

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.3

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-1-105-113>

Актуальные направления применения искусственного интеллекта в сельских электрических сетях

*А.К. Букреева*¹, *А.В. Виноградова*², *А.В. Букреев*³, *А.В. Виноградов*⁴^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия⁴ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ anzhelabukreeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8582-1080>² alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>³ vim@aleksey-bukreev.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>⁴ winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

Аннотация. Электрические сети, в том числе сельские, нуждаются в трансформации в связи с декарбонизацией энергетики, интеграцией возобновляемых источников энергии, активным развитием потребителей и повышением требований к надежности и энергоэффективности сетей. Применение искусственного интеллекта (ИИ) при решении проблем энергосистем обусловлено недостаточной эффективностью традиционных методов управления электрическими сетями. Цель исследований – систематический анализ ключевых направлений применения ИИ в электрических сетях, используемых алгоритмов и практических примеров его внедрения, обобщение практического опыта зарубежных и отечественных компаний. В результате обзора отечественных и зарубежных источников, описывающих использование ИИ в электрических сетях, выявлено 4 направления: прогнозирование нагрузки; оптимизация электроэнергетических систем и электрических сетей; поиск неполадок (мониторинг электрооборудования, электрических сетей); оптимальное использование ресурсов в электрических сетях. В рамках данных направлений наиболее эффективными алгоритмами машинного и глубокого обучения являются LSTM, GRU, SVM и CNN, а также метаэвристические методы. Примеры практического использования искусственного интеллекта демонстрируют разнонаправленность применения технологий ИИ в зависимости от особенностей национальных энергосистем. В странах с высокой долей возобновляемых источников энергии акцент смещен на прогнозирование нагрузки, в России – на автоматизацию мониторинга и диагностики протяженных сельских электрических сетей с использованием компьютерного зрения и БПЛА. Искусственный интеллект может служить инструментом для создания «Умных сетей» (Smart Grid), его применение позволит провести цифровую трансформацию электрических сетей, повысить их эффективность, устойчивость и адаптивность. Однако внедрение ИИ сопряжено с необходимостью решения задач надежности, кибербезопасности и понимания выбора, принимаемого автоматикой.

Ключевые слова: электрические сети; искусственный интеллект; ИИ; использование ИИ в электрических сетях; Smart Grid; мониторинг; прогнозирование; оптимизация электроэнергетических систем

Для цитирования: Букреева А.К., Виноградова А.В., Букреев А.В., Виноградов А.В. Актуальные направления применения искусственного интеллекта в сельских электрических сетях // Агроинженерия. 2026. Т. 28, № 1. С. 105-113. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-1-105-113>

ORIGINAL ARTICLE

Current applications of artificial intelligence in rural power grids

*А.К. Bukreeva*¹, *А.В. Vinogradova*², *А.В. Bukreev*³, *А.В. Vinogradov*⁴^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia⁴ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ anzhelabukreeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8582-1080>² alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>³ vim@aleksey-bukreev.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>⁴ winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

Abstract. The evolving energy landscape, characterized by decarbonization, the integration of renewable energy sources (RES), and the growing demand for grid reliability and energy efficiency, necessitates a profound

transformation of power grids, particularly in rural areas. Conventional methods of power grid management often prove insufficient for these challenges, driving the adoption of artificial intelligence (AI) solutions. This study provides a systematic analysis of key AI applications in power grids, examining the algorithms employed and practical implementation examples from both international and domestic contexts. Drawing on a comprehensive review of literature, the authors have identified four primary application areas: load forecasting, power system and grid optimization, fault detection and equipment monitoring, and optimal resource management within power grids. Within these domains, effective algorithms include deep learning techniques such as LSTM, GRU, and CNN, along with machine learning models like SVM and various metaheuristic methods. Practical examples highlight the diverse deployment of AI, adapting to national power system specificities. For instance, countries with a high share of renewable energy sources (RES) often prioritize AI for load forecasting, while in Russia, the focus is on automating the monitoring and diagnostics of extensive rural grids through computer vision and UAVs. AI is instrumental in the design of Smart Grids, enabling the digital transformation of power infrastructure to enhance efficiency, resilience, and adaptability. However, successful AI integration requires addressing challenges related to reliability, cybersecurity, and the explainability of automation-driven decision-making.

Keywords: power grids; artificial intelligence; AI; the use of AI in power grids; Smart Grid; monitoring; forecasting; optimization of electric power systems

For citation: Bukreeva A.K., Vinogradova A.V., Bukreev A.V., Vinogradov A.V. Current applications of artificial intelligence in rural power grids. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2026;28(1):105-113 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-1-105-113>

Введение

Современные электрические сети, в том числе сельские, переживают период трансформации, движимой декарбонизацией энергетики, интеграцией распределенных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), появлением активных потребителей, необходимостью повышения надежности и энергоэффективности. Традиционные методы контроля и управления электрическими сетями в этих условиях становятся недостаточно эффективными [1]. Искусственный интеллект (ИИ) и, в частности, методы машинного обучения и глубокого обучения, предлагают мощный инструментарий для анализа огромных объемов данных (Big Data), генерируемых системами SCADA¹, PMU², датчиками онлайн-мониторинга, системами учета и геоинформационными системами [2, 3]. ИИ способен выявлять сложные закономерности, строить предиктивные модели и оптимизировать решения в реальном времени, что открывает новые возможности для создания «Умных сетей» (Smart Grid). В научных публикациях, на российских и международных форумах, выставках и конференциях обсуждаются вопросы стратегических ориентиров и экономических аспектов развития отрасли, рассматриваются практические требования к внедрению технологий интеллектуализации [4, 5]. Изучение накопленного опыта

применения ИИ в электрических сетях и его систематизация представляются актуальной задачей.

Цель исследований: систематический анализ ключевых направлений применения ИИ в электрических сетях, используемых алгоритмов и практических примеров его внедрения, обобщение практического опыта зарубежных и отечественных компаний.

Материалы и методы

Обзор отечественных и зарубежных источников, входящих в базы РИНЦ, Web of Science, Scopus и др., позволил выявить основные компании, разрабатывающие и внедряющие ИИ в электрических сетях, и провести сравнительный анализ использования в них технологий ИИ. Особое внимание уделено применяемым методам использования ИИ в научных исследованиях, практике проектирования и эксплуатации электрических сетей. Выявлены наиболее ценные подходы, применимые к сельским электрическим сетям.

Результаты и их обсуждение

Использование ИИ в электрических сетях в настоящее время сосредоточено в четырех ключевых направлениях (рис. 1).

В области прогнозирования нагрузки используются современные алгоритмы машинного обучения для высокоточного кратко-, средне- и долгосрочного прогнозирования потребления электроэнергии и ее выработки солнечными и ветровыми электростанциями, что критически важно для балансировки

¹ SCADA – программно-аппаратный комплекс для диспетчерского управления и сбора данных в реальном времени.

² PMU – *англ.* Phasor Measurement Unit – фазорный измерительный блок (фазоры).

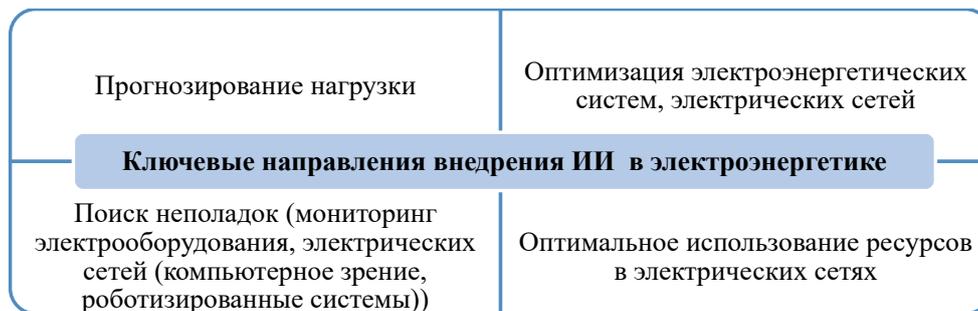


Рис. 1. Ключевые направления использования ИИ в электрических сетях

Fig. 1. Key areas of AI use in power grids

системы и планирования режимов сетей, к которым подключены как потребители, так и электростанции на основе ВИЭ [6]. Для решения этой задачи применяются модели на основе рекуррентных нейронных сетей – такие, как LSTM³ и GRU⁴, а также ансамбли деревьев решений и гибридные подходы. Например, в работе [7] описывается гибридная модель, сочетающая архитектуру LSTM и RNN⁵, с применением метода отбора признаков и генетического алгоритма для оптимизации параметров в рамках задачи краткосрочного прогнозирования нагрузки (STLF). Особое внимание в этой работе уделяется влиянию сезонных факторов, в том числе метеорологических. Результаты исследований показали преимущество гибридных моделей над традиционными искусственными нейронными сетями.

Для автоматического выбора ключевых параметров модели прогноза нагрузки предложен подход, сочетающий многомасштабную архитектуру LSTM с метаэвристическими (высокоуровневыми, обобщенными стратегиями поиска решений), генетическим алгоритмом и оптимизацией роя частиц [8], что позволило превзойти по точности традиционные методы включая SVR⁶, Random Forest⁷ и ANN⁸. В исследовании [9] для прогнозирования электропотребления использовались многослойные перцептроны, показавшие удовлетворительную точность, однако выявленные выбросы погрешности указывают на необходимость дальнейшей оптимизации таких моделей.

³ LSTM (англ. Long Short-Term Memory) – долгая краткосрочная память.

⁴ GRU (англ. Gated Recurrent Unit) – закрытый рекуррентный блок.

⁵ RNN (англ. Recurrent neural network) – рекуррентная нейронная сеть.

⁶ SVR (англ. Support Vector Regression) – регрессия опорных векторов.

⁷ Random Forest – «случайный лес», алгоритм случайного леса.

⁸ ANN (англ. Artificial Neural Network) – искусственная нейронная сеть.

Особенности нагрузок сельских электрических сетей заключаются в специфических графиках нагрузки, их сезонности по времени суток и месяцам года. В связи с изменениями в технологиях содержания животных, обработке и сушке зерна, других продуктов растениеводства типовые графики нагрузки, приведенные в нормах технологического проектирования систем электроснабжения сельских потребителей, не всегда применимы и требуют коррекции. Эту коррекцию можно выполнять с использованием ИИ. Наиболее адаптированными для прогнозирования электрических нагрузок в сельских электрических сетях являются методы, приведенные в работах [6, 7], особенно для тех сетей, где активно развивается распределенная генерация на основе ВИЭ.

Оптимизация электроэнергетических систем и электрических сетей достигается за счет внедрения комплексных подходов, сочетающих технические и организационные меры повышения эффективности, надежности и устойчивости энергосистем [10]. Ключевыми направлениями являются математическое моделирование и алгоритмы оптимизации включая методы линейного и нелинейного программирования, а также вероятностный анализ для управления нестабильностью, вызванной возобновляемыми источниками энергии. В монографии [11] рассматривается применение классических генетических алгоритмов и других современных методов машинного обучения включая искусственные нейронные сети и машины опорных векторов для повышения быстродействия, надежности и адаптивности систем защиты. Разработка специализированной платформы eGridGPT⁹, демонстрирующей возможность интеграции генеративного ИИ с цифровыми двойниками и мультиагентными системами для создания комплексных систем поддержки операторов, излагается в статье [12]. Использование

⁹ Electric Grid Generative Pretrained Transformer – электро-сетевой генераторный трансформатор с предварительной подготовкой.

современных технологий Smart Grid, ИИ и нейросетей способствует автоматическому мониторингу и оптимизации работы энергосетей с учетом растущей сложности и интеграции возобновляемых источников энергии [13]. Важным технологическим трендом являются граничные вычисления Edge Computing и облачные технологии, которые организуют распределенную обработку данных в реальном времени непосредственно около источника генерации [14].

Сельские электрические сети в настоящее время слабо оснащены средствами автоматизации, управления конфигурацией. В то же время происходит активное внедрение систем распределенной автоматизации на базе применения реклоузеров, управляемых разъединителей, указателей токов короткого замыкания и другого оборудования в сетях 10 кВ. Использование указанных в источнике [12] методов создания цифровых двойников позволит выполнять предварительное моделирование сетей для рационального построения распределенной автоматизации.

Рост количества и мощности источников генерации на основе ВИЭ, подключаемых к российским сельским электрическим сетям, требует соответствующей адаптации сетей, и здесь могут быть полезными результаты исследований применения ИИ и интеллектуальных технологий в энергетике [11, 13, 14].

Для поиска неполадок (мониторинга электрооборудования, электрических сетей) с помощью компьютерного зрения, роботизированных систем применяются алгоритмы машинного обучения, посредством которых анализируют данные, получаемые средствами измерения параметров виброакустики, частичных разрядов, термографии, газового состава масла, токов и напряжений, контролируемых в различных точках сети и на электрооборудовании. Это позволяет обеспечить раннее обнаружение аномалий и прогнозировать остаточный ресурс оборудования [15, 16].

Использование современных методов классификации данных – таких, как SVM¹⁰, деревья решений и нейронные сети для обработки сигналов токов и напряжений от релейной защиты и автоматики, и фазорного измерительного блока обеспечивают высокоточное и оперативное определение координат повреждений на линиях электропередачи (ЛЭП), характер аварийного режима [17]. Разработке и апробации методов классификации коммутационных и грозовых

перенапряжений в электроэнергетических системах с использованием искусственных нейронных сетей посвящена статья [18]. Методология включала в себя моделирование переходных процессов, автоматизацию параметрического анализа и последующую обработку данных для выделения характерных признаков перенапряжений, что открывает возможность для создания интеллектуальных систем защиты и автоматики, способных оперативно классифицировать возмущения. Результаты, приведенные в работах [17, 18], применимы для сельских электрических сетей, отличающихся повышенной протяженностью и более подверженных последствиям грозовой активности.

Для оптимального использования ресурсов в электрических сетях ИИ применяет алгоритмы прогнозирования гибкости спроса и оптимизации программ управления спросом (DSM/DR)¹¹. Эти технологии анализируют огромные объемы данных об энергопотреблении, выявляют закономерности и оптимизируют тактику реагирования на спрос в режиме реального времени¹². Интеграция интеллектуальных электронных устройств, датчиков и систем двусторонней связи позволяет повысить надежность электроснабжения, качество электроэнергии и эффективность управления сетью включая интеграцию возобновляемых источников энергии и систем накопления [19]. Основное внимание уделяется архитектуре сетей связи включая глобальные, полевые и соседские сети с ключевыми требованиями по задержке, доступности, взаимодействию и кибербезопасности. Анализируются как лицензированные, так и нелицензированные решения, включая сотовые технологии и специализированные беспроводные сети для оценки их применимости в задачах автоматического восстановления питания, мониторинга состояния сети и управления напряжением. Коммуникационные технологии [19] являются актуальными для сельских электрических сетей в связи с развитием в них распределенной генерации на основе ВИЭ, особенно в вопросах организации связи между элементами генерации и оборудованием сети, диспетчерскими пунктами.

Мировой и отечественный опыт демонстрирует активное внедрение технологий ИИ ведущими энергетическими компаниями, при этом наблюдаются

¹⁰ SVM (англ. Support Vector Machine) – метод опорных векторов.

¹¹ DSM (англ. Demand Side Management) – стратегия управления спросом на электроэнергию; DR (Demand Response) – реагирование на спрос.

¹² Перспективы рынка Demand Response на период с 2024 по 2034 год. URL: <https://www.futuremarketinsights.com/ru/reports/demand-response-market> (дата обращения: 18.08.2025)

Таблица

Сравнительный анализ практического использования технологий искусственного интеллекта в электрических сетях

Table

Comparative analysis of the practical use of artificial intelligence technologies in power grids

Направление внедрения ИИ	Компания (страна)/	Реализация и технологии	Ключевые результаты и особенности
1	2	3	4
Прогнозирование нагрузки	Enel (Италия)	Алгоритмы машинного обучения, цифровая платформа управления энергосистемами ¹³	Прогнозирование выработки ВИЭ, оптимизация работы сети в условиях нестабильности
	ABB (Швейцария)	Специализированный алгоритм на основе комплексного анализа исторических данных и внешних факторов, статистические модели ¹⁴	Прогнозирование незапланированных пиков потребления, предотвращение аварий, автоматическое уведомление
	KEPCO (Япония)	ИИ-алгоритмы для анализа оперативных данных и истории обслуживания ¹⁵	Снижение простоев оборудования, продление ресурса, оптимизация эксплуатационных затрат
Оптимизация электроэнергетических систем, электрических сетей	National Grid ESO (Великобритания)	Система широкомасштабного мониторинга напряжения (WAMS) ¹⁶	Мониторинг напряжения и стабильности сети в реальном времени, распознавание предвестников сбоев
	General Electric (США)	Программная платформа промышленного IoT Predix (машинное обучение, анализ больших данных) ¹⁷	Экосистема для разработки приложений: оптимизация операционной деятельности, предиктивное обслуживание, управление активами
	PJM Interconnection (США)	Методы ИИ для автоматизированной обработки данных ¹⁸	Автоматизация обработки заявок на подключение, стандартизация и воспроизводимость процесса
Поиск неполадок (мониторинг электрооборудования, электрических сетей (компьютерное зрение, роботизированные системы))	China Southern Power Grid (Китай)	Комплекс камер, дронов и шагающих роботов ¹⁹	Оперативная проверка подстанций, повышение эффективности и скорости задач
	Россети Центр (Россия)	Программно-аппаратный комплекс на основе сверточных нейронных сетей [20]	Семантическая сегментация данных аэрофотосъемки, автоматическое выявление 41 типа дефектов на ЛЭП. Снижение трудоемкости на 64%, рост производительности на 84%
	Лаборатория Будущего (Россия)	Комплекс «Канатоход» (БПЛА), нейросеть YOLO v3 ²⁰ , алгоритмы машинного зрения (Canny, Hough Line, GrabCut) [21, 22]	Диагностика с посадкой на провод ЛЭП, идентификация угла наклона опор, выявление дефектов
	Подстанция «Курдюм» (Россия)	Высокоавтоматизированный комплекс на базе БПЛА с тепловизионным, аудио- и визуальным контролем ²¹	Круглосуточный мониторинг оборудования и ЛЭП, исключение высотных работ

¹³ Enel. Digital Transformation in Energy: Enel's Approach. (2022). URL: <https://www.enel.com.co/en/the-companies/enel-group.html> (дата обращения: 20.08.2025).

¹⁴ АББ использует AI для революции в управлении энергией. URL: <https://ru.ds solar.com/news/abb-uses-ai-to-revolutionize-energy-management-28963525.html> (дата обращения: 20.08.2025).

¹⁵ Smart Grids and Beyond: KEPCO's AI Revolution in Energy Management URL: <https://www.cash-platform.com/smart-grids-and-beyond-kepcos-ai-revolution-in-energy-management> (дата обращения: 20.08.2025).

¹⁶ Lundin B.V. National Grid ESO Deploys ML-based Inertia Forecasting. Eepower. 2022. Apr 18. URL: <https://eepower.com/news/national-grid-eso-deploys-ml-based-inertia-forecasting> (дата обращения: 20.08.2025).

¹⁷ GE Digital Launches Next-Gen Predix platform to accelerate industrial IoT transformation. URL: https://www.dcsmodule.com/blog/ge-digital-launches-next-gen-predix-platform-to-accelerate-industrial-iot-transformation_b153 (дата обращения: 18.08.2025).

¹⁸ Kearney L. Google deploys AI to speed up connections at PJM, largest US power grid. April 10, 2025. URL: <https://finance.yahoo.com/news/google-deploys-ai-speed-connections-090627379.html> (дата обращения: 22.08.2025).

¹⁹ В Китае начали внедрять ИИ для проверки электроподстанций. URL: https://news.rambler.ru/world/52421720/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (дата обращения: 19.08.2025).

²⁰ YOLO (англ. You Only Look Once) – алгоритм обнаружения объектов в реальном времени.

²¹ Россети ФСК ЕЭС впервые внедрили технологию машинного зрения в сетевом комплексе РФ // Новости энергетики. 2021. 27 мая. URL: <https://novostienergetiki.ru/rosseti-fsk-ees-vpervye-vnedrili-texnologiyu-mashinnogo-zreniya-v-setevom-komplekse-rf> (дата обращения: 22.08.2025).

Окончание табл. 3

1	2	3	4
Оптимальное использование ресурсов в электрических сетях	Россети (Россия)	Система «Цифровой РЭС. Интеллект» (машинное обучение, экспертные системы, оптимизация) ²²	Анализ оперативной обстановки, предложение действий при авариях, прогнозирование, формирование схем восстановления питания
	Тулэнерго (Россия)	Проект «Цифровой двойник ВЛ» (ML-модели) ²³	Прогнозирование аварийности, оптимизация распределения ремонтных бригад (учет истории отказов, погоды, нагрузки)
	Mail.ru Group / Россети Центр (Россия)	Программный комплекс на базе машинного обучения ²⁴	Прогнозирование и выявление коммерческих потерь через интегральный анализ гетерогенных данных
	Геоскан / Цифра (Россия)	Комплексные решения: мониторинг с помощью дронов («Геоскан») ²⁵ и глубокий анализ данных («Цифра») ²⁶	Анализ нагрузки, прогнозирование пиков, оптимальное распределение энергии, автоматический анализ фотографий для выявления дефектов

как общие тенденции, так и специфические акценты в подходах (табл.).

Анализ данных таблицы 1 свидетельствует о том, что в разных странах акценты практического применения технологий искусственного интеллекта в электрических сетях отличаются и связаны в первую очередь с особенностями энергосистем и электрических сетей этих стран. При значительной доле использования ВИЭ в энергосистеме возрастает значимость применения ИИ для прогнозирования нагрузки (Италия, Великобритания, ряд других стран).

В России основной акцент делается на поиске неполадок (мониторинг электрооборудования, электрических сетей с помощью компьютерного зрения и роботизированных систем), связанных с выявлением дефектов опор, проводов, степенью зарастания трасс ЛЭП и т.п. Это обусловлено высокой протяженностью сетей, в первую очередь – сельских, с большим объемом трудозатрат на осмотры ЛЭП, их обслуживание. Российская электроэнергетика активно осваивает технологии применения ИИ, преимущественно в рамках стратегий цифровой трансформации крупных сетевых компаний, с основным фокусом на повышение надежности, эффективности эксплуатации и безопасности, демонстрируя высокие темпы развития и создавая прочную

основу для будущего масштабирования решений на базе ИИ.

Полноценная интеграция ИИ в электрические сети сопряжена с трудностями. Энергосистемы становятся слишком сложными. При использовании элементов ИИ должны выполняться важные условия: надежность, безопасность и объяснимость решений нейросетей и ИИ, кибербезопасность. Важно, чтобы алгоритмы не ошибались в критических ситуациях; должно быть понимание диспетчеров сети того, почему автоматика приняла то или иное решение, иначе ей нельзя доверять. Чтобы энергосистема правильно работала, необходимо предусмотрительное внедрение ИИ во всех сферах энергетики.

Перспективными являются такие направления, как: «Умные энергорынки», в которых ставки и цены назначаются на основе прогнозов; самообучающиеся сети с постоянной оптимизацией своей конфигурации; автоматизированное долгосрочное планирование развития инфраструктуры. Среди отечественных разработок можно выделить исследование [23], в котором предлагается структура сбора, хранения и обработки данных для интеллектуальных электрических сетей с управляемой конфигурацией, включающей в себя решение задач мониторинга, прогнозирования и управления, в том числе стратегического.

²² Компания «Цифровой РЭС». URL: <https://цифровойрэс.рф> (дата обращения: 20.08.2025).

²³ В «Тулэнерго» внедряют проект «Цифровой двойник» // Россети Центр и Приволжье. 2024. 6 марта. URL: https://mrsk-cp.ru/press/company_news/V-Tulenergo-vnedrayut-proekt-TSifrovoy-dvoynik-/?sphrase_id=405580 (дата обращения: 18.08.2025).

²⁴ Mail.ru Group помогла «Россети Центр» сократить коммерческие потери электроэнергии с помощью ИИ. 2021. 17 марта. URL: <https://tech.vk.com/news/80/mailru-group-pomogla-rosseti-tsentr-sokratit-kommercheskie-poteri-elektroenergii-s-pomoshchyu-ii> (дата обращения: 18.08.2025).

²⁵ Компания «Геоскан». URL: <https://www.geoscan.ru/ru> (дата обращения: 22.08.2025).

²⁶ Компания «Цифра». URL: <https://www.zyfra.com/ru> (дата обращения: 22.08.2025).

Таким образом, ИИ является критически важным инструментом для цифровой трансформации электрических сетей, обеспечивающим повышение ее эффективности, устойчивости и адаптивности.

Выводы

1. Искусственный интеллект в электрических сетях, в том числе сельских, применяется для прогнозирования нагрузки, оптимизации электроэнергетических систем, электрических сетей, поиска неполадок (мониторинг электрооборудования, электрических сетей), оптимального использования ресурсов в электрических сетях.

Список источников

1. Gungor V.C., Sahin D., Kocak T. et al. Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2011;7(4):529-539. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166794>
2. Егоров А.А. Тенденции мирового рынка информационных технологий в энергетике (умный мониторинг, цифровые двойники, компьютерное зрение, искусственный интеллект). Ч. 1 // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2022. № 12 (161). С. 8-24. EDN: DUNVQX
3. Мозохин А.Е., Шведенко В.Н. Анализ направлений развития цифровизации отечественных и зарубежных энергетических систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19, № 4. С. 657-672. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672>
4. Ляндау Ю.В., Темирбулатов А.У. Обзор применения технологий искусственного интеллекта в электроэнергетической отрасли // Инновации и инвестиции. 2023. № 8. С. 304-309. EDN: JSFZIM
5. Никифоров И.К. Перспективы развития электроэнергетических сетей в виде мультиагентных систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2022. № 2. С. 13-21. EDN: DBMISF
6. Hong T., Fan S. Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review. *International Journal of Forecasting*. 2016;32(3):914-938. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.11.011>
7. Islam B., Shams F.A. Short-term electrical load demand forecasting based on LSTM and RNN deep neural networks. *Mathematical Problems in Engineering*. 2022. Vol. 2022. Article ID2316474. <https://doi.org/10.1155/2022/2316474>
8. Bouktif S., Fiaz A., Ouni A., Serhani M.A. Multi-sequence LSTM-RNN deep learning and metaheuristics for electric load forecasting. *Energies*. 2020;13(2):391. <https://doi.org/10.3390/en13020391>
9. Бершадский И.А., Джура С.Г., Чурсинова А.А. Использование искусственного интеллекта для прогнозирования электропотребления энергосбытовой компании // Научный вестник НГТУ. 2020. Т. 80, № 4. С. 7-16. <https://doi.org/10.17212/1814-1196-2020-4-7-16>
10. Аллаев К.Р., Холиддинов И.Х., Холиддинова М.М.к. Методология оценки эффективности электрических сетей с использованием нечеткой логики // Электричество. 2025. № 2. С. 4-14. <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2025-2-4-14>
11. Almoataz Y., Abdelaziz, Shady H.E., Abdel A., Anamika Y. Artificial intelligence applications in electrical transmission and distribution systems protection. CRC Press. 2021. 512 p. <https://doi.org/10.1201/9780367552374>

2. Наиболее эффективными алгоритмами машинного и глубокого обучения являются LSTM, GRU, SVM и CNN, а также метаэвристические методы.

3. Применение технологий ИИ зависит от особенностей национальных энергосистем: в странах с высокой долей ВИЭ акцент смещен на прогнозирование нагрузки, в России – на автоматизацию мониторинга и диагностику протяженных сельских электрических сетей с использованием компьютерного зрения и БПЛА.

4. Внедрение ИИ требует решения вопросов надежности, кибербезопасности и возможности понять, как ИИ пришел к тому или иному решению.

References

1. Gungor V.C., Sahin D., Kocak T., Ergut S., Buccella C., Cecati C., Hancke G.P. Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2011;7(4):529-539. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166794>
2. Egorov A.A. Trends in the world market of information technologies in the energy industry (smart monitoring, digital twins, computer vision, artificial intelligence). Part 1. *Avtomatizatsiya i IT v energetike*. 2022;12:8-24. (In Russ.)
3. Mozokhin A.E., Shvedenko V.N. Digitization development directions of national and foreign energy systems. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2019;4:657-672. (In Russ.) <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672>
4. Lyandau Yu.V., Temirbulatov A.U. Overview of the application of artificial intelligence technologies in the electric power industry. *Innovations & Investment*. 2023;8:304-309. (In Russ.)
5. Nikiforov I.K. Prospects for the development of electric power networks in the form of multi-agent systems. *Pribory and sistemy. Upravlenie, kontrol, diagnostika*. 2022;2:13-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.25791/pribor.2.2022.1321>
6. Hong T., Fan S. Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review. *International Journal of Forecasting*. 2016;32(3):914-938. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.11.011>
7. Islam B., Shams F.A. Short-term electrical load demand forecasting based on LSTM and RNN deep neural networks. *Mathematical Problems in Engineering*. 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2316474>
8. Bouktif S., Fiaz A., Ouni A., Serhani M.A. Multi-sequence LSTM-RNN deep learning and metaheuristics for electric load forecasting. *Energies*. 2020;13(2):391. <https://doi.org/10.3390/en13020391>
9. Bershadsky I.A., Dzhura S.G., Chursinova A.A. The use of artificial intelligence to predict electric power consumption of a power supply company. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*. 2020;80(4):7-16. (In Russ.) <https://doi.org/10.17212/1814-1196-2020-4-7-16>
10. Allaev K.R., Kholiddinov I.Kh., Kholiddinova M.M.k. Electric network performance assessment methodology using fuzzy logic. *Elektrichestvo*. 2025;2:4-14. (In Russ.) <https://doi.org/10.24160/0013-5380-2025-2-4-14>
11. Almoataz Y., Abdelaziz, Shady H.E., Abdel A., Anamika Y. Artificial intelligence applications in electrical transmission and distribution systems protection. CRC Press. 2021. 512 p. <https://doi.org/10.1201/9780367552374>

12. Choi S.L. et al. Generative AI for power grid operations Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5D00-91176. 2024. <https://www.nrel.gov/docs/fy25osti/91176.pdf>
13. Varganova A.V., Khrumshin V.R., Radionov A.A. Improving efficiency of electric energy system and grid operating modes: Review of optimization techniques. *Energies*. 2022;15(19):7177. <https://doi.org/10.3390/en15197177>
14. Массель Л.В. Современный этап развития искусственного интеллекта и применение методов и систем ИИ в энергетике // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 5-20. <https://doi.org/10.38028/ESI.2021.24.4.001>
15. Zhang X., Zhang M., Hu Q. Research on the application of artificial intelligence in operation and maintenance for power equipment. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;617(1):012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/617/1/012001>
16. Виноградов А.В. Управление конфигурацией как концепция развития сельских электрических сетей 0,4 кВ // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2024. Т. 71, № 4 (57). С. 65-72. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2024-71-4-65-72>
17. Иванов С.О., Никандров М.В., Славутский Л.А. Оценка статистических характеристик срабатывания защиты на основе нейронной сети прямого распространения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2023. № 9. С. 26-31. EDN: BNYRTI
18. Mehinovic A., Grebović S., Fejzić A. et al. Application of artificial intelligence methods for determination of transients in the power system. *Electric Power Systems Research*. 2023;223:109634. <https://doi.org/10.1016/j.epr.2023.109634>
19. Большев В.Е., Виноградов А.В. Перспективные коммуникационные технологии для автоматизации сетей электрооборудования // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11, № 2 (42). С. 65-82. EDN: LQLOZP
20. Микрюков В.В., Пацев А.А., Середкин О.А. и др. Применение нейронных сетей для интеллектуального анализа состояния воздушных линий электропередачи с использованием беспилотных воздушных судов // Электроэнергия. Передача и распределение. 2024. № 6 (87). С. 106-109. EDN: UHARWI
21. Лимановская О.В., Титов Е.А., Волкова Д.И., Лемех А.В. Алгоритм определения наклона опор ЛЭП методами глубокого обучения по видеоданным // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2020. № 2. С. 72-80. <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2020.2.072-080>
22. Астапова М.А., Лебедев И.В. Обзор подходов к детектированию дефектов элементов ЛЭП на изображениях в инфракрасном, ультрафиолетовом и видимом спектрах // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т. 8, № 4 (31). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.31.4.036>
23. Виноградов А.В., Моренко К.С. Структура системы сбора, хранения и обработки данных для управления конфигурацией электрической сети // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2025. Т. 72, № 3. С. 38-45. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2025-72-3-38-45>
12. Choi S.L. et al. Generative AI for power grid operations Golden, CO: *National Renewable Energy Laboratory*. NREL/TP-5D00-91176. 2024. <https://www.nrel.gov/docs/fy25osti/91176.pdf>
13. Varganova A.V., Khrumshin V.R., Radionov A.A. Improving efficiency of electric energy system and grid operating modes: Review of optimization techniques. *Energies*. 2022;15(19):7177. <https://doi.org/10.3390/en15197177>
14. Massel L.V. Modern stage of artificial intelligence (AI) development and application of AI methods and systems in power engineering. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*. 2021;4(24):5-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.38028/ESI.2021.24.4.001>
15. Zhang X., Zhang M., Hu Q. Research on the application of artificial intelligence in operation and maintenance for power equipment. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;617(1):012001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/617/1/012001>
16. Vinogradov A.V. Configuration management as a concept for developing 0.4 kV rural electric grids. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2024;4(57):65-72. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2024-71-4-65-72>
17. Ivanov S.O., Nikandrov M.V., Slavutskij L.A. The statistical characteristics evaluation of protection operation based on a feed forward neural network. *Pribory and sistemy. Upravlenie, kontrol, diagnostika*. 2023;9:26-31. (In Russ.)
18. Mehinovic A., Grebović S., Fejzić A. et al. Application of artificial intelligence methods for determination of transients in the power system. *Electric Power Systems Research*. 2023;223:109634. <https://doi.org/10.1016/j.epr.2023.109634>
19. Bolshev V.E., Vinogradov A.V. Perspective communication technologies for distribution automation. *Vestnik kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2019;2(42):65-82. (In Russ.)
20. Mikryukov V.V., Patsev A.A., Seredkin O.A. et al. Neural network application for smart analysis of overhead transmission line's condition with the use of UAVs. *Electric Power: Transmission and Distribution*. 2024;6(87):106-109. (In Russ.)
21. Limanovskaya O.V., Titov E.A., Volkova D.I., Lemekh A.V. Algorithm for determining the tilt of support of electric power supplies by methods of deep learning with video data. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*. 2020;2:72-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.17588/2072-2672.2020.2.072-080>
22. Astapova M.A., Lebedev I.V. Review of approaches to the detection of defects in power transmission line elements in images in the infrared, ultraviolet and visible spectra. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2020;8(4). (In Russ.) <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.31.4.036>
23. Vinogradov A.V., Morenko K.S. Database structure for managing the configuration of a conceptual electrical grid. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2025;3(60):38-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2025-72-3-38-45>

Информация об авторах

- ¹ **Букреева Анжела Канвековна**, канд. тех. наук, старший научный сотрудник; anzhelabukreeva@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-8582-1080>; SPIN-код: 4079-4380, AuthorID: 1039558
- ² **Виноградова Алина Васильевна**, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>; SPIN-код: 8836-8684, AuthorID: 717846
- ³ **Букреев Алексей Валерьевич**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник; vim@aleksey-bukreev.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>; SPIN-код: 3922-8260, AuthorID: 925007
- ⁴ **Виноградов Александр Владимирович**, д-р техн. наук, доцент, профессор; winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>; SPIN-код: 6652-9426, AuthorID: 690615
- ^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5
- ⁴ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

А.К. Букреева – концептуализация, проведение исследований, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;

А.В. Виноградова – формальный анализ, администрирование данных;

А.В. Букреев – формальный анализ, создание черновика рукописи;

А.В. Виноградов – методология, формальный анализ, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 23.10.2025, после рецензирования и доработки 15.01.2026; принята к публикации 19.01.2026

Author Information

- Anzhela K. Bukreeva**^{1✉}, CSc (Eng), Senior Research Engineer; anzhelabukreeva@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-8582-1080>; SPIN code: 4079-4380, Scopus ID: 57473516200; ResearcherID AAZ-6062-2020
- Alina V. Vinogradova**², CSc (Eng), Lead Research Engineer; alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>; SPIN code: 8836-8684, Scopus ID: 57204152403; ResearcherID AAM-9111-2021
- Aleksey V. Bukreev**³, CSc (Eng), Senior Research Engineer; vim@aleksey-bukreev.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>; SPIN: 3922-8260, Scopus ID: 57192074502; ResearcherID AAE-1336-2022
- Aleksandr V. Vinogradov**⁴, DSc (Eng), Associate Professor, Professor; winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>; SPIN-code: 6652-9426, Scopus ID: 57201923234; ResearcherID AAW-4375-2021
- ^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutsky Proezd Str., 5
- ⁴ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russia, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Author Contribution

A.K. Bukreeva – conceptualization, research methodology, literature review, validation and conclusions, writing – review and editing of the manuscript;

A.V. Vinogradova – data curation and formal analysis, validation and conclusions, writing – original draft;

A.V. Bukreev – data curation and formal analysis, validation and conclusions, writing – original draft.

A.V. Vinogradov – research methodology, data curation and formal analysis, validation and conclusions, writing – review and editing of the manuscript.

Conflict of Interests

The authors declare no conflict of interest and are responsible for plagiarism.

Received 23.10.2025; Revised 15.01.2026; Accepted 19.01.2026