

В.М. ИВАНОВ
И.А. БАХТИНА
Т.Ю. ИВАНОВА
С.В. ИЛЬИНЫХ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

POWER SUPPLY AND ENERGY SAVING WITH RENEWABLES ENERGY SOURCES

Для решения проблемы электроснабжения и энергосбережения автономных потребителей децентрализованных и удаленных районов авторами разработаны микро-ГЭС с осевой гидротурбиной новой оригинальной конструкции. Выполнены исследования микро-ГЭС с осевой гидротурбиной, замерены основные параметры. Экспериментальная рабочая модель микро-ГЭС с осевой гидротурбиной в ходе испытаний подтвердила все заявленные расчетные параметры в пределах точности экспериментов (5-10 %). Микро-ГЭС может эффективно использоваться для электроснабжения и энергосбережения автономных потребителей.

Ключевые слова: *энергосбережение, электроснабжение, осевая гидротурбина, микро-ГЭС, гидравлический стенд, моделирование.*

Развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – одно из прогрессивных направлений в энергетике, которое приобретает особое значение в условиях стоящих в России задач модернизации экономики, повышения энергоэффективности и развития энергосберегающих технологий. Развитие данного направления является актуальным в свете ряда государственных документов и программ в области энергосбережения и энергоэффективности (закон РФ «Об энергосбережении», федеральная программа «Модернизация электроэнергетики России на период до 2020 года») [1-3]. В связи с тем, что энергосистема Алтайского края относится к числу остродефицитных, в крае разработана целевая программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Алтайском крае на 2011-2015 годы и на перспективу до 2020 года». Значительное место в краевой целевой программе по энергосбережению занимает внедрение энергоустановок с использованием возобновляемых источников энергии. Эффективными энергоустановками на основе возобновляе-

Micro hydro-electric power stations with axial flow turbine of a new original design are developed as solution of the problem of power supply and energy saving of independent consumers of the decentralized and remote areas. Researches of micro hydro-electric power station with axial flow turbine are executed, key indexes are measured by the authors of this article. During tests the experimental working model of micro hydro-electric power station with the axial flow turbine confirmed all declared calculated indexes within the accuracy of experiments (5-10%). The micro hydro-electric power station can effectively be used for power supply and energy saving of independent consumers.

Key words: *energy saving, power supply, axial flow turbine, micro hydro-electric power station, hydraulic stand, simulation.*

мых источников энергии являются микро-ГЭС [4]. Поскольку Алтайский край обладает значительными гидроресурсами, в решении данной проблемы необходимо организовать обеспечение населения предгорных и горных районов края автономными микро-ГЭС. Микро-ГЭС могут сооружаться практически на любых водных объектах: на малых реках и ручьях, а также на водосборных сооружениях, канализационных коллекторах и др.

В настоящий момент имеются отдельные отечественные и зарубежные разработки микро-ГЭС мощностью от 4 до 50 кВт, недостатками которых являются их дороговизна и отсутствие широкого набора типоразмеров на различные мощности при различных располагаемых расходах и напорах водотоков. Дальнейшее освоение энергетических ресурсов отдаленных и труднодоступных районов требует дополнительного изучения, в том числе на основе физического моделирования [5].

В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) в лабо-

ратории комплексных исследований малых гидроузлов и микро-ГЭС разработаны микро-ГЭС с осевыми гидротурбинами (рис. 1 и 2). Оригинальные конструкторские решения защищены патентами [6-9].

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 [6, 7]. 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 с сальниковыми уплотнениями 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 горизон-

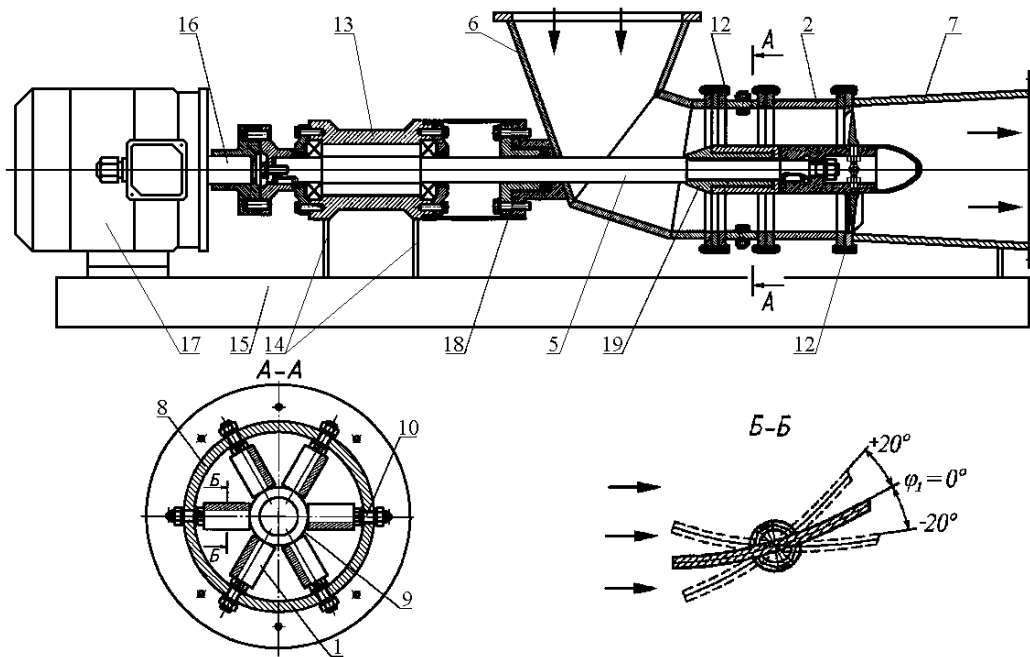


Рис. 1. Осевая гидротурбина в сборе с рамой и электрогенератором

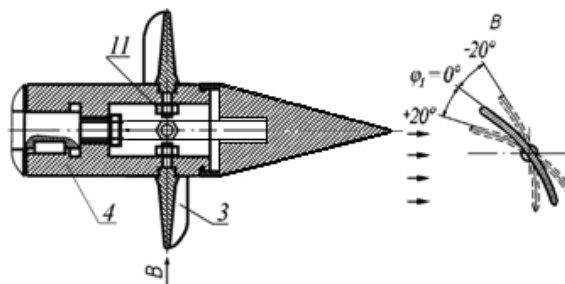


Рис. 2. Рабочее колесо в сборе с валом и обтекателем

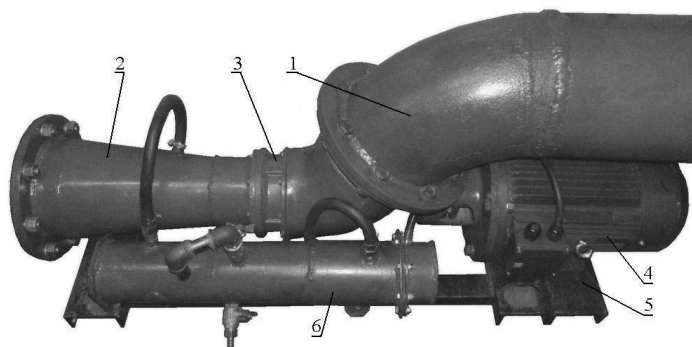


Рис. 3. Внешний вид осевой гидротурбины с электрогенератором
 Параметры: мощность – 1-10 кВт; расход воды – 10-100 л/с; напор – 1-10 м:
 1 – подводящая часть; 2 – отводящая часть; 3 – осевая гидротурбина;
 4 – электрогенератор; 5 – рама опорная; 6 – блок балластной нагрузки

тально 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 лопасти направляющего аппарата и лопасти рабочего колеса более чем на -20° 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 КПД.

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 КПД при определенных напорах и расходах воды.

Использование предлагаемых изобретений приводит к упрощению конструкции, расширению эксплуатационных возможностей осевой гидротурбины, снижению трудоемкости изготовления при сохранении высокого КПД осевой гидротурбины, а

также способствует повышению надежности и удобству 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 рис. 3 представлен внешний вид осевой гидротурбины с электрогенератором.

Испытания моделей проточных частей и рабочих колес гидротурбин проведены на стенде, оснащённом контрольно-измерительной аппаратурой в лаборатории комплексных исследований малых гидроузлов и микро-ГЭС АлтГТУ [10].

Стенд предназначен для работы с напором до 13 м и расходом до 300 л/с. Параметры гидравлического стенда позволяют испытывать опытные образцы микро-ГЭС мощностью до 30 кВт, а большей мощности – их модели и отдельные элементы проточных частей микро-ГЭС.

Модельная гидротурбина испытывалась на разных режимах, определяемых частотой вращения ее вала, величиной открытия лопаток направляющего аппарата и углом установки лопастей рабочего колеса.

В качестве электрогенератора может использоваться трехфазный асинхронный двигатель, в качестве блока балластной нагрузки – 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.

Расчетные формулы и методы замера экспериментальных величин описаны в [10-12]. Расход воды Q , протекающей через гидротурбину, замеряется с по-

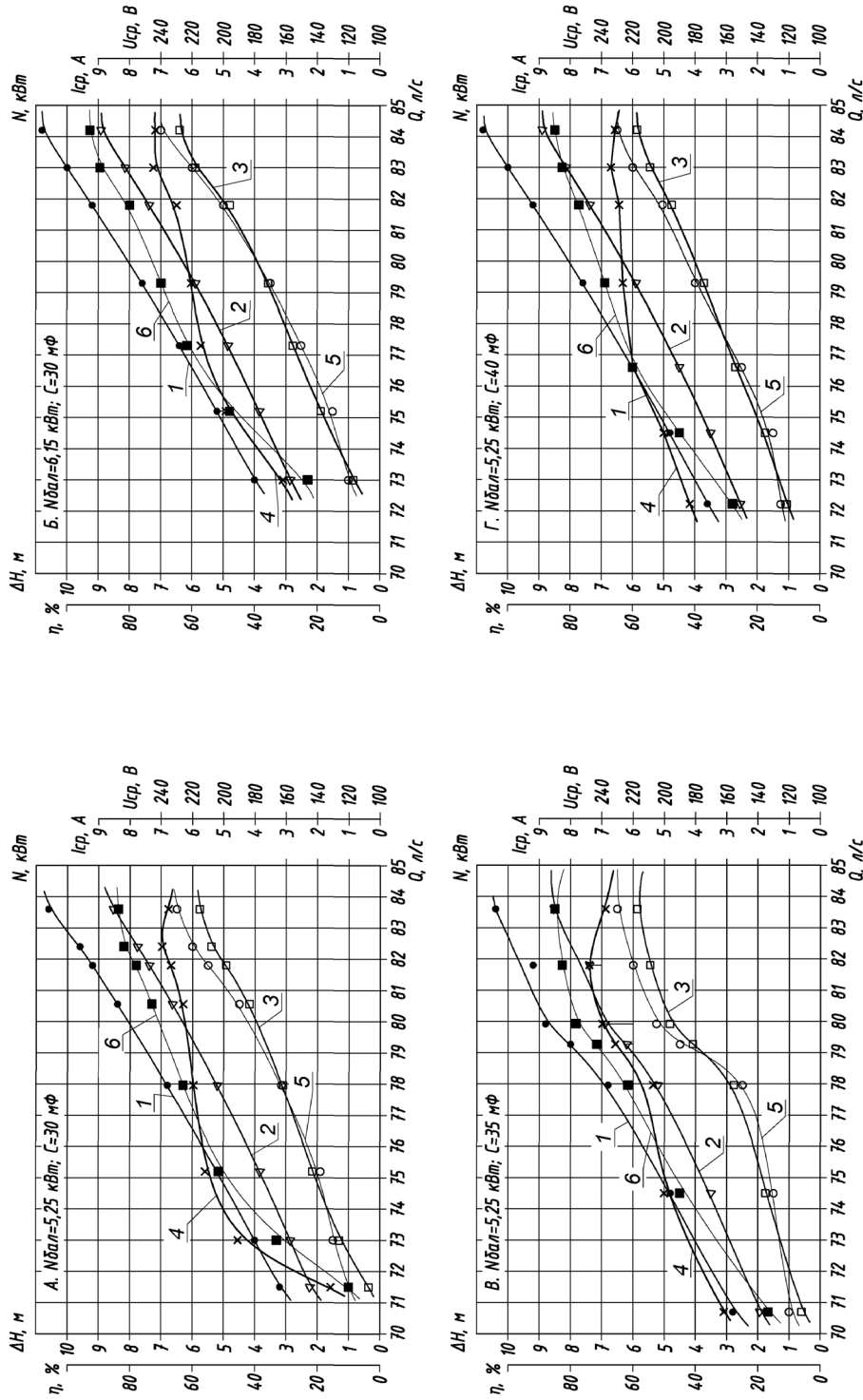


Рис. 4. Графики зависимостей, построенные по экспериментальным и расчетным данным опытного испытания микро-ГЭС:

А – данные эксперимента с балластной нагрузкой $N_{бал} = 5,25$ кВт и емкостью конденсаторов возбуждения $C = 30$ мФ;

Б – данные эксперимента с балластной нагрузкой $N_{бал} = 6,15$ кВт и емкостью конденсаторов возбуждения $C = 30$ мФ;

Г – данные эксперимента с балластной нагрузкой $N_{бал} = 5,25$ кВт и емкостью конденсаторов возбуждения $C = 35$ мФ;

В – данные эксперимента с балластной нагрузкой $N_{бал} = 5,25$ кВт и емкостью конденсаторов возбуждения $C = 40$ мФ;

1 – $\Delta H = f(Q)$ – график зависимости напора от расхода;

2 – $N = f(Q)$ – график зависимости гидравлической мощности от расхода;

3 – $\eta = f(Q)$ – график зависимости электрической мощности от расхода;

4 – $\eta = f(Q)$ – график зависимости КПД от расхода;

5 – $U_{ср} = f(Q)$ – график зависимости напряжения электрического тока от расхода;

6 – $I_{ср} = f(Q)$ – график зависимости тока от расхода

мощью расходомерной диафрагмы и дифференциального манометра. Зная величину динамического напора $h_{дин}$, можно найти расход Q (м³/с) по формуле

$$Q = S \sqrt{2g \cdot h_{дин}},$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; S – площадь проходного сечения, м².

В нашем случае статический напор турбины равен разнице показаний манометров до и после турбины, переведенных в м вод. ст.:

$$\Delta H = H_2 - H_1.$$

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

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 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 $H_{ст.т.}$ и вычисляют коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{N_3}{N_n} = \frac{N_3}{\rho g Q H_{ст.т.}},$$

$$N_3 = (U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3),$$

где N_3 – 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;

$$N_n = \rho g Q H – \text{мощность потока, кВт.}$$

Замеряемые во время испытаний данные и результаты подсчетов для каждого открытия регулирующего органа представлены графиком на рис. 4.

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

1. Разработанная 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 микро-ГЭС в ходе испытаний подтвердила все заявленные расчетные параметры в пределах точности экспериментов (5-10 %): мощность – 4 кВт, расход – 83 л/с, частота вращения вала – 3000 об/мин, напряжение – 200-250 В, частота генерируемого электричества – 50 Гц.

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

4. Первый эксперимент А проведен при мощности балласта $N_{бал} = 5,25$ кВт и емкости конденсаторов возбуждения $C = 30$ мФ. Во втором (Б) эксперименте мощность балласта была увеличена до $N_{бал} = 6,15$ кВт, что оказало влияние на напряжение генерируемого электричества (при тех же характеристиках потока напряжение ниже, чем в первом эксперименте). Изменение значения балластной нагрузки не оказало влияния на частоту генерируемого электричества (в экспериментах А и Б частота генерируемого электричества превышала 55 Гц при оптимальном напоре 10 м).

5. В экспериментах В и Г была увеличена емкость конденсаторов возбуждения до 35 и 40 мФ соответственно при той же мощности балласта ($N_{бал} = 5,25$ кВт). Результатом явилось уменьшение в рабочей точке ($Q = 83$ л/с; $H = 10$ м) частоты генерируемого тока до значений 52 и 49 Гц для экспериментов В и Г соответственно. Таким образом, изменение емкости конденсаторов позволило приблизить частоту генерируемого электричества к «потребительской» 50 Гц.

6. Во всех проведенных опытах наблюдается работа микро-ГЭС в области максимального КПД при рабочих значениях ($U = 220$ В +/- 10 %; $f = 50$ Гц +/- 5 %) генерируемого электричества. С повышением характеристик наблюдается снижение КПД (спад кривой $\eta=f(Q)$ на графиках).

7. В результате серии экспериментов были найдены оптимальные параметры для балластной нагрузки и емкости конденсаторов возбуждения, а также показано их влияние на характеристики генерируемого электричества.

8. Микро-ГЭС имеет небольшую стоимость, надёжна, проста в эксплуатации и имеет срок окупаемости два-три года.

9. Микро-ГЭС может эффективно использоваться для электроснабжения и энергосбережения автономных потребителей круглый год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бальзанников М.И. Решение проблем развития энергетики на основе возобновляемых источников энергии в Среднем Поволжье // Научная школа академика

Ю.С. Васильева в области энергетики и охраны окружающей среды: сб. научн. тр. СПб.: СПбГПУ, 2004. С. 25-39.

2. Бальзанников М.И., Елистратов В.В. Возобновляемые источники энергии. Аспекты комплексного использования / СГАСУ. Самара: ООО «Офорт», 2008. 331 с.

3. Иванов В.М., Иванова Т.Ю., Пчелинцев С.Г., Рожков П.В. Состояние электроэнергетики России и проблемы электроснабжения потребителей в удаленных и децентрализованных районах // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. Ставрополь, 2012. №2 (31). С.54 – 57.

4. Иванов В.М., Иванова Т.Ю., Свит П.П., Семкин Б.В. Энергосбережение с использованием микро-ГЭС на Кольванском камнерезном заводе // Ползуновский Вестник. 2013. Вып 4-2. С. 84-89.

5. Михалёв М.А. Физическое моделирование гидравлических явлений: учеб.пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 443 с.

6. Патент на изобретение № 2371602. Осевая гидротурбина / В.М. Иванов, Т.Ю. Иванова, А.А. Блинов. Заявка № 2008100434/06; Заявл. 09.01.2008; Оpubл. в Б.И., 27.10.2009, №30.

7. 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.

8. 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.

9. Патент на полезную модель № 102065. Микрогидро-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.

10. Бахтина И.А., Иванов Т.Ю., Жданов Е.П. Экспериментальные исследования микро-ГЭС с осевой гидротурбиной на гидравлическом стенде // Ползуновский Вестник. 2013. Вып. 4-2. С. 12-19.

11. Иванов В.М., Иванова Т.Ю., Жданов Е.П. Методика расчета проточной части осевой гидротурбины новой оригинальной конструкции // Ползуновский Вестник. 2009. Вып. 4. С. 253-258.

12. Иванов В.М., Юренков В.Н., Иванова Т.Ю. К вопросу о методике расчета проточной части осевых гидротурбин гидроэнергетических установок малой мощности // Ползуновский Вестник. 2010. Вып. 4-2. С. 61-69.

© **Иванов В.М., Бахтина И.А., Иванова Т.Ю., Ильиных С.В., 2015**

Об авторах:

ИВАНОВ Владимир Михайлович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплотехники, гидравлики и водоснабжения, водоотведения
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
656099, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
E-mail: tgvv@mail.ru

БАХТИНА Ирина Алексеевна

кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, гидравлики и водоснабжения, водоотведения
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
656099, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
E-mail: bia-altai@mail.ru

ИВАНОВА Татьяна Юрьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, гидравлики и водоснабжения, водоотведения
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
656099, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
E-mail: trodivilina@mail.ru

ИЛЬИНЫХ Сергей Викторович

Аспирант кафедры теплотехники, гидравлики и водоснабжения, водоотведения
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
656099, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
E-mail: tgvv@mail.ru

IVANOV Vladimir

Doctor of Engineering, Professor, Head of the Thermotechnics, Hydraulics and Water Supply, Wastewater Chair
Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov
656099, Russia, Barnaul, Lenin Avenue, 46
E-mail: tgvv@mail.ru

BAKHTINA Irina

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Thermotechnics, Hydraulics and Water supply, Wastewater Chair
Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov
656099, Russia, Barnaul, Lenin Avenue, 46
E-mail: bia-altai@mail.ru

IVANOVA Tatyana

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Thermotechnics, Hydraulics and Water supply, Wastewater Chair
Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov
656099, Russia, Barnaul, Lenin Avenue, 46
E-mail: trodivilina@mail.ru

ILINYKH Sergei

Post Graduate Student of chair the Thermotechnics, Hydraulics and Water Supply, Wastewater Chair
Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov
656099, Russia, Barnaul, Lenin Avenue, 46
E-mail: tgvv@mail.ru

Для цитирования: *Иванов В.М., Бахтина И.А., Иванова Т.Ю., Ильиных С.В.* Электроснабжение и энергосбережение с использованием возобновляемых источников энергии // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. Вып. № 2(19). С. 88-93. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.02.14

For citation: *Ivanov V.M., Bakhtina I.A., Ivanova T.Yu., Ilinykh S.V.* Power Supply and Energy Saving with Renewable Energy Sources // Vestnik SGASU. Gradostroitelstvo i arhitektura [Vestnik of SSUACE. Town Planning and Architecture]. 2015. №2(19). Pp. 88-93. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.02.14 (in Russian)