

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

POPOV Igor Pavlovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Mechanical Engineering, Machine Tools and Instruments, Kurgan State University, 63/4, Sovetskaja street, Kurgan, 640020, Russia. E-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Popov I.P. Properties of magnetic monopoles and magnetic field lines of force // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 3 (27), pp. 53–60.

УДК 621.311.21

**РЕШЕНИЕ ВОПРОСА МЕСТНОГО ДЕФИЦИТА МОЩНОСТИ
В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ С ПОМОЩЬЮ МАЛЫХ ГЭС**

А.А. Рахманов, А.Ю. Русин

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Рахманов А.А., Русин А.Ю., 2025

Аннотация. Статья посвящена проблеме устранения местного дефицита мощности в энергосистемах России с помощью малых гидроэлектростанций (ГЭС). Проведен анализ эффективности малых ГЭС как автономных источников энергоснабжения для отдаленных регионов. Рассмотрены возможности применения малых ГЭС для обеспечения электроэнергией предприятий малого и среднего бизнеса. Показано, что использование малой гидроэнергетики для локального энергоснабжения экономически целесообразно и экологически оправдано. Отмечено, что внедрение малых ГЭС снижает нагрузку на магистральные электросети и повышает энергетическую автономность отдаленных регионов.

Ключевые слова: малая гидроэлектростанция, гидроэнергетика, дефицит мощности, обособленные энергосистемы, производство электроэнергии, малый и средний бизнес.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-3-60-67

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос дефицита мощности в локальных энергосистемах России приобретает особую актуальность на фоне устаревания и износа инфраструктуры. По данным исследований, степень износа основных фондов в электроэнергетике в ряде регионов достигает критических значений: более 50 % оборудования и сетей требуют модернизации или замены [1]. Подстанции и линии электропередачи (ЛЭП) зачастую работают на пределе своих возможностей, что ограничивает пропускную способность и резервные мощности, а также усугубляет проблему подключения новых потребителей.

Для малого и среднего бизнеса (МСБ) данная ситуация становится особенно ощутимой. Высокие затраты на подключение к электросетям, сложные бюрократические процедуры и длительные сроки реализации проекта подключения создают значительные барьеры для развития предпринимательства [2]. В результате предприятия вынуждены искать альтернативные решения, чтобы обеспечить свои потребности в электроэнергии. При этом рост тарифов на электроэнергию и степень износа инфраструктуры значительно увеличивают экономическую нагрузку на бизнес и население [1–3].

Определим средние цены производителей на электроэнергию по категориям потребителей за 2018–2022 годы (рисунок).



Средние цены производителей на электроэнергию
по категориям потребителей (2018–2022 годы) [1]

Из рисунка видно, что основной доход для энергосбытовых компаний приносят сельскохозяйственные производители и промышленные предприятия. С другой стороны, развитие малой энергетики, включая микрогидроэлектростанции (микро-ГЭС), представляет собой перспективное направление для решения проблемы локального дефицита мощности. Микро-ГЭС обладают рядом преимуществ, таких как минимальные эксплуатационные затраты, экологичность и независимость от поставок топлива.

Малые ГЭС – это эффективное решение для снабжения электроэнергией удаленных предприятий и населенных пунктов, где строительство линий электропередачи является слишком затратным. Эти станции используют энергию течения небольших рек и ручьев для выработки стабильного электричества с высоким качеством, соответствующим требованиям к частоте и напряжению. Благодаря современным технологиям такие станции имеют высокий уровень автоматизации, что позволяет им работать как автономно, так и в составе единой энергосистемы. Это делает малые ГЭС универсальным и надежным источником энергии для объектов малой мощности [2].

Согласно данным, около 50 % территории России остается вне зоны централизованного электроснабжения [4]. В таких регионах локальные решения генерации электроэнергии, включая малые ГЭС, могут стать основным элементом обеспечения надежного энергоснабжения. Это особенно актуально для сельскохозяйственных и производственных предприятий, расположенных в удаленных районах, а также для поселений с ограниченной инфраструктурой.

Внедрение микро-ГЭС как элемента малой энергетики является эффективным способом решения проблемы локального дефицита мощности. В данной статье рассматриваются основные аспекты применения микро-ГЭС, экономическая целесообразность их внедрения и перспективы развития малой гидроэнергетики в России. Особое внимание уделяется возможностям локального энергоснабжения для МСБ, а также потенциалу использования микро-ГЭС в труднодоступных и удаленных регионах.

ПРОБЛЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Как уже говорилось, одним из значимых препятствий для развития МСБ в России является сложность подключения к централизованным энергосетям. Высокая стоимость, трудность согласования и длительные сроки реализации создают барьеры, сдерживающие региональную экономику. Даже в регионах с относительно низкими расходами (например, в Ульяновской области) стоимость прокладки новых ЛЭП длиной 1 км может превышать 300 000 рублей. Кроме того, эти расходы не являются единственными при подключении [5].

Для частных домов ситуация также ухудшается. С 1 июля 2024 года стоимость подключения к сетям составит не менее 5 570 рублей, максимум – 11 140 рублей за каждый киловатт мощности, что при необходимости подключения стандартных 15 кВт обойдется более чем в 83 550 рублей. Однако это не все затраты: кроме платы за мощность, потребителю нужно оплачивать дополнительные работы, такие как установка щитков, прокладка кабелей от опоры к дому и обустройство электрического ввода [6]. Эти растущие затраты делают централизованное энергоснабжение менее доступным, особенно для частных лиц и малых предприятий в удаленных регионах.

Для обособленных регионов (горных районов Алтая или Крайнего Севера) энергоснабжение остается сложной задачей. Основными потребителями энергии в этих зонах выступают сельскохозяйственные объекты: чабанские бригады, небольшие животноводческие фермы и поселки. В настоящее время для таких объектов используются сельские ЛЭП и передвижные дизель-электрические станции (ДЭС). Однако их использование сопровождается рядом трудностей.

Линии электропередачи в таких районах проектируются с увеличенным сечением проводов. Это обусловлено необходимостью обеспечения их механической прочности для устойчивости в сложных условиях, таких как гористая местность или суровые климатические условия. Однако это решение приводит к избыточной пропускной способности, которая в 10–30 раз превышает реальную потребность в энергии. В результате затраты на строительство и эксплуатацию ЛЭП значительно возрастают, что делает их экономически малоэффективными для рассредоточенных потребителей [7].

Использование ДЭС, в свою очередь, также не решает проблему энергоснабжения. Высокая стоимость доставки топлива в труднодоступные регионы, а также сложность их эксплуатации в экстремальных условиях приводят к значительным затратам. Вместе эти факторы усиливают необходимость внедрения альтернативных автономных решений, таких как микро-ГЭС, которые способны обеспечить надежное энергоснабжение с минимальными эксплуатационными издержками.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРО-ГЭС

Для проектирования и эксплуатации микро-ГЭС нужно учитывать ряд факторов, которые напрямую влияют на их эффективность и экономическую целесообразность.

1. Скорость потока воды.

Высокая скорость потока повышает энергоэффективность станции, так как позволяет получить больше энергии на единицу воды. Рекомендуемая скорость потока для микро-ГЭС составляет от 1 до 2 м/с.

При низкой скорости (менее 1 м/с) часто требуется создание дополнительных условий (например, обводного канала переменного сечения или искусственного перепада высот) [8].

2. Напор воды.

Напор воды – это разница в высотах между местом забора воды и выходом ее из турбины. Высоконапорные микро-ГЭС (более 60 м) обеспечивают максимальную энергоотдачу и чаще всего применяются в горных районах. Средненапорные (25–60 м) и низконапорные (3–25 м) установки подходят для равнинных рек [8].

3. Расход воды.

Расход воды, измеряемый в кубических метрах в секунду, определяет объем воды, который проходит через турбину за единицу времени. Это ключевой показатель для выбора типа и мощности станции.

4. Рельеф местности.

Горные районы с естественными перепадами высот (Алтай, Камчатка, Кавказ) идеально подходят для высоконапорных микро-ГЭС, что снижает затраты на создание искусственных условий.

В равнинных районах (например, в Центральной России) используются низконапорные ГЭС, которые требуют более значительных капиталовложений для создания напорных резервуаров и плотин.

5. Сезонность и стабильность потока.

Для постоянной выработки энергии важна стабильность речного стока. Например, в северных регионах России сезонность работы рек (ледостав зимой) ограничивает использование микро-ГЭС, тогда как в южных районах сток остается стабильным в течение всего года [9].

6. Экологические и инфраструктурные аспекты.

Микро-ГЭС должны быть интегрированы в экосистему реки с минимальным воздействием на окружающую среду. Особое внимание уделяется рыбоходам и сохранению природного ландшафта [9].

Близость к объектам потребления (сельскохозяйственным фермам, малым производствам) способствует снижению затрат на передачу энергии.

ПОТЕНЦИАЛ МИКРО-ГЭС ДЛЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНОВ. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА РОССИИ

Российская Федерация обладает уникальными гидрологическими условиями, которые делают ее одной из ведущих стран по потенциалу малой гидроэнергетики. В стране насчитывается более 2 500 000 рек общей протяженностью свыше 8 000 000 км. При этом 90 % рек имеют длину менее 100 км [10], что позволяет отнести их к категории малых рек. Они не только составляют основу гидрографической сети, но и играют ключевую роль в развитии местной экономики, обеспечивая водные ресурсы для сельского хозяйства, промышленности и коммунального хозяйства.

Несмотря на огромный гидрологический потенциал, для хозяйственных нужд используется менее 2 % суммарного водостока страны [11]. Это свидетельствует о значительных резервах, которые могут быть задействованы для решения проблем локального энергодефицита, особенно в труднодоступных и обособленных районах.

Большинство малых рек расположено в таких регионах, как Восточная Сибирь, Камчатка, Алтай и Якутия. Эти территории характеризуются значительными перепадами высот, что создает благоприятные условия для строительства микро-ГЭС.

Алтай: горный рельеф обеспечивает постоянные перепады высот, что делает реки региона идеальными для малой гидроэнергетики.

Якутия: несмотря на сезонный характер рек, в южных районах республики они остаются свободными ото льда в течение 5–6 месяцев, что дает возможность снабжать энергией малые поселения [9].

Камчатка: реки региона обладают мощным течением благодаря высокогорным ледникам, что делает их подходящими для разработки гидроэнергетических проектов.

Свердловская область, например, насчитывает более 18 000 рек общей протяженностью около 68 000 км. Этот регион представляет собой один из ключевых примеров доступности малых рек для гидроэнергетики. Реки здесь обладают достаточной пропускной способностью и стабильным течением, что позволяет эффективно использовать их для микро-ГЭС [2]. Кроме того, значительная часть малых рек находится в районах, где отсутствует централизованное электроснабжение, что делает их естественными точками для внедрения автономных энергетических решений. Если учесть минимальные затраты на строительство и эксплуатацию микро-ГЭС, то использование этих ресурсов открывает возможности для обеспечения локального энергоснабжения и устойчивого развития регионов.

Малые реки с их постоянными потоками и перепадами высот представляют собой идеальную основу для внедрения малых ГЭС, особенно в труднодоступных регионах. Это позволяет не только обеспечить автономное энергоснабжение, но и эффективно использовать природные ресурсы, минимизируя затраты на транспортировку топлива и строительство инфраструктуры.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ МИКРО-ГЭС

Малые ГЭС позволяют существенно сократить затраты на строительство ЛЭП. Их возведение требует меньших капитальных вложений, что упрощает привлечение инвесторов и делает проекты более доступными для реализации. Благодаря компактности и технологической простоте малые ГЭС являются менее трудозатратными в сравнении с крупными ГЭС [7, 9].

Примером экономической эффективности малых ГЭС может служить опыт Таджикистана, где строительство станции мощностью 500 кВт обходится в среднем в 15 000 000 рублей [12]. Срок окупаемости таких проектов составляет от 5 до 7 лет, что делает их привлекательными как для МСБ, так и для локальных сообществ [9, 12]. Кроме того, строительство и ввод в эксплуатацию малых ГЭС занимают меньше времени в сравнении с крупными гидроэнергетическими объектами, что ускоряет их интеграцию в региональную энергосистему.

Несмотря на то что стоимость выработки 1 кВт энергии на микро-ГЭС выше, чем на средних и крупных ГЭС, их преимущества в автономности и низких эксплуатационных затратах делают их идеальным решением для локального энергоснабжения [7, 12]. Это особенно актуально в условиях, когда прокладка новых ЛЭП или транспортировка топлива экономически нецелесообразны.

Микро-ГЭС становятся оптимальным решением для локального энергоснабжения по следующим причинам:

1. Низкие капитальные затраты. Средняя стоимость строительства микро-ГЭС значительно ниже, чем затраты на прокладку ЛЭП в труднодоступные регионы.

Примером успешного внедрения микро-ГЭС является опыт Беларуси, где такие станции позволяют снизить потери электроэнергии при передаче и повысить надежность энергоснабжения транспортной инфраструктуры [13].

2. Надежность и автономность. Современные микро-ГЭС имеют высокий уровень автоматизации и могут работать как автономно, так и в составе энергосистемы.

3. Экологическая устойчивость. Микро-ГЭС минимизируют влияние на окружающую среду, сохраняя природный рельеф, и обеспечивают возможность использования водоемов для хозяйственных нужд [8, 9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микро-ГЭС представляют собой эффективное решение для устранения дефицита мощности в локальных энергосистемах. Их внедрение позволяет обеспечить энергоснабжение в труднодоступных регионах, поддержать развитие МСБ и снизить нагрузку на централизованные сети. Совместные усилия государства и частного сектора помогут раскрыть полный потенциал малой гидроэнергетики в России и поспособствовать ее устойчивому развитию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Росстат: официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14304> (дата обращения: 20.08.2025).
2. Бояринов А.Ю., Теслюк Л.М., Дукмасова Н.В. Возобновляемые источники энергии как инструмент развития малого и среднего бизнеса в России // *Инновационное развитие экономики*. 2018. № 3 (45). С. 21–29.
3. Баранова Л.В. Техничко-технологическая безопасность как структурный компонент экономической безопасности предприятий электроэнергетики. *Актуальные вопросы экономики, менеджмента и инноваций: Материалы Международной научно-практической конференции ученых, специалистов, преподавателей вузов, аспирантов, студентов (Нижний Новгород, 23 ноября 2023 г.) / под ред. М.М. Фроловой, С.М. Дмитриева*. Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2024. С. 8–12.

4. Кожевников М.В., Двинянинов А.А., Сапожников Н.Г. Институциональные барьеры развития малой энергетики России // *Journal of New Economy*. 2024. Т. 25. № 1. С. 38–47.
5. Регион Электро. URL: <http://www.regionelektro.ru/price.html> (дата обращения: 21.08.2025).
6. Сколько стоит подключить частный дом к электросетям в 2024 году. URL: <https://journal.tinkoff.ru/news/new-3000/> (дата обращения: 21.08.2025).
7. Семкин Б.В. Стальная М.И., Свит П.П. Использование возобновляемых энергоресурсов в малой энергетике // *Теплоэнергетика*. 1996. № 2. С. 6–7
8. Мини ГЭС. Микрогидроэлектростанции. URL: <https://www.rina.pro/napravleniya-deyatelnosti/alternativnaya-energetika/mikro-gidro-elektrostantsii> (дата обращения: 21.08.2025).
9. Малик Л.К. ГЭС на малых реках России: достоинства и недостатки // *Природа*. 2003. № 1 (1049). С. 55–62.
10. Реки России. URL: <https://waterresources.ru/country/reki-rossiya/> (дата обращения: 21.08.2025).
11. Родзевич Н.Н. Региональные конфликты водопользования. URL: https://geo.1sept.ru/view_article.php?ID=200902302 (дата обращения: 21.08.2025).
12. Фаязова М.А., Клочкова А.В. Строительство малых гидроэлектростанций в Таджикистане как стратегия выхода страны из энергетического кризиса. *Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: Материалы XLIX научной и учебно-методической конференции, 29 января – 01 февраля 2020 года, Санкт-Петербург / под ред. И.В. Баранова*. СПб.: Национальный исследовательский университет ИТМО, 2020. Т. 5. С. 350–353.
13. Гончаров И.П., Ермоленко С.В., Ляхов С.В. Опыт использования объектов малой энергетики организациями Минтранса. *Энергетика Беларуси – 2022: Материалы Республиканской научно-практической конференции (Минск, 25–26 мая 2022 г.)*. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2022. С. 99–102.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

РАХМАНОВ Арсений Анатольевич – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: dimasementev70733@gmail.com

РУСИН Александр Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: alexrusin@inbox.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Рахманов А.А., Русин А.Ю. Решение вопроса местного дефицита мощности в энергосистеме с помощью малых ГЭС // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 3 (27). С. 60–67.

**SOLVING ISSUE OF LOCAL POWER SHORTAGE IN ENERGY SYSTEM
WITH HELP OF A SMALL SCALE HYDROELECTRIC POWER PLANT**

A.A. Rakhmanov, A.Yu. Rusin
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article addresses the elimination of local capacity deficits in Russia's power systems through the deployment of small hydroelectric power plants. It analyses the efficiency of small hydropower facilities as autonomous energy sources for remote regions and explores their application in supplying electricity to small and medium-sized enterprises. The study demonstrates that using small hydropower for local energy supply is both economically viable and environmentally justified. It is noted that the introduction of small hydropower plants reduces the load on trunk power grids and enhances the energy autonomy of remote areas.

Keywords: small hydroelectric power plant, hydropower, power shortage, isolated power systems, electricity generation, small and medium-sized businesses.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

RAKHMANOV Arseniy Anatolyevich – Master's Degree Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: dimasementev70733@gmail.com

RUSIN Aleksandr Yur'evich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Department of Power Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: alexrusin@inbox.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Rakhmanov A.A., Rusin A.Yu. Solving issue of local power shortage in energy system with help of a small scale hydroelectric power plant // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 3 (27), pp. 60–67.