

Оригинальная статья

УДК 627.8:621.311.21

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-91-98>

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НИЗКОНАПОРНЫХ МИКРО-ГЭС В СОСТАВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

А.П. Крылов

ООО «Центр Судебных Экспертиз и Строительных Исследований «Ригет»»; г. Москва, Российская Федерация
Riget-expert@yandex.ru

Аннотация. Цель исследований – комплексный анализ современного состояния, ключевых проблем и перспективных направлений развития низконапорной микрогидроэнергетики как надежного источника энергии. Представлен обзор современных технологических решений включая компоновочные схемы интеграции в существующие гидроузлы, модульное контейнерное исполнение и турбинное оборудование (ортогональные, винтовые, роторные и геликоидные турбины). На примере натурных испытаний отечественной разработки – микро-ГЭС с ортогональной турбиной на Хоробровском гидроузле – показаны пути преодоления технических барьеров и дальнейшие перспективы развития данной сферы альтернативной энергетики. Основные задачи проведенных исследований заключаются в сравнительном анализе различных типов турбин по ключевым параметрам. Представлено обобщение опыта натурных испытаний отечественной разработки – микро-ГЭС с ортогональной турбиной на Хоробровском гидроузле включая оценку ее энергетической эффективности, технологичности монтажа и пригодности для автономной работы. Проведен комплексный сравнительный анализ всех перспективных типов турбин для низконапорных условий с учетом как традиционных параметров (КПД, напор), так и критически важных для практической реализации факторов: скорости монтажа, стоимости интеграции в существующую инфраструктуру и пригодности для работы в автономном режиме. Сделан вывод о высоком потенциале низконапорной микрогидроэнергетики для обеспечения энергетической безопасности и достижения целей низкоуглеродного развития.

Ключевые слова: микро-ГЭС, сифонный водоприемник, ортогональная турбина, микрогидроэнергетика, низконапорная гидроэнергетика, энергодефицит, децентрализованное энергоснабжение, энергетическая безопасность, удаленные территории, гидротехническое строительство

Для цитирования: Крылов А.П. Перспективы развития низконапорных микро-ГЭС в составе гидротехнических сооружений. Природообустройство. 2026;Т.19(3):91-98.
<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-91-98>

Scientific article

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF LOW-HEAD MICRO-HYDROELECTRIC POWER PLANTS AS PART OF HYDRAULIC STRUCTURES

A.P. Krylov

Center for Forensic Expertise and Construction Research “Riget” LLC; Moscow, Russian Federation
Riget-expert@yandex.ru

Abstract. The article examines the role and prospects of low-head micro-hydropower (up to 100 kW) as a sustainable and reliable energy source for decentralized power supply. An overview of modern technological solutions is presented, including integration schemes for existing hydraulic structures, modular container-based designs, and a range of turbine equipment (orthogonal, screw, rotary, and helical turbines). Using the example of field tests of a domestic development – a micro-hydro power plant with an orthogonal turbine at the Khorobrovsky hydropower facility – pathways to overcoming technical barriers and further prospects for the development of this alternative energy sector are demonstrated. The main objectives of the conducted research are to perform a comparative analysis of various turbine types based on key parameters and to generalize the experience from field tests of the domestic micro-hydro power plant with an orthogonal turbine at the Khorobrovsky facility. This includes assessing its energy efficiency,

installation feasibility, and suitability for autonomous operation. A comprehensive comparative analysis of all prospective turbine types for low-head conditions has been conducted, taking into account both traditional parameters (efficiency, head) and factors critical for practical implementation – installation speed, cost of integration into existing infrastructure, and suitability for autonomous operation. It is concluded that low-head micro-hydropower holds significant potential for ensuring energy security in remote areas and achieving low-carbon development goals.

Keywords: micro hydroelectric power plant, siphon water intake, orthogonal turbine, micro hydropower, micro hydroelectric power plant, low-head hydropower, energy shortage, decentralized energy supply, energy security, remote areas, hydraulic engineering

For citation: Krylov A.P. Prospects for the development of low-head micro-hydroelectric power plants as part of hydraulic structures. *Prirodobustroystvo*. 2026;19(3):91-98. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2026-3-91-98>

Введение. Глобальные вызовы энергетической безопасности усугубляются наличием обширных территорий, испытывающих энергодефицит [1]. Эта проблема характерна для удаленных поселений, горных и северных районов, островных территорий, а также для многих сельскохозяйственных и промышленных объектов, где протяженность и значительный износ сетей делают централизованное электроснабжение экономически нецелесообразным, технически сложным и ненадежным. В таких условиях энергодефицит становится ключевым сдерживающим фактором социально-экономического развития.

Низконапорная микрогидроэнергетика, использующая энергию малых рек, ручьев, ирригационных каналов и техногенных водотоков, представляет собой один из возможных ответов на вызовы энергодефицита в локализованных условиях. В отличие от солнечных и ветровых источников выработка микро-ГЭС отличается высокой предсказуемостью и постоянством, обеспечивая базовую нагрузку локальной энергосистемы [2]. Микрогидроэнергетика (установленная мощность до 100 кВт) обладает уникальными преимуществами: высокая предсказуемость и постоянство выработки (по сравнению с солнечной и ветровой энергетикой), значительный ресурсный потенциал на малых реках и существующих гидротехнических сооружениях неэнергетического назначения, а также высокий показатель энергетической рентабельности (EROI) [1-4].

В качестве объектов, на которых имеется техническая возможность внедрить микро-ГЭС, можно выделить существующие гидроузлы различного целевого назначения, имеющие плотины с соответствующим напором (от 1,5 до 10 м). Это могут быть плотины на равнинных реках, водосбросные сооружения, водоемы-охладители тепловых электростанций, водоочистные сооружения городов, ирригационные каналы и т.д. [5, 6].

В случае отсутствия гидротехнических сооружений, обеспечивающих требуемые напоры,

организация напорного фронта может быть обеспечена использованием небольшой деривации или организацией быстровозводимых подпорных сооружений из местных материалов (каменно-набросные плотины с переливом воды через гребень или грунтовые плотины с водосбросными сооружениями (рис. 1).

К наиболее перспективным регионам для развития малой гидроэнергетики в РФ относятся Кавказ, Горный Алтай, Тыва, горные районы Бурятии и Камчатка. Именно в этих районах имеется большое количество рек со скоростью течения свыше 2 м/с. Значительная часть горных рек не замерзает в зимнее время, что позволяет использовать микро-ГЭС практически круглогодично, существенно снижая себестоимость произведенной электроэнергии. В таблице 1 представлены теоретический и технический гидроэнергетические потенциалы.

Данные по диапазонам напоров и расходов, максимальному КПД, сложности монтажа и относительным стоимостным показателям обобщены на основании источников [1, 2, 7, 8, 10, 12].

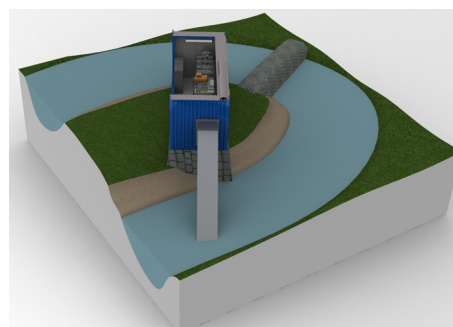


Рис. 1. Пример организации микро-ГЭС в контейнерном исполнении с организацией быстровозводимого подпорного сооружения из местных материалов

Fig. 1. An example of the organization of a containerized Micro-HPP with the organization of a prefabricated retaining structure made of local materials

Таблица 1. Потенциал малых и микро-ГЭС в РФ (млрд кВт·ч/год)

Table 1. Potential of small and micro-hydropower plants in the Russian Federation (billion kWh/year)

Федеральный округ / Federal District	Теоретический потенциал (млрд кВт·ч/год) / Theoretical potential (billion kWh / year)	Технический потенциал (млрд кВт·ч/год) / Technical potential (billion kWh / year)
Северо-Западный / North-West	48,6	15,1
Центральный / Central	7,6	2,9
Приволжский / Privolzhsky	35	11,4
Южный / Yuzhny	50,1	15,5
Уральский / Ural	42,6	13,2
Сибирский / Siberian	469,7	153
Дальневосточный / Far Eastern	452	146
ИТОГО по России / TOTAL for Russia	1105,6	357,1

На основании оценки гидроэнергетического потенциала существующих гидротехнических сооружений неэнергетического назначения можно сделать вывод о том, что имеется техническая возможность освоения неиспользуемого гидропотенциала, сосредоточенного в многочисленных малых плотинах и гидроузлах, изначально сооруженных для решения задач, не связанных с генерацией электроэнергии. Речь идет о гидротехнических объектах, функционирующих в сельскохозяйственных и иных районах в целях ирригации, питьевого водоснабжения или регулирования паводкового стока [1, 2, 7].

Ключевым экономическим преимуществом данного направления является существенное сокращение капитальных затрат по сравнению со строительством гидроэлектростанций (ГЭС) «с нуля». Доля затрат на возведение плотины и сопутствующие общестроительные работы может достигать 60% от общей стоимости нового гидроэнергетического проекта [1, 2]. Следовательно, техническое переоснащение существующих гидроузлов с целью выработки электроэнергии, при условии его технической осуществимости, требует значительно меньших финансовых вложений и сроков реализации, поскольку основные гидротехнические сооружения (подпорная плотина, водохранилище, водосбросы) уже построены и эксплуатируются.

Таким образом, данное направление представляет собой высокорентабельный путь наращивания генерирующих мощностей на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Цель исследований: комплексный анализ современного состояния, ключевых проблем и перспективных направлений развития низконапорной микрогидроэнергетики как надежного источника энергии; обобщение опыта практической реализации и натурных испытаний микро-ГЭС для оценки эффективности предложенных решений; формулирование

научно-технических перспектив развития отрасли, направленных на повышение надежности и экономической целесообразности микро-ГЭС.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводились с использованием следующих материалов и методов.

– Аналитический обзор. Систематизация и анализ данных из научных публикаций, отчетов технической документации ведущих мировых и российских производителей турбин.

– Сравнительный анализ. Сопоставление различных типов турбин (ортогональная, Архимедов винт, роторная, пропеллерная, геликоидная) по ключевым параметрам: рабочий диапазон напоров/расходов, КПД, стоимость, экологичность, технологичность и быстрота монтажа.

– Детальное изучение опыта проектирования, монтажа и натурных испытаний опытной микро-ГЭС контейнерного типа с ортогональной турбиной.

На рисунке 2 представлена компоновочная схема рабочего агрегата турбин семейства «СК» закрытого типа для реализации проектов микро-ГЭС.

Технически турбины семейства СК могут работать в широком диапазоне напоров и расходов, но в силу того, что турбины других типов более эффективны при более высоких напорах и турбины СК относительно дороги, они являются предпочтительным выбором для участков с менее низким напором и высокими расходами. Обычно они используются на объектах с напором от 5 до 20 м и пиковым расходом от 5 до 30 м³/с. При этом минимальный диаметр ротора составляет 600 мм [1]. Несмотря на высокий коэффициент полезного действия (КПД) в своем оптимальном рабочем диапазоне, применение турбин типа СК (Semi-Karlan closed) для низконапорных проектов микро-ГЭС (напоры менее 5-6 м) сопряжено с рядом существенных технологических и экономических ограничений, а также

со снижением КПД [8], ставящих под вопрос их целесообразность в данном сегменте.

На рисунке 3 представлен пример реализации малой энергетической установки с использованием турбины Архимеда.

Турбины Архимедова винта также эффективны при очень низких напорах (1.5-5 м) и отличаются высокой надежностью, устойчивостью к загрязнениям и экологической безопасностью [7].

Важным преимуществом ортогональных турбин, которые также могут успешно

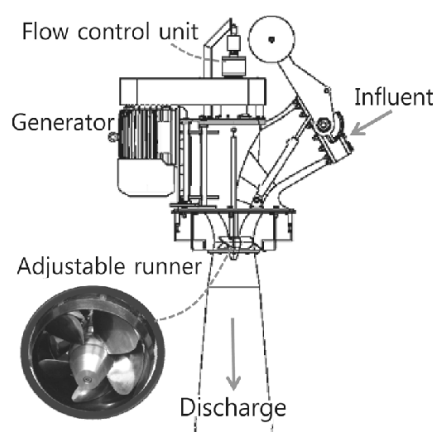


Рис. 2. Компонент турбины СК (Semi-Kaplan closed):

Flow control unit – регулируемый гидравлический затвор;
Generator – электрический генератор;
Influent – водоподводящий тракт;
Adjustable runner – турбина;
Discharge – водоотводящий тракт

Fig. 2. Turbine layout SK (Semi-Kaplan closed)

использоваться в низконапорной микрогидроэнергетике, является работа на низких напорах по сравнению с осевыми турбинами (рис. 5, 6).

Опыт натурных испытаний отечественной разработки на Хоробровском МГЭС [2, 5, 6] доказал принципиальную работоспособность и конкурентоспособность подхода, основанного на комбинации ортогональной турбины, сифонного водовода и контейнерного исполнения. Достигнутые показатели (КПД 55% при реальном напоре 2.1-3.0 м) являются хорошей базой для дальнейшей оптимизации и практической реализации [2, 6].

В качестве альтернативы модернизированной ортогональной турбине в аналогичных условиях может выступать геликоидная турбина Горлова, которая показала хорошие характеристики в качестве свободнопоточной турбины [9]. Ниже



Рис. 3. Пример реализации малой энергетической установки с использованием турбины Архимеда

Fig. 3. Example of the implementation of a small power plant using an Archimedes turbine

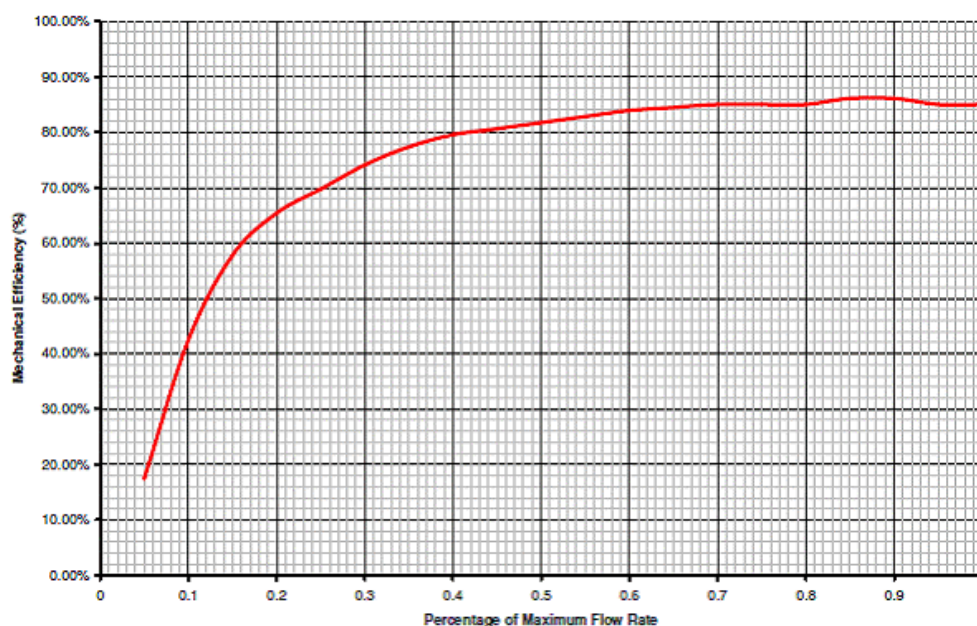


Рис. 4. График КПД ($\eta = f(Q)$) для турбины Архимеда

Fig. 4. Graph of efficiency (for the Archimedes turbine)

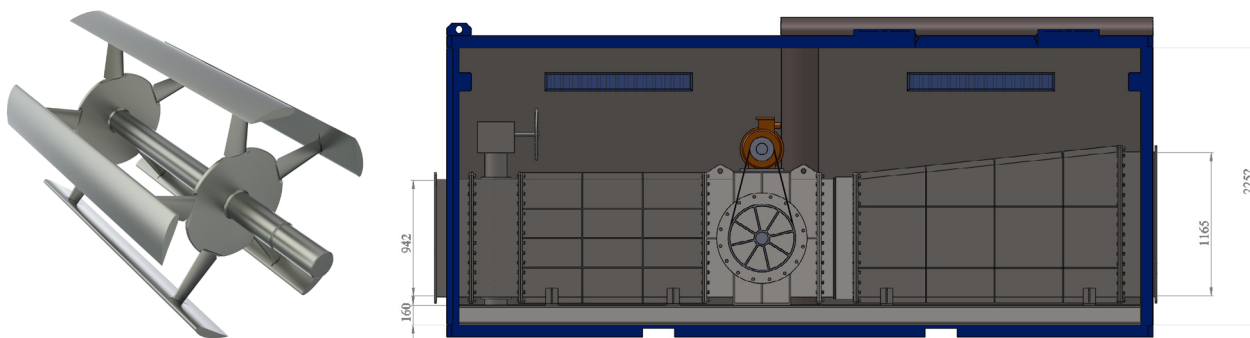


Рис. 5, 6. 3D-модель ортогональной турбины. Пример контейнерного исполнения микро-ГЭС с ортогональной турбиной

Fig. 6. An example of a containerized version of a micro-hydroelectric power plant with an orthogonal turbine

приведены схематичные изображения геликоидной турбины Горлова.

Ортогональные турбины с направляющими аппаратами хорошо показали себя в микро-ГЭС благодаря способности эффективно работать при низких напорах (2-6 м). Однако их эффективность снижается при нестабильных расходах и пульсациях потока. Турбина Горлова, обладающая спиральной геометрией лопастей, демонстрирует устойчивую работу в широком диапазоне режимов [10], что делает ее перспективной альтернативой в напорных системах Микро-ГЭС.

Геликоидная турбина Горлова в сочетании с пристеночным направляющим аппаратом может обладать конкурентоспособным потенциалом в качестве напорной турбины для микро-ГЭС. Ее адаптивность, устойчивость к нестационарным потокам и сравнительная простота конструкции открывают новые возможности для малой гидроэнергетики, особенно в условиях децентрализованного энергоснабжения.

Сравнение технологий для низконапорной микрогидроэнергетики приведено в таблице 2.

Данные по диапазонам напоров и расходов, максимальному КПД, сложности монтажа и относительным стоимостным показателям

обобщены на основании источников [1, 2, 7, 8, 10, 12].

Результаты и их обсуждение. Таким образом, для задач обеспечения надежного, автономного и быстро внедряемого энергоснабжения на базе низконапорных микро-ГЭС модернизированная ортогональная турбина представляет собой одно из наиболее сбалансированных и перспективных решений. Турбина Горлова («GHT») открывает альтернативные возможности, особенно ценные в условиях нестационарных, переменных или ультранизких напоров, где традиционные решения демонстрируют падение эффективности.

В условиях равнинных малых рек, как правило, необходимо создание небольших подпорных сооружений с напором до нескольких метров. Это могут быть, например, каменно-набросные плотины с возможностью перелива воды через гребень плотины или грунтовые плотины из местных материалов с водосбросными сооружениями и т.п. На реках с достаточно большими уклонами для создания напора возможна реализация коротких деривационных схем с отводом воды из основного русла реки. Прокладку напорного трубопровода для быстро возводимых низконапорных микро-ГЭС целесообразно

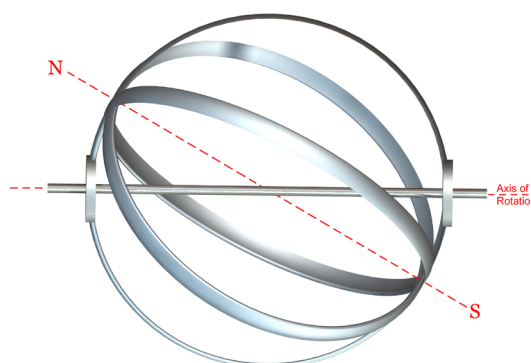
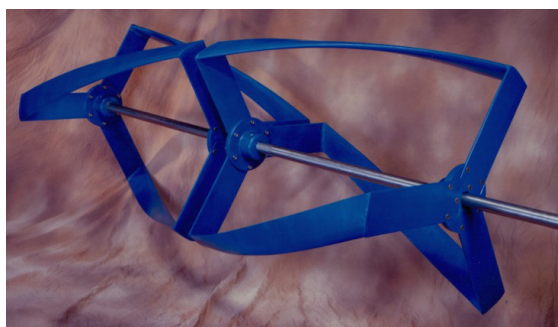


Рис. 7, 8. Различные конфигурации геликоидной турбины Горлова

Fig. 7-8. Different configurations of the Gorlov helicoine turbine

**Таблица 2. Краткая характеристика технологий
для низконапорной микрогидроэнергетики**

Table 2. Brief description of technologies for low-head micro-hydropower

Параметр / Parameter	Турбина / Turbine СК (Semi-Kaplan closed)	Турбина Архимеда / Archimedes turbine	Ортогональная тур- бина с пристеночным направляющим ап- паратом (модернизи- рованная) / Orthogonal turbine with wall-mounted guide vane (upgraded)	Геликоидная турбина Горлова с пристеноч- ным направляющим аппаратом / Helical Gorlov turbine with a wall-mounted guide vane
5-20 (мини- мально эф- фективный от 5 м) / 5-20 (minimum effective from 5 m)	1.5-5	1.5-8	1.5-8	
1.5-30+	0.5-15	0.5-5	0.5-5	
85-90	70-80	55-70	50-60	
Требует бе- тонных камер, сложного монтажа / Requires concrete chambers, com- plex installation	Требует мас- сивных опор, большого пространства / Requires massive supports, a lot of space	Модульная, контейнерная установка, бы- стрый монтаж / Modular, contain- erized installation, quick installation	Модульная, контей- нерная установка, быстрый монтаж / Modular, contain- erized installation, quick installation	
Стоимость / Cost	Высокая (доро- гое изготовле- ние, монтаж) / High (expensive manufacturing, installation)	Высокая (метал- лоемкость, круп- ногабаритность) / High (metal intensi- ty, large dimensions)	Умеренная (про- стота конструкции, модульность) / Moderate (simplicity of design, modularity)	Умеренная (конструк- ция более сложная чем ортогональная турбина) / Moderate (de- sign more complex than orthogonal turbine)

осуществлять с использованием небольших вакуумных насосов для первоначального запуска установки [2].

Без создания сосредоточенного перепада уровня воды на небольших равнинных реках со средними скоростями течения не выше 2 м/с за счет только лишь скоростного напора невозможно получение на свободно-поточных установках значительных мощностей. Поэтому в качестве объектов для разрабатываемого ряда гидроагрегатов на равнинных реках следует рассматривать также новые или старые существующие водохранилища различного целевого назначения, имеющие плотины с напорами до 3-7 м, и водосбросные сооружения, на которых отсутствуют микро-ГЭС или которые существовали ранее и требуется их восстановление. При этом возможна работа как на локального потребителя, так и на сеть [11]. В Европейской части России особенно много подобных объектов.

В России имеется потребность в микро-ГЭС, являясь экономически и технически целесообразной. Она определяется ключевыми факторами: наличием масштабной неиспользуемой гидротехнической инфраструктуры и растущим запросом потребителей на распределенную и рентабельную генерацию. Удовлетворение этой

потребности требует формирования программы развития низконапорной микрогидроэнергетики, включающей в себя развитие новых технологий в реализации эффективных низконапорных микро-ГЭС. Реализация такого подхода позволит превратить микро-ГЭС в массовый инструмент обеспечения энергетической устойчивости и экономического роста страны.

Схемы микро-ГЭС с ортогональными турбинами такие же, как общеизвестные схемы, применяемые в гидроэнергетическом строительстве с прямоточными турбинными камерами осевых турбин, – например, малыми рукавными ГЭС. Отличие низконапорных микро-ГЭС по сравнению с рукавными ГЭС с напорами от 10 м и выше заключается в том, что при низких напорах с ортогональными турбинами для получения необходимых мощностей требуются достаточно большие расходы воды.

Потребляемые расходы воды при расчетном напоре 2 м, с учетом КПД энергоблока, составляют для мощностей ряда 10, 30 и 60 кВт приблизительно 0,9; 2,7; 5,4 м³/с соответственно. Скорость потока в подводящем трубопроводе должна быть не более 2,0 ÷ 2,5 м/с. При более высоких скоростях течения существенно увеличиваются потери напора на входе в трубопровод,

изгибах, расширениях и сужениях трубопровода, на задвижках и т.п., а также потери по длине [9, 10, 12]. При таком подходе достигается достаточно высокая степень унификации основных элементов типового ряда микро-ГЭС и удовлетворяются требования технического задания по условиям доставки и монтажа в труднодоступные районы с применением небольших грузоподъемных механизмов.

Выводы

Комплексный анализ технических решений для низконапорной микро-гидроэнергетики подтвердил ее значительный потенциал в качестве надежного источника для децентрализованного энергоснабжения. Ключевой проблемой отрасли остается эффективное преобразование энергии при переменных и ультранизких напорах (менее 3 м), когда классические гидроагрегаты демонстрируют падение КПД [12, 13].

Возникает новая инновационная ниша гидроэнергетики, где используются портативные ГЭС с ортогональной турбиной, с разным диапазоном мощностей, разными компоновочными решениями: деривационная, на существующих гидроузлах, контейнерная, бесконтейнерная. Главным в данной концепции развития является

унифицированность всех деталей, узлов и возможность быстрого монтажа и демонтажа. Это делает малую гидроэнергетику более конкурентоспособной для дальнейшего развития. Натурные испытания микро-ГЭС с ортогональной турбиной на Хоробровском гидроузле доказали принципиальную работоспособность и конкурентоспособность подхода [2, 3].

Ключевым достижением является подтверждение возможности модульной интеграции энергоблока в существующий гидроузел в течение нескольких дней, что кардинально снижает капитальные затраты и сроки реализации проектов по сравнению с традиционным строительством. Использование в качестве рабочего гидроагрегата геликоидной турбины Горлова в качестве альтернативы представляет значительный интерес и требует дальнейших натурных испытаний.

Низконапорная микрогидроэнергетика обладает значительным потенциалом для превращения в надежный экономичный и экологичный источник базовой энергии для значительного количества удаленных и изолированных объектов по всей России [12]. Это делает ее конкурентоспособной в качестве возобновляемого источника энергии [13, 14].

Список использованных источников

1. Kougias, Ioannis & Aggidis, George & Avellan, François & Deniz, Sabri & Lundin, Urban & Moro, Alberto & Muntean, Sebastian & Novara, Daniele & Pérez-Díaz, Juan & Quaranta, Emanuele & Schild, Philippe & Theodossiou, Nicolaos. (2019). Analysis of emerging technologies in the hydropower sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 113. 10.1016/j.rser.2019.109257
2. Крылов А.П., Бакштанин А.М. Новые концепции в развитии микро- гидроэнергетики. Гидравлика в напорных водоводах микро-ГЭС // Природообустройство. 2017. № 5. С. 8-12.
3. Бакштанин А.М., Крылов А.П., Беглярова Э.С. Инвестиционная привлекательность приливной энергетики и факторы, определяющие ее развитие в мире // Природообустройство. 2021. № 2. С. 50-57. EDN: HLHMMF
4. Зубарев М.А. Экономическая целесообразность использования микро-ГЭС в различных регионах России // Экономика и парадигма нового времени. 2025. № 8 (41).
5. Бакштанин А.М., Крылов А.П., Беглярова Э.С. Экспериментальные исследования модельной и рабочей установки портативной микро-ГЭС с сифонным водоподводом // Природообустройство. 2020. № 3. С. 99-107. EDN: HAONND
6. Экспериментальные исследования микро-ГЭС с сифонным водоподводом // Гидротехническое строительство. 2021. № 3. С. 22-26. EDN: XYIEHY
7. Aggidis G.A., Luchinskaya E., Rothschild R., Howard D.C. The costs of small-scale hydro power production: Impact on the development of existing potential, *Renewable Energy*. 2010. Vol. 35, Iss. 12. Pp. 2632-2638. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.008>
8. Shaun Waters, George A. Aggidis, Over 2000 years in review: Revival of the Archimedes Screw from Pump to Turbine,

References

1. Kougias, Ioannis & Aggidis, George & Avellan, François & Deniz, Sabri & Lundin, Urban & Moro, Alberto & Muntean, Sebastian & Novara, Daniele & Pérez-Díaz, Juan & Quaranta, Emanuele & Schild, Philippe & Theodossiou, Nicolaos. (2019). Analysis of emerging technologies in the hydropower sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 113. 10.1016/j.rser.2019.109257.
2. Krylov A.P., Bakshtanin A.M. New Concepts in the Development of Micro-Hydropower. *Hydraulics in Pressure Conduits of Micro-HPPs // Prirodoobustroystvo*. 2017. No. 5, P. 8-12.
3. Bakshtanin A.M., Krylov A.P., Beglyarova E.S. Investment Attractiveness of Tidal Energy and Factors Determining Its Development Globally // *Prirodoobustroystvo*. 2021. No. 2. P 50-57. EDN: HLHMMF
4. Zubarev M.A. Economic feasibility of using micro-hydroelectric power plants in various regions of Russia // *Economy and paradigm of the new time*. 2025. No. 8 (41). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomicheskaya-tselesoobraznost-ispolzovaniya-mikro-ges-v-razlichnyh-regionah-rossii>.
5. Bakshtanin A.M., Krylov A.P., Beglyarova E.S. Experimental studies of a model and working installation of a portable micro-hydroelectric power plant with a siphon water supply // *Prirodoobustrojstvo*. 2020. No. 3. EDN: HAONND
6. Experimental studies of micro-hydroelectric power plants with a siphon water supply // *Hydrotechnical construction*. Moscow, 2021. No. 3, P. 22-26. EDN: XYIEHY
7. G.A. Aggidis E. Luchinskaya, R. Rothschild, D.C. Howard, The costs of small-scale hydro power production: Impact on the development of existing potential, *Renewable Energy*, Volume 35, Issue 12, 2010, Pages 2632-2638, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.008>

Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. Vol. 51. Pp. 497-505. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.028>

9. Jayaram V. & Bavanish B. (2022). Design and analysis of gorlov helical hydro turbine on index of revolution. *International Journal of Hydrogen Energy*. 47. 10.1016/j.ijhydene.2022.07.181.

10. Aiming Zhang, Sen Liu, Yong Ma, Chao Hu, Zhengyu Li. Field tests on model efficiency of twin vertical axis helical hydrokinetic turbines, *Energy*. 2022. Vol. 247. P. 123376. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123376>

11. Chalaca, Andrés & Velásquez, Laura & Rubio-Clemente, Ainhoa & Chica, Edwin. (2024). Design and Optimization of a Gorlov-Type Hydrokinetic Turbine Array for Energy Generation Using Response Surface Methodology. *Energies*. 17. 4870. 10.3390/en17194870

12. Juliana Guerra, Laura Velásquez, Ainhoa Rubio-Clemente, Leyla Jaramillo, Edwin Chica, Design and optimization of a siphon turbine using the response surface methodology, *Results in Engineering*. 2024. Vol. 22. P. 102241. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102241>

13. Историк Б.Л., Шполянский Ю.Б. Перспективы использования ортогональной турбины на низконапорных гидроузлах // *Гидротехническое строительство*. 1993. № 11. С. 28-34

14. Pribadyo P. & Hadiyanto H. & Jamari J. (2020). Study of low head turbine propellers axial flow for use of micro-hydro-power plant (MHP) in Aceh, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*. 1524. 012019. 10.1088/1742-6596/1524/1/012019

Информация об авторе

Алексей Петрович Крылов – соискатель, Генеральный директор – ООО «Центр Судебных Экспертиз и Строительных Исследований «Ригет»; SPIN-код: 1334-3096, AuthorID: 834698; Riget-expert@yandex.ru

Поступила в редакцию / Received 26.01.2026

Поступила после рецензирования / Received 24.05.2026

Принята к публикации после доработки / Accepted 17.06.2026

8. Shaun Waters, George A. Aggidis, Over 2000 years in review: Revival of the Archimedes Screw from Pump to Turbine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 51, 2015, Pages 497-505, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.028>

9. V. Jayaram & Bavanish B. (2022). Design and analysis of gorlov helical hydro turbine on index of revolution. *International Journal of Hydrogen Energy*. 47. 10.1016/j.ijhydene.2022.07.181.

10. Aiming Zhang, Sen Liu, Yong Ma, Chao Hu, Zhengyu Li, Field tests on model efficiency of twin vertical axis helical hydrokinetic turbines, *Energy*, Volume 247, 2022, 123376, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123376>

11. Chalaca, Andrés & Velásquez, Laura & Rubio-Clemente, Ainhoa & Chica, Edwin. (2024). Design and Optimization of a Gorlov-Type Hydrokinetic Turbine Array for Energy Generation Using Response Surface Methodology. *Energies*. 17. 4870. 10.3390/en17194870.

12. Juliana Guerra, Laura Velásquez, Ainhoa Rubio-Clemente, Leyla Jaramillo, Edwin Chica, Design and optimization of a siphon turbine using the response surface methodology, *Results in Engineering*, Volume 22, 2024, 102241, ISSN 2590-1230, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102241>

13. Historian B.L., Shpolyansky Yu.B. Prospects for the use of an orthogonal turbine at low-pressure hydroelectric facilities. 1993. No 11, P. 28-34..

14. Pribadyo P. & Hadiyanto H. & Jamari J. (2020). Study of low head turbine propellers axial flow for use of micro-hydro-power plant (MHP) in Aceh, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*. 1524. 012019. 10.1088/1742-6596/1524/1/012019.

Information about the author

Alexey P. Krylov – the applicant, General Director – Center for Forensic Expertise and Construction Research “Riget” LLC; SPIN-code: 1334-3096, AuthorID: 834698; Riget-expert@yandex.ru