

УДК 621.311.212
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-12-29-35

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
СВОБОДНО-ПОТОЧНОГО ТИПА**

А.А. Асанов, Н.К. Джаманкызов, Б.Т. Мекенбаев, Н.Т. Ниязов

Аннотация. Приведены результаты аналитического обзора технико-технологических решений конструкций гидроэнергетических установок свободно-поточного типа. Они отличаются от высоконапорных тем, что в основу их работы заложено использование кинетической составляющей потока воды в реке (скоростной напор), что определяет принципиальное отличие в разработке и создании конструкций таких установок и принятии новых технических решений. Показана эффективность использования мини-ГЭС со спаренными турбинами с вертикальными валами, что позволяет упростить их конструкцию и повысить надежность преобразования гидроэнергетического потенциала канала или реки. Предложена новая схема мини-ГЭС с узлами тангенциальной подачи воды на лопасти турбин.

Ключевые слова: гидроэнергетическая установка; поток воды; напор и расход; лопастная турбина.

**ЭРКИН АГЫМДУУ ТИПТЕГИ ГИДРОЭНЕРГЕТИКАЛЫК ОРНОТМОЛОРДУН
КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫН ТЕХНИКАЛЫК-ТЕХНОЛОГИЯЛЫК САПАТТАРЫНА
АНАЛИТИКАЛЫК СЕРЕП САЛУУ**

А.А. Асанов, Н.К. Джаманкызов, Б.Т. Мекенбаев, Н.Т. Ниязов

Аннотация. Макалада эркин агымдуу типтеги гидроэнергетикалык орнотмолордун конструкцияларынын техникалык-технологиялык сапаттарына аналитикалык сереп салуунун жыйынтыктары келтирилген. Алар жогорку басымдуудан айырмаланат, анткени алардын ишинин негизин дарыядагы суунун агымынын кинетикалык компонентин пайдалануу түзөт (ылдамдык башы), бул мындай орнотмолордун конструкцияларын иштеп чыгууда жана түзүүдө жана жаңы техникалык чечимдерди кабыл алууда принципиалдуу айырманы аныктайт. Макалада тик валдары менен жупташкан турбиналары бар мини-ГЭСтерди колдонуунун натыйжалуулугу көрсөтүлгөн, бул алардын дизайнын жөнөкөйлөтүүгө жана каналдын же дарыянын гидроэнергетикалык потенциалын трансформациялоонун ишенимдүүлүгүн жогорулатууга мүмкүндүк берет. Турбиналардын канаттарын тангенциалдык суу менен камсыз кылуучу агрегаттары бар мини-ГЭСтин жаңы схемасы сунуш кылынды.

Түйүндүү сөздөр: гидроэнергетикалык түзүлүш; суунун агымы; суунун басымы жана чыгымдалышы; канаттуу турбина.

**ANALYTICAL REVIEW OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS
FOR DESIGNS OF FREE-FLOW HYDROELECTRIC POWER PLANTS**

A.A. Asanov, N.K. Dzhamankyzov, B.T. Mekenbaev, N.T. Niyazov

Abstract. The article presents the results of an analytical review of technical and technological solutions for the construction of hydropower installations of a free-flow type. They differ from high-pressure ones in that their work is based on the use of the kinetic component of the water flow in the river (velocity head), which determines the fundamental difference in the development and construction of such installations and the adoption of new technical solutions. The efficiency of using mini-HPS with twin turbines with vertical shafts is shown, which makes it possible to

simplify their design and increase the reliability of converting the hydropower potential of a canal or river. A new scheme of a mini-HPS is proposed, with nodes for tangential water supply to the turbine blades.

Keywords: hydropower plant; water flow; head and flow rate; vane turbine.

В ряде зарубежных стран в последние годы получают интенсивное развитие так называемые свободно-поточные, низконапорные и гравитационные микро-ГЭС, которые могут эффективно работать на слабых уклонах в равнинных зонах, а также на различных искусственных каналах и реках [1]. В них в основном используют микро-ГЭС, которые отличаются большим разнообразием конструктивных исполнений [2]. Они могут строиться, как и более мощные станции, с использованием плотин, могут быть деривационного типа с использованием напорного трубопровода или канала. Наконец, микро-ГЭС могут устанавливаться в речной поток без всяких гидротехнических сооружений.

Эти микро-ГЭС отличаются от высоконапорных тем, что в основу их работы заложено использование кинетической составляющей потока воды в реке (скоростной напор), что является принципиальным отличием в разработке и создании конструкций таких станций и принятием новых технических решений. Они обладают рядом преимуществ перед известными традиционными высоконапорными установками. Свободно-поточные гидроэнергетические установки представляют собой водяные двигатели, мощность которых зависит от трех величин: расхода и напора воды, протекающей через нее, которую они приобретают при движении и КПД.

Вовлечение в генерацию энергии равнинных рек и каналов с низким и сверхнизким напором потока воды предъявляют повышенные требования к выбору технологий и гидроэнергетических установок малой мощности. Поэтому одно из важных положений в выборе стратегии и тактики генерации электроэнергии с заданной мощностью и полным исключением гидротехнических сооружений непосредственно в реках или каналах, состоит в подведении к гидроэнергетическим установкам необходимой и достаточной – максимально возможной и экономически оправданной энергии потока воды, которая зависит от перечисленных выше параметров.

Исследования в этом направлении показали, что попытка эффективного использования кинетической энергии потока воды привела на начальном этапе к разработке энергетических установок, представляющих собой водяные колеса с разной схемой подачи потока воды в рабочие лопасти. Водяные колеса относятся к гидротурбинам активного вида, они отличаются схемой размещения относительно потока воды в реке или канале, механизмами опускания лопастей в водяной поток реки или канала, конструкциями и размерами их исполнения, а также используемыми для их изготовления материалами. На рисунке 1 приведен общий вид отдельных видов микро-ГЭС. Их выпускают, как и портативные микро-ГЭС, в виде завершенных модулей.

При строительстве микро-ГЭС на равнинных реках и каналах увеличиваются затраты на повышение их мощности, что предполагает наращивание количества устанавливаемых модулей вдоль и поперек течения потока воды на больших и малых реках. В этом плане повышенный интерес представляют микро-ГЭС с погружными лопастными гидротурбинами. В зависимости от требуемой мощности и расхода реки возможно множество решений, реализующих выработку требуемого объема электроэнергии, что достигается за счет вариации типов, конструкции и количества устанавливаемых гидроагрегатов. На рисунке 2 приведены примеры использования конструкций пропеллерных гидротурбин для генерации энергии.

Имеются попытки использования напорных водоводов для встраивания микро-ГЭС специальной конструкции (рисунок 3). Отличительной особенностью таких конструкций является использование лопастей Дарье, нашедших применение в ветровых станциях [1, 2, 3]. Сложность технической эксплуатации таких установок пока ограничивает их применение.

Отличительной особенностью осевых лопастных турбин является отсутствие барабанных или колесных элементов, что уменьшает их габаритные размеры и повышает мобильность (рисунок 4). Гидроагрегаты на их основе, погруженные в открытый канал, требуют меньшей глубины, чем в закрытых



Рисунок 1 – Общий вид отдельных микро-ГЭС с лопастными горизонтальными турбинами и схемы их размещения на каналах и реках

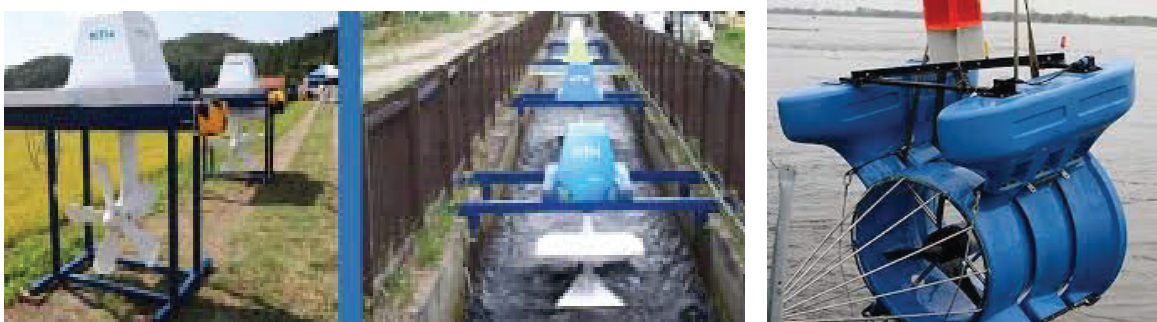


Рисунок 2 – Общий вид ряда микро-ГЭС с пропеллерными погружными гидротурбинами



Рисунок 3 – Общий вид микро-ГЭС с гидротурбинами типа Дарье



Рисунок 4 – Общий вид микро-ГЭС с осевыми турбинами и их размещение на каналах

камерах, трубопроводах и могут применяться при малых напорах, но при сравнительно больших скоростях потока воды.

Особый интерес представляют турбины гравитационно-водоворотного и шнекового типов [4]. Они являются более быстроходными по сравнению с водяными колесами. Большая скорость вращения рабочих турбин позволила уменьшить размеры гидротурбин и гидро-генераторов (рисунок 5). Для получения высокой отдачи энергии на рабочей турбине обеспечивается оптимальный подвод к ней воды. Для этого в конструкциях гидротурбин устраивают специальный направляющий аппарат, тем самым, часть воды из водотока отводится в бетонный канал, проложенный вдоль береговой линии.

Разработчики утверждают, что шнековые и водоворотные гидротурбины взаимодействуют с гидроворонкой как по горизонтали, так и по вертикали, что увеличивают выходную их мощность и эффективность. На средних оборотах водоворотные гидротурбины имеют максимальный КПД 50 % и более. Однако и им присущи те же недостатки, связанные с сооружением водосбора, шлюза, специальных каналов под турбины и др. Здесь определяющим фактором выступает их сравнительно низкая стоимость, высокая надежность и малые эксплуатационные затраты, а также ограниченность использования промышленных типов гидроагрегатов на слабонаклонных равнинных реках и каналах.

Попытки полнее использовать потенциал водотока привели также к разработке и созданию турбоагрегатов со спаренными турбинами. Общий вид и принципиальная схема такого гидроагрегата со спаренными лопастными турбинами, приведена на рисунке 6. В этой установке спаренные турбины лопастного типа в верхней и нижней части жестко закреплены между собой двумя пластинами треугольной формы с закругленными вершинами. На этих же пластинах смонтирован генератор, механические передачи и направляющий аппарат. Последний выполнен V-образной формы из пластины с изогнутыми во внешнюю сторону концами, что позволяет тангенциально направлять поток воды на вертикальные лопасти синхронно вращающихся противоположно друг другу реактивных турбин.



Рисунок 5 – Общий вид водоворотной и шнековой микро-ГЭС

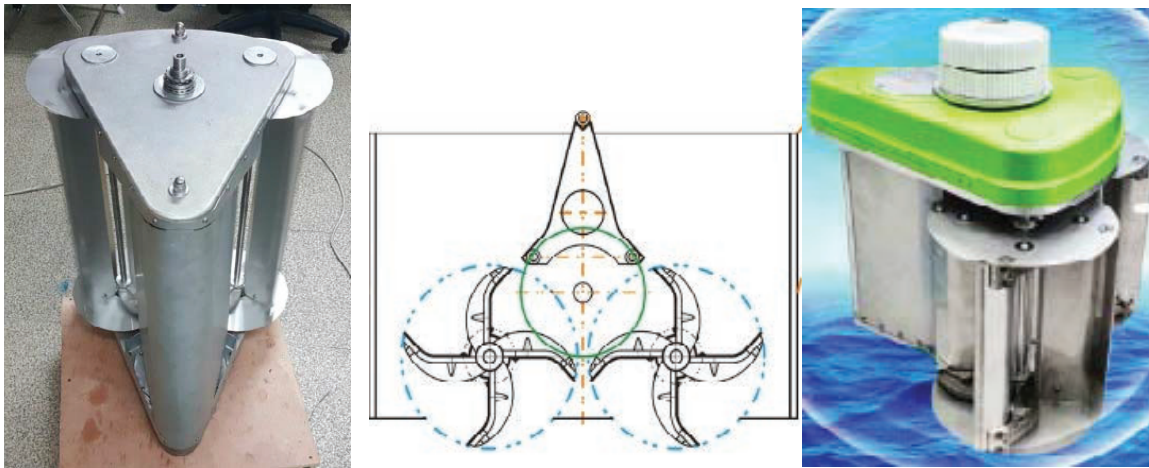


Рисунок 6 – Общий вид и принципиальная схема гидроэнергетической установки со спаренными лопастными турбинами

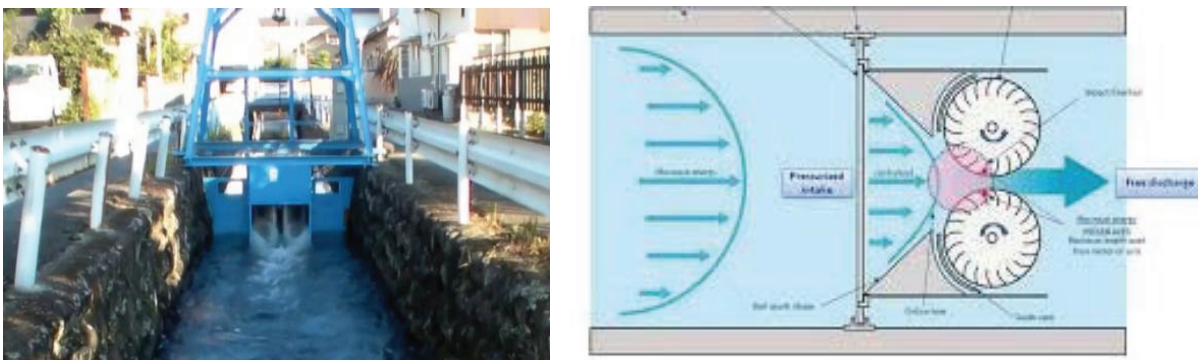


Рисунок 7 – Микро-ГЭС с вертикальной турбиной, схема расположения на канале

Вращение от этих турбин при помощи гибких передач подается ротору электрогенератора. Такие конструкции могут устанавливаться на плавучие средства и легко удерживаться на плаву по течению реки или канала при помощи троса.

Недостатком таких устройств является неполное использование энергетического потенциала канала или реки и малая мощность [5, 6]. Устранение отмеченных недостатков привело к созданию микро-ГЭС, монтируемой на канале с перекрытием течения всего потока воды (рисунок 7) с достаточной глубиной для монтажа вертикальной турбины.

Как видно на рисунке, свободно-поточные погружные микро-ГЭС не требуют больших земляных или бетонных работ, они более экономичны и мобильны. Сравнивая вертикальное или горизонтальное расположение вала турбины относительно водотока, следует отметить, что горизонтальное размещение турбины при упрощении строительства ведет к увеличению размеров микро-ГЭС в целом из-за увеличения длины вала турбины и системы передачи энергии вращения электрогенератору. Вертикальные турбины, наоборот, требуют наращивания высоты конструкции из-за монтажно-установочных операций.

Сферы применения и возможности приведенных выше гидроагрегатов показывают, что все они предназначены для использования низких напоров малых рек [7]. Использование агрегатов таких конструкций в единичных количествах экономически нецелесообразно из-за значительной стоимости самих агрегатов. Масштабирование этих конструкций для использования потенциала малых рек и ручьев также не дает желаемого эффекта.

В этой связи наибольший интерес представляют разрабатываемые совместно с корейской фирмой новые мини-ГЭС с попарно спаренными вертикальными турбинами лопастного типа. Они позволяют упростить конструкцию гидроагрегатов с турбинами погружного исполнения и повысить их надежность. За счет своеобразного размещения в водотоке лопастных турбин (рисунок 8) достигается повышенная эффективность использования гидроэнергетического потенциала реки и увеличение генерируемой мощности. В отличие от предыдущей схемы, две одинаковые по конструкции вертикальные лопастные турбины расположены на определенном расстоянии одна от другой по потоку воды со сдвигом их осей поперек оси канала. Для тангенциальной подачи воды на лопасти и обеспечения встречного вращения турбин они оснащены V-образным направляющим аппаратом.

Предлагаемый способ преобразования энергетического потенциала слабонаклонных равнинных рек в электромеханическую энергию или их различные сочетания, работа устройства для его осуществления, реализуются следующим образом.

Преобразование энергетического потенциала низконапорных равнинных каналов и рек в электрическую энергию включает в себя процесс преобразования энергии потока воды в канале

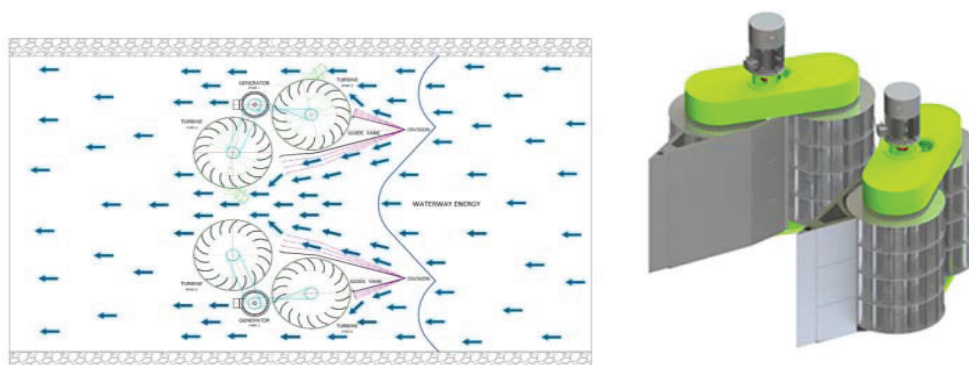


Рисунок 8 – Принципиальная схема размещения вертикальных лопастных турбин мини-ГЭС по течению потока воды в канале и ее компьютерная модель

во вращательное движение рабочих органов попарно спаренных лопастных турбин с вертикальными валами, а также передачу полученного движения на ротор электрогенератор. В качестве механизма формирования механической энергии принят способ преобразования кинетической энергии низконапорного потока воды. Вращательное движение попарно спаренных лопастных турбин с вертикальными валами достигается путем тангенциальной подачи воды на рабочие органы противоположно вращающихся спаренных лопастных турбин, обеспечиваемое V-образным расщеплением и увеличением скорости потока воды.

В устройстве для реализации этого способа использованы попарно спаренные вертикальные турбины, расставленные в определенном порядке относительно продольной и поперечной оси течения воды. Устройство снабжено V-образными расщепителями потока воды, выполненными в виде вертикальных шарнирно соединенных между собой пластин, тангенциально (по всей рабочей длине) подающих ускоренную струю воды на лопасти спаренных противоположно вращающихся турбин. Для регулирования параметров потока воды, подающейся на рабочие лопасти турбин, расщепитель оснащен приводным гидроцилиндром, шток которого закреплен к шарниру расщепителя, а цилиндр при помощи стержней также шарнирно закреплен к плоским пластинам расщепителя.

Выводы. Развитие малой энергетики свободно-поточного типа довольно перспективно для низконапорных равнинных рек и каналов. Возникает новая инновационная ниша для создания сети портивных ГЭС с разным диапазоном мощностей и компоновочных решений. Модульное исполнение всех элементов и возможность быстрого монтажа и демонтажа гидротурбинного и генерирующего оборудования делает их более конкурентоспособными по сравнению с традиционными конструкциями. Кроме того, микро-ГЭС экономически оправданы и надежны в эксплуатации. При правильном подходе эти устройства в короткие сроки позволят осуществить автономное энергоснабжение потенциальных потребителей, значительно снизить затраты на покрытие потребностей в электроэнергии, и обеспечат надежное и качественное энергоснабжение.

Поступила: 12.09.2023; рецензирована: 26.09.2023; принята: 28.09.2023.

Литература

1. Асанов А.А. Перспективы развития малой энергетики в Кыргызстане на основе ресурсов возобновляемых и альтернативных источников энергии / А.А. Асанов, Н.К. Джаманкызов, Н.Т. Ниязов, Б.Т. Мекенбаев, Турдакун у. Н. // Вестник КГУСТА. 2022. № 2 (76). С. 313–319.
2. Пономаренко А.С. Классификация и перспективы мини гидроэлектростанций / А.С. Пономаренко // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 89(05). С. 1–10.
3. Розанов Н.П. Особенности проектирования и строительства гидротехнических сооружений в условиях жаркого климата / Н.П. Розанов. Н.С. Румянцев. С. Н. Корюкин и др.; под ред. Н.П. Розанова. М.: Колос, 1993. 303 с.
4. Обозов А.Дж. К одной из задач создания гравитационных водоворотных гидроэлектростанций / А.Дж. Обозов, Т.Т. Медеров, К.Н. Оразбаев // Вестник КГУСТА. 2022. № 2 (76). С. 313–319.
5. Громов А.А. Системы электроснабжения на базе автономных установок / А.А. Громов, В.Л. Колякин, А.С. Толочкин // Энергетика. 2019. № 3. С. 110–115.
6. Can-Energy. URL: <http://www.cna-energy.com> (дата обращения: 29.03.2022).
7. Компания Инсэт. URL: <http://www.inset.ru/> (дата обращения: 29.03.2022).