

Садыков Максат Амангелдиевич

*кандидат физико-математических наук, доцент Международного университета
инновационных технологий, г. Бишкек, Кыргызская Республика*

Дуйшебаева Элиза Ызабековна

*Институт инновационных технологий и
энергетики, старший преподаватель*

Алманбетов Айбек Абдрасилович

Институт инновационных технологий и энергетики, старший преподаватель,

**АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ: СОВРЕМЕННОЕ
СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Аннотация

В статье рассмотрены современные тенденции развития автономных систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей на основе возобновляемых источников энергии. Проведен анализ проблем традиционного централизованного электроснабжения удаленных сельскохозяйственных объектов и обоснована необходимость применения автономных энергетических комплексов. Выполнена сравнительная оценка солнечных, ветровых и гибридных систем электроснабжения с учетом особенностей сельскохозяйственного производства. Предложена авторская классификация автономных систем электроснабжения по типу генерации, степени автономности и функциональному назначению. Разработана матрица выбора рациональной структуры автономной системы для фермерских хозяйств, тепличных комплексов, насосных станций, животноводческих предприятий и объектов переработки продукции. Показано, что для условий Кыргызской Республики наиболее перспективными являются гибридные солнечно-ветровые энергетические комплексы с аккумуляторными накопителями и интеллектуальными системами управления. Сформулированы практические рекомендации по проектированию и внедрению автономного электроснабжения в агропромышленном комплексе. Результаты исследования могут быть использованы проектными организациями, сельскохозяйственными

предприятиями и образовательными учреждениями при разработке энергетически эффективных решений для сельских территорий.

Ключевые слова: автономное электроснабжение, возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, ветроэнергетика, гибридная энергетическая система, сельское хозяйство, энергоэффективность, накопители энергии, интеллектуальное управление, Кыргызская Республика.
Autonomous Power Supply Systems for Agricultural Consumers Based on Renewable Energy Sources: Current State, Challenges and Development Prospects
Abstract

The paper analyzes current trends in the development of autonomous power supply systems for agricultural consumers based on renewable energy sources. The main limitations of traditional centralized power supply for remote agricultural facilities are identified, and the need for autonomous energy systems is substantiated. A comparative assessment of photovoltaic, wind and hybrid power systems is carried out with regard to agricultural operating conditions. An original classification of autonomous power supply systems by generation type, degree of autonomy and functional purpose is proposed. A matrix for selecting the rational structure of an autonomous system for farms, greenhouses, irrigation pumping stations, livestock complexes and processing facilities is developed. It is shown that hybrid photovoltaic-wind systems with battery storage and intelligent energy management are the most promising option for the conditions of the Kyrgyz Republic. Practical recommendations for the design and implementation of autonomous power supply in the agricultural sector are formulated.

Keywords: autonomous power supply, renewable energy sources, photovoltaic systems, wind energy, hybrid energy systems, agriculture, energy efficiency, battery storage, intelligent control.

1. Введение

Энергетическое обеспечение сельского хозяйства является одним из определяющих факторов устойчивого развития агропромышленного комплекса. Электрическая энергия используется при орошении, водоснабжении, работе насосных станций, эксплуатации тепличных комплексов, животноводческих ферм, холодильного оборудования, зерносушильных установок и предприятий первичной переработки сельскохозяйственной продукции. Расширение автоматизации, внедрение цифрового мониторинга и применение интеллектуальных систем управления повышают требования к надежности, качеству и экономичности электроснабжения.

Для удаленных сельскохозяйственных потребителей традиционная централизованная схема электроснабжения часто оказывается недостаточно эффективной. Строительство протяженных линий электропередачи связано с высокими капитальными затратами, а эксплуатация распределительных сетей сопровождается потерями электроэнергии и аварийными отключениями. В горных и труднодоступных районах Кыргызской Республики эта проблема имеет особую актуальность, поскольку природно-климатические условия усложняют обслуживание электрических сетей и повышают стоимость энергетической инфраструктуры.

Одним из перспективных направлений решения обозначенных задач является развитие автономных систем электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии. Снижение стоимости фотоэлектрических модулей, совершенствование ветроэнергетических установок, развитие аккумуляторных накопителей и силовой преобразовательной техники позволяют создавать энергетические комплексы, способные обеспечивать надежное питание сельскохозяйственных объектов без постоянной зависимости от централизованной сети.

Кыргызская Республика обладает благоприятными предпосылками для внедрения автономной энергетики. Значительная продолжительность солнечного сияния, наличие территорий с устойчивым ветровым потенциалом, высокая доля сельского населения и удаленность ряда аграрных объектов от крупных энергетических центров создают условия для применения солнечных, ветровых и гибридных энергетических систем. Однако эффективность таких решений зависит не только от наличия природного потенциала, но и от правильного выбора структуры системы, мощности оборудования, емкости накопителей и алгоритмов управления.

Целью исследования является анализ современных тенденций развития автономных систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей на основе возобновляемых источников энергии, а также разработка практических рекомендаций по выбору рациональной структуры таких систем для условий Кыргызской Республики.

2. Материалы и методы исследования

Методологической основой исследования являются научные подходы к проектированию автономных систем электроснабжения, принципы устойчивого энергетического развития сельского хозяйства и концепция рационального использования возобновляемых источников энергии. Исследование выполнено на

основе анализа научных публикаций, посвященных применению солнечной, ветровой и гибридной энергетики в аграрном секторе, а также обобщения проектных решений, применяемых при электроснабжении удаленных потребителей.

В работе использованы методы системного анализа, сравнительного анализа, научного обобщения, экспертной оценки и аналитического моделирования. Системный подход позволил рассмотреть автономную энергетическую систему как совокупность взаимосвязанных элементов: источников генерации, накопителей энергии, преобразовательного оборудования, устройств защиты, систем мониторинга и потребителей электрической энергии.

При сравнительной оценке различных вариантов электроснабжения учитывались надежность, энергоэффективность, капитальные и эксплуатационные затраты, экологическая безопасность, возможность автономной работы, масштабируемость, устойчивость к изменению нагрузки и уровень автоматизации управления. Такой набор критериев позволяет оценивать не только техническую, но и практическую пригодность энергетических решений для сельскохозяйственных объектов.

Объектом исследования являются автономные системы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, функционирующие на основе возобновляемых источников энергии. Предметом исследования выступают технические и организационные решения, обеспечивающие повышение надежности, энергетической эффективности и экологической устойчивости электроснабжения аграрных объектов.

3. Результаты исследования и обсуждение

3.1 Современное состояние автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей

Современное сельское хозяйство характеризуется устойчивым ростом потребления электрической энергии. Электроэнергия необходима практически на всех этапах технологического процесса: при водоснабжении, орошении, вентиляции, освещении, охлаждении, сушке, хранении и переработке продукции. Нарушение электроснабжения может приводить к простоем оборудования, снижению урожайности, ухудшению условий содержания животных и экономическим потерям.

Традиционная система электроснабжения сельских территорий основана на централизованной передаче электроэнергии по распределительным сетям. Для крупных населенных пунктов такой подход остается основным, однако для

удаленных фермерских хозяйств, пастбищных стоянок и сезонных производственных объектов он не всегда является экономически оправданным. Высокая стоимость строительства линий электропередачи, потери при передаче и зависимость от аварийных отключений ограничивают эффективность централизованного электроснабжения.

Автономные системы электроснабжения позволяют приблизить источник энергии к потребителю, снизить потери при передаче и повысить энергетическую независимость объекта. Особое значение они имеют для сельских территорий, где электропотребление часто имеет сезонный характер и связано с работой насосов, теплиц, холодильных установок и оборудования первичной переработки продукции.

В настоящее время наиболее распространенными элементами автономных энергетических комплексов являются фотоэлектрические станции, ветроэнергетические установки, аккумуляторные накопители, инверторы, контроллеры заряда и системы автоматического управления. Совместное использование этих компонентов позволяет создавать гибкие энергетические решения различной мощности и назначения.

Таблица 1 - Сравнительная характеристика централизованной и автономной систем электроснабжения

Показатель	Централизованная система	Автономная система на основе ВИЭ
Источник энергии	Электрическая сеть	Солнечная, ветровая и гибридная генерация
Надежность	Зависит от состояния сети	Высокая при правильном резервировании
Потери электроэнергии	Значительные при протяженных линиях	Минимальные за счет близости генерации к нагрузке
Капитальные затраты	Высокие при строительстве ЛЭП	Высокие на этапе установки оборудования
Эксплуатационные расходы	Постоянные платежи и обслуживание сети	Ниже после ввода в эксплуатацию
Экологическое воздействие	Зависит от структуры генерации	Низкое при использовании ВИЭ
Масштабируемость	Ограничена сетевой инфраструктурой	Высокая, модульный принцип
Энергонезависимость	Низкая	Высокая

3.2 Анализ применения солнечной энергетики

Фотоэлектрические установки являются наиболее распространенным видом возобновляемых источников энергии, применяемых в автономных системах электроснабжения сельскохозяйственных объектов. Их широкое распространение обусловлено снижением стоимости солнечных модулей, повышением коэффициента полезного действия фотоэлектрических преобразователей, надежностью оборудования и минимальными эксплуатационными затратами.

Для Кыргызской Республики использование солнечной энергетики представляет значительный практический интерес благодаря высокой продолжительности солнечного сияния и благоприятным условиям для размещения фотоэлектрических модулей. Солнечные электростанции могут применяться для питания насосных станций, систем капельного орошения, тепличных комплексов, холодильных камер, систем освещения и объектов животноводства.

Преимуществами солнечной энергетики являются отсутствие расходов на топливо, простота эксплуатации, возможность модульного увеличения мощности и длительный срок службы оборудования. Вместе с тем солнечная генерация имеет выраженную суточную и сезонную неравномерность. Максимальная выработка наблюдается в дневное время, тогда как в ночные часы и при неблагоприятных погодных условиях производство электроэнергии снижается. Поэтому для обеспечения бесперебойного питания необходимо использовать аккумуляторные накопители энергии или комбинировать солнечные станции с другими источниками генерации.

3.3 Анализ применения ветроэнергетических установок

Ветроэнергетика является важным направлением развития автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. Энергия ветра может использоваться как самостоятельный источник электроэнергии или как компонент гибридной системы. Эффективность ветроэнергетических установок определяется ветровым потенциалом территории, высотой установки, характеристиками турбины и режимом потребления электроэнергии.

К преимуществам ветроэнергетических установок относятся возможность генерации электроэнергии в темное время суток, отсутствие затрат на топливо и экологическая безопасность. Ограничениями являются зависимость выработки от скорости ветра, необходимость предварительного анализа ветровых условий, более сложное техническое обслуживание и повышенные требования к месту установки.

Для сельского хозяйства ветровая генерация особенно полезна в составе гибридных систем, поскольку может компенсировать снижение солнечной

выработки в пасмурные периоды или вечернее время. Это позволяет уменьшить требуемую емкость аккумуляторных батарей и повысить устойчивость электроснабжения.

3.4 Гибридные автономные системы электроснабжения

Наиболее перспективным направлением развития автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей являются гибридные энергетические комплексы, объединяющие фотоэлектрические установки, ветроэнергетические установки, аккумуляторные накопители и интеллектуальные системы управления. В таких системах разные источники генерации взаимно дополняют друг друга, что повышает устойчивость электроснабжения.

В дневное время основная часть нагрузки может обеспечиваться солнечной электростанцией, а в периоды снижения солнечной активности возрастает роль ветровой генерации и аккумуляторного накопителя. Интеллектуальная система управления контролирует состояние источников генерации и накопителей, распределяет нагрузку, предотвращает глубокий разряд аккумуляторов и обеспечивает приоритетное использование энергии возобновляемых источников.

Преимуществами гибридных систем являются высокая надежность, снижение зависимости от погодных условий, уменьшение потребности в резервных источниках, возможность масштабирования и более полное использование природного потенциала территории. Для условий Кыргызской Республики гибридные солнечно-ветровые системы представляют наибольший интерес при электроснабжении теплиц, насосных станций, животноводческих комплексов и удаленных фермерских хозяйств.

Таблица 2 - Сравнительная оценка солнечной, ветровой и гибридной систем электроснабжения

Показатель	Солнечная система	Ветровая система	Гибридная система
Надежность электроснабжения	Средняя	Средняя	Высокая
Зависимость от погодных условий	Высокая	Высокая	Ниже за счет комбинирования
Капитальные затраты	Средние	Высокие	Высокие
Эксплуатационные расходы	Низкие	Средние	Низкие
Необходимость накопителя	Высокая	Средняя	Средняя
Масштабируемость	Высокая	Средняя	Высокая

Перспективность для Кыргызстана	Высокая	Средняя отдельных районах	в	Очень высокая
------------------------------------	---------	---------------------------------	---	---------------



Рисунок 1 - Структурная схема автономной гибридной системы электроснабжения сельскохозяйственного объекта

3.5 Авторская классификация и модель выбора структуры автономной системы

На основании выполненного анализа предлагается классифицировать автономные системы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей по типу генерации, степени автономности, назначению объекта и способу аккумулирования энергии. Такая классификация позволяет систематизировать технические решения и использовать ее как основу при выборе рациональной структуры энергетического комплекса.

По типу генерации автономные системы могут быть солнечными, ветровыми, биогазовыми, малыми гидроэнергетическими и гибридными. По степени автономности выделяются полностью автономные системы, автономные системы с резервным генератором, сетевые гибридные системы и интеллектуальные энергетические комплексы с возможностью автоматического переключения режимов работы. По назначению различаются системы для фермерских хозяйств, теплиц, насосных станций, животноводческих комплексов и перерабатывающих предприятий.

Выбор конфигурации автономной системы рекомендуется выполнять поэтапно: анализировать тип сельскохозяйственного объекта, определять суточный и сезонный график нагрузки, оценивать солнечный и ветровой потенциал, выбирать базовую конфигурацию, рассчитывать установленную мощность оборудования, определять емкость аккумуляторного накопителя и проводить технико-экономическую оценку выбранного варианта.

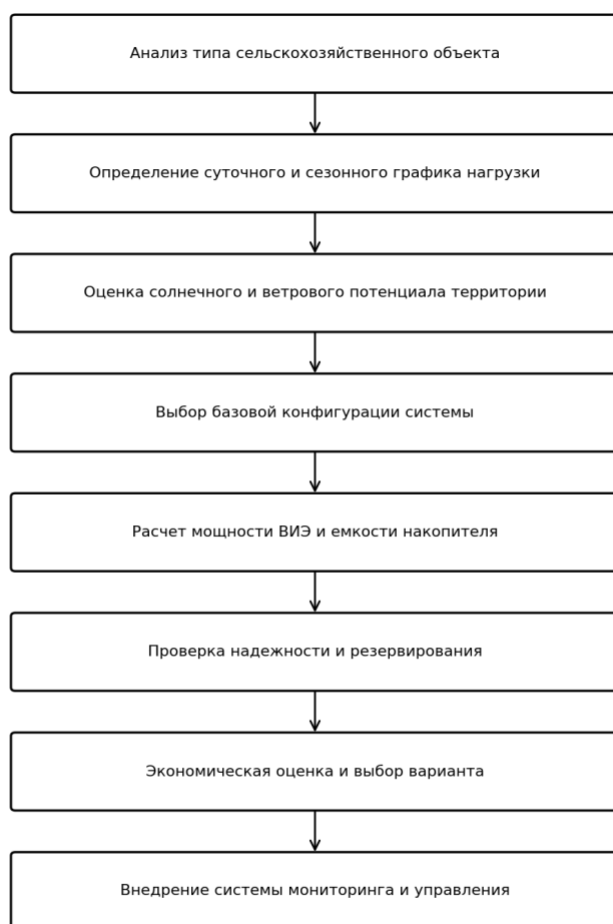


Рисунок 2 - Алгоритм выбора структуры автономной системы электроснабжения

3.6 Перспективы развития автономных систем электроснабжения в Кыргызской Республике

Развитие автономных систем электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии является важным направлением повышения энергетической безопасности агропромышленного комплекса Кыргызской Республики. Наиболее перспективными объектами внедрения являются фермерские хозяйства, тепличные

комплексы, насосные станции систем орошения, животноводческие комплексы, предприятия первичной переработки продукции, высокогорные пастбища и сезонные производственные объекты.

Для фермерских хозяйств малой и средней мощности рационально применять фотоэлектрические станции с аккумуляторными накопителями. Для тепличных комплексов и насосных станций предпочтительны гибридные солнечно-ветровые системы, поскольку они обеспечивают более устойчивое электроснабжение при изменении погодных условий. Для животноводческих комплексов целесообразно предусматривать резервирование питания и интеллектуальное управление нагрузкой.

Внедрение автономных энергетических комплексов должно сопровождаться подготовкой инженерных кадров, созданием сервисной инфраструктуры, развитием механизмов государственной поддержки и проведением пилотных проектов. Особое значение имеет использование интеллектуальных систем управления, позволяющих оптимизировать режимы работы оборудования, прогнозировать выработку энергии и снижать эксплуатационные затраты.

Таблица 3 - Матрица выбора автономной системы электроснабжения сельскохозяйственных объектов

Тип объекта	Основной источник	Дополнительный источник	Накопитель	Рекомендуемая конфигурация
Фермерское хозяйство	Солнечная электростанция	-	Да	Автономная солнечная система
Тепличный комплекс	Солнечная электростанция	Ветроустановка	Да	Гибридная система
Насосная станция	Солнечная электростанция	Ветроустановка / резерв	Да	Гибридная система с резервированием
Животноводческий комплекс	Солнечная электростанция	Резервный генератор	Да	Гибридная система с резервом
Перерабатывающее предприятие	Солнечная электростанция	Сеть или резерв	Да/нет	Сетевая гибридная система

3.7 Практические рекомендации

По результатам исследования рекомендуется при проектировании новых сельскохозяйственных объектов рассматривать возможность применения автономного или гибридного электроснабжения уже на стадии разработки проектной документации. Это позволит снизить затраты на строительство внешней сетевой инфраструктуры и повысить энергетическую независимость объекта.

Выбор структуры автономной системы должен основываться на комплексном анализе нагрузки, природно-климатических условий и режима эксплуатации оборудования. Для объектов с круглосуточным режимом работы необходимо предусматривать аккумуляторные накопители и резервирование питания. Для сезонных объектов допускается применение более простой конфигурации с возможностью последующего расширения.

Целесообразно использовать модульный принцип построения энергетических комплексов, позволяющий поэтапно увеличивать мощность по мере роста потребления. Важным условием эффективной эксплуатации является внедрение систем мониторинга, автоматической диагностики и интеллектуального управления потоками энергии.

4. Заключение

В результате проведенного исследования выполнен комплексный анализ современного состояния автономных систем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей на основе возобновляемых источников энергии. Установлено, что традиционные централизованные системы электроснабжения не всегда обеспечивают требуемый уровень надежности и экономической эффективности для удаленных сельскохозяйственных объектов.

Показано, что автономные энергетические комплексы позволяют снизить потери электроэнергии, повысить энергетическую независимость потребителей, уменьшить эксплуатационные расходы и сократить экологическое воздействие энергетической инфраструктуры. Наибольшую эффективность имеют гибридные системы, объединяющие солнечную и ветровую генерацию, аккумуляторные накопители и интеллектуальные средства управления.

Предложена авторская классификация автономных систем электроснабжения по типу генерации, степени автономности, назначению объекта и способу аккумулирования энергии. Разработана матрица выбора рациональной структуры автономной системы для основных категорий сельскохозяйственных потребителей.

Для условий Кыргызской Республики наиболее перспективным направлением является внедрение гибридных солнечно-ветровых энергетических

комплексов в фермерских хозяйствах, тепличных комплексах, насосных станциях и животноводческих предприятиях. Практическая реализация предложенных рекомендаций будет способствовать повышению надежности электроснабжения сельских территорий и развитию энергоэффективного агропромышленного комплекса.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на разработку математических моделей оптимизации состава гибридных энергетических систем, оценку экономической эффективности их внедрения и экспериментальную верификацию предложенных решений в условиях конкретных сельскохозяйственных объектов Кыргызской Республики.

Список литературы

1. Cozzi L., Gould T. World Energy Outlook 2025. International Energy Agency, 2025.
2. Gbadamosi S.L., Nwulu N.I. Optimal power dispatch and reliability analysis of hybrid CHP-PV-wind systems in farming applications // Sustainability. 2020. Vol. 12(19). 8199.
3. Le A.H., Giourdjian A., Frankyan A., Mandany V., Ha L.T. Design, sizing and operation of a hybrid renewable energy system for farming // IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference. 2016. P. 1-5.
4. Kassem Y., Camur H., Ghoshouni E.G. Assessment of a hybrid wind-solar system at high-altitude agriculture regions for achieving sustainable development goals // Engineering Technology and Applied Science Research. 2024. Vol. 14(1). P. 12595-12607.
5. Mhamdi O.K.H., Aggour M. Intelligent hybrid energy systems for irrigation: a review of environmental impacts, technical and economic feasibility // International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering. 2023. Vol. 11.
6. Day F. Energy-Smart Food for People and Climate. Rome: FAO, 2011.
7. Ge L., Du T., Li M.U. Virtual collection for distributed photovoltaic data: challenges, methodologies, and applications // Energies. 2022. Vol. 15(23).
8. Wang P., Yu P., Huang L., Zhang Y. An integrated technical, economic, and environmental framework for evaluating the rooftop photovoltaic potential of old residential buildings // Journal of Environmental Management. 2022. Vol. 317. 115296.
9. Chen J., Sun B., Li Y., Jing R. Credible capacity calculation method of distributed generation based on equal power supply reliability criterion // Renewable Energy. 2022. Vol. 201. P. 534-547.
10. Sun S., Liu Y., Li Q., Wang T., Chu F. Short-term multi-step wind power forecasting based on spatio-temporal correlations and transformer neural networks // Energy Conversion and Management. 2023. Vol. 283. 116916.

11. Sudharshan N., Karthik A.K. Renewable energy based smart irrigation system // *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 165. P. 615-623.
12. Garcia A.M., Gallagher J., McNabola A. Comparing the environmental and economic impacts of on- or off-grid solar photovoltaics with traditional energy sources for rural irrigation systems // *Renewable Energy*. 2019. Vol. 140. P. 895-904.
13. Caldera U., Breyer C. Assessing the potential for renewable energy powered desalination for the global irrigation sector // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 694. 133598.
14. Shoeb M.A., Shafiullah G. Renewable energy integrated islanded microgrid for sustainable irrigation: a Bangladesh perspective // *Energies*. 2018. Vol. 11(5). 1283.
15. Alberti L., Antelmi M., Angelotti A., Formentin G. Geothermal heat pumps for sustainable farm climatization and field irrigation // *Agricultural Water Management*. 2018. Vol. 195. P. 187-200.
16. Riahi J., Vergura S., Mezghani D., Mami A. Smart and renewable energy system to power a temperature-controlled greenhouse // *Energies*. 2021. Vol. 14(17). 5499.
17. Marucci A., Zambon I., Colantoni A., Monarca D. A combination of agricultural and energy purposes: evaluation of a prototype of photovoltaic greenhouse tunnel // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. P. 1178-1186.
18. Sadowski S., Spachos P. Solar-powered smart agricultural monitoring system using internet of things devices // *IEEE IEMCON*. 2018.
19. Waleed A., Riaz M.T., Muneer A. Solar PV water irrigation system with wireless control // *International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering*. 2019.
20. Sharma A., Chen C., Lan N.V. Solar-energy drying systems: a review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. Vol. 13(6-7). P. 1185-1210.
21. Gopal C., Mohanraj M., Chandramohan P., Chandrasekar P. Renewable energy source water pumping systems: a literature review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 25. P. 351-370.
22. Qu H., Masud M., Islam M. Sustainable food drying technologies based on renewable energy sources // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Vol. 62(25). P. 6872-6886.
23. Parmar R., Banerjee C., Tripathi A.K. Performance analysis of cost effective portable solar photovoltaic water pumping system // *Current Photovoltaic Research*. 2021. Vol. 9(2). P. 51-58.
24. Wang D., Hu L., Liu Y., Liu J. Performance of off-grid photovoltaic cooling system with two-stage energy storage combining battery and cold water tank // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 132. P. 574-579.

25. Munir A., Ashraf T., Amjad W. Solar-hybrid cold energy storage system coupled with cooling pads backup // *Energies*. 2021. Vol. 14(22). 7633.
26. Sethi V., Sharma S. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications // *Solar Energy*. 2022. Vol. 82(9). P. 832-859.
27. Jiang W., Jin Y., Liu G. Net-zero energy optimization of solar greenhouses in severe cold climate using passive insulation and photovoltaic // *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 402. 136770.
28. Teixeira R., Cerveira A., Pires E.J.S., Baptista J. Advancing renewable energy forecasting: a comprehensive review of renewable energy forecasting methods // *Energies*. 2024. Vol. 17(14).
29. Arul P.G., Ramachandaramurthy V.K., Rajkumar R.K. Control strategies for a hybrid renewable energy system: a review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 42. P. 597-608.
30. Mirjalili M.A., Aslani A., Zahedi R., Soleimani M. A comparative study of machine learning and deep learning methods for energy balance prediction in a hybrid building-renewable energy system // *Sustainable Energy Research*. 2023. Vol. 10(1). 8.