

## ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНОЙ НОВОЙ ОРИГИНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ СТЕНД ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ГИДРОТУРБИН

В.М. Иванов, Т.Ю. Иванова, Е.П. Жданов, А.А. Блинов, С.Г. Пчелинцев

*В работе приведены разработанные авторами осевая гидротурбина новой оригинальной конструкции и гидравлический стенд для комплексного моделирования проточных частей гидротурбин, контрольно-измерительная аппаратура и методы замера экспериментальных величин.*

*Ключевые слова: осевая гидротурбина, конструкция, методика, расчет, гидравлический стенд.*

Статья написана в связи с проведением НИР в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы по проблеме «Гидроэнергетические установки (ГЭУ) новой оригинальной конструкции на базе осевых гидротурбин».

Энергосистема Алтайского края относится к разряду остродефицитных. Более 50% электроэнергии Алтайский край получает извне. В условиях рынка это уменьшает конкурентоспособность производимой в крае сельскохозяйственной и промышленной продукции. Кроме этого слабая энерговооружённость отдельных сельскохозяйственных районов в виду дороговизны строительства ли-

ний электропередач, а зачастую просто невозможности их прокладки, делает хозяйственную деятельность в них нерентабельной. В решении данной проблемы существенную роль может оказать использование дешёвого, простого в изготовлении и эксплуатации, экономичного и экологичного автономного источника электроэнергии, каковым может являться ГЭУ.

В настоящий момент имеются отдельные отечественные и зарубежные разработки ГЭУ мощностью от 4 до 50 кВт, недостатками которых являются их дороговизна и отсутствие широкого набора типоразмеров на различные мощности при различных расходах и напорах водотоков.

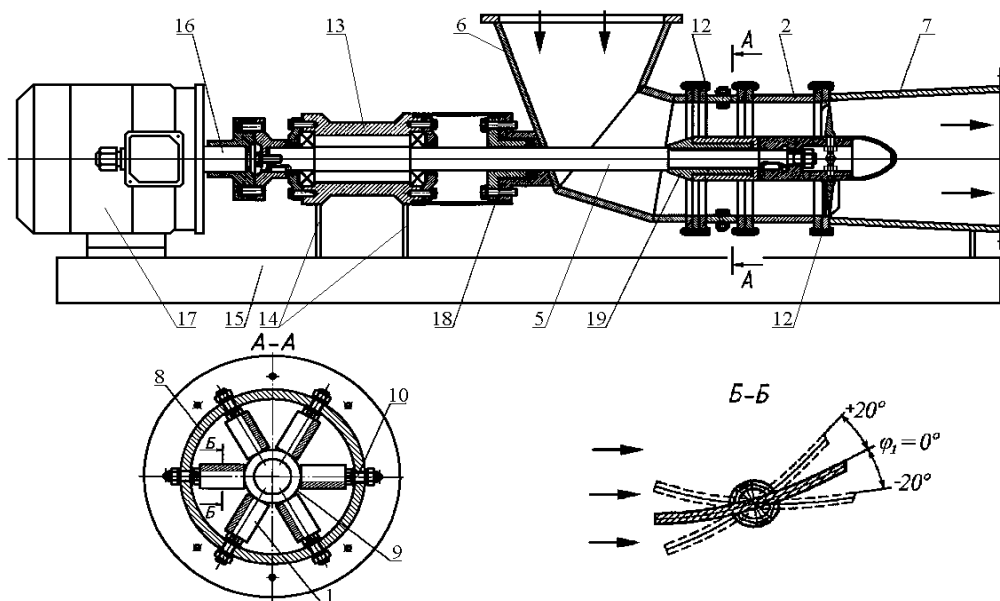


Рисунок 1 – Осевая гидротурбина в сборе с рамой 15 и электрогенератором 17

## ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНОЙ НОВОЙ ОРИГИНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ СТЕНД ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ГИДРОТУРБИН

Дальнейшее освоение энергетических ресурсов отдалённых и труднодоступных районов требует дополнительного изучения, в том числе на основе физического моделирования.

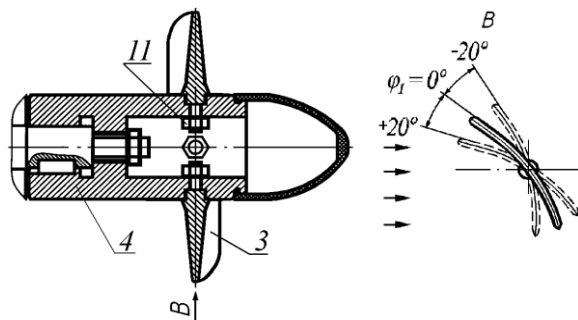


Рисунок 2 – Рабочее колесо в сборе с валом и обтекателем

### Осевая гидротурбина новой оригинальной конструкции

В ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ) на кафедре «Теплотехника, гидравлика и водоснабжение, водоотведение», в лаборатории комплексных исследований малых гидроузлов и МикроГЭС разработана ГЭУ с осевой гидротурбиной новой оригинальной конструкции (рисунки 1 и 2), на которую получен патент РФ на изобретение № 2371602 [1].

Осевая гидротурбина содержит направляющий аппарат (сечение А-А), рабочее колесо, размещенное в камере 2 и установленном на валу 5, водоподводящую 6 и водоотводящую 7 части.

Направляющий аппарат выполнен из соосно расположенных внешнего 8 и внутреннего 9 корпусов. Лопатки 1 направляющего аппарата выполнены изогнутой формы и развернуты по направлению вращения рабочего колеса (сечение Б-Б), равномерно закреплены одними концами на внутреннем корпусе, а другими – соединены с внешним корпусом с помощью резьбового соединения 10 с возможностью поворота.

Криволинейной формы лопасти 3 рабочего колеса закреплены на его корпусе 4 посредством резьбового соединения 11 также с возможностью поворота.

Камера рабочего колеса соединена одним торцом с водоотводящей частью, а другим – с внешним корпусом направляющего аппарата, который соединён с водоподводящей частью.

Соединения герметичны и выполнены с помощью фланцев 12.

Водоподводящая часть выполнена изогнутой формы из стальных трубных элементов и конфузоров, соединенных сваркой. Водоотводящая часть в виде диффузора, а также камера рабочего колеса и внешний корпус направляющего аппарата выполнены из стандартных трубных элементов, изготовленных на определенное давление, что гарантирует их прочность.

К водоподводящей части приварен корпус сальникового уплотнения 18 для вала.

Внутренний 9 корпус направляющего аппарата установлен на валу 5 посредством втулки 19.

Корпус 4 рабочего колеса соединен с внутренним корпусом 9 направляющего аппарата, установленного на одном из концов вала 5. Последний расположен горизонтально относительно плоскости вращения рабочего колеса и размещен посредством подшипникового узла 13 на опорах 14, закрепленных в раме 15 из сварных металлических конструкций. Вал 5 соединён с валом 16 электрогенератора 17, в качестве которого может быть использован трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором общепромышленного использования.

Электрогенератор подключен к блоку автоматического управления электрической нагрузкой (БАУЭН), что позволяет поддерживать электрические характеристики вырабатываемого напряжения в стандартных пределах.

Поворачивать лопатки направляющего аппарата и лопасти рабочего колеса более чем на  $-20^\circ$  нецелесообразно, так как это приводит к закрытию прохода для воды, и более чем на  $+20^\circ$ , так как при этом возрастает расход воды, приводящий к резкому увеличению гидравлического сопротивления настолько, что возникает необходимость определения новых расчётных положений углов установки лопаток направляющего аппарата и лопастей рабочего колеса для сохранения высокого к.п.д.

Угол установки лопатки направляющего аппарата и угол установки лопасти рабочего колеса образованы осями, соответственно, лопатки и лопасти и горизонтальной осью вала. Расчётные положения углов установки лопаток направляющего аппарата и лопастей рабочего колеса соответствуют оптимальному к.п.д. при определенных напорах и расходах воды.

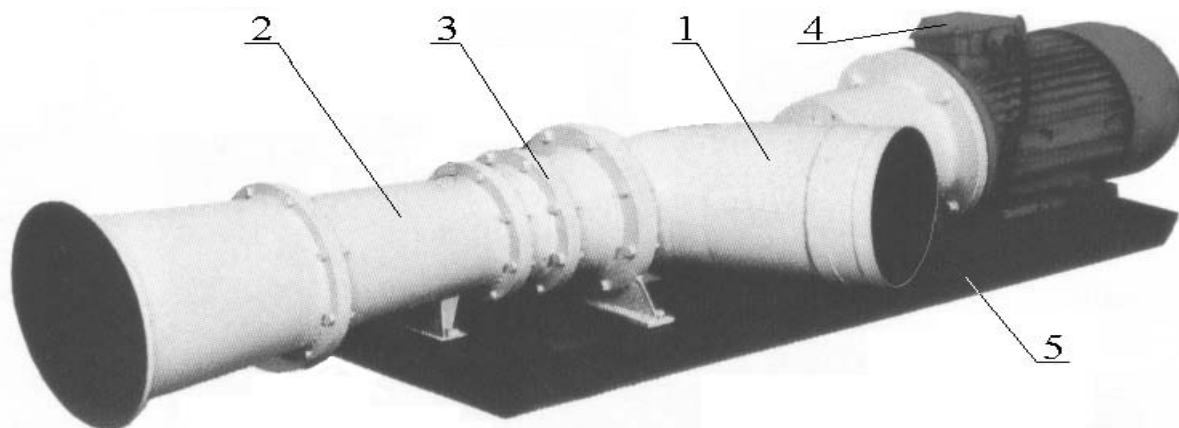


Рисунок 3 – Внешний вид осевой гидротурбины с электрогенератором для ГЭУ с параметрами:

мощность – 1...10 кВт; расход воды – 10...100 л/с; напор – 1...10 м: 1 – подводящая часть; 2 – отводящая часть; 3 – осевая гидротурбина; 4 – электрогенератор; 5 – рама опорная

Осевая гидротурбина работает следующим образом.

Поток воды, проходя через водоподводящую 6 часть, поступает на лопатки 1 направляющего аппарата, а далее – на лопасти 3 рабочего колеса. После чего вода направляется в водоотводящую часть 7. При значительном изменении напора и расхода для обеспечения высокого к.п.д. осевой гидротурбины осуществляется регулирование расхода воды одновременной перенастройкой вручную положения лопаток направляющего аппарата и лопастей рабочего колеса. При этом энергия воды преобразуется в механическую энергию вала, соединенного с валом электрогенератора, превращающего механическую энергию в электрическую.

Таким образом, использование предлагаемого изобретения приводит к упрощению конструкции, расширению эксплуатационных возможностей осевой гидротурбины, снижению трудоемкости изготовления при сохранении высокого к.п.д. осевой гидротурбины, способствует повышению надежности и удобства эксплуатации, не требуя присутствия высококвалифицированного персонала, и позволяет применять осевую гидротурбину для преобразования энергии малых потоков воды с небольшими расходами и напорами в электрическую энергию.

На рисунке 3 представлен внешний вид осевой гидротурбины с электрогенератором.

**Гидравлический стенд для комплексного моделирования проточных частей гидротурбин для МикроГЭС**

Испытания моделей проточных частей и рабочих колес гидротурбин проводятся на стенде (рисунок 4) в лаборатории комплексных исследований малых гидроузлов и МикроГЭС АлтГТУ.

На стенде, предназначенном для работы с напором до 13 м и расходом до 300 л/с, можно выполнять исследования как моделей гидротурбин в целом, так и отдельных элементов их проточных частей.

Стенд включает в себя следующие основные элементы: четыре горизонтальных центробежных питательных насоса 26 модели К 160/30 с приводами от электродвигателей 27 переменного тока 380 В, мощностью по 22 кВт и частотой вращения 1500 об/мин, напорный бак 1 размером 4,0х1,3х1,3 м, турбинный блок для МикроГЭС 16, приёмный бак 22 размером 6,0х2,6х2,0 м, сбросной бак 24 размером 6,0х2,0х1,3 м и контрольно-измерительную аппаратуру. Напорный бак на высоте 13 м над уровнем пола опирается на раму, подвешенную на четырёх несущих железобетонных колоннах. Приёмный и сбросной баки установлены на бетонном фундаменте.

Подача воды в напорный бак 1 производится по насосному водоводу 8 из сбросного бака 24 питательными насосами 26. К напорному баку присоединён напорный водовод 9 с расходомерной диафрагмой 10 и дифференциальным манометром 12. К напорному водоводу после напорной задвижки 11 присоединена своей водоподводящей частью гидротурбина 16. К водоотводящей части (отсасывающей трубе) гидротурбины присоединена отводящая задвижка 20.

ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНОЙ НОВОЙ  
ОРИГИНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ СТЕНД ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ГИДРОТУРБИН

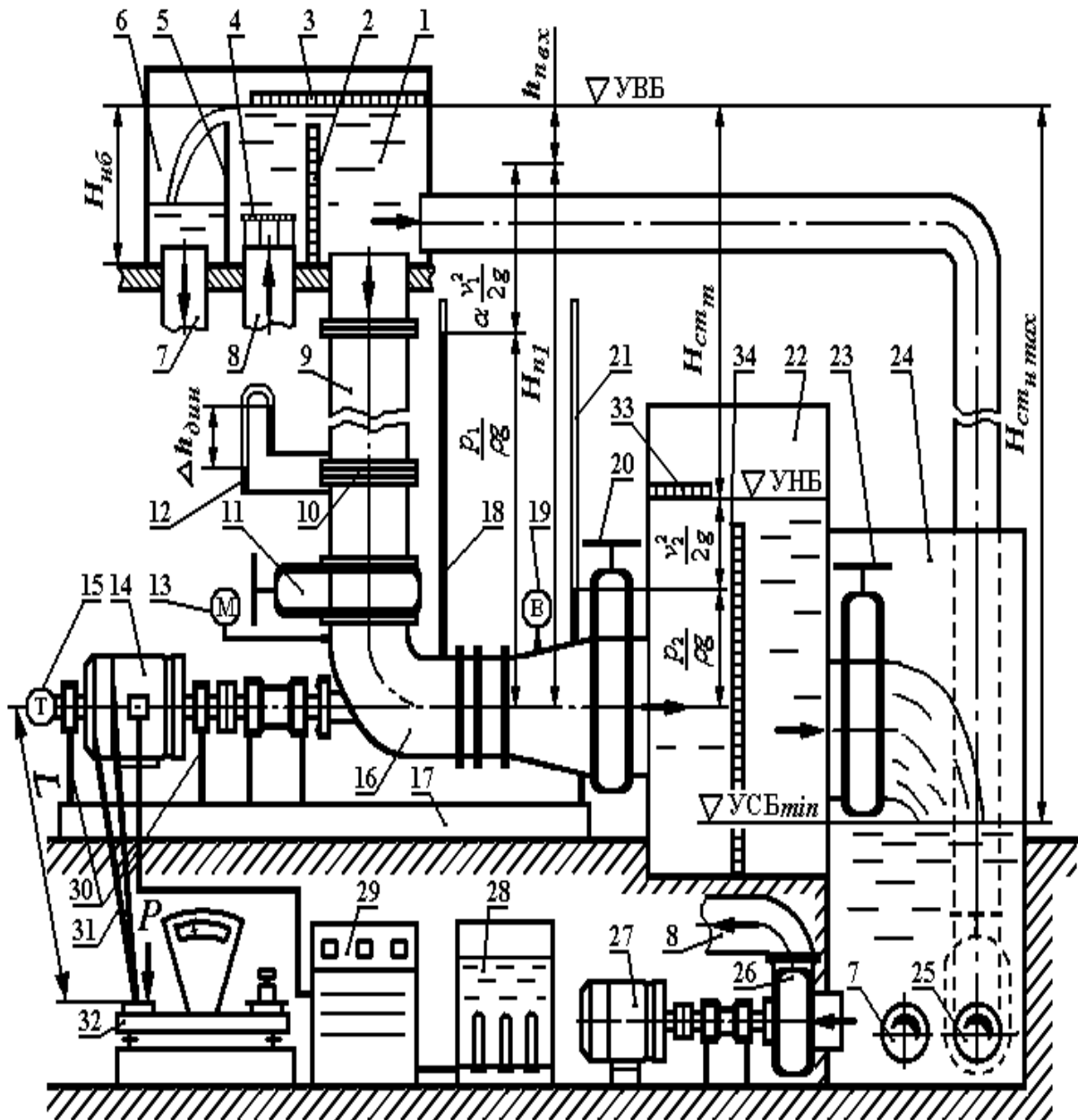


Рисунок 4 – Гидравлический стенд для комплексного моделирования проточных частей гидротурбин для МикроГЭС:

1 – напорный бак; 2 – трубчатый успокоитель; 3 – плавающая решётка; 4 – растекатель; 5 – сливное ребро; 6 – боковой карман напорного бака; 7 – сливной трубопровод; 8 – насосный водовод; 9 – напорный водовод; 10 – расходомерная диафрагма; 11 – напорная задвижка; 12 – дифференциальный манометр; 13 – манометр; 14 – балластный электрогенератор (асинхронный двигатель); 15 – тахометр; 16 – гидротурбина; 17 – опорная рама гидротурбины; 18 – входной пьезометр; 19 – вакуумметр; 20 – отводящая задвижка; 21 – выходной пьезометр; 22 – приёмный бак; 23 – сливная задвижка; 24 – сбросной бак; 25 – регулируемый сбросной трубопровод со сбросной задвижкой; 26 – питательный насос; 27 – электродвигатель питательного насоса; 28 – блок балластной нагрузки (электромотор); 29 – блок автоматического управления электрической нагрузкой (БАУЭН); 30 – подшипниковые опоры балластного электрогенератора; 31 – рычаг; 32 – весы; 33 – плавающая решётка; 34 – трубчатый успокоитель

Вода, пройдя рабочие органы гидротурбины, через отсасывающую трубу и отводящую задвижку 20 поступает в приёмный бак 22 нижнего бьефа, а из него через сливную задвижку 23 в сбросной бак 24.

При необходимости стабилизации уровня свободной поверхности за гидротурбиной в приёмном баке 22 можно устанавливать трубчатый успокоитель 34 и плавающую решётку 33.

Центробежные насосы работают при постоянной частоте вращения и примерно при постоянном напоре, поэтому количество подаваемой ими воды считается постоянным.

Модельная гидротурбина испытывается на разных режимах, определяемых частотой вращения её вала, величиной открытия лопаток направляющего аппарата и углом установки лопастей рабочего колеса. Так как количество воды, протекающей через гидротурбину, зависит от режима, то возникает несоответствие между количеством воды, подаваемым насосами, и расходом ее через гидротурбину, поэтому уровень воды в напорном баке 1 существенно меняется.

Для обеспечения устойчивого положения уровня воды в напорном баке 1 по всей длине горизонтально установлено сливное ребро 5, через которое вода переливается в боковой карман 6 и затем по сливному трубопроводу 7 отводится в сбросной бак 24, а для выравнивания поля скоростей установлены плавающая решётка 3, трубчатый успокоитель 2 и растекатель 4.

Для более точной установки уровня верхнего бьефа в напорном баке 1, часть расхода сбрасывается в сбросной бак 24 через регулируемый сбросной трубопровод со сбросной задвижкой 25. Регулирование величины сбрасываемого расхода и тем самым регулирование высоты слоя воды, переливающейся через ребро 5, производится сбросной задвижкой на сбросном трубопроводе.

Сливной задвижкой 23 можно регулировать уровень воды за гидротурбиной (уровень нижнего бьефа) в приёмном баке 22. Таким образом, манипулируя сливной задвижкой 23 и сбросной задвижкой на сбросном трубопроводе 25 можно обеспечить постоянный рабочий напор при всех экспериментальных режимах. Однако на практике нет необходимости выдерживать рабочий напор постоянным, и эксперименты ведут с грубым его регулированием через указанные сливные устройства, допуская тем самым незначительные (на 1 %) его изменения, учитываемые при замерах и расчетах.

его изменения, учитываемые при замерах и расчетах.

Для определения и контроля нагрузки на вал гидротурбины имеется специальное нагрузочное устройство, состоящее из балластного электрогенератора 14, блока балластной нагрузки 28, БАУЭН 29, рычага 31 и весов 32.

В качестве электрогенератора может использоваться трехфазный асинхронный двигатель, в качестве блока балластной нагрузки используется электродвигатель с ТЭНами.

Балластный электрогенератор подключен электрическим кабелем к БАУЭН, который соединён с блоком балластной нагрузки.

Во время работы в обмотках балластного электрогенератора возникают электромагнитные поля, создающие тормозящий момент на валу электрогенератора.

Рычаг одним концом соединён с корпусом балластного электрогенератора, другим опирается на измерительную платформу весов с величиной нагрузки.

Параметры гидравлического стенда позволяют испытывать опытные образцы МикроГЭС мощностью до 30 кВт, а большей мощностью их модели.

Объекты малой гидроэнергетики могут сооружаться практически на любых водных объектах: на малых реках и ручьях, водосбросных сооружениях, канализационных коллекторах и др. На рисунках 5 – 8 приведены варианты расположения МикроГЭС.

#### **Контрольно-измерительная аппаратура и методы замера экспериментальных величин**

Контрольно-измерительная аппаратура представлена на рисунке 4, а методы замера экспериментальных величин описаны в литературе [2-4].

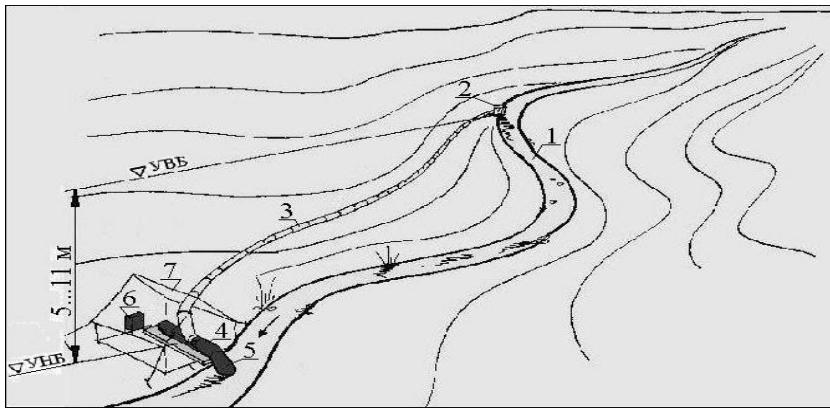
Расход воды  $Q$ , протекающей через гидротурбину, замеряется с помощью расходомерной диафрагмы 10 и дифференциального манометра 12. Зная величину динамического напора  $h_{дин}$ , можно найти расход  $Q$  по формуле:

$$Q = \sqrt{2g \cdot h_{дин}},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения. В нашем случае статический напор турбины равен разнице высот уровней в верхнем и в нижнем бьефах:

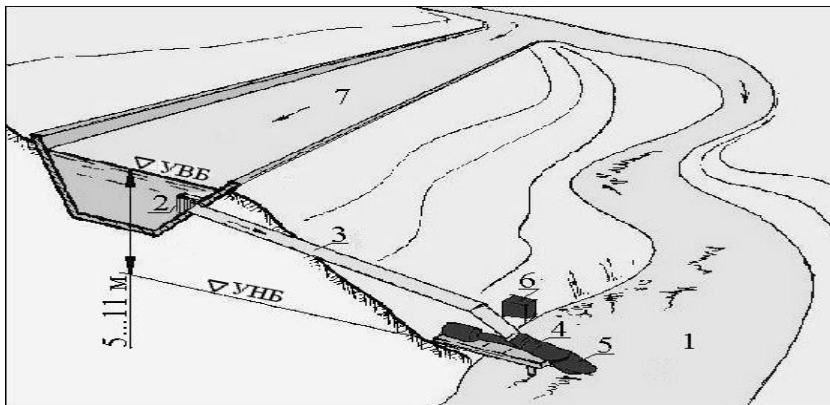
$$H_{стм} = \nabla_{УВБ} - \nabla_{УНБ}, \text{ м вод. ст.}$$

**ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНОЙ НОВОЙ  
ОРИГИНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ СТЕНД ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОТОЧНЫХ ЧАСТЕЙ ГИДРОТУРБИН**



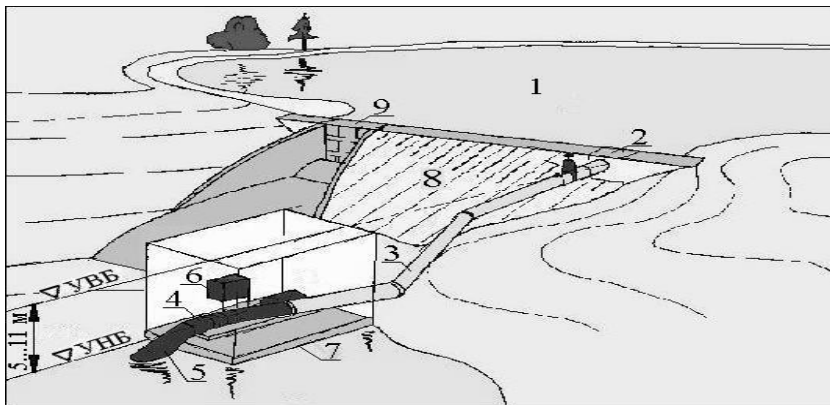
*Рисунок 5 – Безплотинное расположение МикроГЭС с гибким водоводом (руко-вом):*

- 1 – река;
  - 2 – водозабор с заслонкой;
  - 3 – водовод подводящий;
  - 4 – МикроГЭС;
  - 5 – водовод отводящий;
  - 6 – БАУЭН;
  - 7 – брезентовая палатка;
- УВБ – уровень верхнего бьефа;  
УНБ – уровень нижнего бьефа



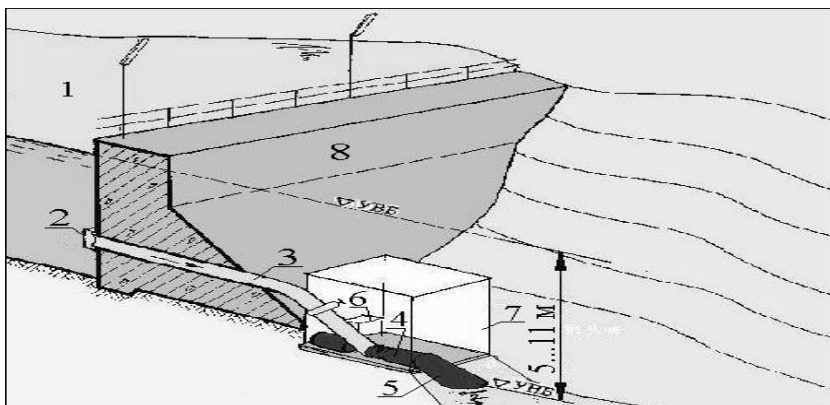
*Рисунок 6 – Безплотинное расположение МикроГЭС на канале:*

- 1 – река;
- 2 – водозабор с заслонкой;
- 3 – водовод подводящий;
- 4 – МикроГЭС;
- 5 – водовод отводящий;
- 6 – БАУЭН;
- 7 – канал деривационный



*Рисунок 7 – Расположение МикроГЭС в составе мало-го гидроузла с земляной и водосливной плотинами:*

- 1 – водохранилище (озеро);
- 2 – водозабор;
- 3 – водовод подводящий с задвижкой (затвором);
- 4 – МикроГЭС;
- 5 – водовод отводящий;
- 6 – БАУЭН;
- 7 – здание МикроГЭС;
- 8 – земляная плотина;
- 9 – водосливная плотина



*Рисунок 8 – Расположение МикроГЭС в составе мало-го гидроузла с бетонной плотиной:*

- 1 – водохранилище;
- 2 – водозабор;
- 3 – водовод подводящий с задвижкой (затвором);
- 4 – МикроГЭС;
- 5 – водовод отводящий;
- 6 – БАУЭН;
- 7 – здание МикроГЭС;
- 8 – бетонная плотина

ИВАНОВ В.М., ИВАНОВА Т.Ю., ЖДАНОВ Е.П., БЛИНОВ А.А., ПЧЕЛИНЦЕВ С.Г.

При определении напора  $H_{cm\ m}$  для турбин, к которым вода подводится по трубопроводу, необходимо учитывать величину скоростного напора в сечении, где замеряется давление.

Частота вращения вала модельной турбины замеряется либо тахометром 15, либо механическим или электрическим счетчиком оборотов.

Величина нагрузки  $P$  определяется как сумма показания на шкале весов 32 и веса гири на противоположной платформе.

Крутящий момент  $M$  на валу гидротурбины составляет

$$M = P \cdot L,$$

где  $P$  – полезная нагрузка на весы,  $H$ ;

$L$  – длина плеча тормоза, т. е. расстояние от оси вращения вала гидротурбины до линии действия силы  $P$ ,  $m$ .

#### Порядок ведения экспериментов

Лабораторные испытания моделей гидротурбин производятся при различных открытиях лопаток направляющего аппарата, которые измеряются или расстоянием в свету между двумя соседними лопатками направляющего аппарата, или выражается в долях от максимального открытия, принимаемого за единицу.

При каждом открытии регулирующего органа исследуют несколько режимов, соответствующих разным нагрузкам на валу турбины. При заданном открытии регулирующих органов и заданной нагрузке с помощью приборов определяют расход воды  $Q$ , протекающей через турбину, частоту вращения вала турбины  $n$  (об/мин) и рабочий напор  $H_{cm\ m}$ , а затем вычисляют приведенные числа оборотов

$$n_I' = \frac{nD_1}{\sqrt{H_{cm\ m}}};$$

приведенный расход

$$Q_I' = \frac{Q}{D_1^2 \sqrt{H_{cm\ m}}};$$

коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{N}{N_n} = \frac{M\omega}{\rho g Q H_{cm\ m}} = \frac{PL\pi}{30\rho g Q H_{cm\ m}},$$

где  $D_1$  – диаметр рабочего колеса гидротурбины по выходным кромкам;

$\omega$  – угловая частота вращения вала турбины;

$\rho$  – плотность воды;

$N = M\omega$  – мощность на валу турбины;

$N_n = \rho g Q H$  – мощность потока.

Замеряемые во время испытаний данные и результаты подсчетов сводятся в протокол, составляемый для каждого открытия регулирующего органа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ на изобретение № 2371602, МПК F 03B 3/00, F 03B 13/00. Осевая гидротурбина / В.М. Иванов, Т.Ю. Иванова, А.А. Блинов.- № 2008100434/06; Заявл. 09.01.2008; Опубл. в Б.И., 27.10.2009, №30.

2. Смирнов, И.Н. Гидравлические турбины и насосы/ И.Н. Смирнов/ [Текст]: учеб. пособие для энерг. и политехнич. вузов. – М.: Высшая школа, 1969. – 400 с.

3. Ковалев, Н.Н. Гидротурбины: конструкции и вопросы проектирования/ Н.Н. Ковалев/ [Текст] – Л.: Машиностроение, 1971. – 584 с.

4. Кривченко, Г.И. Гидравлические машины: Турбины и насосы/ Г.И. Кириченко/ [Текст]: учебник для вузов.- 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

**Иванов В.М.**, д.т.н., проф., зав. каф. «Теплотехника, гидравлика и водоснабжение, водоотведение» АлтГТУ им. И.И. Ползунова;

**Иванова Т.Ю.**, к.т.н., доц. каф. «Теплотехника, гидравлика и водоснабжение, водоотведение» АлтГТУ им. И.И. Ползунова;

**Жданов Е.П.**, доц. каф. «Теплотехника, гидравлика и водоснабжение, водоотведение» АлтГТУ им. И.И. Ползунова, к.э.н. (соискатель);

**Блинов А.А.**, аспирант каф. «Теплотехника, гидравлика и водоснабжение, водоотведение» АлтГТУ (соискатель);

**Пчелинцев С.Г.**, доц. каф. «Строительство» Северо-Кавказский государственный технический университет СевКавГТУ, г. Ставрополь.