

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРО-ГЭС С ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНОЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ СТЕНДЕ

И. А. Бахтина, В. М. Иванов, С. В. Ильиных, П. В. Степанова, Е. С. Елизаров

В работе приведены: разработанная авторами осевая гидротурбина новой оригинальной конструкции и гидравлический стенд для комплексного моделирования проточных частей гидротурбин, контрольно-измерительная аппаратура и методы замера экспериментальных величин, результаты экспериментальных исследований микро-ГЭС.

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

Алтайский край более 50 % электроэнергии получает извне. В условиях рынка это уменьшает конкурентоспособность производимой в крае сельскохозяйственной и промышленной продукции. Кроме этого, слабая энерговооружённость отдельных сельскохозяйственных районов ввиду дороговизны строительства линий 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 гидроэнергетическая установка (ГЭУ) [1].

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.

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

### Осевая гидротурбина новой оригинальной конструкции

В ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова» (АлтГТУ) на кафедре «Теплотехника, гидравлика и водоснабжение, водоотведение» в лаборатории комплексных исследований малых гидроузлов и микро-ГЭС разработаны ГЭУ с осевыми гидротурбинами (рисунки 1 и 2). Оригинальные конструкторские решения защищены патентами [2–7].

Осевая гидротурбина содержит направляющий аппарат (сечение А – А), рабочее колесо, размещенное в камере 2 и установленное на валу 5, водоподводящую 6 и водоотводящую 7 части [2, 3].

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, соединённых сваркой. Водоотводящая часть в виде диффузора, а также камера рабочего колеса и внешний корпус направляющего аппарата выполнены из стандартных трубных элементов, изготовленных на определённое давление, что гарантирует их прочность.

К водоподводящей части приварен корпус сальникового уплотнения 18 для вала.

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

Корпус 4 рабочего колеса соединён с внутренним корпусом 9 направляющего аппарата,

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРО-ГЭС С ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНОЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ СТЕНДЕ

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 соединен с валом 16 электрогенератора 17, в качестве которого может быть использован трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором общепромышленного использования.

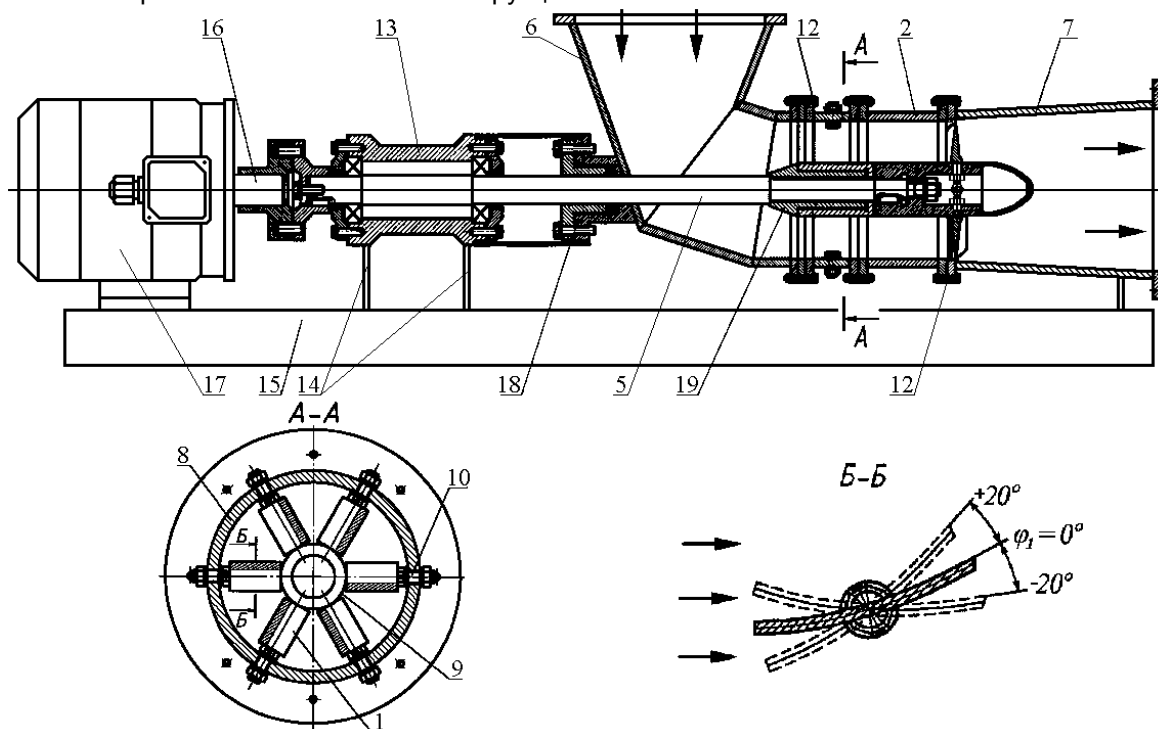


Рисунок 1 – Осевая гидротурбина в сборе с рамой и электрогенератором

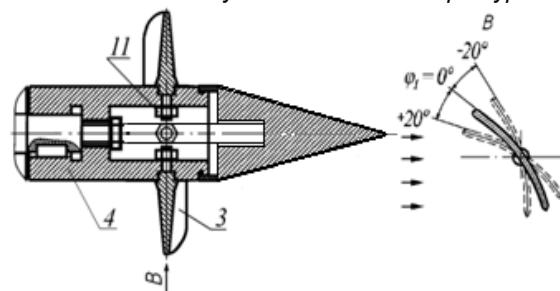


Рисунок 2 – Рабочее колесо в сборе с валом и обтекателем

Электрогенератор подключен к блоку автоматического управления электрической нагрузкой (БАУЭН-2), 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

на столько, что возникает необходимость определения новых расчетных 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. Расчетные положения углов установки лопаток направляющего аппарата и лопастей рабочего колеса соответствуют оптимальному к.п.д. при определенных напорах и расходах воды.

Осевая гидротурбина работает следующим образом (рисунок 1).

Поток воды, проходя через водоподводящую часть 6, 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 регулиро-

вание расхода воды одновременной перенстройкой 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.

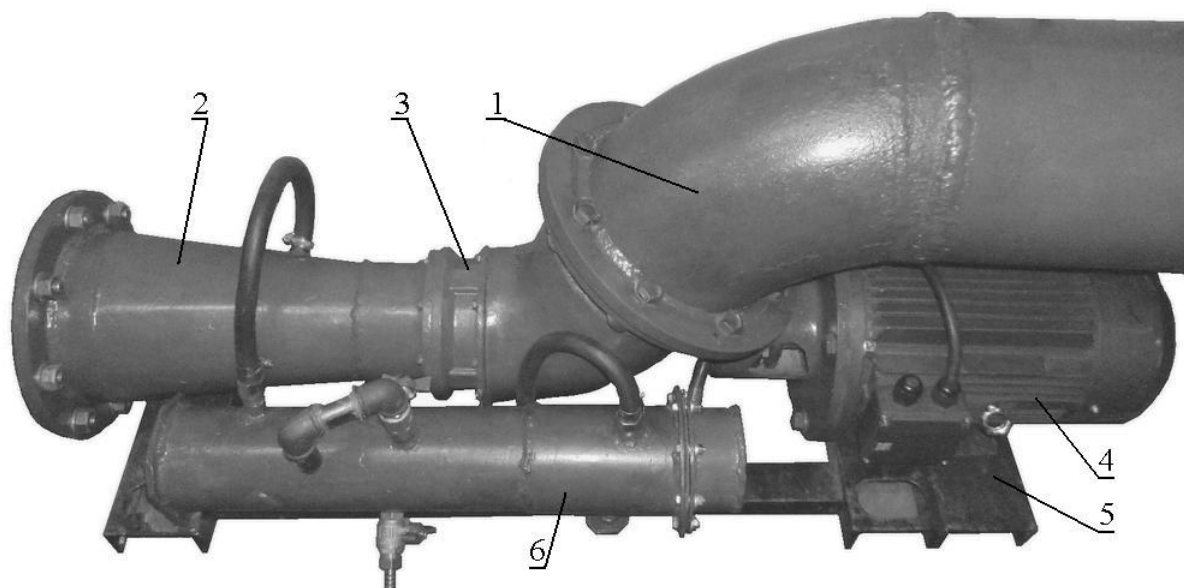


Рисунок 3 – Внешний вид осевой гидротурбины с электрогенератором для микро-ГЭС, параметры: мощность – 1...10 кВт; расход воды – 10...100 л/с; напор – 1...10 м:  
1 – подводящая часть; 2 – отводящая часть; 3 – осевая гидротурбина;  
4 – электрогенератор; 5 – рама опорная; 6 – блок балластной нагрузки

#### Гидравлический стенд для комплексного моделирования проточных частей гидротурбин для микро-ГЭС

Испытания моделей проточных частей и рабочих колес гидротурбин проводятся на стенде (рисунки 4, 5) в лаборатории комплексных исследований малых гидроузлов и микро-ГЭС 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 4,0×1,3×1,3 м, турбинный блок

для микро-ГЭС 16, приёмный бак 22 размером 6,0×2,6×2,0 м, сбросной бак 24 размером 6,0×2,0×1,3 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.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРО-ГЭС С ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНОЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ СТЕНДЕ

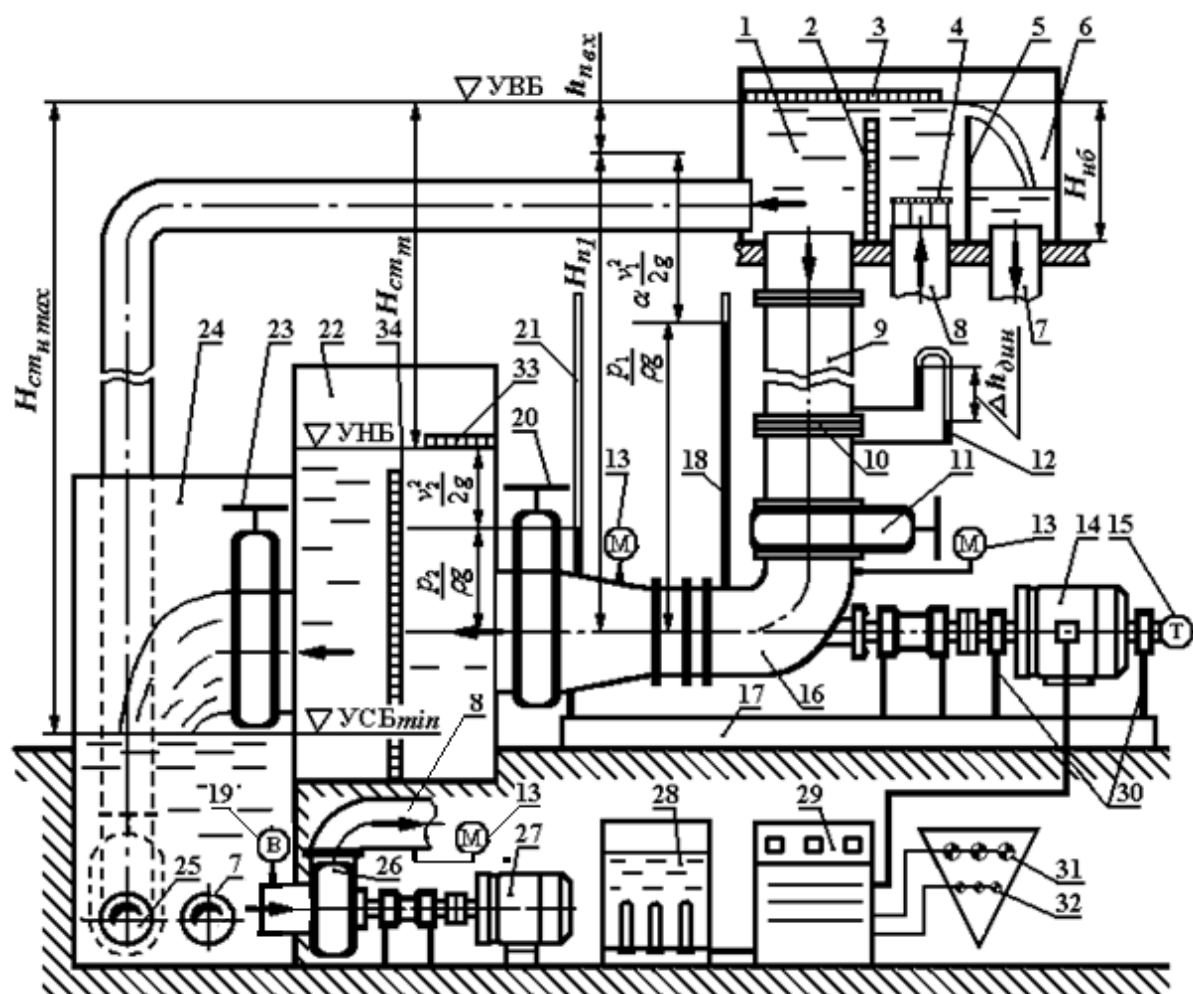


Рисунок 4 – Гидравлический стенд для комплексного моделирования проточных частей гидротурбин для микро-ГЭС

- 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 – лампы полезной нагрузки демонстрационного щита;  
32 – лампы балластной нагрузки демонстрационного щита; 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.

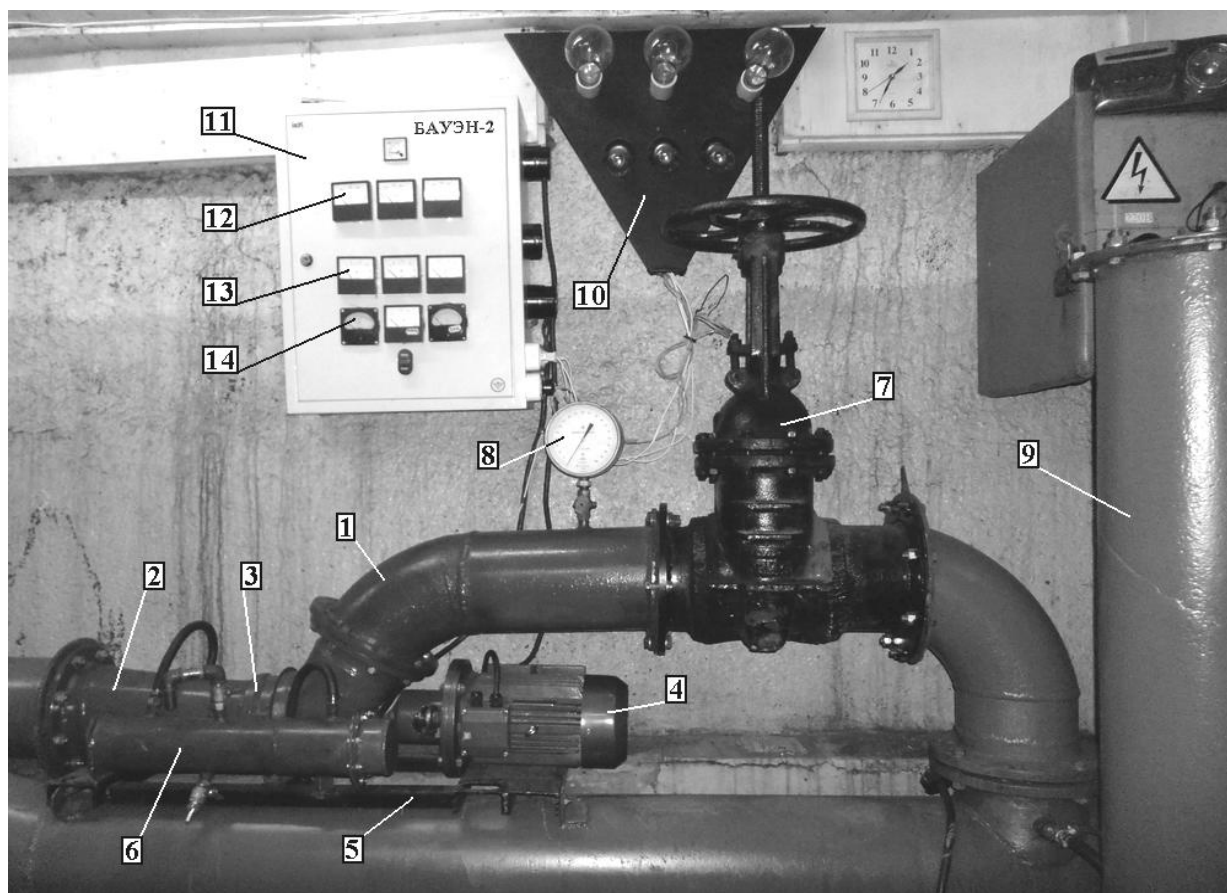


Рисунок 5 – Фотография фрагмента гидравлического стенда для комплексного моделирования проточных частей гидротурбин для микро-ГЭС

1 – подводящая часть; 2 – отводящая часть; 3 – осевая гидротурбина; 4 – электрогенератор; 5 – рама опорная; 6 – блок балластной нагрузки; 7 – напорная задвижка; 8 – манометр; 9 – электрокотёл; 10 – демонстрационный щит полезной и балластной нагрузок; 11 – блок автоматического управления электрической нагрузкой (БАУЭН-2); 12 – вольтметры; 13 – амперметры полезной нагрузки; 14 – амперметры балластной нагрузки

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 за-

движкой 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.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРО-ГЭС С ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНОЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ СТЕНДЕ

Для определения и контроля нагрузки на вал гидротурбины имеется специальное нагрузочное устройство, состоящее из балластного электрогенератора 14, блока балластной нагрузки 28, (БАУЭН-2) 29.

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 соединен с блоком балластной нагрузки.

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

Параметры гидравлического стенда позволяют испытывать опытные образцы микро-ГЭС мощностью до 30 кВт.

Объекты малой гидроэнергетики могут сооружаться практически на любых водных объектах: на малых реках и ручьях, водосбросных сооружениях, канализационных коллекторах и др.

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

Контрольно-измерительная аппаратура представлена на рисунке 5, а методы замера экспериментальных величин описаны в литературе [8–10].

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 показаний манометров до и после турбины, переведенных в м вод. ст.:

$$\Delta H = (H_2 - H_1), \text{ м вод. ст.}$$

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

### 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 выражаются 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 регулирующего органа и заданной нагрузке с помощью приборов определяют расход воды  $Q$ , протекающей через турбину, частоту вращения вала турбины  $n$  (об/мин) и рабочий напор  $H_{ст.т.}$ , и вычисляют коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{N_э}{N_n} = \frac{N_э}{\rho g Q H_{ст.т.}},$$

$$N_э = (U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3)$$

где  $N_э$  – электрическая мощность на валу турбины, (кВт);

$U_1, U_2, U_3$  – напряжение электрического тока на фазе А, В, С соответственно, (В);

$I_1, I_2, I_3$  – балластный электрический ток на фазе А, В, С соответственно, (А).

$$N_n = \rho g Q H - \text{мощность потока.}$$

Замеряемые во время испытаний данные и результаты подсчетов для каждого открытия регулирующего органа сведены в таблицу 1 и представлены графиком на рисунке 6.

### ВЫВОДЫ

В результате проведения экспериментов с микро-ГЭС новой конструкции с осевой гидротурбиной на гидравлическом стенде можно сделать следующие выводы:

1. Новая конструкция осевой турбины сочетает в себе следующие преимущества: а) простоту конструкции пропеллерной турбины; б) возможность (как у поворотно-лопастной) настраивать лопатки турбины на необходимую мощность и имеющийся на натурном водотоке напор, расход и геодезические параметры русла реки.

2. Экспериментальная рабочая модель микроГЭС в ходе испытаний подтвердила все заявленные расчетные параметры в пределах точности экспериментов (5–10 %): мощность – 4 кВт, расход – 80 л/с, частота вращения вала – 3000 об/мин, напряжение – (200–250) В, сила тока – (3–6) А, частота – 50 Гц, максимальный общий КПД – 56 % при напоре 9–10 метров.

3. Все вышеперечисленные графики параметров имеют ярко выраженный максимум при наибольших расходах – 70–80 л/с.

БАХТИНА И. А., ИВАНОВ В. М., ИЛЬИНЫХ С. В., СТЕПАНОВА П. В., ЕЛИЗАРОВ Е. С.

Таблица 1 – Экспериментальные данные и расчётные величины опытного испытания микро-ГЭС для построения графиков зависимостей:  $\Delta H=f(Q)$  – напора от расхода;  $N_g=f(Q)$  – гидравлической мощности от расхода;  $N_{\Sigma}=f(Q)$  – электрической мощности от расхода;  $\eta=f(Q)$  – коэффициента полезного действия от расхода

| № п/п | $H_1$ , м | $H_2$ , м | $\Delta H$ , м | $Q$ , л/с | $U_1$ , В | $U_2$ , В | $U_3$ , В | $I_1$ , А | $I_2$ , А | $I_3$ , А | $N_{\Sigma 1}$ , кВт | $N_{\Sigma 2}$ , кВт | $N_{\Sigma 3}$ , кВт | $N_{\Sigma}$ , кВт | $N_g$ , кВт | $\eta$ , % | $n$ , об/мин |
|-------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------|------------|--------------|
| 1     | 20        | 18,0      | 2,0            | 56,0      | 120       | 120       | 120       | 1,7       | 1,7       | 1,7       | 0,204                | 0,204                | 0,204                | 0,612              | 1,120       | 54,6       | 1740         |
| 2     | 18,8      | 16,6      | 2,2            | 59,0      | 120       | 120       | 120       | 2,1       | 2,2       | 1,9       | 0,252                | 0,264                | 0,228                | 0,744              | 1,298       | 57,3       | 1800         |
| 3     | 17,4      | 14,8      | 2,6            | 65,0      | 125       | 135       | 125       | 2,5       | 2,5       | 2,9       | 0,312                | 0,337                | 0,362                | 1,011              | 1,690       | 59,8       | 1800         |
| 4     | 23,6      | 18,2      | 5,4            | 78,0      | 160       | 170       | 160       | 3,6       | 4,2       | 4,2       | 0,576                | 0,714                | 0,672                | 1,962              | 4,212       | 46,6       | 2100         |
| 5     | 22,6      | 16,6      | 6,0            | 79,0      | 175       | 185       | 180       | 3,4       | 4,5       | 4,6       | 0,595                | 0,832                | 0,828                | 2,255              | 4,740       | 47,6       | 2140         |
| 6     | 22,0      | 15,6      | 6,4            | 79,0      | 185       | 192       | 188       | 3,5       | 4,7       | 4,8       | 0,647                | 0,902                | 0,902                | 2,451              | 5,056       | 48,5       | 2240         |
| 7     | 20,2      | 12,8      | 7,4            | 81,0      | 200       | 220       | 205       | 4,3       | 6,0       | 6,0       | 0,860                | 1,320                | 1,230                | 3,410              | 5,994       | 56,9       | 2360         |
| 8     | 20,0      | 13,0      | 7,0            | 80,0      | 215       | 220       | 218       | 4,0       | 4,6       | 6,0       | 0,860                | 1,012                | 1,308                | 3,180              | 5,600       | 56,8       | 2480         |
| 9     | 18,8      | 10,8      | 8,0            | 82,0      | 220       | 220       | 215       | 4,8       | 6,0       | 6,0       | 1,056                | 1,320                | 1,290                | 3,666              | 6,560       | 55,9       | 2540         |
| 10    | 20,6      | 14,0      | 6,6            | 79,0      | 210       | 218       | 212       | 3,8       | 4,2       | 6,0       | 0,798                | 0,915                | 1,272                | 2,985              | 5,214       | 57,2       | 2440         |
| 11    | 18,8      | 10,8      | 10             | 83,0      | 220       | 220       | 220       | 5,5       | 5,5       | 6,0       | 1,210                | 1,210                | 1,320                | 3,740              | 8,300       | 45,1       | 3000         |

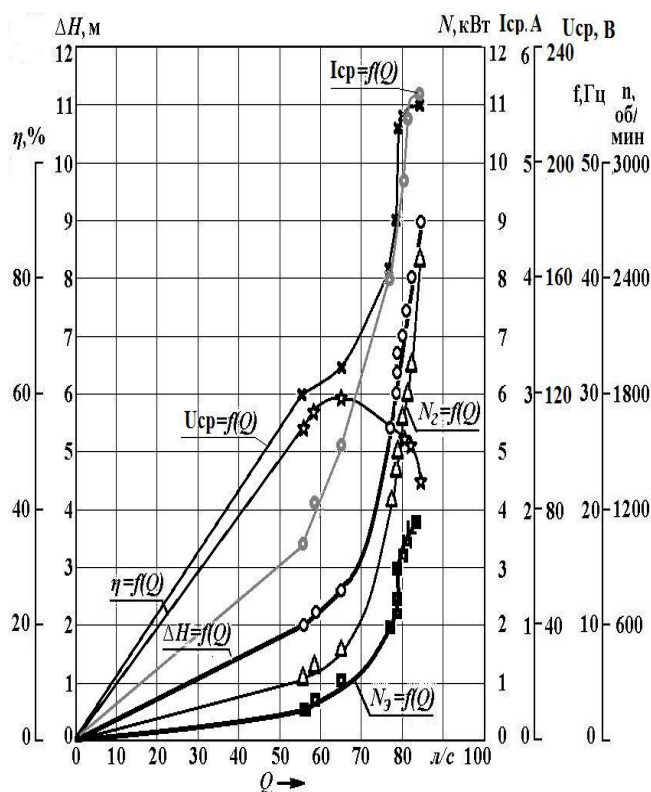


Рисунок 6 – Графики зависимостей, построенные по экспериментальным и расчётным данным опытного испытания микро-ГЭС:

- 1 –  $\Delta H=f(Q)$  – график зависимости напора от расхода;
- 2 –  $N_g=f(Q)$  – график зависимости гидравлической мощности от расхода;
- 3 –  $N_{\Sigma}=f(Q)$  – график зависимости электрической мощности от расхода;
- 4 –  $\eta=f(Q)$  – график зависимости коэффициента полезного действия от расхода;
- 5 –  $U_{ср}=f(Q)$  – график зависимости напряжения электрического тока от расхода;
- 6 –  $I_{ср}=f(Q)$  – график зависимости тока от расхода

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Состояние электроэнергетики России и проблемы электроснабжения потребителей в удаленных и децентрализованных районах / В. М. Иванов, Т. Ю. Иванова, С. Г. Пчелинцев,

П. В. Рожков // В журнале «Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета» - Ставрополь, 2012. – №2 (31). – С. 54-57.

2. Патент на изобретение № 2371602. Осевая гидротурбина / В. М. Иванов, Т. Ю. Иванова,

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРО-ГЭС С ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНОЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ СТЕНДЕ

А. А. Блинов. – № 2008100434/06; Заявл. 09.01.2008; Оpubл. в Б.И., 27.10.2009, № 30.

3. Патент на полезную модель № 94288. Осевая гидротурбина / В. М. Иванов, Т. Ю. Иванова, Е. П. Жданов. Заявка № 2009148247; Заявл. 24.12.09 г.; Оpubл. в Б.И., 20.05.10 г., Бюл. №14.

4. Патент на полезную модель № 76397. Гидроэнергетическая установка малой мощности с водяным колесом / В. М. Иванов, Т. Ю. Родивилина, А. П. Маслов, А. А. Блинов. – Заявка № 2007103329; Заявл. 26.01.07 г. – Оpubл. в Б.И. 20.09.08 г. Бюл. № 26.

5. Патент на полезную модель № 95560. Устройство для выработки электрической энергии из энергии воды / В. М. Иванов, Б. В. Сёмкин, Т. Ю. Иванова, Г. О. Клейн и др. – Заявка № 2010105722; Заявл. 17.02.10. – Оpubл. в Б.И. 10.07.10 г. Бюл. № 19.

6. Патент на полезную модель № 102065. Микро-гидро-электростанция / В. М. Иванов, Т. Ю. Иванова, Г. О. Клейн и др. – Заявка № 2010140030 Заявл. 29.09.10 г.; Оpubл. в Б.И. 10.02.11 г., Бюл. № 4.

7. Патент на полезную модель № 110419. Мобильная береговая гидроэлектростанция / В. М. Иванов, Б. В. Сёмкин, Т. Ю. Иванова, Л. В. Гольцев и др. – Заявка № 201111405/06; Заявл. 11.04.11 г. – Оpubл. в Б.И. 20.11.11 г., Бюл. № 32.

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

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

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

**Бахтина И. А.**, к.т.н., доцент, E-mail: [bia-altai@mail.ru](mailto:bia-altai@mail.ru), **Иванов В. М.**, д.т.н., профессор, E-mail: [tgvv@mail.ru](mailto:tgvv@mail.ru), **Ильиных С. В.**, аспирант, E-mail: [svilinyh001@mail.ru](mailto:svilinyh001@mail.ru), **Степанова П. В.**, доцент, E-mail: [po13@mail.ru](mailto:po13@mail.ru), Россия, Алтайский край, г. Барнаул, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», кафедра «Теплотехника, гидравлика и водоснабжение, водоотведение», +7(385-2)29-07-84, **Елизаров Е. С.**, магистрант, E-mail: [12tgvv@mail.ru](mailto:12tgvv@mail.ru), Россия, г. Санкт-Петербург, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», факультет инженерной экологии и городского хозяйства.