

УДК: 621.224.7.

**Обозов Алайбек Джумабекович,**  
*д.т.н., профессор, член- корреспондент НАН КР,  
Институт машиноведения и автоматике НАН КР*

**Обозов Алайбек Джумабекович,**  
*т.и.д., профессор, КРнын УИАнын мүчө-корреспонденти,  
КР нын УИАнын Машина куруу жана автоматика институту*

**Obozov Alaibek Dzhumabekovich,**  
*doctor of technical sciences, professor, corresponding member of the NAS KR  
Institute of Mechanical Engineering and Automation of the  
National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic*

**Орозбаев Казбек,**  
*аспирант,  
Институт машиноведения и автоматике НАН КР*

**Орозбаев Казбек,**  
*аспирант,  
КР УИАнын Машина куруу жана автоматика институту*

**Orozbaev Kazbek,**  
*postgraduate student  
Institute of Mechanical Engineering and Automation of the  
National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic*

**Медеров Таалайбек Тынчтыкович,**  
*к.т. н., доцент,  
Институт машиноведения и автоматике НАН КР*

**Медеров Таалайбек Тынчтыкович,**  
*т.и.к., доцент,  
КР УИАнын Машина куруу жана автоматика институту*

**Mederov Taalaibek Tynchtykovich,**  
*candidate of technical sciences, associate professor,  
Institute of Mechanical Engineering and Automation of the  
National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic*

**Айдарбеков Зарипбек Шарипович,**  
*к.т.н., доцент,  
Ошский государственный университет*

**Aidarbekov Zaripbek Sharipovich,**  
*т.и.к., доцент,  
Ош мамлекеттик университети  
candidate of technical sciences, associate professor,  
Osh State University*

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ ГРАВИТАЦИОННОЙ МИКРО ГЭС С ВОЗДУШНОЙ ВОРОНКОЙ

**Аннотация.** В статье излагается методика расчета мощности гравитационной Микро ГЭС с воздушной воронкой. Рассмотрена расчетная модель установки, работающая за счёт скоростного напора воды. Вводится коэффициент заполняемости турбинной камеры. Получена зависимость выходной мощности турбины с учётом этого коэффициента.

**Ключевые слова:** Микро ГЭС, гидротурбина, мощность, коэффициент заполняемости, воздушная воронка, скоростной напор, расход, ротор.

## АБА ВОРОНКАСЫ БАР ГРАВИТАЦИЯЛЫК МИКРОГЭСТИН КУБАТТУУЛУГУН ЭСЕПТӨӨ МЕТОДИКАСЫ

**Аннотация.** Макалада гравитациялык Микро ГЭСтин аба воронкасы менен кубаттуулугун эсептөө ыкмасы көрсөтүлгөн. Бул жогорку ылдамдыктагы суу башчысы менен иштеген орнотуу болжолдуу моделин карап чыкты. Турбиналык камеранын толтуруу коэффициенти киргизилген. Бул коэффициентти эске алуу менен Турбинанын чыгуучу кубаттуулугуна көз карандылык алынган.

**Негизги сөздөр:** МикроГЭС, гидротурбина, кубаттуулук, толтуруу коэффициенти, аба-воронкасы, ылдамдык башы, агым, ротор.

## METHOD OF CALCULATION OF THE CAPACITY OF A GRAVITATIONAL MICRO HPP WITH AN AIR FUNNEL

**Abstract.** The article describes a method for calculating the power of a gravitational micro hydroelectric power station with an air funnel. The design model of the installation operating due to the high-speed water pressure is considered. The filling factor of the turbine chamber is introduced. The dependence of the turbine output power is obtained taking into account this coefficient.

**Keywords:** microelectric power station, hydro turbine, power, occupancy rate, air funnel, high-speed head, flow rate, rotor.

### Введение

Активное использование возобновляемых источников энергии ВИЭ для нужд тепло и электроснабжения потребовало серьезного пересмотра концепции дальнейшего развития энергетических комплексов многих стран мира. Уже стало ясно, что дальнейшая ставка на традиционное углеводородное топлива не может гарантом прогресса будущего.

Высока интенсивность потребления традиционного топлива (уголь, нефть, газ и др) приводит к их истощению, а вредное воздействие на окружающую среду грозит мировым калапсом для экологии. [1,2] В

этих условиях экологически чистые возобновляемые источники энергии представляется как одни из наиболее перспективных источников (энергия, солнца, ветра, биомассы, геотермальная и др), имеющие огромный энергетический потенциал и совершенно чистые для окружающей среды. На ряду с различными ВИЭ особое место занимает гидроэнергетика [3]. Для Кыргызской же республики освоение и развитие своих гидроресурсов, для выработки электрической энергии, является стратегической перспективной и актуальной задачей.

Гидроэнергетический потенциал водных ресурсов республики освоен лишь

на 10-15% [4]. На ряду с использованием Крупных ГЭС, весьма перспективным представляется использование малых горных водотоков, энергии малых рек, ирригационных каналов, водохранилищ, для электроснабжения малоэнергоёмких автономных потребителей, в особенности в сельской местности, расположенных в предгорных и горных районах.

Практически использование Микрогидроэлектростанций (Микро ГЭС) на небольших горных водотоках реках получили широкое практическое применение [5] в особенности так называемые высоконапорные Микро ГЭС, использующие, в основном энергию давления столба воды.

В последние годы все больший интерес представляют Микро ГЭСы, работающие в основном на скоростном напоре массы воды, так называемые низконапорные гравитационные Микро ГЭС. Они хорошо себя зарекомендовали в условиях отсутствия больших перепадов местности, где невозможно получить большие напоры при не больших протяжённостях напорных трубопроводов. Эти Микро ГЭСы используются больше на равнинной местности где преобладают большие расходы водных потоков и очень маленькие напоры. [6]

Не смотря на достаточно большой практический опыт использования таких гравитационных Микро ГЭСна сегодня, ещё нет достаточно эффективных и научно-обоснованных методов расчета и выбора оптимальных геометрических, кинематических и гидродинамических параметров установок.

Настоящая статья посвящена разработке методики расчета выходной мощности гравитационной Микро ГЭС с эффектом воздушной воронки. Предложенный метод позволяет учесть эффект возникновения воздушной воронки в турбинной камере Микро ГЭС и рассмотреть ее работу в зависимости от так называемого коэффициента заполняемости турбины, введенными авторами статьи для данного класса установок.

Нами ранее в работе [7] было показано, что гравитационная микро ГЭС в основном

работает за счет динамического напора, обусловленного скоростью водного потока и его массы. Другими словами.

$$N = \frac{G\vartheta^2}{2}$$

Где  $N$  – мощность водяного потока;

$G$  – расход;

$\vartheta$  – скорость.

Величина скоростного напора в нашем случае может быть определена как

$$\vartheta = \sqrt{2gH}$$

Где  $H$  – скоростной напор , тогда

$$H = \frac{\vartheta^2}{2g}$$

Величина объемного расхода потока воды может быть вычислена как

$$G = \vartheta \cdot F$$

Где  $F$  – площадь роторного колеса

Если для роторных турбин величина площади проекции колеса равна площади круга ометаемая лопастями турбины то для роторных турбин это площадь прямоугольника со сторонами равными длине (высоте) ротора  $L$  и ширине размаха лопастей турбины ( $D$ )(рис 1)

Учитывая вышеизложенное и учитывая, что турбина имеет определенный коэффициент полезного действия ( $\eta$ ), мощность традиционной роторной турбины может быть записана как

$$N_{\tau} = \frac{g\vartheta^3 F \eta}{2}; \quad (1)$$

Формула (1) верна для роторных турбин у которых кромки лопасти турбины полностью погружены в воду. Если же это условие не выполняется, где в камере образуется, воздушная воронка, как у нас, расчет мощности следует вести с учетом этой особенности. Для этого предлагается внести

коррективы в формулу (1) путем введения в него так называемого коэффициента заполняемости ( $Z$ ). Это коэффициент который позволяет определить долю площади роторной турбины, участвующей в процессе взаимодействия с водным потоком при наличии в турбинной камере воздушной воронки.

Дело в том, что если у нас образовывается воздушная воронка то, часть лопастей турбины не участвуют в процессе взаимодействия ее с водным потоком, следовательно при прочих равных условиях мощность турбины будет иная чем представленная в формуле (1). Представим коэффициент заполняемости ( $Z$ ) в виде

$$Z = \frac{f}{F}; \quad (2)$$

Где  $Z$  – коэффициент заполняемости;

$f$  – площадь проекции лопастей роторной турбины находящихся в воздушной воронке.

$F$  – полная площадь проекции роторной турбины

Из (2) можно видеть это  $0 \leq Z \leq 1$

Величина  $Z = 0$  соответствует положению когда роторная турбина полностью оказывается в воздушной воронке. В этом случае  $f = F$ ;

При  $Z = 1$  когда фактически турбина полностью погружена в водяной поток. Тогда естественно  $f = 0$ ;

Рассмотрим расчетную схему взаимодействия роторной турбины с водным потоком, который образует воздушную воронку в турбинной камере. (рис 1)

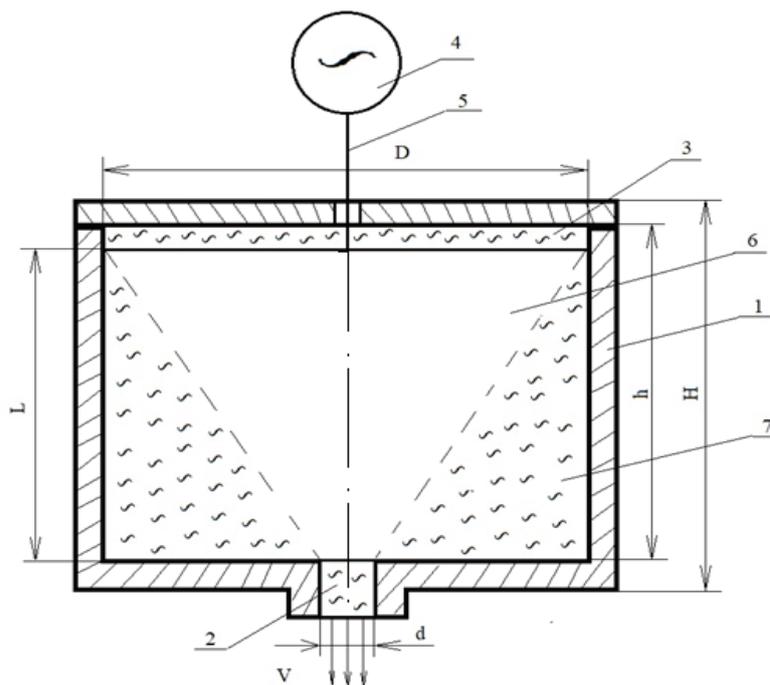


Рис. 1. Расчетная схема взаимного расположения турбины относительно воздушной воронки. 1- камера гидротурбины, 2- нижнее отверстие в камере, 3- подводный канал, 4- генератор, 5- вал турбины, 6- воздушная воронка, 7- лопасти турбины

Сделаем следующие допущения, что подача воды в камеру осуществляется по касательной к ее окружности и при этом проходя через нее образуется воздушная воронка (6) в виде усеченного перевернутого конуса диаметр донной части который равен  $D$ , а верхней части  $d$ .

В общем случае образующая может представлять собой любую криволинейную функцию, зависящую от геометрических параметров турбинной камеры ( $D, d$ ) , кинематических параметров водного потока ( $V, G$ ). Построение этой криволинейной

функции достаточно сложная многопараметрическая задача, которая требует проведения специальных исследований.

Упростив поставленную задачу путем замены криволинейной функции линейной мы достаточно просто можем определить зависимость коэффициента ( $Z$ ). От геометрических параметров лопастей турбины находящихся в воздушной прослойке и водном потоке.

Для случая когда  $Z = 0$ , это фактически момент когда отсутствует водный поток в турбинной камере, т.е. никакого взаимодействия лопастей турбины с водным потоком не происходит.

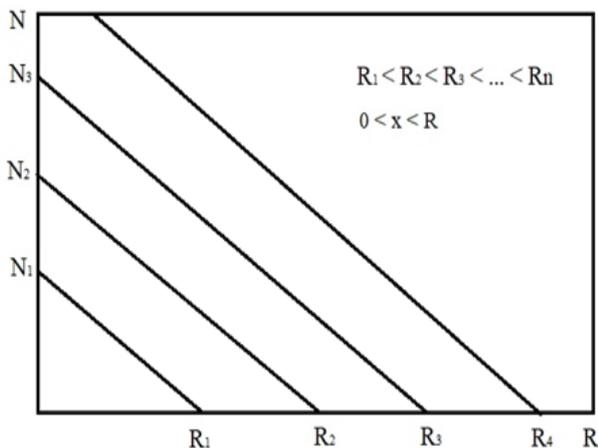
$Z = 1$  соответствует полному погружению роторной турбины в водный поток.

Рассматривая расчетную схему приведенную на (рис 1), с принятыми допущениями, определим значения  $Z$  в зависимости от текущего состояния взаимодействия лопастей турбины с водным потоком.

Видно, что  $Z$  зависит от соотношения площадей лопастей турбины находящейся в воздушной воронке и общей омегаемой площади роторной турбины.

Учитывая что роторная турбина расположена симметрично оси турбинной камеры рассмотрим лишь симметричную половину. Определим значения  $f$  в любом промежутке  $0 \leq Z \leq 1$ ; Исходя из геометрических параметров камеры из приведенных расчетной схемы следует, что

$$f = \frac{(R-x) \cdot L}{2};$$



Где  $R=D/2$ ;

$$\text{Тогда } Z = \frac{(R-x) \cdot L}{2F}, \text{ при } 0 \leq x \leq R; \quad (3)$$

Таким образом нами получено значение коэффициента заполнения в зависимости от геометрических параметров турбинной камеры ( $R,L$ ) и самой турбины ( $F$ ). Физический смысл данного коэффициента означает, что для гравитационной Микро ГЭС при работе, которой в турбинной камере образуется воздушная воронка, в зависимости от соотношения площадей лопастей турбины находящийся в воздушной воронке и непосредственно в потоке воды меняется и отбираемая мощность на вал гидротурбины. Другими словами с учетом (3) формулу (1) можно представить в виде

$$N = \frac{1}{2} h g \vartheta^3 F \cdot Z = \frac{h g \vartheta^3}{2} \cdot \frac{(R-x) \cdot L}{2}; \quad (4)$$

или

$$N = \frac{h g \vartheta^3 (R-x) \cdot L}{4}; \quad (5)$$

Полученная зависимость (5) показывает как зависит выходная мощность на валу гидротурбины гравитационной Микро ГЭС от кинематических параметров гидропотока, геометрических параметров камеры и воздушной воронки.

Построим значения выходной мощности турбины в зависимости от геометрических размеров воздушной воронки при постоянной величине скорости водного потока и высоте турбины. Качественная картина полученных диаграмм в виде на (рис 3).

Рис 3 Качественная картина изменения выходной мощности турбины гравитационной Микро ГЭС с воздушной воронкой

Полученные диаграммы изменения выходной мощности гравитационной микро ГЭС от величины воздушной воронки, при различных значениях диаметра турбинной камеры, говорит о том что при постоянной скорости водящегося водного потока ( $v$ ) и не изменной величине высоты турбинной камеры ( $L$ ) увеличение воронки приводит к росту мощности.

Это можно показать и увидеть если обратиться к расчетной схеме приведенной на рис (рис 1)

Как видно из схемы увеличение значения  $x$  приводит к уменьшению тангенса угла  $\alpha$ , являющийся не чем иным, как углом конусности воздушной воронки

$$tg\alpha = \frac{R - x}{L}$$

откуда  $x = R - Ltg\alpha$

Последние показывает чем больше угол  $\alpha$ , тем величина воздушной воронки меньше, а это приводит к увеличению  $Z$  и как следствие к увеличению выходной мощности.

На рис. 4. Приведены диаграммы зависимости выходной мощности ( $N$ ) от коэффициента заполняемости ( $Z$ ) при различных значениях величин полной ометаемой площади роторной турбины для гравитационной микро ГЭС.

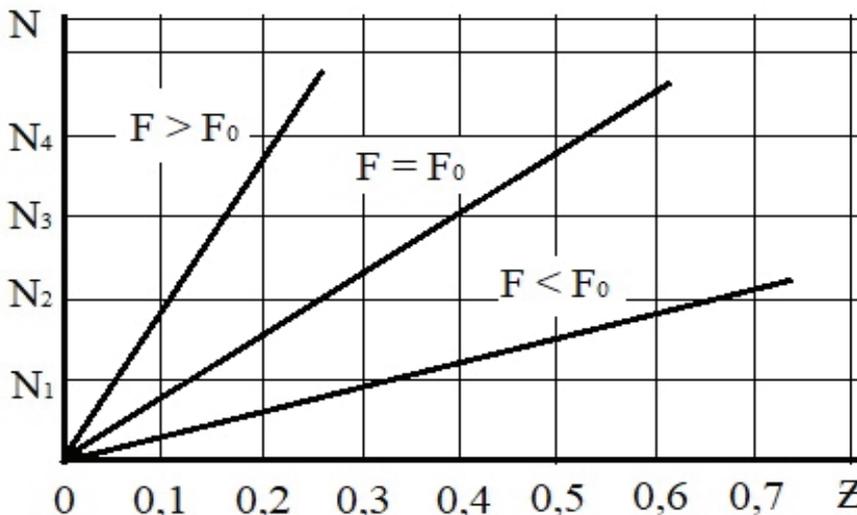


Рис. 4 Качественная диаграмма, изменения выходной мощности от величины коэффициента заполняемости ( $Z$ )

Как видно из диаграмм, зависимость величины выходной мощности от ( $Z$ ) является функцией линейно возрастающей и темпы роста мощности тем выше чем больше полная ометаемая площадь лопастей турбины.

На основе полученных зависимостей и анализа результата влияния величины коэффициента заполняемости ( $Z$ ) на выходные параметры гидротурбины, следует сделать следующие выводы, которые нам будут необходимы при дальнейших исследованиях.

- Наличие воздушной воронки однозначно не приводит к повышению выходной мощности гидрогенератора.

Другими словами образование воздушной воронки для роторных гидрогенераторов гравитационных Микро ГЭС, требует новых подходов и дополнительных исследований для ответа на вопрос ее влияния на выходную мощность.

- Проектирование и расчет параметров лопастей гидротурбины рассматриваемого типа Микро ГЭС следует осуществлять с учетом коэффициента заполняемости ( $Z$ ) при наличии воздушной воронки.

## Литература

1. *Фолькер Куашилинг*. Системы Возобновляемых источников энергии (Технология, расчеты, моделирование) изд. «Фолиант» Астана, 2013 г.
2. *Обозов А.Д., Ботпаев Р.М.*, Возобновляемые источники энергии изд., «Техник» Бишкек, 2010 г.
3. *Обрезков В.И.* Гидроэнергетика, М. 1988 г.
4. Национальная программа энергетики КР 2015-2020 гг.
5. *Обозов А.Д., Исогода Д.Т. и др.* Низконапорные Бироторные Микрогидроэлектростанции изд. ООО «Ношир -С», г. Боктар, 2021 г.
6. *Медеров Т.Т.* и др. Микрогидроэлектростанция с использованием гидроворонки «Известия КГТУ им. И. Раззакова» № 59, Бишкек 2017.
7. *Обозов А.Д., Медеров Т.Т. и др.* К одной из задач создания гравитационных, водоворотных гидроэлектростанций. Вестник КГУСТА им. Н. Исанова №2 (26) том 1 Бишкек, 2022 г.