–133. EDN HQAEXU
18. Погонин А.О. Особенности формирования энергоэффективных автономных жилых зданий. *Архитектура и современные информационные технологии*. 2010; (4): 13. EDN MWLNSN
19. Григораш О.В., Денисенко Е.А., Коломейцев А.Э., Барышев П.М. Структурно-схемные решения мобильных энергосистем и алгоритм их работы. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика»*. 2024; 24(3): 12–19. <https://doi.org/10.14529/power240302>
20. Коу Ц., Чжоу С., Муровский С.П. Проектирование системы автономного энергоснабжения жилого объекта на базе возобновляемых источников энергии. *Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. Труды Всероссийской научно-практической конференции творческой молодежи с международным участием*. Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения. 2025; 1: 498–501. EDN UHSFTN
21. Карелина М.Ю., Ключев Р.В., Сердечный Д.В. Технико-экономическое обоснование солнечной электростанции для энергоснабжения автономных объектов АПК на труднодоступных территориях. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2025; (10): 74–80. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-252-10-74-80>
22. Петко В.Г., Рахимжанова И.А., Фомин М.Б., Колесников А.Б., Садчиков А.С., Соловьев С.А. Автономная ветроэнергетическая установка. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021; (3): 181–186. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-181-186>
23. Юдаев И.В., Попов М.Ю., Попова Р.В. Автономная теплица, функционирующая на возобновляемых энергоресурсах. *Вестник аграрной науки Дона*. 2020; (1): 33–42. EDN YFKBKG
24. Изотова Е.А., Чеботарев А.С. Использование возобновляемых источников энергии при энергоснабжении жилых зданий. *Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений*. Межвузовский научный сборник. Саратов. 2021; 46: 83–87. EDN AGCNXI
25. Евменчик А.С. Исследование эффективности использования энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии для комплексного электроснабжения удаленных потребителей. *Международный технико-экономический журнал*. 2021; (2): 116–124. <https://doi.org/10.34286/1995-4646-2021-77-2-116-124>
26. Абдурахманов Р.Н., Асанов М.М., Бекиров Э.А., Кувшинов В.В., Коломийченко В.П. Оптимизация энергоснабжения удаленных сельских потребителей в Республике Крым при использовании ветроэнергетических установок. *Энергетические установки и технологии*. 2025; 11(3): 95–99. EDN LPTVTG
27. Мехтиев А.Д. и др. Системы теплоснабжения автономных объектов с использованием комбинированных возобновляемых источников. *Современные научные исследования и разработки*. 2018; (12-1): 412–416. EDN YKPKQL
28. Оразбекова А., Мехтиев А., Олжабай А.Ш. Разработка передвижного ветрогенератора со складывающимися лопатками для энергоснабжения потребителей сельской местности. *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2024; 16(2): 177–185. EDN JYGFJN
29. Петко В.Г., Фомин М.Б., Фомина Л.Р. Использование энергии ветра для электро- и теплоснабжения автономных объектов сельскохозяйственного производства. *Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем. Материалы международной научно-практической конференции*. Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет. 2018; 174–178. EDN ISBZXB
30. Петко В.Г., Христиановская М.А., Кузьмин А.В. Приобъектный ветроэлектрический агрегат. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020; (6): 156–160. EDN IPYIK
31. Насирдинова С.М. Комбинированные системы теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии. *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова*. 2018; (4): 122–128. EDN ZARNVR
8. Cheluhin V.A., Vasiliev A.V., Abramson E.V., Aung P.Z., Grinkrug M.S. Application of a day-night temperature difference energy converter for power supply of remote agricultural facilities. *Electrical technology and equipment in the agro-industrial complex*. 2022; 69(2): 54–58 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-2-54-58>
9. Zenkevich M.Yu., Prokof'yev V.Ye., Yanovich K.V. A variant of a scheme for guaranteed power supply of autonomous objects based on combined power plants. *Knowledge system: processes of development of modern scientific thought. Collection of scientific papers*. Kazan: SitIvent. 2021; 193–197 (in Russian). EDN IKGBJE
10. Panova A.A. Comparative characteristics of centralized and autonomous heat supply in housing construction. *Innovation science*. 2020; (12): 39–40 (in Russian). EDN RLEVSU
11. Kabanov O.V. Energy-efficient autonomous heating system. *Vzglyad uchenogo*. 2019; (1-1): 2–14 (in Russian). EDN PJEMXP
12. Mansurova Sh.P. Decentralization is one of the ways of energy efficiency of heat supply. *Akademicheskaya publitsistika*. 2020; (10): 30–35 (in Russian). EDN OOVNBH
13. Petko V.G., Fomin M.B., Rakhimzhanova I.A., Kolesnikov A.B., Sadchikov A.S., Kolesnikova I.V. Review, analysis and prospects for the use of heat-generating wind turbines in heating and hot water supply systems. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; (4): 190–196 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-90-4-190-196>
14. Petko V.G., Rakhimzhanova I.A., Fomin M.B., Kolesnikov A.B., Sadchikov A.S., Kolesnikova I.V. Review and evaluation of design schemes wind-diesel-electric installations. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022; 93(1): 135–141 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-135-140>
15. Shepvalova O.V. Use of renewable energy sources in integrated energy supply systems for rural buildings. *Polzunovskiy vestnik*. 2011; (2-2): 175–180 (in Russian). EDN BPPIXR
16. Morozov A.A., Dobryansky R.F., Goroshko S.D., Maximov E.A., Zagorskaya S.E., Gulevich A.I. Autonomous gas supply systems for remote areas. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024; 16(6) (in Russian). EDN JOEDAN
17. Pet'ko V.G., Rakhimzhanova I.A., Shaleva M.A. Wind turbine for heating autonomous rural facilities. *Improving engineering and technical support for production processes and technological systems. Proceedings of the international scientific and practical conference*. Orenburg: Orenburg State Agrarian University. 2018; 131–133 (in Russian). EDN HQAEXU
18. Pogonin A. Features of formation of the power effective autonomous residential buildings. *Architecture and modern information technologies*. 2010; (4): 13 (in Russian). EDN MWLNSN
19. Grigorash O.V., Denisenko E.A., Kolomeitsev A.E., Baryshev P.M. Structural and schematic solutions for mobile devices power systems and their operation algorithm. *Bulletin of South Ural State University. Series "Power Engineering"*. 2024; 24(3): 12–19 (in Russian). <https://doi.org/10.14529/power240302>
20. Kou Qi.Y., Zhou Si.Yu., Murovskiy S.P. Design of an autonomous power supply system for a residential facility based on renewable energy sources. *Scientific, technical and economic cooperation of Asia-Pacific countries in the 21st century. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference of creative youth with international participation*. Khabarovsk: Far Eastern State Transport University. 2025; 1: 498–501 (in Russian). EDN UHSFTN
21. Karelina M.Yu., Klyuev R.V., Serdechniy D.V. Feasibility study for a solar power plant to deliver power to autonomous agricultural facilities in hard-to-reach areas. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2025; (10): 74–80 (in Russian). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-252-10-74-80>
22. Petko V.G., Rakhimzhanova I.A., Fomin M.B., Kolesnikov A.B., Sadchikov A.S., Solov'yov S.A. Autonomous wind power plant. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; (3): 181–186 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-89-3-181-186>
23. Yudaev I.V., Popov M.Yu., Popova R.V. Autonomous greenhouse running on renewable energy resources. *Don agrarian science bulletin*. 2020; (1): 33–42 (in Russian). EDN YFKBKG
24. Izotova E.A., Chebotarev A.S. Estimation of the potential of use renewable energy sources in the power supply of residential buildings. *Improving methods of hydraulic calculations of water-conducting and treatment facilities. Interuniversity scientific collection*. Saratov. 2021; 46: 83–87 (in Russian). EDN AGCNXI
25. Evmenchik A.S. Study of the efficiency of energy complexes based on renewable energy sources for integrated power supply to remote consumers. *International technical and economic journal*. 2021; (2): 116–124 (in Russian). <https://doi.org/10.34286/1995-4646-2021-77-2-116-124>
26. Abdurakhmanov R.N., Asanov M.M., Bekirov E.A., Kuvshinov V.V., Kolomyichenko V.P. Optimization of energy supply for remote rural areas in the republic of crimea through the use of wind energy systems. *Power plants and technologies*. 2025; 11(3): 95–99 (in Russian). EDN LPTVTG
27. Mekhtiyev A.D. et al. Heat supply systems for autonomous facilities using combined renewable sources. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i razrabotki*. 2018; (12-1): 412–416 (in Russian). EDN YKPKQL
28. Orazbekova A., Mehdiyev A., Olzhabay A.S. Development of a mobile wind generator with folding blades for power supply to rural consumers. *Kazan State Power Engineering University Bulletin*. 2024; 16(2): 177–185 (in Russian). EDN JYGFJN
29. Pet'ko V.G., Fomin M.B., Fomina L.R. Using wind energy for electricity and heat supply of autonomous agricultural production facilities. *Improving engineering and technical support for production processes and technological systems. Proceedings of the international scientific and practical conference*. Orenburg: Orenburg State Agrarian University. 2018; 174–178 (in Russian). EDN ISBZXB
30. Petko V.G., Khristianovskaya M.A., Kuzmin A.V. Onsite wind power unit. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; (6): 156–160 (in Russian). EDN IPYIK
31. Nasiridinova S.M. Combined heat supply systems based on renewable energy sources. *The Bulletin of I. Razzakov Kyrgyz State Technical University*. 2018; (4): 122–128 (in Russian). EDN ZARNVR

32. Куницкая О.А., Помигуев А.В., Афоничев Д.Н., Григорьев В.И., Дмитриева И.Н., Григорьев Г.В. Альтернативные источники энергии для автономного энергоснабжения удаленных объектов сельского хозяйства и лесного комплекса. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2022; 15(1): 71–81. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_71

33. Христиановская М.А., Петько В.Г. Опыт и перспективы использования ветронасосных установок для отгонных пастбищ. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019; (6): 165–169. EDN NOCFIS

34. Воронин С.М., Украинцев М.М. Автономные системы электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии для сельских объектов. *Вестник аграрной науки Дона*. 2022; 15(4): 82–94. https://doi.org/10.55618/20756704_2022_15_4_82-94

35. Шишкин Н.Д., Ильин Р.А. Исследование параметров вихревых ветроэнергостановок для автономного энергоснабжения объектов. *Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса. Материалы XVII Международной научно-технической конференции*. Саратов: СГТУ имени Гагарина Ю.А. 2024; 12: 288–294. EDN SUOIQT

36. Гусарова Е.В., Харченко В.В., Гусаров В.А., Жуков К.В. Применение автономных систем электроснабжения на возобновляемых источниках энергии для снижения аварийности сельхозтехники в агропромышленных районах России. *Вестник аграрной науки Дона*. 2022; 15(2): 81–91. https://doi.org/10.55618/20756704_2022_15_2_81-91

ОБ АВТОРАХ

Ильмира Агзамовна Рахимжанова¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой электротехнологий и электрооборудования
kaf-36@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9382-3943>

Виктор Гаврилович Петько¹

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электротехнологий и электрооборудования
vgpetko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8214-8732>

Владимир Валерьевич Пугачев¹

кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологий и электрооборудования
pvv056@list.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5172-5077>

Максим Борисович Фомин¹

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электротехнологий и электрооборудования
mbfom@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1190-7842>

Владислав Анатольевич Пушко¹

кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологий и электрооборудования
vlad7826@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2019-3658>

Алексей Сергеевич Байков¹

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры электротехнологий и электрооборудования
56.bas@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9531-4712>

Владимир Иванович Косилов¹

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства
kosilov_vi@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4754-1771>

Альфия Фагитовна Абдюкаева¹

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электротехнологий и электрооборудования
alfa2712@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6914-1416>

Нуркен Маратович Губашев²

доктор сельскохозяйственных наук, доцент, институт ветеринарии и агротехнологии
n_gubashev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0914-601X>

¹Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия

²Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, ул. им. Жангир хана, 51, Уральск, 090009, Казахстан

32. Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V., Afonichev D.N., Grigoriev V.I., Dmitrieva I.N., Grigoriev G.V. Alternative energy sources for autonomous power supply of remote facilities in agriculture and forestry. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022; 15(1): 71–81 (in Russian). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_71

33. Khristianovskaya M.A., Petko V.G. Experience and prospects of using wind pump plants for distant pastures. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019; (6): 165–169 (in Russian). EDN NOCFIS

34. Voronin S.M., Ukraintsev M.M. Autonomous power supply systems based on renewable energy sources for rural facilities. *Don agrarian science bulletin*. 2022; 15(4): 82–94 (in Russian). https://doi.org/10.55618/20756704_2022_15_4_82-94

35. Shishkin N.D., Il'in R.A. Study of the parameters of vortex wind turbines for autonomous power supply of facilities. *Problems of improving the fuel and energy complex. Proceedings of the XVII International scientific and technical conference*. Saratov: Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. 2024; 12: 288–294 (in Russian). EDN SUOIQT

36. Gusarova E.V., Kharchenko V.V., Gusarov V.A., Zhukov K.V. Application of autonomous power supply systems on renewable energy sources to reduce agricultural machinery emergencies in agricultural regions of Russia. *Don agrarian science bulletin*. 2022; 15(2): 81–91 (in Russian). https://doi.org/10.55618/20756704_2022_15_2_81-91

ABOUT THE AUTHORS

Ilmira Agzamovna Rakhimzhanova¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
kaf-36@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9382-3943>

Viktor Gavrilovich Petko¹

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
vgpetko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8214-8732>

Vladimir Valerievich Pugachev¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
pvv056@list.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5172-5077>

Maxim Borisovich Fomin¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
mbfom@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1190-7842>

Vladislav Anatolyevich Pushko¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
vlad7826@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2019-3658>

Alexey Sergeevich Baykov¹

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
56.bas@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9531-4712>

Vladimir Ivanovich Kosilov¹

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Livestock Production and Processing Technology
kosilov_vi@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4754-1771>

Alfiya Fagitovna Abdyyukaeva¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Technology and Electrical Equipment
alfa2712@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6914-1416>

Nurken Maratovich Gubashev²

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Institute of Veterinary Science and Agricultural Technology
n_gubashev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0914-601X>

¹Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev st., Orenburg, 460014, Russia

²Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University, 51 Zhangir Khan st., Uralsk, 090009, Kazakhstan