

Транспортные услуги. Инженерия и инженерное дело

DOI: <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2025-04>

УДК: 621.311.21

МРНТИ: 43.29.00

**Сифонная малая гидроэнергетика как элемент автономной инженерной инфраструктуры в высокогорных районах Казахстана****\*<sup>1</sup>Елемес Д.Е., <sup>1</sup>Есентай Д.Е.**<sup>1</sup>Казахский автомобильно-дорожный институт им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Казахстан\*Автор-корреспондент e-mail: [elemes-darkhan@yandex.ru](mailto:elemes-darkhan@yandex.ru)**Аннотация**

В условиях изменения климата и роста вероятности прорывов моренных озёр в высокогорных районах Заилийского Алатау, расположенных вблизи города Алматы, становится особенно актуальным поиск комплексных решений, способных одновременно обеспечивать безопасность населения и способствовать устойчивому развитию региона. В настоящем исследовании предлагается инновационный подход к использованию сифонных систем для сброса воды из моренных озёр. Такие системы рассматриваются не только как эффективный инструмент предотвращения селевых и наводненных процессов, но и как потенциальный источник автономной и экологически чистой гидроэнергии.

Проведены энергетические расчёты на основе перепада высот порядка 300 метров и расхода воды в диапазоне 5–20 литров в секунду. Полученные данные включают таблицы расчётной мощности, графики зависимости выходной энергии от параметров потока, а также сравнительный анализ с дизельными генераторами по ряду показателей — энергоэффективности, доступности и устойчивости. Обоснована возможность практического применения таких установок для энергоснабжения удалённых объектов, включая метеостанции, пункты видеонаблюдения, системы освещения и телекоммуникационное оборудование.

Предложен пилотный проект, реализуемый совместно с ГУ «Казселезащита» и техническими университетами. Результаты подтверждают высокую перспективность технологии как элемента адаптивной инфраструктуры в условиях высокогорья.

**Ключевые слова:** моренные озёра, сифонный сброс, малая ГЭС, автономная энергетика, селезащита, устойчивое развитие.

Поступила:  
05 мая 2025  
Рецензирование:  
28 мая 2025  
Принята в печать:  
05 июня 2025

<b>Елемес Д.Е.</b>	<b>Информация об авторах:</b> Кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Транспортная техника и организация перевозок», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0009-0004-5645-1481">https://orcid.org/0009-0004-5645-1481</a> . E-mail: <a href="mailto:elemes-darkhan@yandex.ru">elemes-darkhan@yandex.ru</a>
<b>Есентай Д.Е.</b>	PhD, ассоциированный профессор кафедры «Транспортное строительство и производство строительных материалов», КазАДИ им. Л.Б.Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-8443-1398">https://orcid.org/0000-0002-8443-1398</a> . E-mail: <a href="mailto:yessentaydauren@gmail.com">yessentaydauren@gmail.com</a>

Көлік қызметі. Инженерия және инженерлік іс

DOI: <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2025-04>

ӨОЖ: 621.311.21

FTAMP: 43.29.00

## Қазақстанның таулы аймақтарындағы автономды инженерлік инфрақұрылымның құрамдас бөлігі ретінде сифонды шағын гидроэнергетика

<sup>\*1</sup>Елемес Д.Е., <sup>1</sup>Есентай Д.Е.

<sup>1</sup>Л.Б.Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институті, Алматы, Қазақстан

\*Автор-корреспондент e-mail: [elemes-darkhan@yandex.ru](mailto:elemes-darkhan@yandex.ru)

Мақала келді:  
05 мамыр 2025  
Сараптамадан өтті:  
28 мамыр 2025  
Қабылданды:  
05 маусым 2025

### Түйіндеме

Климаттың өзгеруі және Алматы қаласына жақын орналасқан Іле Алатауының биік таулы аймақтарында мореналық көлдердің бұзылу қаупінің артуы жағдайында, өңір қауіпсіздігін қамтамасыз ету мен орнықты дамуға қол жеткізудің кешенді жолдарын іздеу өзекті мәселеге айналады. Осы зерттеуде мореналық көлдерден суды сифонды әдіспен ағызу жүйелерін қолданудың инновациялық тәсілі ұсынылады. Мұндай жүйелер сел мен су тасқыны қауіптерінің алдын алу құралы ретінде ғана емес, сондай-ақ дербес және экологиялық таза гидроэнергия көзі ретінде қарастырылады.

300 метрлік биіктік айырмасы және секундына 5–20 литр су шығыны негізінде энергетикалық есептеулер жүргізілді. Алынған мәліметтерге қуаттылық кестелері, ағын параметрлеріне байланысты энергия шығымы графиктері және дизельді генераторлармен салыстырмалы талдау кіреді. Мұндай қондырғыларды шалғайдағы метеостанциялар, бейнебақылау пункттері, жарықтандыру және телекоммуникация жабдықтарын энергиямен қамту үшін пайдалану мүмкіндігі дәлелденді.

«Қазселденқорғау» ММ және техникалық жоғары оқу орындарымен бірлесіп пилоттық жобаны іске асыру ұсынылады. Зерттеу нәтижелері бұл технологияның таулы аймақтарда бейімделген инфрақұрылымның тиімді бөлігі бола алатынын көрсетті.

**Түйін сөздер:** мореналық көлдер, сифонды ағызу, шағын ГЭС, автономды энергия, селден қорғау, орнықты даму.

Елемес Д.Е.

### Авторлар туралы ақпарат:

Техника ғылымдарының кандидаты, «Көлік технологиясы және тасымалдауды ұйымдастыру» кафедрасының қауымдастырылған профессоры. Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-5645-1481>. E-mail: [elemes-darkhan@yandex.ru](mailto:elemes-darkhan@yandex.ru)

Есентай Д.Е.

PhD, доцент, көлік құрылысы және құрылыс материалдарын өндіру кафедрасы. Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8443-1398>. E-mail: [yessentaydauren@gmail.com](mailto:yessentaydauren@gmail.com)

Transportation services. Engineering

DOI: <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2025-04>

UDC: 621.311.21

IRSTI: 43.29.00

## Siphon-Based Micro Hydropower as a Component of Autonomous Engineering Infrastructure in the Mountainous Regions of Kazakhstan

<sup>\*1</sup>Yelemes D.E., <sup>1</sup>Yessentay D.E.

<sup>1</sup>Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan

\*Corresponding author e-mail: [elemes-darkhan@yandex.ru](mailto:elemes-darkhan@yandex.ru)

Received:

05 May 2025

Peer-reviewed:

28 May 2025

Accepted:

05 June 2025

### Abstract

In the context of climate change and the increasing risk of glacial lake outburst floods (GLOFs) in the high-mountain areas of the Zailiyskiy Alatau near Almaty, the search for integrated solutions that ensure both safety and sustainable development has become especially relevant. This study presents an innovative approach to the use of siphon systems for discharging water from glacial lakes. These systems are considered not only as tools for preventing mudflows and floods, but also as potential sources of autonomous and environmentally friendly hydropower.

Energy calculations were carried out based on a height difference of approximately 300 meters and a water flow rate ranging from 5 to 20 liters per second. The results include power tables, energy output graphs depending on flow parameters, and a comparative analysis with diesel generators in terms of efficiency, availability, and sustainability. The feasibility of using such systems for powering remote meteorological stations, surveillance points, lighting, and telecommunications equipment has been substantiated.

A pilot project is proposed in collaboration with the State Institution "Kazselezashchita" and technical universities. The findings confirm the high potential of this technology as a part of adaptive and resilient infrastructure in mountainous regions.

**Keywords:** moraine lakes, siphon discharge, small hydropower, off-grid energy, mudflow protection, sustainable development.

**Yelemes D.E.**

### Information about authors:

Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department "Transport technology and organization of Transportation", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-5645-1481>. E-mail: [elemes-darkhan@yandex.ru](mailto:elemes-darkhan@yandex.ru)

**Yessentay D.E.**

PhD, Associate Professor, Department of Transport Construction and Production of Building Materials. Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8443-1398>. E-mail: [yessentaydauren@gmail.com](mailto:yessentaydauren@gmail.com)

## Введение

Моренные озёра в высокогорной части Заилийского Алатау, расположенной над городом Алматы, представляют собой один из ключевых факторов селевой опасности в регионе. Повышение температуры в летний период и ускоренное таяние ледников создают угрозу прорывов озёр, что может привести к разрушительным паводкам и значительному ущербу городской и транспортной инфраструктуре [1-3].

С целью предотвращения катастроф специалисты ГУ «Казселезащита» реализуют ежегодные мероприятия по контролируемому понижению уровня воды. Одним из наиболее эффективных и применяемых методов является сифонный сброс - отвод воды по герметичным трубопроводам за счёт гравитационного перепада. Несмотря на широкое применение этой технологии, гидравлический потенциал сбросов остаётся неиспользованным, что представляет собой упущенную возможность для создания автономных систем электроснабжения в труднодоступной горной зоне [4-11].

Использование компактных гидротурбин в сифонных каналах может обеспечить локальное питание телеметрических устройств, метеостанций, камер видеонаблюдения, элементов инфраструктуры при строительстве серпантинных дорог и других объектов Казселезащиты. Подобный подход соответствует принципам устойчивого развития, рационального использования водных ресурсов и децентрализованной энергетики.

Цель исследования - оценка энергетического потенциала сбросных сифонных систем моренных озёр и разработка принципиальной схемы автономной гидроэнергетической установки малой мощности.

## Методы

В ходе исследования использовались расчётно-аналитические и сравнительно-экспертные методы, применяемые в гидроэнергетике малой мощности. Основной акцент сделан на определении энергетического потенциала потока воды, сбрасываемой сифонным способом из моренных озёр, путём применения уравнения мощности падающего потока [5-9]:

$$N = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

где  $N$  - выходная мощность (Вт);  $\eta$  - КПД системы (~0.65 для малых установок);  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup> - плотность воды;  $g=9.81$  м/с<sup>2</sup> - ускорение свободного падения;  $Q$  - расход воды (м<sup>3</sup>/с);  $H$  - напор (м).

В качестве входных параметров были использованы реальные значения, зафиксированные при сбросах воды с озёр №6, №13 в Заилийском Алатау (данные ГУ «Казселезащита» [1-3]). Проведены моделирования при расходах 5, 10, 15 и 20 л/с и перепаде 300 м, с учётом сезонных колебаний температуры и возможного обмерзания элементов.

Для расчёта накопленной энергии за период сброса (сутки, 10 суток) применялась следующая формула:

$$E = N \cdot t$$

где  $E$  - суммарная энергия в кВт·ч,  $N$  - мощность,  $t$  - продолжительность в часах.

Для повышения прикладной значимости исследования также произведено сравнение автономной гидроустановки с альтернативными источниками энергии (в частности, дизель-

генераторной установкой) по ключевым показателям: стоимость топлива, шум, загрязнение, требования к логистике и обслуживанию. Моделирование суточной динамики расхода воды выполнено по типовой схеме суточного таяния ледников в летний период. Данные представлены в виде таблиц и графиков. Также проанализированы потенциальные потребители энергии: метеостанции, системы мониторинга, радиорелейные узлы, временные инженерные базы.

Использованные методы обеспечивают корректность технических обоснований и могут быть применены при проектировании реального пилотного образца автономной гидроэнергетической установки.

## Результаты

В соответствии с описанными методами был проведён комплекс расчётов по оценке энергетического потенциала сифонного сброса воды из моренных озёр. Принят перепад высоты  $H = 300$  м, что соответствует реальным условиям сброса с озёр №6, №13 в Заилийском Алатау (данные [1]). Расход варьировался от 5 до 20 л/с. Расчёты мощности основаны на уравнении Бернулли с учётом КПД преобразования энергии ( $\eta \approx 0,65$ ).

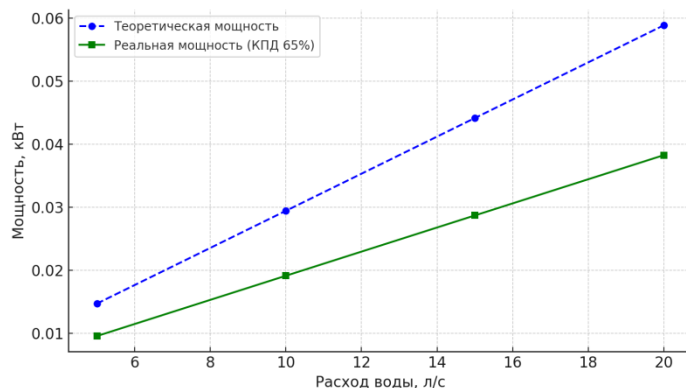
Результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Потенциальная мощность потока воды при различных расходах ( $H = 300$  м)

№	Расход воды, л/с	Напор, м	Теоретическая мощность, кВт	Реальная (КПД 65%), кВт
1	5	300	14,7	9,6
2	10	300	29,4	19,1
3	15	300	44,1	28,7
4	20	300	58,9	38,3

Проект имеет потенциал быть реализован в виде пилотной установки в партнёрстве с ГУ «Казселезащита» и КазАДИ, а также включён в программы международного или национального финансирования. Предполагается дальнейшая разработка опытного образца, его апробация, подготовка патентной заявки и подача на грантовую поддержку в рамках программ по устойчивому развитию, управлению водными ресурсами и климатической адаптации.

На рисунке 1 визуализирована линейная зависимость выходной мощности от расхода воды при фиксированном напоре 300 м. График показывает, что даже при небольших расходах (5–10 л/с) обеспечивается устойчивая генерация энергии, достаточная для питания автономной инфраструктуры.



**Рисунок 1.** Зависимость мощности от расхода воды при напоре 300 м [материалы автора]

Для оценки возможной энергетической ёмкости за период сброса, был рассчитан объем энергии, вырабатываемой при непрерывной работе установки в течение 10 суток (типичная длительность сифонного сброса по данным [3]).

Анализ энергетической ёмкости системы приведен в таблице 2.

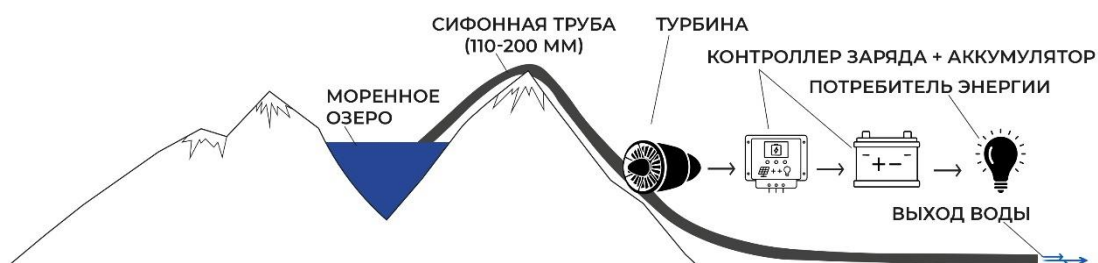
**Таблица 2.** Потенциальная суммарная выработка энергии за 10 суток

Расход, л/с	Реальная мощность, кВт	Энергия за 10 суток, кВт·ч
5	9,6	2 304
10	19,1	4 584
15	28,7	6 888
20	38,3	9 192

Результаты расчётов показали, что при использовании даже низкого расхода воды (5–10 л/с) в течение ограниченного периода можно получать до 2–4 тыс. кВт·ч энергии. Это эквивалентно месячному потреблению электроэнергии для малой автономной станции (или 20–50 камер/датчиков). Таким образом, при пиковом сбросе в дневное время обеспечивается выход на уровень выше 0,5 МВт·ч в сутки, что даёт возможность применения буферной аккумуляции (табл.3).

**Таблица 3.** Моделирование суточной генерации энергии (с учётом суточного расхода)

Час суток	Расход воды, л/с	Мощность, кВт	Энергия, кВт·ч
00:00–06:00	5	9,6	57,6
06:00–12:00	10	19,1	114,6
12:00–18:00	20	38,3	229,8
18:00–24:00	10	19,1	114,6
Итого	—	—	516,6



**Рисунок 2.** Принципиальная схема сифонной малой ГЭС [материалы автора]

Для полноты анализа также были оценены инфраструктурные преимущества, возможности применения и сравнение с традиционными источниками питания, представленные в таблицах 4–6.

Таблица 4 демонстрирует, что сифонная малая ГЭС обладает высоким уровнем автономности и экологической устойчивости при минимальных эксплуатационных затратах.

**Таблица 4.** Преимущества установки

№	Параметр	Гидросистема на сифоне	Примечание
1	Автономность	Полная	Работает без подключения к сети
2	Энергонезависимость	Высокая	Не зависит от топлива и логистики



3	Экологичность	Без выбросов	Нет сжигания топлива, шума и запаха
4	Простота установки	Относительно простая	Установка возможна силами местных служб
5	Затраты на эксплуатацию	Минимальные	Без топлива, низкое техобслуживание
6	Время автономной работы	Пока идёт сброс	Встроенная аккумуляция возможна

Система может быть эффективно использована для электроснабжения удалённых инфраструктурных объектов в горах (табл.5).

**Таблица 5.** Области применения

№	Объект / Система	Пример использования
1	Система мониторинга уровня воды	Сенсоры и камеры на моренных озёрах
2	Освещение	Подъездные дороги, площадки у сбросов
3	Радиосвязь / ретрансляторы	Для горных спасателей и аварийных служб
4	Видеонаблюдение	Камеры фиксации состояния склонов и дорог
5	GPS и геодезия	Питание локальных базовых станций
6	Метеостанции	Станции слежения за температурой, осадками, ветром

В таблице 6 показано сравнительное преимущество сифонной малой ГЭС перед традиционными дизельными установками, особенно в аспектах экологии и автономии.

**Таблица 6.** Сравнение с дизель-генератором

№	Критерий	Сифонная ГЭС	Дизель-генератор
1	Топливо	Не требуется	Требуется доставка
2	Шум	Бесшумная работа	Высокий уровень шума
3	Обслуживание	Минимальное	Регулярное ТО, замена масла
4	Вредные выбросы	Отсутствуют	CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , сажа
5	Стоимость запуска	Умеренная	Дешевле, но с дорогой эксплуатацией
6	Подходящие условия	Вода и перепад высот	Любое место с доставкой топлива

Таким образом, расширенный анализ подтверждает применимость базовых уравнений гидродинамики и энергетики, демонстрируя потенциал устойчивой автономной энергетики, реализуемой без строительства плотин и крупных объектов. Результаты могут быть использованы как инженерное обоснование при разработке пилотного прототипа.

### Обсуждение

Проведённые расчёты показывают, что сифонные сбросы из высокогорных моренных озёр обладают существенным энергетическим потенциалом, который ранее не рассматривался как ресурс для генерации электроэнергии. На основе данных ГУ «Казселезащита» [1], ежегодно в регионе осуществляется до 30 профилактических сифонных сбросов, что открывает возможности для многократного применения маломощных гидроэнергетических систем.

Одним из ключевых преимуществ предложенного решения является его высокая степень адаптации к существующей инфраструктуре. Сифонные трубы уже прокладываются для снижения уровня озёр, а врезка гидротурбины в существующий трубопровод не требует радикального изменения технологии. Подобные решения широко применяются в Непале,

Индии, Бутане и странах Центральной Африки [5], где малые гидроустановки используются в отдалённых горных районах.

В условиях Казахстана дополнительное преимущество заключается в высоком перепаде высот (до 700 м) между уровнем озера и точкой сброса, что значительно увеличивает энергетическую отдачу при минимальных расходах. Установка турбины мощностью 5–10 кВт позволяет питать автономные комплексы мониторинга, видеонаблюдения, системы телеметрии, освещения и связи без привлечения сетевого электроснабжения.

Потенциальные ограничения и риски. Несмотря на очевидные преимущества, существуют факторы, которые необходимо учитывать:

- Сезонность использования - сбросы воды осуществляются в летне-осенний период, что ограничивает период генерации энергии;
- Обледенение и загрязнение воды - при раннем или позднем сбросе возможны технические сбои, связанные с замерзанием частей трубопровода;
- Необходимость обслуживания - даже при простоте системы, требуется периодическая проверка турбины и аккумуляторов, особенно в условиях гор;
- Ограниченный объем воды - невозможность круглогодичной эксплуатации делает систему вспомогательной, а не основной.

Тем не менее, подобные установки могут стать незаменимым элементом временной инфраструктуры: при строительстве дорог к моренным озёрам, обслуживании постов Казселезащиты, организации временных лагерей геодезистов, гидрологов и экспедиций. Более того, разработка и внедрение подобной системы позволит повысить технологический имидж КазАДИ и других профильных учреждений, продемонстрировав готовность к инновациям на стыке экологии, энергетики и безопасности.

В контексте международной практики проект соответствует рекомендациям UNIDO (*United Nations Industrial Development Organization / Организация Объединённых Наций по промышленному развитию* - специализированное учреждение ООН, содействующее индустриализации развивающихся стран и устойчивому промышленному развитию) и UNEP (*United Nations Environment Programme / Программа ООН по окружающей среде* - основная организация системы ООН, координирующая деятельность в области охраны окружающей среды, устойчивого развития и климатической адаптации) по внедрению малой и микрогидроэнергетики в труднодоступных территориях и может быть заявлен в качестве пилотного в рамках программ по устойчивому развитию и снижению климатических рисков.

Таким образом, научное обоснование проекта опирается на расчётный потенциал, международный опыт и региональную целесообразность. Внедрение даже 2–3 пилотных установок может дать необходимую апробацию, базу для патентования и отправную точку для получения грантового финансирования.

## Выводы

Проведённое исследование подтвердило возможность использования сифонных сбросов из высокогорных моренных озёр в качестве источника автономной гидроэнергии. Расчётные данные показали, что даже при минимальных расходах воды и ограниченном времени сброса можно вырабатывать до 9 000 кВт·ч электроэнергии, что делает установку экономически и технически целесообразной.

Ключевые выводы:

1. Энергетический потенциал сифонного сброса воды при напоре 300 м и расходе 10–20 л/с позволяет получать мощность от 19 до 38 кВт, что достаточно для питания автономных объектов.



2. Установка малой гидротурбины не требует изменений в существующих методах сброса и может быть интегрирована в уже применяемые сифонные системы.

3. Предложенная система обладает рядом преимуществ: автономность, энергонезависимость, низкие эксплуатационные затраты, экологичность.

4. Возможные области применения включают: системы мониторинга, освещения, видеонаблюдения, радиосвязи, питание геодезических и метеорологических станций.

5. Система может быть особенно полезной в рамках текущих и планируемых проектов по строительству и обслуживанию серпантинных дорог к моренным озёрам, реализуемых ГУ «Казселезащита».

Проект имеет потенциал быть реализован в виде пилотной установки в партнёрстве с ГУ «Казселезащита» и КазАДИ, а также включён в программы международного или национального финансирования. Предполагается дальнейшая разработка опытного образца, его апробация, подготовка патентной заявки и подача на грантовую поддержку в рамках программ по устойчивому развитию, управлению водными ресурсами и климатической адаптации.

**Конфликт интересов.** Корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

*Ссылка на данную статью:* Елемес ДЕ, Есентай Д.Е. Сифонная малая гидроэнергетика как элемент автономной инженерной инфраструктуры в высокогорных районах Казахстана. Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyryn Khabarshysy. 2025; 2(10):38-48. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2025-04>

*Cite this article as:* Yelemes DE, Yessentay DE. Sifonnaya malaya gidroenergetika kak element avtonomnoj inzhenernoj infrastruktury v vysokogornyh rajonah Kazahstana [Siphon-Based Micro Hydropower as a Component of Autonomous Engineering Infrastructure in the Mountainous Regions of Kazakhstan]. Vestnik Kazahskogo avtomobil'no-dorozhnogo institute = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutyryn Khabarshysy. 2025; 2(10):38-48. (In Russ.) <https://doi.org/10.63377/3005-4966.2-2025-04>

## Литература

- [1] Бекенов К.А., Касенов М.К. Селевая безопасность, 50 лет деятельности Казселезащиты: итоги, эффективность, перспективы. 1973-2023 гг. Алматы: Zialy baspasy. 2023, 208.
- [2] Яфизова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. Алматы. 2007, 158.
- [3] Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Баймолдаев Т.А., Киренская Т.Л., Степанов Б.С. Селевые явления Юго-Восточного Казахстана. Алматы, Институт географии. 2018.
- [4] Головин А.А., Солодухина О.И., Пьяникова Э.А. Оценка потенциала и перспектив использования возобновляемых источников энергии в целях диверсификации электроснабжения. Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2020, 1.
- [5] Бараков К.В. Анализ и методика оценки параметров малых ГЭС. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург. 2005.
- [6] Васильев Ю.С., Сидоренко Г.И., Фролов В.В. Методика обоснования параметров малых гидроэлектростанций. Наука и образование. 2012; 76-84.
- [7] Гурьянов Д.А., Ланкин К.А., Тимербаев Н.Ф. Анализ современного состояния технологий эксплуатации малых ГЭС. Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020; 4 (48): 73–84.
- [8] Кожевников Е.Е., Вахрушев А.С. Использование гидроэнергетического потенциала стока рек горнозаводской зоны для развития гидроэнергетики Челябинской области. Вестник ЮУГУ. Серия: Энергетика. 2021; 3: 76–82.
- [9] Кожевников Е.Е. Разработка микрогидроэлектростанций для малых рек горнозаводской зоны Челябинской области. Вестник ЮУГУ. Серия: Энергетика. 2022; 1: 5–11.

- [10] Архипов Р.О., Харитонов М.С. Выбор турбин малых гидроэлектростанций на основе анализа параметров водотока. Вестник молодежной науки. 2018; 2 (14): 12-20.
- [11] Расулов С., Анушаи М. Основы технико-экономического обоснования проектирования и строительства малых ГЭС. Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017; 4 (40): 134–144.
- [12] Информационный бюллетень «Вода, энергетика, продовольствие, климат, экосистемы стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии». Научно-информационный центр МКБК Центральной Азии, 2-6.12.2024г.
- [13] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Small hydropower for sustainable development. Vienna, UNIDO. 2020.

## References

- [1] Bekenov KA, Kasenov MK. Selevaya bezopasnost', 50 let deyatel'nosti Kazselezashchity: itogi, effektivnost', perspektivy. 1973–2023 gg [Mudflow safety, 50 years of activity of Kazselezashchity: results, efficiency, prospects. 1973-2023]. Almaty: Zialy Baspasy. 2023, 208. (in Russ.).
- [2] Yafizova RK. Priroda seley Zailiyskogo Alatau. Problemy adaptatsii [The nature of the mudflows of the Zailiysky Alatau. Problems of adaptation]. Almaty. 2007, 158. (in Russ.).
- [3] Medeyu AR, Blagoveshchenskiy VP, Baymoldayev TA, Kirenskaya TL, Stepanov BS. Selevye yavleniya Yugo-Vostochnogo Kazakhstana [Mudflows in South-East Kazakhstan]. Almaty: Institut geografii. 2018. (in Russ.).
- [4] Golovin AA, Solodukhina OI, Pyanikova EA. Otsenka potentsiala i perspektiv ispol'zovaniya vozobnovlyаемых источников энергии v tselyakh diversifikatsii elektrosnabzheniya [Assessment of the potential and prospects for the use of renewable energy sources for the purpose of diversification of electricity supply]. Internet-journal "Otkhody i resursy". 2020, 7, 1. (in Russ.).
- [5] Barakov KV. Analiz i metodika otsenki parametrov malykh GES [Analysis and methodology for assessing the parameters of small hydroelectric power plants]. PhD Thesis in Technical Sciences. Saint Petersburg. 2005. (in Russ.).
- [6] Vasiliev YS, Sidorenko GI, Frolov VV. Metodika obosnovaniya parametrov malykh gidroelektrostantsiy [Методика обоснования параметров малых гидроэлектростанций]. Nauka i obrazovanie = Science and education. 2012; 2-1: 76–84. (in Russ.).
- [7] Guryanov DA, Lankin KA, Timerbaev NF. Analiz sovremennogo sostoyaniya tekhnologiy ekspluatatsii malykh GES [Analysis of the current state of small hydroelectric power station operation technologies]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta = Bulletin of Kazan State Power Engineering University. 2020; 12, 4 (48): 73–84. (in Russ.).
- [8] Kozhevnikov EE, Vakhrushev AS. Ispol'zovanie gidroenergeticheskogo potentsiala stoka rek gornozavodskoy zony dlya razvitiya gidroenergetiki Chelyabinskoy oblasti [Use of hydropower potential of river flow in mining zone for development of hydropower in Chelyabinsk region]. Vestnik YUUrGU = SUSU Bulletin. Seriya: Energetika. 2021; 21, 3: 76–82. (in Russ.).
- [9] Kozhevnikov EE. Razrabotka mikro-gidroelektrostantsiy dlya malykh rek gornozavodskoy zony Chelyabinskoy oblasti [Development of micro hydroelectric power plants for small rivers of the mining zone of the Chelyabinsk region]. Vestnik YUUrGU = SUSU Bulletin. Seriya: Energetika. 2022; 22, 1: 5–11. (in Russ.).
- [10] Arkhipov RO, Kharitonov MS. Vybora turbin malykh gidroelektrostantsiy na osnove analiza parametrov vodotoka [Selection of turbines for small hydroelectric power plants based on analysis of water flow parameters]. Vestnik molodezhnoy nauki = Herald of Youth Science. 2018, 2 (14), 12. (in Russ.).

- 
- [11]Rasulov S, Anushai M. Osnovy tekhniko-ekonomicheskogo obosnovaniya proektirovaniya i stroitel'stva malykh GES [Fundamentals of feasibility study for the design and construction of small hydroelectric power plants]. Politekhnikeskiiy vestnik = Political herald. Seriya: Intellect. Innovatsii. Investitsii. 2017; 2, 4 (40): 134–144. (in Russ.).
- [12]Informatsionnyy byulleten': Voda, energetika, prodovol'stvie, klimat, ekosistemy stran Vostochnoy Evropy, Kavkaza i Tsentral'noy Azii [Fact sheet "Water, Energy, Food, Climate, Ecosystems of Eastern Europe, Caucasus and Central Asia"]. Nauchno-informatsionnyy tsentr MKVK Tsentral'noy Azii, 2–6 December 2024. (in Russ.).
- [13]United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Small Hydropower for Sustainable Development. Vienna: UNIDO, 2020.