

УДК 621.3.019.3

*А.Д. Обозов,*

*К.Н. Оразбаев*

*Институт машиноведения и автоматики НАН КР*

## ОСОБЕННОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ГИДРОПОТОКА ГРАВИТАЦИОННОЙ МИКРО-ГЭС

В статье рассматриваются вопросы преобразования и передачи энергии в низкопотенциальной гравитационной микрогидроэлектростанции. Обсуждается методика расчета мощности гидротурбины в зависимости от геометрических и кинематических параметров водного потока. Получены зависимости изменения коэффициента трансформации от величины напора и скорости гидропотока.

**Ключевые слова:** камера, гидротурбина, напор, скоростной напор, лопасти, мощность, энергия, расход.

### Введение

Современные темпы развития общества требуют все большего удовлетворения потребностей человека в его социально-экономической жизни, что определяет в конечном итоге уровень его благосостояния и комфортности, а это невозможно без достаточного потребления энергии, следовательно, одним из основных критериев успешного развития общества является развитие энергетики.

В последние годы в результате научно-технической революции и активного роста экономического потенциала промышленно развитых и развивающихся стран резко возросло потребление энергоресурсов, основанное на использовании традиционного углеводородного топлива, как уголь, газ, нефть и т.д. Исследования показывают, что при таких темпах развития запасы этих традиционных источников могут быть исчерпаны в ближайшие 50–100 лет [1], и человечество встанет перед проблемой поиска и использования других источников энергии.

Конечно же, уже сегодня необходимо об этом думать. Во-вторых, активное использование традиционного углеводородного топлива привело к появлению еще одной планетарной проблемы – это загрязнение окружающей среды. Как показывает практика, альтернативой традиционной энергетике становится энергия, основанная на использовании возобновляемых источников. По совокупности имеющихся ресурсов энергии ВИЭ (солнце, ветра, биомассы, геотермальной энергии и др.) в сотни, тысячи раз превышают имеющиеся все мировые запасы углеводородного топлива [2]. Темпы роста использования ВИЭ уже сегодня значительно выше темпов использования традиционных источников [2]. Сегодня можно с уверенностью утверждать, что будущее энергетики за ВИЭ.

Из большого многообразия ВИЭ наиболее интересным и привлекательным для республики является энергия малых водотоков. Ресурс этих водотоков оценивается [3] в 6-7 млрд. кВт/ч.

На сегодняшний день имеется достаточно большое количество различных типов и конструкций микро-ГЭС. Все их можно разделить на две большие категории: это высоконапорные и низконапорные. В последние годы низконапорные гравитационные микро-ГЭС находят все большее применение в практике благодаря таким свойствам, как простота конструкции, экологическая привлекательность, высокая надежность и эффективность, возможность достаточно просто размещать их на реках [4]. Экологическая безопасность, обусловленная возможностью свободно проходить рыбам через турбинный тракт без повреждений, делает их неопределимыми в деле охраны окружающей среды. Гравитационные микро-ГЭС в основном используют энергию движущейся массы воды, а не потенциальную энергию напора, водного столба.

Проведенный анализ использования различных типов водных турбин показал, что наиболее приемлемым и практически оправданным типом турбин для гравитационных микро-ГЭС являются роторные гидротурбины [5]. Роторные турбины представляют собой

две полуцилиндрические лопасти, имеющие одну общую ось вращения, расположенную вдоль образующихся полуцилиндров. Как видно из рис. 1, если расположить данную турбину в движущийся поток воды, то под его воздействием она будет вращаться вокруг оси 0-0.

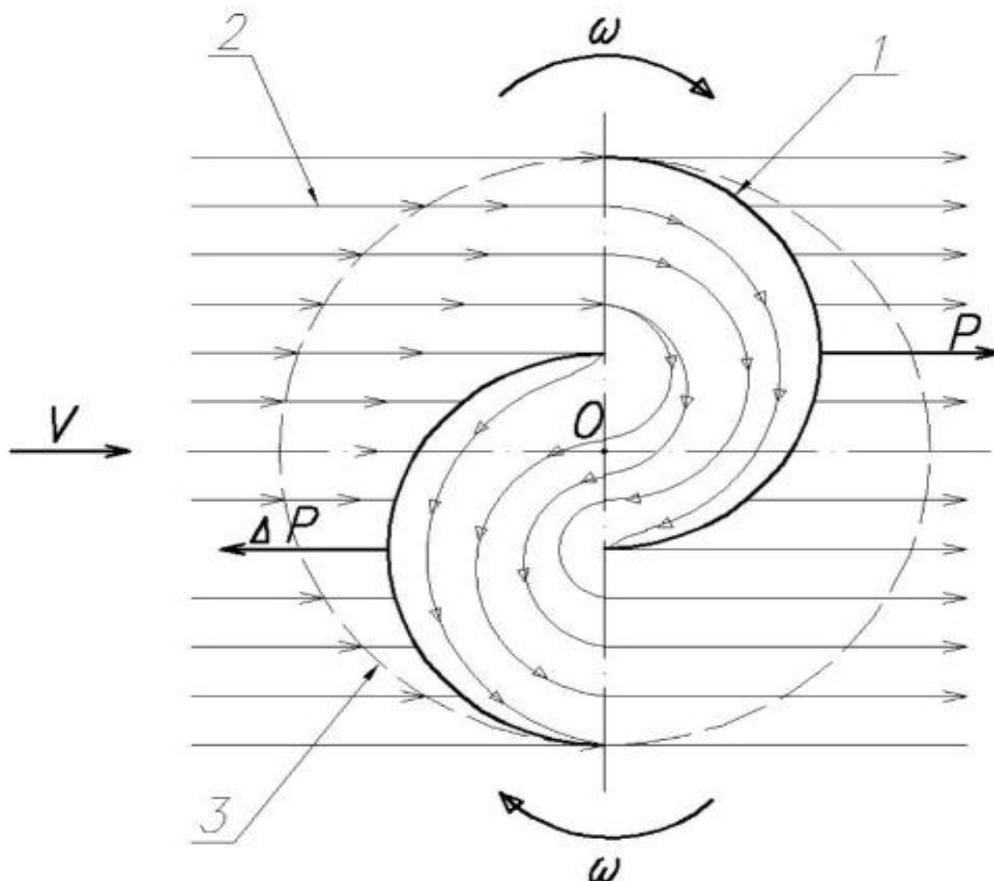


Рисунок 1 – Схема взаимодействия водного потока с лопастями роторной турбины:  
 1– лопасти, 2– водный поток, 3– отмечаемая окружность граней турбины.  
 $\omega$  –угловая скорость,  $v$ – скорость водного потока,  $P$ ,  $\Delta P$  – усилия на лопастях турбины, 0– ось вращения турбины

Как правило, такие роторные турбины имеют большое количество лопастей, от которых в конечном счете зависит ее развиваемая мощность.

Рассмотрим гравитационную микро-ГЭС вихревого типа, где в качестве турбинной камеры используется открытая цилиндрическая ёмкость с выходным отверстием на дне, а внутри ей установлена турбина, соединенная с гидрогенератором (рис. 2).

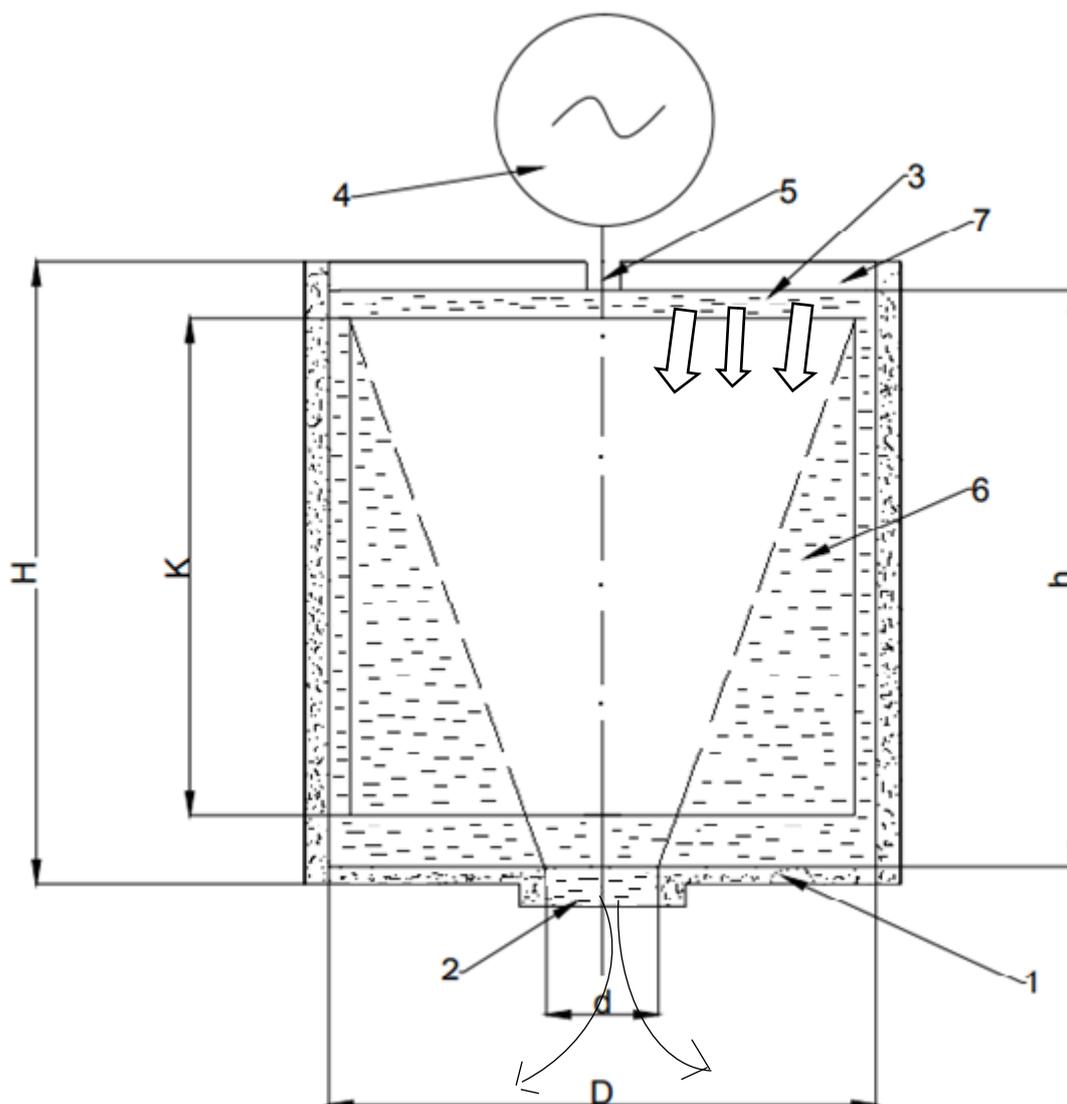


Рисунок 2 – Схема гравитационной водоворотной микро-ГЭС:  
 – камера гидротурбины, 2 – нижнее отверстие в камере, 3 – подводной канал, 4 – генератор, 5 – вал турбины, 6 – лопасти турбины

Работает система следующим образом. При помощи подводного канала 3 (открытая деривация, труба, бетонированный желоб) вода из реки подается в камеру 1. Камера выполнена в виде открытого цилиндра высотой  $H$ , диаметром  $D$  и с отверстием 2 в донной части. Диаметр отверстия  $d$ . Вода из подводного канала подается по касательной к образующей поверхности камеры 1 таким образом, что после вхождения в нее вода в ней закручивается. Поступательное движение водного потока переходит во вращательное. При определенной линейной скорости ( $v$ ) подаваемого водного потока и соответствующих геометрических параметров камеры ( $D, d, H$ ) в ней образуется водяная воронка. Теперь если в эту воронку установить турбину 6, то под действием вращающегося водного потока она начнет вращаться и передавать вращающийся момент на вал 5 генератора 4, который будет вырабатывать электрическую энергию. Таким образом поступательное движение водного потока преобразует свою кинетическую энергию в электрическую. Как видим, схема достаточно проста, не требует сложных и громоздких, конструктивных решений и имеет предельно малое количество преобразовательных элементов. Установка может быть легко смонтирована на речном потоке. Такое решение имеет огромную перспективу для использования в равнинных и предгорных районах, где отсутствуют большие уклоны

местности и водный поток в основном использует кинетическую энергию движущейся массы воды, а не давления столба воды закрытого трубопровода.

Несмотря на достаточно простую схему установки для обеспечения ее эффективной работы, высокой надежности, к.п.д., и технико-экономической привлекательности, необходимо исследовать и решить ряд задач, связанных с расчетом и выбором геометрических параметров турбинной камеры, изучением закономерностей изменения кинематических параметров как движущейся массы воды в воронке, так и турбины, взаимодействующей с ней. Следует определить наиболее рациональный тип используемой турбины и оптимизировать ее геометрическую форму и размеры лопастей. Исследовать особенности преобразования и передачи кинетической энергии гидропотока в электрическую. Решать вопросы синхронизации и управления выходными параметрами генератора с нагрузкой на потребителе. Настоящая статья посвящена решению одной из этих задач, это исследование преобразования и передачи энергии гидравлического потока воды валу гидротурбины и генератора. Определению мощности установки в зависимости от геометрических параметров камеры и кинематических параметров водного потока.

Рассмотрим особенности использования энергии гидропотока в свободно поточных гравитационных микро-ГЭС. Как было ранее отмечено, особенностью работы свободно-поточных гравитационных микро-ГЭС является в первую очередь использование движущейся массы воды и составляющая потенциальной энергии гидравлического потока. На основе проведенного ранее анализа [5] и изучения опыта эксплуатации существующих микро-ГЭС было определено, что наиболее эффективным типом турбины, используемой в низконапорных микро-ГЭС, являются роторные турбины. [6,7]. Рассмотрим некоторые взаимосвязи между параметрами набегающего потока с геометрией лопастей турбины, возникающие на его валу, вращательном моментом и выходной мощностью генератора.

Любой движущийся водяной поток в свободнопоточной системе обладает как кинетической, так и потенциальной энергией. Полная энергия движущегося потока может быть записана, как

$$W = W_k + W_n \quad (1),$$

где  $W$  – полная энергия движущейся массы воды,  $W_k$  – кинетическая энергия.  $W_n$  – потенциальная энергия или с учетом, что

$$\begin{aligned} W_k &= \frac{mv^2}{2}; \\ W_n &= mgh, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $m$  – масса воды;  $v$  – линейная скорость воды в подающем лотке;  $g$  – ускорения свободного падения;  $h$  – перепад высот между входом и выходом потока напора.

Можно записать

$$W = \frac{mv^2}{2} + mgh \quad (3).$$

Если теперь рассмотреть механизм прохождения этого водного потока через турбину, то можно определить мощность микро- ГЭС на валу гидротурбины:

$$N_T = \frac{d(W)}{dt} \cdot \eta_0, \quad (4)$$

где  $N_T$  – мощность на валу гидротурбины;  $\eta_0$  – к.п.д. турбины,  $T$  – время, в течение которого происходит изменение единичной массы воды, проходящей через турбину.

Перепишем (4) в виде

$$N_T = \frac{d}{dt} \left( \frac{mv^2}{2} + mgh \right) \eta_0. \quad (5)$$

Если допустить, что за некоторый малый промежуток времени ( $dt$ ) через турбину проходит определенная масса ( $dm$ ) воды с объемом ( $dV$ ), то можно записать с учётом плотности воды ( $\rho$ )

$$\rho = \frac{dm}{dV}; \text{ или } dm = \rho dV; \quad \text{где } dV = F d\vartheta, \quad (6)$$

где  $\rho$  – плотность воды;  $F$  – площадь поперечного сечения подводного канала.

Теперь если представить, что жидкость не сжимаемая, то изменение количества движения можно записать как

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 = const \quad (7),$$

где соответственно

$v_1, v_2$  – абсолютные скорости потока воды перед входом и после выхода из турбинной камеры.

С учётом (6) и (7), (5) можно представить в виде:

$$N_T = \frac{d}{dt} \left( \frac{vFv^3}{2} + vF \cdot \vartheta gh \right) \eta_0. \quad (8)$$

Если теперь допустить, что режим подачи потока воды в турбинную камеру стационарный, то (8) можно представить в виде

$$N_T = \frac{d}{dt} \left( \frac{vFv^3}{2} + \vartheta Fvgh \right) \eta_0. \quad (9)$$

Таким образом можно видеть, что в общем случае величина мощности, развиваемая на валу гидротурбины, зависит от площади напорного сечения подводного трубопровода ( $F$ ), абсолютной скорости подводящего потока ( $\vartheta$ ), гидравлического напора  $h$  и коэффициента полезного действия турбины. ( $\eta_0$ ). Представим (9) через объемные расходы воды в подводящем трубопроводе.

$$G = F\vartheta; \quad (10)$$

тогда получим

$$N_T = \eta_0 \vartheta G (0.5\vartheta^2 + gh). \quad (11)$$

Выражение в скобках практически показывает, какую долю от общей энергии турбины составляет кинетическая энергия движущейся массы воды.

Введем некоторые обозначения

$$K = \frac{2h}{0.5\vartheta^2};$$

тогда (11) примет вид

$$N_T = \frac{h_0 + G\vartheta^2}{2} (1 + K) \quad (13),$$

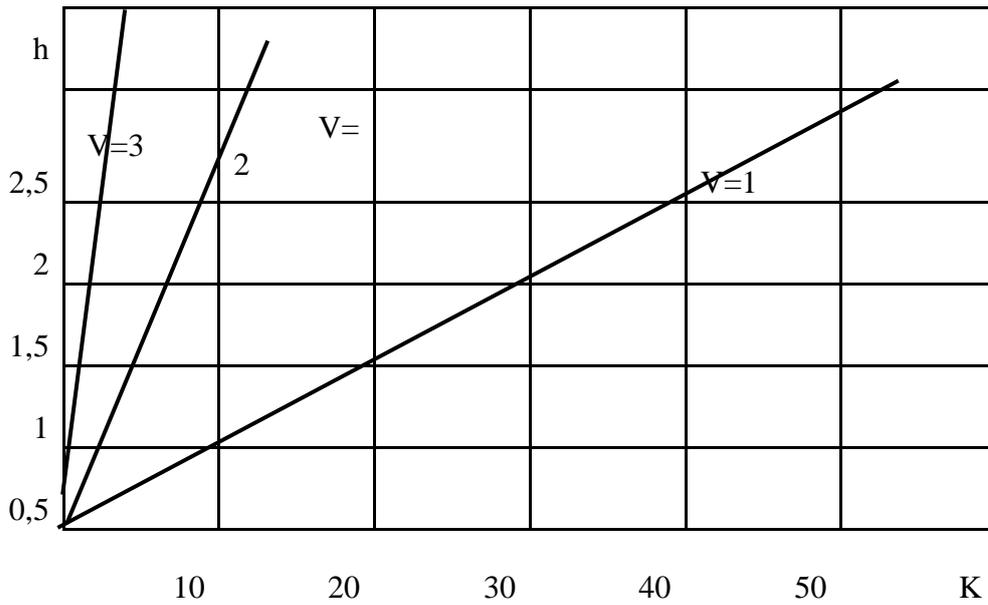
где  $K$  – коэффициент трансформации.

Приведенный коэффициент трансформации ( $K$ ) практически представляет физическую величину, показывающую, какая доля мощности приходится на потенциальную составляющую гидротурбины при определенных значениях абсолютной скорости водного потока. Определим зависимость данного коэффициента от величины гидравлического напора гравитационной равниной микро-ГЭС при различных величинах скорости полного потока. Для гравитационных микро-ГЭС значение напора находится, как правило, в интервале от нуля до 3 м. То есть

$$0 \leq h \leq 3.$$

Построим графики зависимости  $k$  от  $h$  при изменении скорости в диапазоне от  $0 \leq \vartheta \leq \vartheta_n$ .

На рис 3. представлены диаграммы этих зависимостей при различных значениях скорости водного потока.



Рисунок

3 – Диаграмма изменения коэффициента трансформации (K) от величины напора (h)

Если внимательно посмотрим на полученные гистограммы, то можно видеть, что зависимость коэффициента (k) имеет линейную зависимость от величины напора (h). Причем эта зависимость тем меньше, чем выше скорости потока ( $v$ ). Что это означает? Это означает, что с увеличением абсолютной скорости водного потока, подводимого к турбине гравитационной микро-ГЭС, доля и значимость потенциальной составляющей резко меняется. То есть коэффициент трансформации (k) может быть использован как мера оценки величины потенциальной энергии водного потока по отношению ко всей возможной преобразованной энергии в турбинном тракте гравитационной микро-ГЭС. Физический смысл данного коэффициента говорит о том, что чем меньше его величина, тем меньше доля потенциальной энергии водного потока участвует в работе гидротурбины. Данный коэффициент также может быть использован при построении расчетной модели взаимодействия водного потока с турбиной микро-ГЭС; при оценке погрешности и точности от реальной величины, получаемых гидродинамических параметров (момент на валу, мощность и т.д.).

Для оценки доли потенциальной составляющей энергии от величины скорости водного потока были построены диаграммы, приведенные на рис.4. Из полученных диаграмм можно видеть, что доля величины потенциальной составляющей есть функция асимптотическая, и с увеличением ( $v$ ) доля потенциальной составляющей снижается.

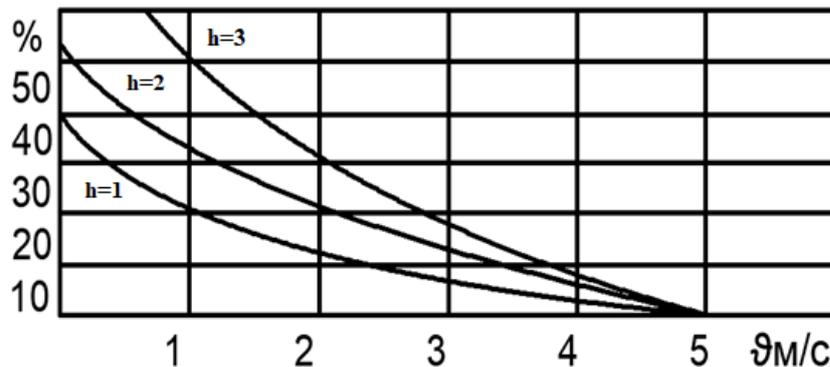


Рисунок 4 – Диаграммы изменения доли потенциальной энергии в (%) при различных значениях ( $v$ ) и ( $h$ )

Полученные результаты говорят о том, что практически при определении динамических параметров, как момент на валу гидротурбины, его мощность значения потенциальной энергии водного потока, гравитационная микро-ГЭС уже при скорости потока 5 м/с и напоре менее 3 м можно пренебречь, а величина ошибки не будет превышать 0,4 %.

### **Литература**

1. Обозов А.Д. Перспективы использования ВИЭ в горноклиматических условиях Кыргызстана. Мат. межд. науч. симпозиума. ВИЭ – проблемы и перспективы. – Худжант, Таджикистан, 2011.
2. Обозов А.Д., Ботпаев А.М. Возобновляемые источники энергии. – Бишкек: ИЦ «Техник», 2010.
3. Энергетика Кыргызстана, АБР. – Бишкек, 2020.
4. Женишбек У.К., Медеров Т.Т. и др. Микрогидроэлектростанции с использованием гидроворонки. Изв. КГТУ им. И.Раззакова. – №59. – Бишкек, 2017.
5. Медеров Т.Т. Исследование и разработка бироторной микрогидроэлектростанции. Авт. канд. диссер. – Бишкек, 2016.
6. [http:// www. cink-hydro- energy.com/ru](http://www.cink-hydro-energy.com/ru)
7. <https:// www. turbvlent. be/ru>
8. О методе анализа надежности и диагностики состояний микрогэс для автономного электроснабжения / А. Б. Бакасова, К. Сатаркулов, Г. Н. Ниязова, Т. К. Сатаркулов // Проблемы автоматики и управления. – 2020. – № 1(38). – С. 15-20. – DOI 10.5281/zenodo.3904087. – EDN KPOIZT.