



# Стратегия внедрения гибридных систем энергоснабжения для строительства крупных объектов

М.Ю. Мокшин<sup>1</sup>  
О.Н. Римская<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ (Москва, Россия)

<sup>2</sup> Федеральный реестр экспертов научно-технической сферы РФ (Москва, Россия)

## Аннотация

Особенности организации энергоснабжения строительных площадок в России, особенно в удаленных и климатически сложных регионах, сопровождаются проблемой высокой зависимости от дизельных генераторов для временного энергоснабжения. Доставка топлива сопряжена с ростом затрат, нестабильностью цен и экологическим следом. В статье рассматривается использование гибридных систем энергоснабжения (ветроустановка, солнечные панели, аккумуляторы) как альтернатива традиционной дизельной схеме. В таких условиях на помощь приходят гибридные энергетические решения: объединение дизельных генераторов с источниками возобновляемой энергии. Повышение цен на топливо, экологические проблемы и растущее присутствие технологий возобновляемых источников энергии развивает применение гибридных энергосистем на крупных строительных объектах. Методологической основой послужили расчеты LCOE, IRR, NPV, а также анализ чувствительности к изменениям цен на топливо и ветровых условий. В статье также приведен сравнительный анализ российских и зарубежных практик, демонстрирующих растущую роль гибридных энергетических систем в строительстве. Результаты исследования предполагают высокую инвестиционную привлекательность гибридной технологии и ее потенциал для масштабирования в рамках национальных программ по развитию экономики и строительной отрасли.

**Ключевые слова:** энергоснабжение строительных площадок, гибридные энергетические системы, ветроустановка, солнечная электростанция, LCOE, IRR, NPV, экономическая эффективность

## Для цитирования:

Мокшин М.Ю., Римская О.Н. (2026). Стратегия внедрения гибридных систем энергоснабжения для строительства крупных объектов. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 17(1): 63–72. DOI: 10.17747/2618-947X-2026-1-63-72.

# Strategy for Implementing Hybrid Power Supply Systems in Large-Scale Construction Projects

M.Yu. Mokshin<sup>1</sup>  
O.N. Rimskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National Research Nuclear University MEPhI (Moscow, Russia)

<sup>2</sup> Federal Register of Experts in Science and Technology of the Russian Federation (Moscow, Russia)

## Abstract

The organization of power supply at construction sites in Russia, particularly in remote and climatically challenging regions, is characterized by a high dependence on diesel generators for temporary power supply. Fuel delivery is associated with increasing costs, price volatility, and a significant environmental footprint. This article examines the use of hybrid power supply systems (wind turbines, solar photovoltaic panels, and battery storage) as an alternative to conventional diesel-based power supply schemes. Hybrid energy solutions combining diesel generators with renewable energy sources can improve the reliability and economic efficiency of power supply. Rising fuel prices, environmental concerns, and the growing availability of renewable energy technologies are stimulating the adoption of hybrid power supply systems at large construction sites. The methodological framework of this study includes calculations of the Levelized Cost of Electricity (LCOE), Internal Rate of Return (IRR), and Net Present Value (NPV), as well as sensitivity analysis with respect to fuel price fluctuations and wind conditions. The article also presents a comparative analysis of Russian and international practices, demonstrating the increasing role of hybrid power supply systems in the construction sector. The results indicate the high investment attractiveness of hybrid technologies and their potential for scaling up within national programs for economic and construction sector development.

**Keywords:** construction site power supply, hybrid power supply systems, wind turbine, solar photovoltaic system, LCOE, IRR, NPV, economic efficiency

## For citation:

Mokshin M.Yu., Rimskaya O.N. (2026). Strategy for Implementing Hybrid Power Supply Systems in Large-Scale Construction Projects. *Strategic Decisions and Risk Management*, 17(1): 63-72. DOI: 10.17747/2618-947X-2026-1-63-72. (In Russ.)

# 大型建设项目混合供电系统实施战略

Mokshin M.Yu.<sup>1</sup>  
Rimskaya O.N.<sup>2</sup><sup>1</sup> 国立核能研究大学“莫斯科工程物理学院” (莫斯科, 俄罗斯)<sup>2</sup> 俄罗斯联邦科技领域专家联邦名录 (莫斯科, 俄罗斯)

## 摘要

俄罗斯建筑工地能源供应的组织特点, 尤其是在偏远地区和气候条件复杂地区, 面临的一个突出问题是临时供电对柴油发电机的高度依赖。燃料运输不仅会推高成本, 还会带来价格波动和更大的生态环境负担。本文探讨了采用混合能源供应系统 (风力发电装置、太阳能电池板和蓄电池) 替代传统柴油供电方案的可行性。在这种背景下, 将柴油发电机与可再生能源相结合的混合能源解决方案正发挥越来越重要的作用。燃料价格上涨、生态环境问题以及可再生能源技术的日益普及, 正在推动混合能源系统在大型建筑项目中的应用。研究的方法论基础包括平准化度电成本 (LCOE)、内部收益率 (IRR) 和净现值 (NPV) 的测算, 以及对燃料价格变化和风力条件变化的敏感性分析。文章还对俄罗斯及国外相关实践进行了比较分析, 展示了混合能源系统在建筑领域日益重要的作用。研究结果表明, 混合能源技术具有较高的投资吸引力, 并具备在国家经济和建筑业发展规划框架下实现规模化推广的潜力。

**关键词:** 建筑工地能源供应, 混合能源系统, 风力发电装置, 太阳能发电站, 平准化度电成本 (LCOE), 内部收益率 (IRR), 净现值 (NPV), 经济效益。

## 引用格式:

Mokshin M.Yu., Rimskaya O.N. (2026). 大型建设项目混合供电系统实施战略. 战略决策与风险管理, 17(1): 63–72. DOI: 10.17747/2618-947X-2026-1-63-72. (俄文)

## Введение

В настоящее время наблюдается мировая тенденция увеличения потребления энергии в связи с ростом населения планеты, развитием национальных экономик и увеличением качества и продолжительности жизни. Ожидается возрастает необходимость разработки новых эффективных технологий в сфере энергетики. Одним из наиболее трендовых направлений в развитии энергетики является использование энергосберегающих технологий, которые позволяют уменьшить расходы на энергию и снизить вредное влияние производства на окружающую среду. Главными причинами этого стали повышение относительно небольшой стоимости добычи ископаемых источников энергии, геополитическая нестабильность и высокая турбулентность экономик стран мира [Агеев, 2018].

Повышение энергетической эффективности и необходимость ресурсосбережения являются актуальными проблемами практически во всех странах мира. Для их решения в последние десятилетия разрабатывается новая энергетическая политика, основанная на использовании гибридных энергетических систем с возобновляемыми источниками энергии (далее – ВИЭ), в которых традиционные источники электроэнергии объединены с возобновляемыми (солнечными панелями, ветровыми генераторами и др.).

Стратегическими целями использования ВИЭ и местных видов топлива в Энергетической стратегии России на период до 2030 года<sup>1</sup> являются: снижение антропогенной нагрузки на природу, эффективное использование и сокращение потребления ископаемого топлива, сохранение здоровья и качества жизни населения, уменьшение затрат на распределение и транспортировку энергии, вовлечение новых топливно-энергетических ресурсов и повышение энергетической безопасности за счет децентрализации энергоснабжения.

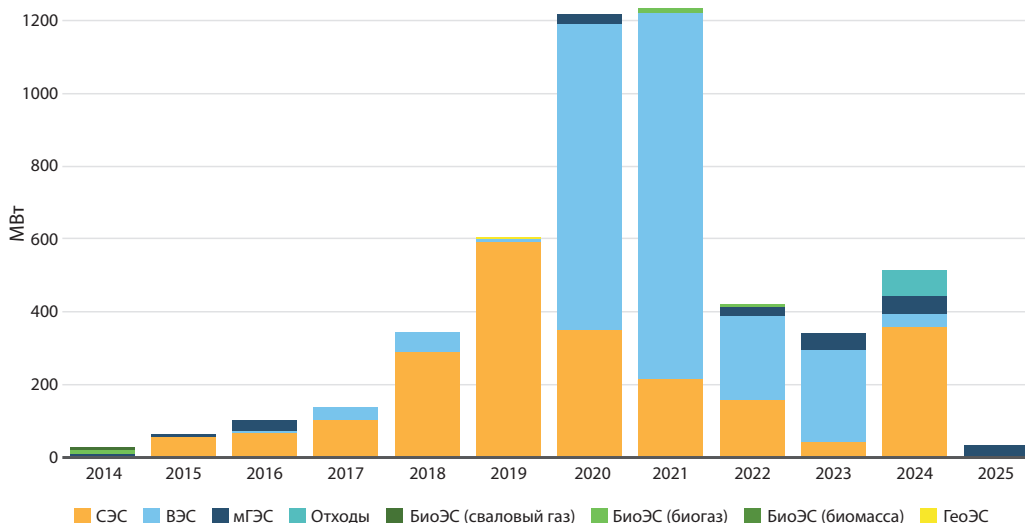
Министерство энергетики РФ заинтересовано в развитии гибридных энергетических систем с возобновляемыми источниками энергии в рамках реализации национальной политики, направленной на диверсификацию энергобаланса, повышение его экологической чистоты и обеспечение энергетической безопасности страны. Гибридные системы, сочетающие ВИЭ с традиционными источниками энергии или системами хранения, являются перспективным направлением для устойчивого развития национальной энергетики.

В энергетической системе России традиционно преобладают ТЭС, ГЭС и АЭС, однако в последние десятилетия наблюдается рост доли ВИЭ, что предполагает внедрение гибридных решений, в том числе для удаленных и изолированных территорий, крупных строительных объектов.

Статистика по гибридным энергосистемам в мире и России отсутствует, но очевидно, что их развитие тесно связано с растущей долей ВИЭ в общем энергобалансе стран. Статистические данные представлены косвенно, в основном через показатели возобновляемой энергетики и динамику роста ее мощности. По состоянию на 01.08.2025 совокупная установленная мощность объектов ВИЭ в России составляет 6,64 ГВт (рис. 1). В структуре установленной мощности ВИЭ лидируют ветровые и солнечные электростанции (на них приходится по 2,57 и 2,55 ГВт мощности соответственно) и малые гидроэлектростанции мощностью до 50 МВт (1,31 ГВт). Помимо этого, в стране эксплуатируются электростанции, функционирующие на основе биомассы, биогаза, свалочного газа, твердых бытовых отходов и геотермальной энергии совокупной мощностью более 200 МВт<sup>2</sup>. Пока доля ВИЭ в России медленно растет, в мире возобновляемая энергетика обеспечивает уже около 29% генерации мировой электроэнергии.

<sup>1</sup> Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-Р «Об утверждении энергетической стратегии России на период до 2030 года». <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=145742#h1708>.

<sup>2</sup> <https://treda.ru/industry/statistics/>.



Источник: <https://treda.ru/industry/statistics/>.

**Рис. 1. Динамика ввода электростанций на основе ВИЭ в России**  
**Fig. 1. Commissioning Dynamics of Renewable Energy Power Plants in Russia**

Таким образом, страны мира, и Россия в том числе, плавно переходят к четвертому энергетическому переходу и стремятся к достижению в 2050 году нулевого уровня углеродной нейтральности, увеличивая долю ВИЭ-энергетики [Мокшин и др., 2025].

## 1. Обоснование темы исследования

Автономные гибридные энергетические комплексы (далее – АГЭК) основаны на едином технологическом принципе, позволяющем не только экономить топливо, но и улучшать качество электроснабжения, повышая безопасность эксплуатации электрических комплексов и экологичность окружающей среды.

В качестве решения предлагается внедрение автономных гибридных энергетических комплексов, которые могут значительно снизить стоимость электроэнергии и повысить стабильность энергоснабжения. Приводится пример успешного пилотного проекта в селе Менза Забайкальского края РФ, где автономные гибридные энергетические установки обеспечивают местных жителей электроэнергией без перебоев [Шаркова и др., 2025].

Тем не менее широкое внедрение АГЭК в России сдерживается технологическими, экономическими и инфраструктурными барьерами, включая низкую степень локализации критически важных компонентов, таких как литий-ионные аккумуляторы, и недостаточную адаптацию к суровым климатическим условиям [Капустина и др., 2025]. Для России характерно четкое разделение года на холодный и теплый сезоны и большие перепады температур в течение сезона. Особенности климата России влияют на функционирование практически всех видов электростанций. Условия работы электростанций тесно связаны с природными факторами, которые определяют снабжение электростанций топливом и водой, рассеиванием выбросов, эффективностью охлаж-

дения энергоблоков, а также количеством солнечных дней в году и мощностью ветров в регионах.

В Единую энергетическую систему России (далее – ЕЭС России) входят семь объединенных энергетических систем Востока, Сибири, Урала, Средней Волги, Юга, Центра и Северо-Запада, которые связаны с региональными энергосистемами на территориях субъектов РФ и функционируют как единый комплекс, обеспечивающий выработку, передачу и распределение электроэнергии по всей стране. Однако порядка 700 тыс. чел., проживающих на отдаленных территориях РФ, не имеют доступа к электрическим сетям и используют для выработки энергии дизельные генераторы. Дизельное топливо в отдаленные районы доставляется долго и с большими трудностями, а производимая из такого топлива энергия дорогая.

Стоимость электрической энергии, получаемой из Единой энергетической системы России для промышленных потребителей, сопоставима со стоимостью энергоснабжения от собственных генерирующих мощностей (включая затраты на их строительство). На фоне роста тарифов на электрическую и тепловую энергию это стимулирует развитие распределенной генерации и уход части потребителей от централизованного энергоснабжения. В результате все больше потребителей задумываются о создании собственных источников генерации энергии.

Таким образом, к техническим и экономическим особенностям и проблемам энергоизолированных территорий Российской Федерации можно отнести:

- использование преимущественно дизельных электрогенераторов малой мощности (до 1 МВт);
- высокую себестоимость электроэнергии, обусловленную низким коэффициентом полезного действия генераторов;
- значительную долю расходов населения на жилищно-коммунальные услуги, которая, по оценке [Капустина и др., 2025], может достигать 70%;

– высокую стоимость содержания линий электропередачи [Капустина и др., 2025].

В связи с этими факторами особо актуальной представляется тема создания и эксплуатации АГЭК на отдаленных территориях страны.

Правительством РФ утверждена Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года<sup>3</sup>, однако переход к применению гибридных энергосистем в ней не прописан.

Применение гибридных энергетических систем с возобновляемыми источниками энергии имеет как положительные стороны, так и недостатки, которые будут рассмотрены в статье.

Целью настоящей работы является исследование применения гибридных энергосберегающих технологий в энергетических системах на отдаленных промышленных площадках, таких как строительные объекты, и пути повышения их эффективности.

Энергоснабжение временных строительных площадок является одной из ключевых проблем строительной отрасли. В условиях удаленных регионов, таких как Арктика, Дальний Восток или Крайний Север, до 80–90% временной мощности обеспечивается дизельными генераторами. Стоимость топлива, транспортные расходы и высокие издержки на обслуживание значительно увеличивают стоимость строительства.

Тема электропитания строительных площадок тесно связана с развитием строительной отрасли и технологий, а также экономики в целом. Вначале для электроснабжения использовались временные генераторы и временные сети с низким напряжением, что было небезопасно и неэффективно. На крупных промышленных стройках появились надежные системы с использованием временных трансформаторных подстанций, мобильных дизель-генераторных установок и более совершенных кабельных систем, которые обеспечивали безопасность и стабильность электроснабжения на объектах строительства.

Вопросы использования гибридных энергетических систем на строительных площадках изучаются в мировой практике на протяжении последних двадцати лет. В российской научной литературе внимание сосредоточено преимущественно на общей энергетике и возобновляемых источниках энергии, тогда как специфика электроснабжения объектов строительства освещена значительно меньше. Настоящая статья направлена на частичное восполнение этого исследовательского пробела, поскольку в ней рассматривается применение гибридных энергетических систем в контексте энергоснабжения удаленных промышленных и строительных площадок.

В рамках исследования был использован комплексный подход, направленный на оценку эффективности отечественных автономных гибридных энергетических установок (далее – АГЭУ) для обеспечения энергоснабжения изолированных и труднодоступных территорий России. Для опре-

деления уровня локализации производства компонентов АГЭУ использован метод экспертных оценок, основанный на анализе производственных цепочек и технологических процессов отечественных предприятий. Информационной базой исследования послужили официальные статистические данные Министерства энергетики РФ о состоянии энергоснабжения изолированных и отдаленных территорий, отраслевые отчеты РОСНАНО, Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), тематические обзоры профильных ассоциаций и научные публикации в области распределенной энергетики и гибридных энергетических систем.

## 2. Обзор промышленных гибридных систем генерации энергии

Перспективная область применения гибридных энергетических систем на основе ВИЭ с уровнем замещения топлива не менее 50% малой мощности в России – электроснабжение около 100 тыс. объектов и небольших изолированных поселений по всей территории России, в том числе в районах Крайнего Севера и Дальнего Востока: объектов сотовой связи, метеорологических станций, маяков, автономных технических и навигационных постов, вдоль трассовых потребителей нефте- и газопроводов, станций электрохимической защиты трубопроводов, узлов запорной арматуры, фермерских, охотничьих и рыбацких хозяйств, погранзастав, иных объектов специального назначения и др. [Василевский и др., 2017].

Под гибридной системой в рамках настоящей статьи подразумевается автономная энергетическая система с несколькими источниками электрической энергии (генераторами), использующими не менее двух разных технологий производства электроэнергии<sup>4</sup>.

Конкурентными преимуществами АГЭК в сравнении с традиционными системами электроснабжения изолированных потребителей на базе дизель-генераторных установок являются не только уменьшение топливной составляющей и стоимости кВт-ч, но и значительное снижение требований к сервисному обслуживанию, что особенно важно для создания систем автономного электроснабжения различного назначения на отдаленных территориях со сложным ландшафтом и суровым климатом.

В мировой практике сложилось несколько видов АГЭК, которые функционируют в странах мира и на территории РФ:

1. Солнечные гидроэлектростанции используют солнечную энергию для перекачки воды из нижнего резервуара в верхний, создавая потенциальную энергию, которая затем преобразуется в электроэнергию при ее спуске.

Примечательна своим технологическим решением единственная в мире плавающая платформа с солнечными панелями, расположенная в Португалии на плотине реки Альто-Рабаган. Известны проекты инсталляции солнечных модулей на низовых откосах плотин в Японии, на плотинах Котани (5 МВт) и Гонген (1,76 МВт). Самая крупная солнеч-

<sup>3</sup> Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2017 № 1209-р «Об утверждении Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2035 г.». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71599734/>.

<sup>4</sup> ПНСТ 40-2015 (ИЕ/ТС 62257-4:2005). Возобновляемая энергетика. Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии, предназначенные для сельской электрификации. Рекомендации. Ч. 4. Выбор и конструирование системы. 2005. С. 4–10.

ная гидроэлектростанция в мире (850 МВт) находится в Китае и является ярким примером гибридной гидро-солнечной генерации, объединенной с расположенной в непосредственной близости к ГЭС Луньянся (1280 МВт) и гармонизированная с ее работой<sup>5</sup>. В России возможность использования плотин и пристанционных площадок ГЭС для размещения солнечных модулей не рассматривалась.

2. Гибридная ветро-водяная электростанция объединяет ветрогенераторы с гидроаккумулирующей электростанцией для обеспечения стабильной выработки энергии.

Энергетический концерн *Vattenfall* (Швеция) в 2022 году ввел в эксплуатацию первую гибридную электростанцию «Харингвлит» в Нидерландах: в ней объединены фотоэлектрическая солнечная и ветровая генерации, а также система накопления энергии. Объект состоит из фотоэлектрической солнечной электростанции мощностью 38 МВт и ветровой электростанции мощностью 22 МВт (шесть турбин), которые дополнены 288 литий-ионными батареями, размещенными в 12 морских контейнерах<sup>6</sup>.

3. Гибридная плавучая солнечно-ветряная электростанция – новое сложное технологическое решение компании *SolarDuck* (Нидерланды) совместно с итальянскими партнерами. Объект «Кориляно» мощностью 540 МВт планируется построить у южного побережья Италии в Ионическом море и запустить в эксплуатацию в 2028 году.

4. Продолжают использоваться и успешно развиваться аккумуляторные системы хранения энергии, которые при работе в гибридном режиме с дизельным генератором обеспечивают высокий уровень эффективности и позволяют снизить операционные затраты. При использовании в качестве самостоятельного оборудования аккумуляторные системы также являются экологичным решением, поскольку позволяют накапливать и поставлять энергию из возобновляемых источников, таких как солнечные панели и ветрогенераторы<sup>7</sup>.

5. В Германии будет построен уникальный АГЭС с энергообеспечением от морских водорослей<sup>8</sup>. Особенностью здания, спроектированного для строительной выставки в Гамбурге в 2014 году, является его фасад, покрытый биоадаптивными панелями-жалюзи с морскими водорослями: каждая панель-жалюзи представляет собой биореактор плоской формы, в котором находятся морские водоросли. Помимо среды для жизнедеятельности водорослей, эти панели создают необходимую затененность для внутренних помещений здания. Кроме того, биореактор захватывает тепловую энергию, выделяемую водорослями, которая впоследствии собирается и также используется для нужд здания.

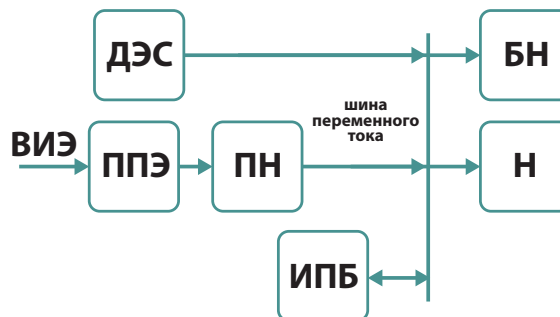
Отдельно в ряду АГЭС стоит рассмотреть потребность строительной отрасли в бесперебойном источнике энергии, особенно при строительстве удаленных крупных промышленных объектов, которую можно закрыть только путем организации рядом с объектом автономных гибридных систем энергии.

Практика временного энергоснабжения строительных площадок в России в настоящее время представлена в основном двумя решениями под разные требования мощности<sup>9</sup>:

- 1) монтаж трансформаторной подстанции;
- 2) монтаж силовых трансформаторов.

В последнее время генераторы играют ключевую роль в предоставлении энергии на всех этапах строительства, выступая в качестве основного, резервного или аварийного источника питания в местах, удаленных от централизованного электроснабжения. Выбор типа генератора зависит от специфики строительного объекта, его энергетических потребностей, доступности топлива и экологических требований. Как правило, при разработке проекта электрификации строительной площадки рассматривают дизельные электростанции и дизель-генераторные установки как универсальные и надежные варианты. Однако применение генератора в качестве единственного источника электропитания, освещения и осушения на строительном объекте в настоящих условиях не всегда оправдано из-за высокой стоимости топлива, производимого шума, вредных выбросов в атмосферу, необходимости профилактического обслуживания, а также скачков напряжения, которые могут повредить оборудование. Серьезной проблемой также являются ограниченная мощность генераторов и снижение эксплуатационно-экономической эффективности такого способа энергоснабжения, обусловленное высоким расходом топлива, необходимостью регулярного профилактического обслуживания и риском простоев.

Под гибридной системой электроснабжения крупного строительного объекта в рамках настоящей статьи понимается система, предназначенная для полного или частичного замещения электроэнергии, получаемой от городской электросети, и одновременно выполняющая функцию источника бесперебойного электропитания (рис. 2).



Примечание. ДЭС – дизельная электростанция, ВИЭ – возобновляемые источники энергии, ППЭ – преобразователь первичного энергоресурса, ПН – преобразователь напряжения, ИПБ – источник бесперебойного питания, Н – нагрузка, БН – балансовая нагрузка.

Источник: [Трофимова, Зацепина, 2023].

**Рис. 2. Гибридный энергетический комплекс с дублирующей дизельной электростанцией**  
**Fig. 2. Hybrid Power Supply System with a Backup Diesel Power Plant**

<sup>5</sup> <https://econet.kz/articles/178271-gibridnaya-energetika>.

<sup>6</sup> <https://www.in-power.ru/news/alternativnayaenergetika/44487-vvedena-v-stroi-gibridnaja-vetro-solnechnaja-elektrostantsija-s-nakopi.html>.

<sup>7</sup> <https://www.atlascopco.com/ru-kg/construction-equipment/resources/generators-guide/why-battery-based-hybrid-energy-storage-solutions-represent-the-future>.

<sup>8</sup> <https://www.vzavtra.net/eko-zdaniya/pervoe-v-mire-zdanie-s-energoobespecheniem-ot-morskix-vodoroslej-budet-postroeno-v-germanii.html>.

<sup>9</sup> <https://энерготрест.рф>.

Системы гибридного энергоснабжения предусматривают использование различных источников энергии. Электрическая энергия генерируется с использованием солнечных фотоэлектрических панелей, ветряных турбин или других систем преобразования. Генерирование тепловой энергии для систем отопления, горячего водоснабжения и технологических процессов осуществляется с использованием солнечных коллекторов (плоских и вакуумных трубчатых), геотермальных систем, а также иных преобразователей тепловой энергии. Сочетание различных ВИЭ и использование единой системы управления для обеспечения эффективной работы этих элементов составляют основу стабильной гибридной системы энергоснабжения [Меирбекова, Мырзабек, 2022].

Среди привлекательных особенностей гибридных энергетических комплексов для крупных строительных объектов можно выделить следующие [Каманина и др., 2023]:

- разнообразие используемых источников выработки энергии (солнечная, ветровая, гидроэнергетика, тепловая, биомасса, дизельное топливо и т.д.) – система оптимально использует доступные ресурсы в зависимости от конкретных условий и задач;
- повышенная надежность – использование нескольких источников уменьшает риски простоя или сбоев в работе, а потребность в электроэнергии всегда может быть покрыта;
- существенное снижение затрат при использовании более одного источника энергии, для чего необходимо тщательное проектирование наиболее подходящих для конкретных условий способов выработки энергии;
- снижение вредного воздействия на экологию – гибридные системы с ВИЭ делают выработку электроэнергии более экологически чистой;
- гибкость и адаптивность – АГЭК могут быть адаптированы к различным климатическим условиям и требованиям заказчика через встроенную интеллектуальную систему накопления энергии (далее – СНЭ);
- сокращение потерь электроэнергии – использование СНЭ в АГЭК позволяет накапливать электроэнергию, которая оказалась не востребована в определенный промежуток времени, а затем выдать ее в сеть;
- независимость от централизованного электроснабжения – АГЭК могут быть установлены в удаленных и труднодоступных местах, где нет возможности подключения к энергетическим сетям.

Как показывает практика, при использовании систем накопления энергии в автономных гибридных энергетических комплексах необходимо учитывать ряд особенностей. В частности, срок службы системы накопления электрической энергии в автономной энергосистеме с использованием ВИЭ может быть меньше вследствие неравномерной выработки, обусловленной погодными и сезонными колебаниями. По этой причине при проектировании гибридных станций на базе ВИЭ следует учитывать климатические условия региона, а также подбирать накопители энергии с учетом

требований к долговечности, практичности и экономической эффективности.

По мнению команды российских исследователей под руководством профессора В.А. Зубакина, типизация гибридных энергокомплексов зависит от задач, установленных заказчиком [Зубакин и др., 2024]. На современных строительных площадках чаще распространены гибридные энергетические системы, которые являются оптимальным решением для электрификации отдаленных сельских районов [Огунлана, 2017], обособленных строительных площадок, где расширение энергосистемы является сложным и неэкономичным. В зависимости от вида объекта и заданных характеристик для обеспечения современной строительной площадки электроэнергией можно использовать несколько источников в разной вариации: сетевое электроснабжение, генераторы, солнечные панели, ветряные установки<sup>10</sup>.

Каждый из этих источников имеет свои особенности и ограничения, которые необходимо учитывать при проектировании энергетической системы стройки. Например, низкие температуры, которые наблюдаются на территории РФ, являются серьезным испытанием для любого электрооборудования. Аккумуляторы быстро теряют емкость, провода становятся хрупкими, а генераторы выходят из строя. Чтобы справиться с этим вызовом, необходимо использовать современные материалы и технологии, устойчивые к минусовым температурам.

Автономность электрической подстанции – критический фактор в условиях многокилометровой удаленности от электрических сетей. Он автоматически повышает актуальность применения системы резервного электроснабжения (генераторов, аккумуляторов), которая должна быть тщательно продумана и интегрирована в проект.

В последние годы активно обсуждаются вопросы декарбонизации строительной отрасли и перехода к устойчивым технологиям. В Стратегии низкоуглеродного развития РФ до 2050 года<sup>11</sup> прямо указано на необходимость снижения углеродного следа в строительстве. Это делает актуальным поиск альтернатив дизельной генерации для временного энергоснабжения.

### 3. Методический подход в исследовании

Объектом исследования является энергоснабжение отдаленных крупных строительных объектов.

Предметом исследования служат автономные гибридные системы энергоснабжения для крупных строительных объектов, развернутых в разных странах мира.

Вся строительная техника: краны, подъемники, бурильные установки, большинство моделей бетономешалок, калориферы, осветительное оборудование – работает от электроэнергии, и перебои в подаче электричества или полное приостановление энергоснабжения влекут срывы сроков и отражаются на качестве строительства, что в итоге приводит к убыткам.

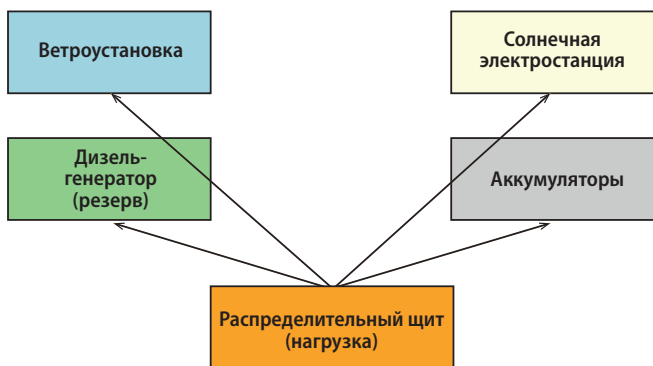
<sup>10</sup> <https://energy-systems.ru/main-articles/proektirovanie-elektriki/effektivnoe-proektirovanie-elektrosnabzheniya-stroitelnoy-ploschadki-klyuchevye-aspekty-i-luchshie-praktiki>.

<sup>11</sup> Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р «Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года». <http://government.ru/docs/43708/>.

Энергоснабжение удаленных строительных объектов имеет специфическое свойство – необходимость к быстрой организации подвода тока нормативного качества к подвижным электроприемникам с обеспечением соответствующей регулировки электрической нагрузки для обеспечения мобильности передвижной строительной техники [Орлов, 2016].

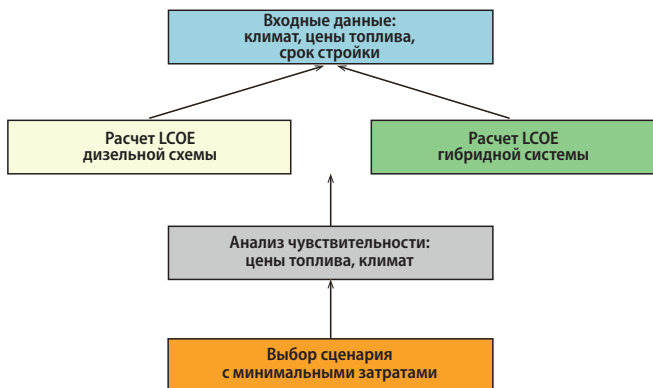
В целях исследования сравниваются два сценария энергоснабжения крупных строительных объектов:

- дизельная схема – стандартная практика (генераторы, доставка топлива) (рис. 3).
- гибридная система – ветроустановка Condor Air 10, солнечные панели АХИТЕС АС-375МН/144V, аккумуляторы Delta GX 12–200, инвертор Growatt (рис. 4).



Источник: составлено авторами.

Рис. 3. Структурная схема гибридной системы энергоснабжения строительного объекта  
Fig. 3. Hybrid Power Supply System Architecture for a Construction Site



Источник: составлено авторами.

Рис. 4. Алгоритм выбора оптимального сценария энергоснабжения для гибридной системы  
Fig. 4. Algorithm for Selecting the Optimal Power Supply Scenario for a Construction Site

### 3.1. Методы анализа

Вопросы оценки эффективности промышленных энергетических объектов широко представлены в научной литературе. Отдельное внимание уделяется расчетам экономических показателей, таких как LCOE, IRR, NPV, рентабельность, срок окупаемости [Мокшин, 2024].

В российской практике при оценке эффективности энергетических объектов чаще используются показатели коэф-

фициента использования установленной мощности (КИУМ) и срока окупаемости. Вместе с тем показатель приведенной стоимости электроэнергии LCOE (Levelized Cost of Energy) также применяется на практике, в том числе в подходах отраслевого регулятора – ассоциации НП «Совет рынка», объединяющей участников оптового рынка электроэнергии.

В качестве рекомендации целесообразно интегрировать в российскую практику показатель приведенной стоимости электроэнергии LCOE с учетом стоимости выбросов CO<sub>2</sub> и оценки устойчивости, что соответствует подходу, представленному в работе [Зубакин, Жуков, 2024]:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CAPEX_t + OPEX_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}, \quad (1)$$

где  $CAPEX_t$  – капитальные затраты в  $t$ -м периоде,  $OPEX_t$  – эксплуатационные (операционные) затраты в  $t$ -м периоде,  $F_t$  – топливные затраты в  $t$ -м периоде,  $E_t$  – объем электроэнергии, произведенной в  $t$ -м периоде,  $r$  – ставка дисконтирования,  $t$  – номер расчетного периода,  $n$  – количество расчетных периодов.

Был проведен анализ чувствительности к следующим параметрам:

- изменению цен на дизельное топливо ( $\pm 30\%$ );
- колебаниям скорости ветра ( $\pm 20\%$ );
- срокам работы площадки (6–24 мес.).

На рис. 3 представлена схема гибридной системы энергоснабжения строительного объекта и алгоритм выбора оптимального сценария энергоснабжения. Представленный алгоритм демонстрирует последовательность анализа: от исходных данных до расчета по двум сценариям (дизель и гибрид) и выбора варианта с минимальными затратами. В расчете показаны: ветроустановка, солнечная электростанция, дизель-генератор (резерв), аккумуляторы и нагрузка (распределительный щит).

### 3.2. Результаты исследования

Расчет экономической эффективности систем энергоснабжения представлен в таблице.

Таблица  
Экономическая эффективность систем энергоснабжения  
Table  
Economic Efficiency of Power Supply Systems

Показатель	Дизельная схема	Гибридная система
Затраты за год (млн руб.)	16,4	6,25
Экономия (млн руб.)	–	10,15
NPV (млн руб.)	–	> 10
IRR (% годовых)	–	170
Срок окупаемости (годы)	–	< 1

Источник: составлено авторами.

Выполнен расчет экологического эффекта систем энергоснабжения:

- дизельная схема: >150 т CO<sub>2</sub> за год;
- гибридная система: < 20 т CO<sub>2</sub> за год;
- снижение выбросов: более чем в 7 раз.

Проведен анализ чувствительности систем энергоснабжения:

- при росте цен на дизельное топливо на 30% экономия возрастает до 12 млн руб.;
- при снижении скорости ветра на 20% экономический эффект остается положительным (экономия 7,5 млн руб.);
- при сроке работы площадки 24 месяца IRR сохраняется на уровне 145–150%.

### 3.3. Апробация и обсуждение результатов

Сравнительный анализ показал, что гибридные системы электроснабжения имеют очевидные преимущества и позволяют:

- снизить затраты на временное энергоснабжение на 40–60%;
- повысить инвестиционную привлекательность строительства;
- уменьшить экологический след.

Аналогичные эффекты подтверждаются применением гибридных систем в практике энергоснабжения крупных промышленных объектов следующих стран:

- в Германии – экономия достигла 35–50% при использовании гибридных систем [Jacobson et al., 2022];
- в Китае – экономия возможна до 60% на северо-западных стройках [Zhao et al., 2023];
- в Объединенных Арабских Эмиратах – снижение выбросов углерода на 70% [Kumar et al., 2022].

Основные риски при эксплуатации гибридных систем – высокая стоимость аккумуляторов и климатическая зависимость. Однако при правильной комбинации солнечной и ветровой генераций, а также современных систем управления эти риски минимизируются.

На рис. 3 представлена схема гибридной системы энергоснабжения строительной площадки, отражающая включение возобновляемых источников энергии (ветроустановок и солнечных электростанций), накопителей и резервного источника в общую структуру энергоснабжения объекта. Блок-

схема показывает последовательность анализа: от исходных данных – к расчету LCOE для дизельной и гибридной схем, далее – к анализу чувствительности и выбору варианта системы энергоснабжения с минимальными затратами.

### Заключение

Анализ отечественной практики показал, что объединение возобновляемых источников энергии с резервными единицами для формирования гибридной системы может обеспечить более экономичные, экологически чистые и надежные поставки электроэнергии при любых условиях спроса по сравнению с одноразовым использованием таких систем.

Одним из наиболее важных вопросов при проектировании гибридной системы временного энергоснабжения строительной площадки является определение оптимального состава и мощности ее компонентов для обеспечения требуемой нагрузки при минимально возможных инвестиционных и эксплуатационных затратах. Внедрение гибридных систем временного энергоснабжения строительных площадок позволяет существенно снизить затраты и повысить экологическую устойчивость строительства. В рамках авторского проекта «Карта ветра»<sup>12</sup> выполнен расчетный сценарий для строительного объекта с расчетной нагрузкой 100 кВт и горизонтом анализа 12 месяцев. Полученные результаты показывают, что годовая экономия составляет более 10 млн руб., внутренняя норма доходности превышает 170%, а снижение выбросов углекислого газа по сравнению с дизельной схемой составляет более 7 раз.

Большинство стран и компаний поставили цель достигнуть углеродной нейтральности к 2050 году с помощью интеграции зеленых технологий в энергосистемы стран. Глобальный переход от традиционных способов получения энергии к альтернативным предполагает существенные изменения в мировой экономике, что в будущем обернется потерей большого числа рабочих мест, социальными взрывами и последующими экономическими кризисами.

### Литература

- Агеев А.И. (2018). Можно ли планировать в эпоху турбулентности? *Стратегическое планирование в энергетике*, 3: 3–8.
- Василевский Н.С., Кувалдин А.Е., Жорнова О.Н., Филипповский Н.Ф. (2017). Перспективы использования гибридных энергетических установок на территории России. В: *Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*, Екатеринбург, 11–15 декабря 2017 г. Екатеринбург, УрФУ: 119–123. <https://elar.urfu.ru/handle/10995/57788>.
- Зубакин В.А., Жуков П.А. (2024). Экономическая эффективность электростанций на возобновляемых источниках энергии на примере показателя LCOE. *Сантехника. Отопление. Кондиционирование*, 10: 72–75. <https://www.c-o-k.ru/articles/ekonomicheskaya-effektivnost-elektrostantsiy-na-vozobnovlyаемых-istochnikah-energii-na-primere-pokazatelya-lcoe>.
- Зубакин В.А., Юсупов К.Н., Щаулов В.В., Минаев И.С. (2024). Гибридные комплексы ВИЭ для энергоснабжения удаленных промышленных объектов. *Сантехника. Отопление. Кондиционирование*, 8: 62–67. <https://www.c-o-k.ru/articles/gibridnye-kompleksy-vie-dlya-energосnabzheniya-udalennyh-promyshlennyh-obektov>.
- Каманина М.А., Демидова А.М., Охлопков Д.О. (2023). Особенности гибридной энергетической системы с ВИЭ и СНЭ. *Вестник науки*, 7(64): 321–324. <http://osobennosti-gibridnoy-energeticheskoy-sistemy-s-vie-i-sne.pdf>.
- Капустина М.Д., Шаркова А.В., Романов А.С. (2025). Оценка конкурентоспособности отечественных автономных гибридных энергетических установок. *Вестник евразийской науки*, 17(s1). <https://esj.today/PDF/98FAVN125.pdf>.

<sup>12</sup> «Карта ветра» – цифровой инструмент оптимизации затрат на временное энергоснабжение строительных площадок, разработанный на основе авторских расчетных материалов. Проектная презентация может быть предоставлена по запросу.

- Меирбекова О.Д., Мырзабек Б.О. (2022). К вопросу создания гибридных энергетических систем. *Молодой ученый*, 47(442): 48–53. <https://moluch.ru/archive/442/96732/>.
- Мокшин М.Ю. (2024). Применение IRR и LCOE для оценки проектов ВИЭ. *Финансовая экономика*, 5: 67–75.
- Мокшин М.Ю., Жабицкий М.Г., Римская О.Н. (2025). Состояние топливно-энергетического комплекса России и пути развития в условиях четвертого энергетического перехода. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 16(1): 55–68. <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2025-1-55-68>.
- Огунлана А.О. (2017). *Перспективы применения гибридных установок (на основе возобновляемых источников энергии) в малой энергетике России*: магист. дис. Томск, НИТПИ. <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/39843/1/TPU395254.pdf>.
- Орлов П.С. (2016). Инженерно-технические мероприятия по повышению надежности электроснабжения объектов строительства. *Записки Горного института*, 222: 845–851.
- Трофимова Е.Р., Зацепина В.И. Энергосберегающие технологии в энергетических системах на базе возобновляемых источников энергии. В: *VI Международная молодежная научно-практическая конференция «Энергостарт»*, 17–23 ноября 2023 г. Кемерово, КузГТУ. <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/energostart/pages/Articles/413.pdf>.
- Шаркова А.В., Капустина М.Д., Романов А.С. (2025). Опыт развития гибридных энергосистем в распределенной генерации России. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*, 4: 87–94. DOI: 10.33938/254-87.
- Jacobson M.Z., Delucchi M.A., Cameron M.A. (2022). Accelerating the Transition to 100% Clean Energy. *Energy Policy*, 169: 113–125.
- Zhao X., Zhang S., Tang K. (2023). Techno-Economic Evaluation of Hybrid Renewable Systems for Remote Construction Sites. *Journal of Cleaner Production*, 382: 135–148.
- Kumar A., Singh J., Sharma R. (2022). Economic and Environmental Performance of Renewable Microgrids in Construction Projects. *Sustainable Energy Technologies*, 52: 102–118.

## References

- Ageev A.I. (2018). Is It Possible to Plan in an Era of Turbulence? *Strategic Planning in the Energy Sector*, 3: 3-8. (In Russ.)
- Vasilevsky N.S., Kuvaldin A.E., Zhornova O.N., Filippovsky N.F. (2017). Prospects for the Use of Hybrid Power Installations in Russia. In: *Energy and Resource Saving. Energy Supply. Non-Traditional and Renewable Energy Sources: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists*, Yekaterinburg, December 11–15, 2017. Yekaterinburg, Ural Federal University: 119-123. <https://elar.urfu.ru/handle/10995/57788>. (In Russ.)
- Zubakin V.A., Zhukov P.A. (2024). Economic Efficiency of Power Plants Based on Renewable Energy Sources Using the LCOE Indicator as an Example. *Plumbing. Heating. Air Conditioning*, 10: 72-75. <https://www.c-o-k.ru/articles/ekonomicheskaya-effektivnost-elektrostanciy-na-vozobnovlyaemyh-istochnikah-energii-na-primere-pokazatelya-lcoe>. (In Russ.)
- Zubakin V.A., Yusupov K.N., Shchaulov V.V., Minaev I.S. (2024). Hybrid Renewable Energy Complexes for Power Supply of Remote Industrial Facilities. *Plumbing. Heating. Air Conditioning*, 8: 62-67. <https://www.c-o-k.ru/articles/gibridnye-kompleksy-vie-dlya-energostabzheniya-udalennyh-promyshlennyh-obektov>. (In Russ.)
- Kamanina M.A., Demidova A.M., Okhlopov D.O. (2023). Features of a Hybrid Energy System with Renewable Energy Sources and an Energy Storage System. *Bulletin of Science*, 7(64): 321-324. <http://osobennosti-gibridnoy-energeticheskoy-sistemy-s-vie-i-sne.pdf>. (In Russ.)
- Kapustina M.D., Sharkova A.V., Romanov A.S. (2025). Assessment of the Competitiveness of Domestic Autonomous Hybrid Power Installations. *Journal of Eurasian Science*, 17(s1). <https://esj.today/PDF/98FAVN125.pdf>. (In Russ.)
- Meirbekova O.D., Myrzabek B.O. (2022). On the Development of Hybrid Energy Systems. *Young Scientist*, 47(442): 48-53. <https://moluch.ru/archive/442/96732/>. (In Russ.)
- Mokshin M.Yu. (2024). Application of IRR and LCOE for the Evaluation of Renewable Energy Projects. *Financial Economics*, 5: 67-75. (In Russ.)
- Mokshin M.Yu., Zhabitsky M.G., Rimskaya O.N. (2025). The State of the Russian Fuel and Energy Sector and Development Paths under the Fourth Energy Transition. *Strategic Decisions and Risk Management*, 16(1): 55-68. <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2025-1-55-68>. (In Russ.)
- Ogunlana A.O. (2017). *Prospects for the Application of Hybrid Installations (Based on Renewable Energy Sources) in Small-Scale Power Engineering in Russia*: Master's Thesis. Tomsk, National Research Tomsk Polytechnic University. <https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/39843/1/TPU395254.pdf>. (In Russ.)
- Orlov P.S. (2016). Engineering Measures to Improve the Reliability of Power Supply at Construction Facilities. *Journal of Mining Institute*, 222: 845-851. (In Russ.)
- Trofimova E.R., Zatssepina V.I. (2023). Energy-Saving Technologies in Energy Systems Based on Renewable Energy Sources. In: *VI International Youth Scientific and Practical Conference "Energostart"*, November 17-23, 2023. Kemerovo, Kuzbass State Technical University. <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/energostart/pages/Articles/413.pdf>. (In Russ.)

Sharkova A.V., Kapustina M.D., Romanov A.S. (2025). Experience in the Development of Hybrid Energy Systems in Distributed Generation in Russia. *Economics, Labour, Management in Agriculture*, 4: 87-94. DOI: 10.33938/254-87. (In Russ.)

Jacobson M.Z., Delucchi M.A., Cameron M.A. (2022). Accelerating the Transition to 100% Clean Energy. *Energy Policy*, 169: 113-125.

Zhao X., Zhang S., Tang K. (2023). Techno-Economic Evaluation of Hybrid Renewable Systems for Remote Construction Sites. *Journal of Cleaner Production*, 382: 135-148.

Kumar A., Singh J., Sharma R. (2022). Economic and Environmental Performance of Renewable Microgrids in Construction Projects. *Sustainable Energy Technologies*, 52: 102-118.

## Об авторах

### Михаил Юрьевич Мокшин

Аспирант факультета бизнес-информатики и управления комплексными системами, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (Москва, Россия). ORCID: 0000-0002-0985-2192; Web of Science Researcher ID: LRC-2876-2024; SPIN: 8914-1453; Author ID: 1230549.

Область научных интересов: ветроэнергетика, зеленая энергетика, управление энергетическими затратами в промышленности и энергетике.

mokshin.my@mail.ru

### Ольга Николаевна Римская

Кандидат экономических наук, доцент, эксперт Федерального реестра научно-технической сферы РФ (Москва, Россия). ORCID: 0000-0002-1548-0815; Scopus Author ID: 5581148210; Researcher ID: 583440; SPIN: 4185 4532; Author ID: 583440.

Область научных интересов: мировая экономика, цифровая экономика, инновации, экономика труда, непрерывное образование, управление человеческими ресурсами, мотивация и стимулирование труда, проблемы гуманитарного кризиса.

olgarim@mail.ru

## About the Auhors

### Mikhail Yu. Mokshin

Postgraduate Student, Faculty of Business Informatics and Integrated Systems Management, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia. ORCID: 0000-0002-0985-2192; Web of Science Researcher ID: LRC-2876-2024; SPIN: 8914-1453; Author ID: 1230549.

Research interests: wind energy, green energy, energy cost management in industry and the energy sector.

mokshin.my@mail.ru

### Olga N. Rimskaya

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Expert listed in the Federal Register of Experts in Science and Technology of the Russian Federation, Moscow, Russia. ORCID: 0000-0002-1548-0815; Scopus Author ID: 5581148210; Web of Science Researcher ID: 583440; SPIN: 4185 4532; Author ID: 583440.

Research interests: global economy, digital economy, innovation, labour economics, lifelong learning, human resource management, labor motivation and incentives, humanitarian crisis issues.

olgarim@mail.ru

## 作者信息

### Mikhail Yu. Mokshin

商业信息学和综合系统管理学院研究生, 国立核能研究大学莫斯科工程物理学院(俄罗斯, 莫斯科)。ORCID: 0000-0002-0985-2192; Web of Science Researcher ID: LRC-2876-2024; SPIN: 8914-1453; Author ID: 1230549.

科学兴趣领域: 风能、绿色能源、工业和能源领域的能源成本管理。

mokshin.my@mail.ru

### Olga N. Rimskaya

经济学副博士, 副教授, 俄罗斯联邦科技领域专家名录专家(俄罗斯莫斯科)。ORCID: 0000-0002-1548-0815; Scopus Author ID: 5581148210; Researcher ID: 583440; SPIN: 4185 4532; Author ID: 583440.

科学兴趣领域: 世界经济、数字经济、创新、劳动经济、终身教育、人力资源管理、劳动动机与激励、人道主义危机问题。

olgarim@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.02.2026; после рецензирования 23.02.2026 принята к публикации 28.02.2026. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The article was submitted on 07.02.2026; revised on 23.02.2026 and accepted for publication on 28.02.2026. The authors read and approved the final version of the manuscript.

文章于 07.02.2026 提交给编辑。文章于 23.02.2026 已审稿。之后于 28.02.2026 接受发表。作者已经阅读并批准了手稿的最终版本。