

УДК 621.31
AGRIS P05
JEL Code: Q56; L94

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/123/19>

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ПЕРЕНОСНЫХ МИКРО ГЭС В СИСТЕМЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОТДАЛЁННЫХ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ

©*Турдуков И. Э.*, ORCID: 0000-0002-3168-9635, SPIN-код: 1247-0259,
канд. техн. наук, Ошский технологический университет им. М. М. Адысева,
г. Ош, Кыргызстан, ilyaz_turduev@mail.ru

©*Осмонов Ы. Д.*, ORCID: 0000-0002-6569-7684, SPIN-код: 1461-1040, д-р. техн. наук
Кыргызский национальный аграрный университет им. К. И. Скрябина,
г. Бишкек, Кыргызстан, osmonov.yisman@mail.ru

©*Асанов Ч. С.*, Кыргызский национальный аграрный университет им. К. И. Скрябина,
г. Бишкек, Кыргызстан

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF THE INTRODUCTION OF PORTABLE MICRO-HYDROELECTRIC POWER PLANTS IN THE ENERGY SUPPLY SYSTEM OF REMOTE SETTLEMENTS

©*Turduev I.*, ORCID: 0000-0002-3168-9635, SPIN-code: 1247-0259, Ph.D., Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, ilyaz_turduev@mail.ru

©*Osmonov Y.*, ORCID: 0000-0002-6569-7684, SPIN- code: 1461-1040, Dr. habil., Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Scriabin, Bishkek, Kyrgyzstan, osmonov.yisman@mail.ru

©*Asanov Ch.*, Kyrgyz National Agrarian University named after K. I. Scriabin, Bishkek, Kyrgyzstan

Аннотация. Данная работа посвящена изучению социально-экономического влияния использования портативных микро ГЭС для независимого обеспечения электроэнергией горных территорий, не имеющих подключения к единой энергетической сети. Подчёркивается, что подобные системы дают возможность предоставить жителям доступ к стабильному и экологически безопасному источнику электроэнергии, уменьшить потребность в импортном топливе и снизить издержки на доставку энергоресурсов. Сделан акцент на сопоставительном исследовании с дизельными электростанциями и солнечными панелями, определены достоинства микро ГЭС при непрерывной работе в течение всего года. Акцентируется внимание на том, что внедрение подобных технологических решений способствует повышению уровня жизни в отдалённых населённых пунктах, стимулирует подъём местной экономики и отвечает принципам экологически устойчивого развития и «зелёной» энергетики.

Abstract. This work is devoted to the study of the socio-economic impact of using portable microelectric power plants to independently provide electricity to mountainous areas that are not connected to a single energy grid. It is emphasized that such systems provide an opportunity to provide residents with access to a stable and environmentally friendly source of electricity, reduce the need for imported fuel and reduce the cost of delivering energy resources. An emphasis is placed on a comparative study with diesel power plants and solar panels, and the advantages of microelectric power plants during continuous operation throughout the year are determined. Attention is focused on the fact that the introduction of such technological solutions contributes to improving the standard

of living in remote settlements, stimulates the growth of the local economy and meets the principles of environmentally sustainable development and "green" energy.

Ключевые слова: микро-ГЭС, экономическая эффективность энергии, дизельный генератор, генерация электроэнергии, экология станций.

Keywords: micro hydroelectric power plants, energy efficiency, diesel generator, electricity generation, station ecology.

Энергоснабжение отдаленных населенных пунктов — сложная задача, сопряженная с экономическими и экологическими проблемами. Традиционные методы, такие как дизельные генераторы и протяженные линии электропередачи, часто неэффективны и наносят значительный ущерб окружающей среде. В связи с этим внедрение портативных микрогидроэлектростанций в качестве альтернативного источника энергии становится особенно актуальным. Микрогидроэлектростанции, использующие энергию малых водотоков, способны обеспечить децентрализованное и устойчивое энергоснабжение, снижая зависимость от ископаемого топлива и сводя к минимуму выбросы парниковых газов. В то же время мобильность и простота установки портативных микроэлектростанций позволяют быстро реагировать на меняющиеся потребности в энергии и адаптироваться к местным условиям.

Экономическая целесообразность внедрения портативных микрогидроэлектростанций обусловлена более низкими затратами на топливо, транспортировку и техническое обслуживание энергетической инфраструктуры. Кроме того, развитие местной экономики и создание новых рабочих мест, связанных с производством, установкой и эксплуатацией микроэлектростанций, способствуют повышению уровня жизни населения.

Экологическая эффективность портативных микрогидроэлектростанций проявляется в сокращении выбросов загрязняющих веществ, сохранении водных ресурсов и биоразнообразия. Строительство и эксплуатация микрогидроэлектростанций оказывают минимальное воздействие на окружающую среду, в отличие от крупных гидроэлектростанций, которые вызывают затопление территорий и изменения гидрологического режима рек.

Таким образом, внедрение портативных микрогидроэлектростанций в систему энергоснабжения отдаленных населенных пунктов является перспективным направлением, сочетающим экономическую выгоду и экологическую устойчивость. В будущем необходимо провести комплексные исследования и разработать нормативно-правовую базу для стимулирования развития этого сектора энергетики [1-3].

Материалы и методы исследования

Бензиновые или дизельные генераторы, несмотря на их мобильность и простоту в эксплуатации, имеют существенные недостатки: непомерные затраты на топливо и масло, токсичные выхлопные газы, отравляющие окружающую среду, необходимость хранения горючих материалов, представляющих угрозу пожара, и оглушительный шум.

На живописных горных пастбищах, которые издавна служили домом для животноводов, сама природа предусмотрела чистые ручьи, дающие жизнь и утоляющие жажду. Эти реки, подобно бурным артериям земли, хранят в своих глубинах неисчерпаемый гидроэнергетический потенциал. Использование этой энергии, содержащейся в быстрых потоках, с помощью микро ГЭС может стать спасительным ключом к энергоснабжению животноводческих ферм, обеспечивая комфорт и стабильность их кочевой жизни (Рисунок 1).

Строительство микро ГЭС на высокогорных реках — это не бремя непомерно высоких затрат, а мудрое и экономичное решение, позволяющее черпать энергию из самой природы [1].

На Рисунке 1 показан путь воды от водоприёмника к зданию гидроэлектростанции. В контрольной станции КС1 измеряются начальные параметры потока, после чего вода проходит контролируемый участок водовода.

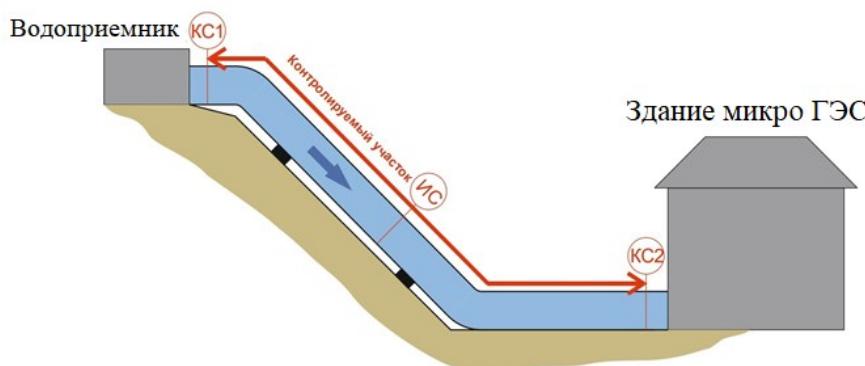


Рисунок 1. Микро ГЭС

В измерительном сегменте (ИС) фиксируются изменения скорости, уровня и напора для оценки состояния системы. Перед подачей воды в турбину в точке КС2 проводится итоговый контроль, обеспечивающий стабильную и безопасную работу микро ГЭС. В качестве альтернатив для сравнения рассматриваются дизельные генераторы и солнечные электростанции, которые чаще всего используются в таких условиях. Экономическая эффективность оценивается на основе анализа полных жизненных циклов рассматриваемых систем, включая затраты на приобретение, установку, эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования. Для каждого варианта энергоснабжения рассчитывается чистая приведенная стоимость (NPV), внутренний коэффициент окупаемости (IRR) и срок окупаемости. Особое внимание уделяется учету транспортных расходов, связанных с доставкой топлива для дизельных генераторов, а также затрат на утилизацию отходов. Экологическая эффективность определяется путем оценки количества парниковых газов и других загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при использовании каждой из рассматриваемых систем. Проведен сравнительный анализ воздействия на водные ресурсы (влияние микрогидроэлектростанций на гидрологический режим) и земельные ресурсы (площадь, необходимая для размещения солнечных панелей). Для сбора данных используются как кабинетные методы (анализ статистических данных, нормативных документов, технических характеристик оборудования), так и полевые исследования на примере конкретных удаленных населенных пунктов [3].

В рамках полевых исследований проводятся опросы населения, собирается информация о существующих системах энергоснабжения и их фактических эксплуатационных характеристиках. Полученные данные обрабатываются с использованием методов математической статистики и экономического моделирования. Процесс выработки энергии в дизельном генераторе: топливо впрыскивается в камеру сгорания; поршень сжимает смесь, она воспламеняется (без использования свечей зажигания); энергия взрыва толкает поршень, вращая коленчатый вал; вал передает вращение на ротор генератора; в обмотках статора создается электромагнитное поле, генерирующее переменный ток (<https://clck.ru/3Rb85X>). Солнечные электростанции — словно лучи надежды, пронзающие отдаленные уголки, куда еще не добралась цивилизация электросетей. Они дарят живительный свет и энергию поселениям, затерянным вдали от благ цивилизации.

Эти островки солнечной энергии несут в себе не только базовое освещение, связь и электричество, но и уверенность в завтрашнем дне, особенно ценную в эпоху переменчивой погоды и каприсов климата.

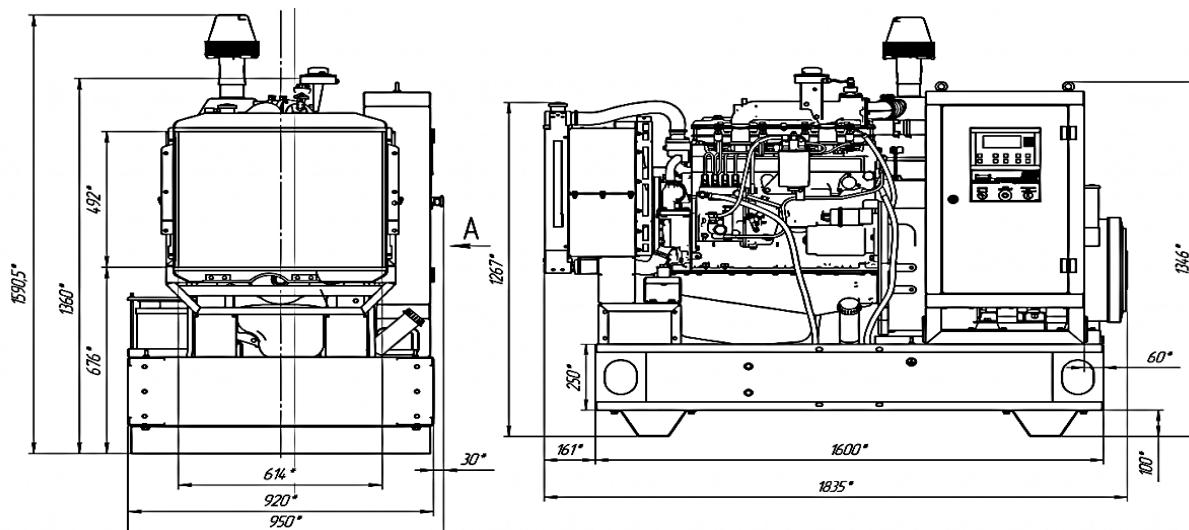


Рисунок 2. Дизельный генератор

Современные солнечные панели с КПД 18-20% становятся ключом к энергетической независимости. Представьте: всего 1,5–2 м² солнечной поверхности, мягко прогреваемой летним солнцем на крыше, ежедневно преобразуют его лучи в 1 кВт·ч экологически чистой энергии. Вооружившись этими знаниями и понимая свои собственные потребности в энергии, вы сможете легко оценить стоимость персональной автономной системы электроснабжения. Конечно, окончательная цифра будет зависеть от цен на панели и площади крыши, потому что даже солнечные лучи имеют свои ограничения, продиктованные строительными нормами. Для примера возьмем среднестатистический загородный дом, который потребляет 8-10 кВт·ч в сутки, не считая отопления. Это примерно 250кВт·ч в месяц. Эксперты утверждают, что для создания автономной солнечной системы, способной вырабатывать 3 кВт·ч в сутки, потребуется около 350-400 тысяч сомов инвестиций (Рисунок 3). Инвестиции в будущее, освещенное солнцем (<https://clck.ru/3Rb8FR>). Например, для СЭС в отдаленных населенных пунктах используются солнечные панели с общей мощностью, достаточной для покрытия ежедневного потребления энергии. Обычно используются панели мощностью от 300 до 500 Вт каждая.



Рисунок 3. Установка солнечной электростанции для отдаленных населенных пунктов

Инверторы преобразуют постоянный ток, вырабатываемый солнечными элементами, в переменный ток, используемый в бытовых сетях. Инверторы для удаленных объектов должны быть надежными и требовать минимального обслуживания, поскольку расстояние затрудняет выполнение регулярных работ по техническому обслуживанию. Контроллер заряда-управляет процессом зарядки аккумуляторов, предотвращая их перезарядку и продлевая срок службы системы. Контроллеры должны быть выбраны с достаточной мощностью, чтобы обеспечить стабильную работу всей системы (<https://clk.ru/3Rb8J2>).

Результаты исследования

Сокращение расходов на электроэнергию в труднодоступных областях может быть достигнуто за счет внедрения малых гидроэлектростанций, особенно микро ГЭС открытого типа, совместно с дизельными электростанциями. Некоторые области обладают значительными запасами гидроэнергии, и её применение позволит уменьшить долю топлива в структуре стоимости электроэнергии. Как правило, поселения находятся вдоль рек, что также способствует снижению затрат на транспортировку электричества [2]. Ввиду существенной подверженности микро ГЭС открытого типа гидрологическим особенностям речного режима (таким как осенне или весенне маловодье, обмеление или замерзание водотока и т.п.), их использование в качестве изолированного источника электроснабжения на текущем этапе развития энергетики представляется нецелесообразным. Зависимость от погодных условий не обеспечивает стабильную генерацию требуемого объема электроэнергии. Приведенные расходы для дизельной электростанции можно определить:

$$Z_1 = E_h K_1 + I_1 + C_1 B_1 \text{ сом/год} \quad (1)$$

где, K_1 – единовременные капитальные вложения, сом; E_h – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, 1/год; I_1 – годовые эксплуатационные издержки, сом/год; C_1 – стоимость используемого топлива, сом/т; B_1 – годовой расход топлива, т/год.

Обслуживание спецтехники представляет собой значительную статью расходов, включающую в себя плановое техническое обслуживание, ремонт и замену вышедшего из строя оборудования. Своевременное и квалифицированное обслуживание позволяет продлить срок службы техники, минимизировать простоя и избежать дорогостоящих аварийных ремонтов. Коэффициент полезного действия (η) также является важным показателем эффективности работы электростанции. Он определяет, какая часть энергии топлива преобразуется в полезную электроэнергию. КПД зависит от многих факторов, включая конструкцию оборудования, режим работы и потери тепла:

$$Z_1 = E_h K_1 + I_1 + C_1 W_1 b \text{ сом/год} \quad (2)$$

При комбинированном использовании микро ГЭС и дизельной электростанции приведенные затраты будут рассчитываться следующим образом:

$$Z_2 = E_h K_1 + I_1 + C_1 W_1 b (W_1 - W_2) + E_h K_2 + I_2 \text{ сом/год} \quad (3)$$

где, W_2 , K_2 , I_2 – выработанная энергия, капитальные затраты и издержки на микро ГЭС. Электроснабжение потребителя от микро ГЭС целесообразно при выполнении условия $Z_1 \geq Z_2$. В идеальном случае, при сопоставимой энергетической отдаче, экономический эффект от внедрения дизельной установки должен существенно превосходить таковой от дизельной электростанции. Это обусловлено целым рядом факторов, включая, в частности, более низкую себестоимость производимой электроэнергии, связанную с частичным использованием

возобновляемого источника — энергии воды. Кроме того, снижаются затраты на топливо, поскольку потребность в дизельном генераторе для покрытия пиковых нагрузок и поддержания стабильности сети значительно уменьшается. Микро ГЭС представляют собой перспективный источник возобновляемой энергии, особенно в регионах с обильными водными ресурсами и ограниченным доступом к централизованным энергосетям. Оценка экономической эффективности играет ключевую роль в принятии инвестиционных решений и определении целесообразности их строительства и эксплуатации. Ниже представлена Таблица, обобщающая основные показатели экономической эффективности микро ГЭС [1].

Таблица
ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРО ГЭС

Показатель	Описание	Единица измерения	Методика расчета	Факторы, влияющие на показатель
Чистая приведенная стоимость (<i>NPV</i>)	Разница между приведенными к текущему моменту времени доходами и затратами за весь срок эксплуатации проекта.	сом	Суммирование дисконтированных денежных потоков (доходы минус затраты) за вычетом первоначальных инвестиций.	Ставка дисконтирования, прогноз цен на электроэнергию, капитальные и эксплуатационные затраты.
Внутренняя норма доходности (<i>IRR</i>)	Ставка дисконтирования, при которой <i>NPV</i> проекта равна нулю.	%	Решение уравнения, в котором <i>NPV</i> = 0.	Капитальные и эксплуатационные затраты, прогноз цен на электроэнергию.
Срок окупаемости (Payback Period)	Период времени, необходимый для возврата первоначальных инвестиций за счет сгенерированных доходов.	Годы	Соотношение первоначальных инвестиций к среднегодовым доходам.	Уровень генерации электроэнергии, тарифы на электроэнергию, эксплуатационные затраты.
Удельные капитальные затраты	Затраты на строительство и ввод в эксплуатацию 1 кВт установленной мощности.	Денежные единицы/к Вт	Отношение общих капитальных затрат к установленной мощности ГЭС.	Тип ГЭС, сложность геологических условий, доступность оборудования и материалов.
Удельные эксплуатационные затраты	Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание 1 кВт·ч произведенной электроэнергии.	Денежные единицы/к Вт·ч	Отношение общих эксплуатационных затрат к объему произведенной электроэнергии.	Уровень автоматизации, квалификация персонала, доступность запасных частей.
Стоимость выработанной электроэнергии (LCOE)	Полная стоимость производства 1 кВт·ч электроэнергии с учетом всех затрат на протяжении всего жизненного цикла проекта.	Денежные единицы/к Вт·ч	Модель, учитывающая все капитальные и эксплуатационные затраты, а также объем произведенной электроэнергии за весь срок эксплуатации.	Капитальные и эксплуатационные затраты, ставка дисконтирования, коэффициент использования установленной мощности.

Общее годовое потребление электроэнергии в составляет 890000 кВт·ч. Микро ГЭС мощностью 5 кВт, способна ежегодно вырабатывать 890000 кВт·ч электроэнергии. Себестоимость электроэнергии, полученной от микро ГЭС, составляет 1,37 сома за кВт·ч, поэтому стоимость всей выработанной энергии равна 1219300 сомов. Использование микро ГЭС позволяет «вытеснить» 30 240 литров дизельного топлива, которое потребовалось бы при работе дизельных генераторов. При средней цене дизельного топлива 40 сомов за літр, денежный эквивалент сэкономленного топлива составляет 1 512 000 сомов. С учётом коммерческой наценки в размере 20% (324253 сомов), итоговая выгода от использования микро ГЭС достигает 1356751 сомов в год. При таких показателях срок окупаемости установки составляет 2 года. Экономическая эффективность микро ГЭС:

$$T_{\text{ок}} = \frac{I_0}{D_{\text{год}}} \quad (4)$$

где, $T_{\text{ок}}$ – срок окупаемости; I_0 – капитальные вложения; $D_{\text{год}}$ – ежегодная экономия и прибыль

Годовая экономия топлива дизельного генератора:

$$E_{\text{топл}} = V_{\text{дт}} \cdot C_{\text{дт}} \quad (5)$$

где, $V_{\text{дт}}$ – срок окупаемости; $C_{\text{дт}}$ – капитальные вложения.

Экономическая эффективность микро ГЭС - это суммарная оценка, включающая окупаемость, чистую прибыль, снижение расходов на топливо и эксплуатацию, а также низкую себестоимость выработанной электроэнергии.

Вывод

Проведённое исследование показало, что использование портативных микро гидроэлектростанций является экономически и экологически целесообразным решением для энергоснабжения отдалённых населённых пунктов. Микро ГЭС обеспечивают стабильную выработку электроэнергии при минимальных эксплуатационных затратах, что особенно важно в условиях высокой стоимости транспортировки топлива и обслуживания дизельных генераторов. Сравнительный анализ различных автономных систем энергоснабжения продемонстрировал, что микро ГЭС обладают наиболее низкой себестоимостью вырабатываемой электроэнергии и способны значительно сократить зависимость потребителей от дизельного топлива. В рассматриваемом примере годовая экономия средств составила более 1,35 млн сомов, а срок окупаемости оборудования - около 2 лет, что подтверждает высокую инвестиционную привлекательность таких установок. Экологические преимущества микро ГЭС также очевидны: они обеспечивают выработку энергии без выбросов вредных веществ, не требуют больших площадей для установки и оказывают минимальное воздействие на природные ресурсы по сравнению с традиционными источниками энергии. Таким образом, внедрение микро гидроэлектростанций является перспективным направлением развития децентрализованной энергетики. Их использование позволяет не только снизить экономические затраты и повысить энергетическую независимость местного населения, но и способствует сохранению окружающей среды. Дальнейшие исследования и совершенствование нормативно-правовой базы позволяют расширить применение микро ГЭС и обеспечить устойчивое развитие отдалённых регионов.

Список литературы:

1. Турдуев И. Э. Использование микро ГЭС условиях пастбищного животноводства // Известия Ошского технологического университета. 2014. № 1. С. 36-38.
2. Мель М. И. Экономическая эффективность использования микро ГЭС // ПИ СФУ. 2014
3. Турдуев И. Э., Осмонов Ы. Д., Абдыразакова С. Б. Перспективы и значение возобновляемых источников энергии // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №4. С. 121-128. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/113/17>

References:

1. Turduev, I. E. (2014). Ispol'zovanie mikro GES usloviyakh pastbishchnogo zhivotnovodstva. *Izvestiya Oshskogo tekhnologicheskogo universiteta*, (1), 36-38. (in Russian).
2. Mel' M. I. (2014). Ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya mikro GES. PI SFU. (in Russian).
3. Turduev, I., Osmonov, Y., & Abdyrazakova, S. (2025). Prospects and Importance of Renewable Energy Sources. *Bulletin of Science and Practice*, 11(4), 121-128. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/113/17>

Поступила в редакцию
24.11.2025 г.

Принята к публикации
30.11.2025 г.

Ссылка для цитирования:

Турдуев И. Э., Осмонов Ы. Д., Асанов Ч. С. Экономическая и экологическая эффективность внедрения переносных микро ГЭС в системе энергоснабжения отдалённых населённых пунктов // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №2. С. 171-178. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/123/19>

Cite as (APA):

Turduev, I., Osmonov, Y., & Asanov, Ch. (2026). Economic and Environmental Efficiency of the Introduction of Portable Micro-Hydroelectric Power Plants in the Energy Supply System of Remote Settlements. *Bulletin of Science and Practice*, 12(2), 171-178. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/123/19>