

## Методика расчёта, обзор конструкций и компоновка микро ГЭС.

Гашинский Ю.П.

Значение малой энергетики в современных условиях возросло в связи с затруднениями в электроснабжении от мощных станций. Электросеть Кыргызстана оказалась заложницей системы не справляющейся с возложенными задачами бесперебойного снабжения промышленности и граждан. Потребители вынуждены искать альтернативу.

Актуальной задачей разработка технического средства для снабжения электрической энергией индивидуальных потребителей. Такие средства давно известны и их можно разделить на свободно-поточные микро ГЭС и деривационные. Вторые требуют сооружения подводящего канала и напорного водовода. Ввиду этого мы их исключили из нашего рассмотрения и обосновали методики расчетов системы с малым гидростатическим напором для альтернативного электроснабжения объектов возле водных потоков, со съёмом энергии водного потока без строительства гидротехнических сооружений.

Методика расчетов мощностей текущей воды характеризуются величиной расхода и скоростью течения. Русло потока - площадью поперечного сечения и уклоном.

Количество электроэнергии, получаемой на каком-то конкретном месте свободного потока приводящего в движение турбину микро ГЭС можно рассчитать, используя следующие уравнения:

$$P = 0,098 Q * H, \quad (1)$$

$$n = Q * s * g * H \quad (2)$$

$$Q = \pi * d^2 * v / 4 \quad (3)$$

$$N_{стр} = \pi * d^2 * s * v^3 / \eta * 8 \quad (4)$$

где  $P$  - мощность (кВт);

$Q$  - расход воды (л / сек);

$H$  - полный гидростатический напор (м);

$n$  – скорость вращения работающего рабочего колеса - турбины (об/мин.);

$N_{стр}$  – мощность струи потока;

$S$  - сечение потока (м<sup>2</sup>);

$g$  - =9,8 м/с, скорость свободного падения;

$d$  – диаметр рабочего колеса (м);

$v_{вх}, v_{вых}$  -; скорости течения входа и выхода в рабочих колесах (м/сек).

С учётом напора  $H$  мощность потока:

$$P_n = \rho * Q [gH + (v_{вх}^2 - v_{вых}^2) / 2] \quad (5)$$

А при учёте КПД турбины с двигателем мощность микро ГЭС равна

$$P_{ГЭС} = 0,098 \eta * P_n \quad (6)$$

Для начала, предположим, что  $КПД$  системы равняется 50 % ,т.е.  $\eta=0,5$ . Затем, для определения количества получаемой электроэнергии, используется формула:

$$P = 0,5Q * H.$$

Таким образом, необходимый для получения данного количества энергии гидростатический напор равен:

$$H = P / 0,5Q$$

Например: при  $d=0,2\text{м.}$ ,  $v = 5\text{м/сек}$  и  $\eta=0,8$  количество получаемой электроэнергии составляет  $P=2,0\text{кВт.}$

Величина гидростатического напора может быть значительной (как в водопаде) или небольшой. **Реально получается, что энергия будет зависеть от того, насколько эффективно вода доставляется от вершины конструкции до ее основания** (зависит от длины, размера и типа используемой трубы). Затем **насколько эффективно энергия конвертируется в электричество.**

Далее, электроэнергия передается от генератора до места использования – жилые здания, оборудование, и т.д. На этом участке также теряется часть энергии. Обычно высокоэффективная энергосистема требует более высоких затрат.

При условии, что система обладает достаточным гидростатическим напором и расходом (дебитом) воды, рассматриваются другие аспекты – затраты на рабочую силу, материалы и проч. В каждом отдельном случае эти компоненты широко разнятся.

Пример. Исходные данные:  $Q=3,0\text{ м}^3/\text{с}$ ;  $H=1,5\text{ м}$ ;  $v_{ax}=6\text{м/с}$ ;  $v_{вых}=2\text{м/с}$ ,  $\eta=0,8$  и плотность жидкости  $\rho=10^3$ .

Определяем количество вырабатываемой электроэнергии:

$$P_{турб.} = \eta * \rho * Q [g * H + (v_{ax}^2 - v_{вых}^2)/2] = 0,8 * 10^3 * 3 [9,8 * 1,5 + (6^2 - 2^2)/2] = 73,7\text{кВт.}$$

**Обычно производятся эвристические расчеты** с учетом коэффициента подобия, связывающих геометрическое, кинематическое и динамическое подобие модельных и реальных турбин по числам Рейнольдса и Фруда (соотношение сил инерции к силам веса).

Основными параметрами являются:  $H$ ,  $Q$ ,  $P$ ,  $n$  и  $D_l$  - основной максимальный диаметр рабочего колеса.

1. Связь скорости вращения турбины с диаметром рабочего колеса.

$$\frac{n_a}{n_b} = \frac{D_{1b} * \sqrt{H_a}}{D_{1a} * \sqrt{H_b}} \quad (7)$$

где  $a$  и  $b$  - постоянные величины режима скорости прохождения воды через турбину.

2. Расходы двух подобных турбин

$$\frac{Q_a}{Q_b} = \frac{D_{1a}^2 \sqrt{H_a}}{D_{1b}^2 \sqrt{H_b}} \quad (8), \square$$

где  $Q_a$  и  $Q_b$  - величины расхода воды через турбину

3. КПД двух подобных турбин

$$\hat{\eta} = \sqrt{\frac{\eta_T}{\eta_M}}; \quad (9)$$

Мощности двух подобных турбин, одна из которых имеет  $D_l = 1\text{ м}$ ,  $H=1\text{ м}$  и приведённые величины оборотов, расхода и мощности по известным формулам:

$$\text{количество оборотов} \quad n = \frac{60u}{\pi D_l}; \quad \text{где } u - \text{окружная скорость,}$$

$$\text{и скорость потока} \quad V = \varphi \sqrt{2gH}; \quad \text{где } \varphi - \text{вязкость потока.}$$

Турбина, использующая потенциальную и кинетическую энергию потока жидкости получает:

$$E_{\text{раб}} = \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad (10)$$

$$n_1^1 = \frac{nD_1}{\sqrt{H}}; \quad (11)$$

$$Q_1^1 = \frac{Q}{D_1^2 \sqrt{H}}; \quad (12)$$

$$N_1^1 = \frac{N}{D_1^2 H \sqrt{H}}; \quad (13)$$

где:  $E_{\text{раб}}$  – энергия струи,  $n_1^1$  – быстроходность турбины,  $Q_1^1$  – расход через турбины и  $N_1^1$  – мощность по 1-му приближению.

С учётом КПД получается во втором приближении:

$$n = n_1^1 * \frac{\sqrt{H}}{D_1} * \sqrt{\frac{\eta_T}{\eta_M}}; \quad (14)$$

$$Q = Q_1^1 * D_1^2 * \sqrt{H} * \sqrt{\frac{\eta_T}{\eta_M}}; \quad (15)$$

$$N = N_1^1 * D_1^2 * H * \sqrt{H} * \frac{\eta_T}{\eta_M} \sqrt{\frac{\eta_T}{\eta_M}}; \quad (16)$$

Исходя из вышеизложенных расчетов коэффициент быстроходности турбины, т.е. число оборотов турбины развивающей мощность в 1 лошадиную силу (730 Вт) при напоре в 1 метр определяется по простой формуле.

$$n_s = \frac{n \sqrt{N_{\text{лош.сил}}}}{H \sqrt[4]{H}}; \quad (17)$$

На основе этих формул можно сделать вывод, что большое количество разных типов микро ГЭС приводит к необходимости проводить модельные испытания вновь разрабатываемых типов турбин и устройств съема энергии потока, а затем приступать к изготовлению наиболее рациональных вариантов.

Свободно-поточные микро ГЭС должны обеспечивать по результатам наших исследований и опросов мощности от одного до 7 киловатт. Условия установки микро ГЭС на горных реках и крупных каналах, арыках и водотоках с преимущественно большой скоростью течения (от 1,7 до 2,5 м/сек и более). Предварительные расчеты, произведенные по вышеизложенным формулам показали, что мощность микро ГЭС для индивидуальных потребителей в быту не более 5 киловатт можно получить на струе поперечным сечением около 0,3-0,5 м<sup>2</sup> со скоростью около 2,0... 2,5 м/сек.

Использование энергии малых рек сулит существенные выгоды по снабжению электрической энергией индивидуальных потребителей. Поэтому, создание нового технического средства для выработки электрической энергии в малых количествах на водных потоках с малым расходом, но большой энергией, позволит улучшить быт сельчан, дачных поселков, фермерских хозяйств, мельниц, хлебопекарен. А также небольших производств в отдаленных, горных и труднодоступных районах, электрифицировать стрижку овец там, где нет поблизости линии электропередач, для индивидуальных потребителей. Этому способствует предлагаемая методика расчета.

Произведём обзор возможных вариантов исполнения микро ГЭС как источника энергии на свободном потоке без гидротехнических работ и сооружений или выполняя их в минимальном объёме. В этой связи классифицируем микро ГЭС на: **стационарные и мобильные.**

Для целей заявленных в начале к стационарным отнесены ГЭС **деривационного** типа т.е. такие ГЭС, где падающая вода подводящаяся к энергоустановке по водоводу образует ветвь потока с перепадом высот. Вверху по течению устраивается канал с уклоном меньшим, чем уклон основного потока. При перепаде высот достаточном для выработки необходимой мощности (или по другим ограничениям) поток передаётся в напорный водовод, соединённый с турбинной камерой, в которой энергия воды переходит в энергию механического вращения вала генератора электрической энергии.

Для повышения КПД установки и более полного использования энергии потока предлагается устройство с **вращающейся вставкой** и вынесенным за пределы потока генераторной установкой

по рисунку № 2. Такое расположение энергоустановки позволяет использовать водную энергию в напорных водоводах каскадно, без изменения направления потока то есть более просто. Уплотнения вращающейся вставки составляют наше ноу хау. Мощность установки такого рода до 50 кВт в зависимости от мощности потока (т.е от напора  $H$  и расхода  $Q$ ), а также потребности пользователя. Ранее нами [1] дан расчёт мощностей потока в зависимости от скорости течения для элементарной струи и аналитическая формула по которой легко рассчитывается мощность  $N_{\text{по}}$  потока проходящего через поперечное сечение установки. Основная трудность регулирования долговременной стабильности выдаваемого напряжения при изменениях нагрузки и уровня верхнего бьефа (УВБ) потока. Эту задачу по нашему предложению необходимо решать с помощью разработанных нами управляющих регулирующих устройств на базе силовых интеллектуальных модулей и преобразователей. Это конечно повышает стоимость устройства, но позволяет обходиться без обслуживающего персонала.

### Мобильные микро ГЭС

Проблема регулирования установки по УВБ и направлению потока легко решается нашим предложением применять самоустанавливающиеся, плавающие микроГЭС, например **на понтоне катамаранного типа**. Такая установка с анкерным тросом позволяет, использовать быстротоки горных рек для мобильной установки источника электрической энергии за 1...2 часа и покрывает расход семьи чабана или туристического отеля. В зависимости от скорости течения можно подбирать мощность генератора и площадь поверхности лопастей так чтобы получить максимальный КПД и необходимую мощность.

**Плавающая микро ГЭС** с рабочим колесом ось которого расположена также поперёк потока, но уже без понтонов могла бы пригодиться как в чрезвычайных

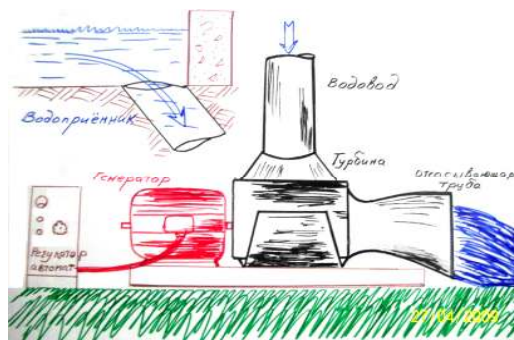


Рисунок № 1.

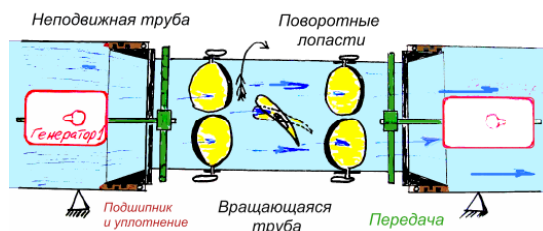


Рисунок № 2.

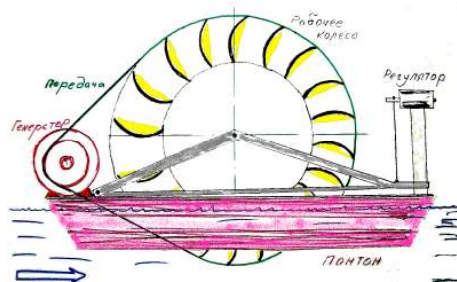


Рисунок № 3.

ситуациях так и в походе, кочёвке, на пикниках и в других подобных случаях. Особенностью такой установки являются, тороидальные поплавки вращающиеся вокруг капсулы. На рисунке № 4 левое колесо условно развёрнуто на 90 градусов. Общая ось неподвижна относительно колёс и лопастей, которые можно разобрать при перевозке и собрать для работы. В собранном состоянии колесо

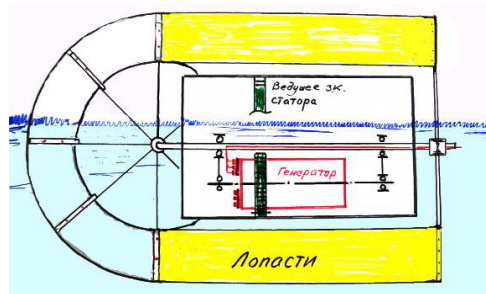


Рисунок № 4.

прокручивается в капсуле со смещённым центром тяжести так, что генератор, оставаясь, всё время внизу вращается. Так как ось неподвижна относительно оболочки капсулы, уплотнения отсутствуют в разъёмной оси. Герметичность обеспечивается по образующей цилиндра капсулы, которая может быть изготовлена из оцинкованной жести и предназначена для защиты генератора от воды и плавучести. Для повышения мощности можно использовать соединенные в гирлянды микро ГЭС.

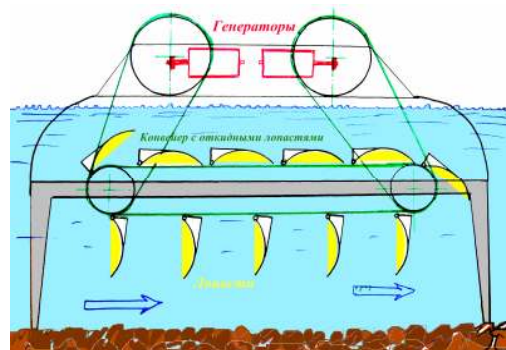


Рисунок № 5

Использование плавающих установок приводит к двум проблемам: сохранности и использования в зимнее время. Для шнека плавучесть можно подобрать так, чтобы он был погружён в воду полностью. Это решит сразу обе проблемы, но необходимо выбирать глубокие места для установки микро ГЭС.

**Конвейерная микро ГЭС с лопастями** (или с откидными лопастями). Может иметь необходимую мощность за счёт увеличения длины и использования второго генератора. Работает на неглубоких местах, но требует хорошей скорости потока, то есть желательно более двух метров в секунду. Конвейерная рама может заглубляться в грунт для обеспечения устойчивости и пригружается сверху камнями. При желании для уменьшения сопротивления обратной ветви конвейера её можно вынести в воздух над генератором или поместить под колокол с воздухом.

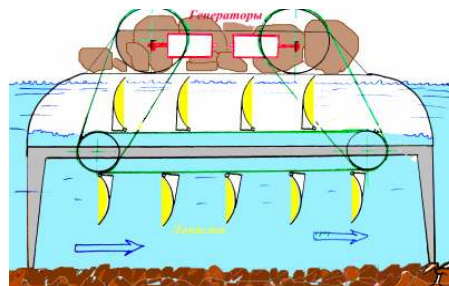


Рисунок № 6.

Одной из старейших конструкций микро ГЭС использовавшихся в Кыргызстане ещё в годы войны была «бочка», т.е. капсула обтекаемой формы для создания ускоренного потока воды в пространстве ограниченном кожухом - «бочкой». Мы предлагаем некоторые усовершенствования в частности двойные поворотные лопасти, регулируемые по наклону вне воды, заранее, систему уплотнения и др. Такая конструкция, скрытна, может работать подо льдом, но недостаточно мобильна при требовании мощностей за 5 кВт, имея при этом размер 200 литровой металлической бочки.

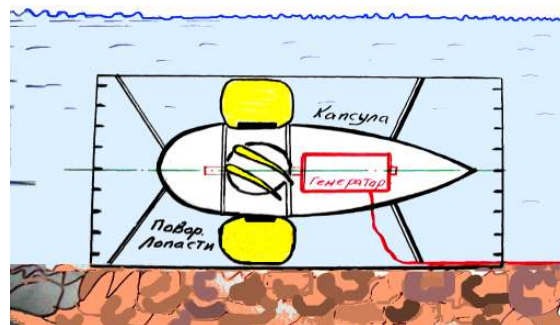


Рисунок № 7. микроГЭС «Бочка»

Самую мощную из предлагаемых микро ГЭС назовём **большие лопасти с наклонной осью**. Преобразованная нами микро ГЭС позволяет получать мощности до



90 кВт на свободном потоке. Позволяет обходиться без гидротехнических сооружений, достаточно мобильна для станций такой мощности. Гидроустановка монтируется на основании, которое можно перемещать по берегу реки. Наклон оси обеспечивается уклоном берега. Это позволяет лопастям даже очень больших размеров выходить из реки при обратном ходе. Опоры лопастей на основании разгружают центральную ось, на которой смонтированы редуктор для увеличения скорости вращения генератора и сам генератор. Возможна задержка хода лопасти из-за разной окружной скорости по длине лопасти, тогда этот недостаток придётся компенсировать уменьшением длины лопасти погружённой в воду.

В любом случае необходимо провести натурные эксперименты по сравнению конструкций и снятию их характеристик. Для этого в институте строится лаборатория микро ГЭС и оборудуется установкой позволяющей получить быстроток, перепад высот, и имеющая направляющий аппарат открытого типа. Мерные водосливы и запорное оборудование дополняют комплекс приборов для снятия характеристик моделей, приведённый на рисунке № 9. Это обеспечит единство и

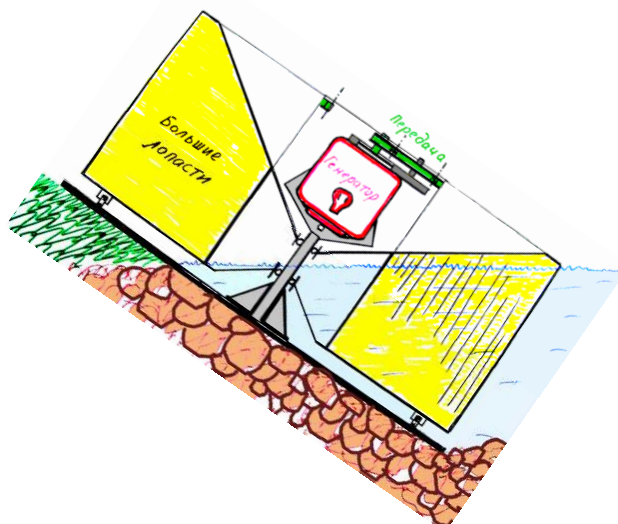
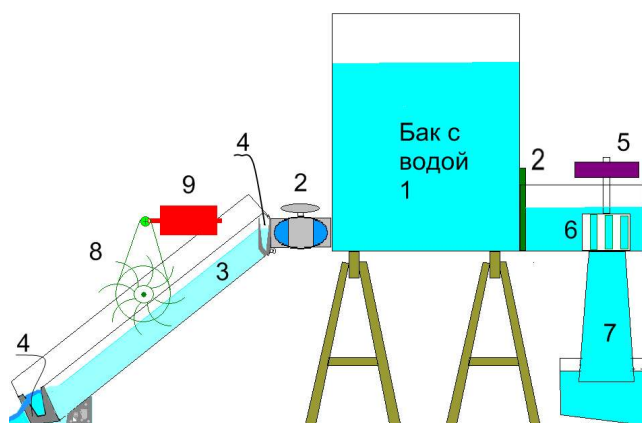


Рис. № 8. МикроГЭС Большие лопасти.

Преимущество измерений, доводку конструкций до максимальных КПД и практического использования разработок.

Обозначения:

1. Бак с водой;
2. Вентили и заслонки регулирующие поток;
3. Быстроток;
4. Мерные водосливы, замер  $Q$  по специальной градуировке;
5. Приспособление для замеров моментов тяги рабочего колеса;
6. Направляющий аппарат и рабочее колесо;
7. Отсасывающая труба;
8. Испытываемая модель колеса на свободном потоке;
9. Генератор.



### Литература

1. Потапов В.М., Ткаченко П.Е., Юшманов О.Л. Использование водной энергии. «Колос», М., 1972.
2. Соколов Д.Я. Использование водной энергии. «Колос», М., 1969.
3. Беляков Ю.П., Рахимов К.Р. «Энергетические ресурсы Киргизстана и их освоение». Ф. КиргизИНТИ. 1985.
4. Тезисы докладов республиканского совещания «Проблемы энергоресурсов малых рек». КиргизНИИЭ. Ф. КиргНИОЭ, 1984.
5. Информации сайтов «Internet».