

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРО-ГЭС НА КОЛЫВАНСКОМ КАМНЕРЕЗНОМ ЗАВОДЕ

В. М. Иванов, Т. Ю. Иванова, П. П. Свит, Б. В. Сёмкин

*В 2013 году Колыванскому камнерезному заводу исполняется 210 лет. В 2000 году Администрацией Алтайского края было принято решение о восстановлении исторического памятника, включая водоналивное колесо и гидротехнические сооружения. Работы по реконструкции возглавило предприятие ГУП «Алтайавтодор» по проекту, разработанному учеными ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет».*

*Ключевые слова: энергосбережение, микро-ГЭС, водоналивное колесо, система автоматического управления.*

В России и Алтайском крае имеются районы, где по экономическим, экологическим и социальным условиям целесообразно приоритетное развитие возобновляемой энергетики, в том числе нетрадиционной и малой [1–4]. Кроме того, развитие и внедрение электроэнергостановок, использующих возобновляемые источники энергии относятся к понятию «энергосбережение» согласно (ГОСТ Р 51387-99), что делает развитие данного направления 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», целевая программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Алтайском крае на 2011–2015 годы и на перспективу до 2020 года»). Одним из объектов, где эффективно используется возобновляемый источник энергии, является микро-ГЭС, построенная на Колыванском камнерезном заводе.

Колыванский камнерезный завод был основан в 1802 г., когда в предгорьях Алтая был построен поселок Колывань. Поселок был заложен стараниями русских горнопромышленников Демидовых. На Колыванском камнерезном заводе было создано большое количество произведений искусства, известных во всем мире.

В настоящее время Колыванский камнерезный завод эффективно работает. На заводе установлено новое оборудование в цехе обработки ювелирных изделий. С помощью новой аппаратуры налажено восстановление отработанных дисковых алмазных пил. Завод получил несколько крупных заказов на изготовление облицовочной плитки, бордюрного камня, гранитных ступеней, цилиндрических каменных рубашек для химической промышлен-

ности. Предприятие сегодня выпускает ювелирные, художественные изделия: вазы, шкатулки, письменные приборы, мозаичные панно, столы с инкрустацией, балясины.

В 2002 году Колыванскому камнерезному заводу исполнилось 200 лет. В связи с этим Администрацией Алтайского края было принято решение о восстановлении исторического памятника, включая водоналивное колесо и гидротехнические сооружения. Работы по реконструкции возглавило предприятие ГУП «Алтайавтодор» по проекту, разработанному кафедрой теплотехники, гидравлики и водоснабжения, водоотведения (ТГиВВ) Алтайского государственного технического университета (АлтГТУ). Фундаментальная научная проблема, на решение которой направлен проект – это разработка новых и усовершенствование ранее известных электроэнергостановок и оборудования для возобновляемых источников энергии.

До настоящего времени сохранились и восстановлены некоторые исторические сооружения (рисунок 1): здание завода (рисунок 2); земляная плотина высотой 10 м, которая находится в хорошем состоянии – отсутствуют видимые выходы фильтрационного потока в нижнем бьефе плотины; водосбросные сооружения (рисунок 3). Состояние водосбросных сооружений удовлетворительное.

Поверхности каменных конструкций имели незначительные трещины, которые образовались под воздействием природных факторов. Русло реки ниже плотины было заполнено отходами камнеобрабатывающего производства. Историческое здание, где было установлено водоналивное колесо, было отремонтировано. Само водоналивное колесо диаметром 6,4 м из дерева отсутствовало. Водоналивное колесо было центральным двигателем, служащим приводом шлифовальных и сверлильных станков.

# ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРО-ГЭС НА КОЛЫВАНСКОМ КАМНЕРЕЗНОМ ЗАВОДЕ

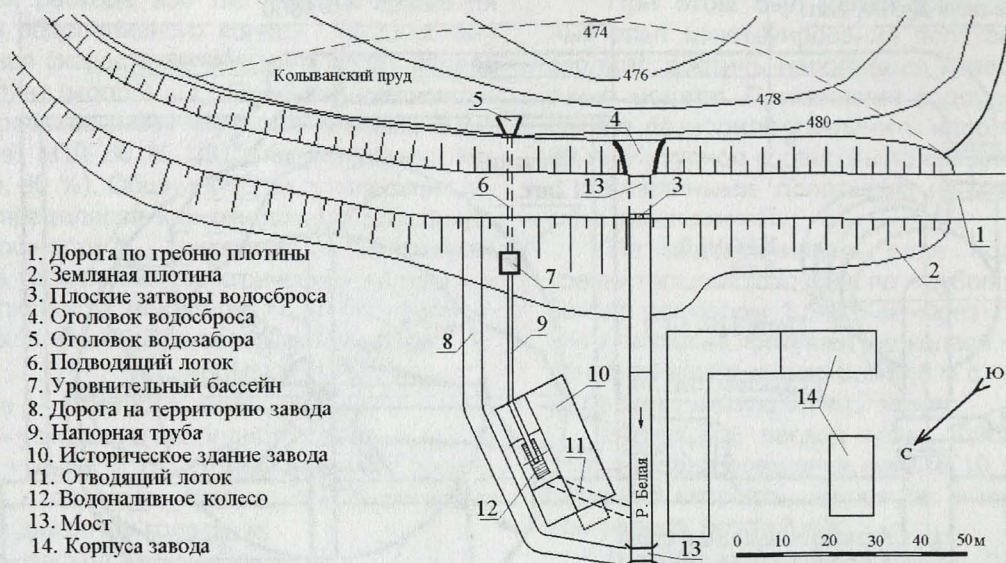


Рисунок 1 – Генплан сооружений Кольванского камнерезного завода

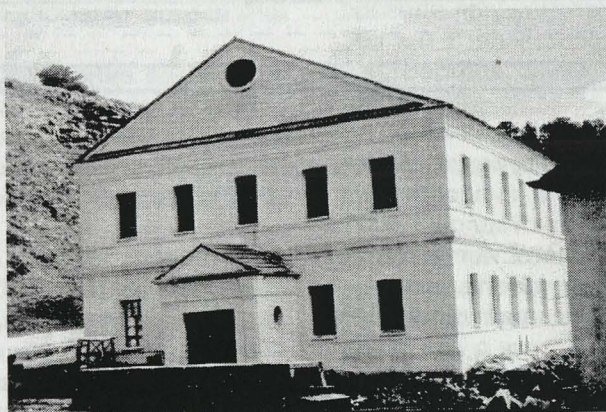


Рисунок 2 – Историческое здание Кольванского камнерезного завода

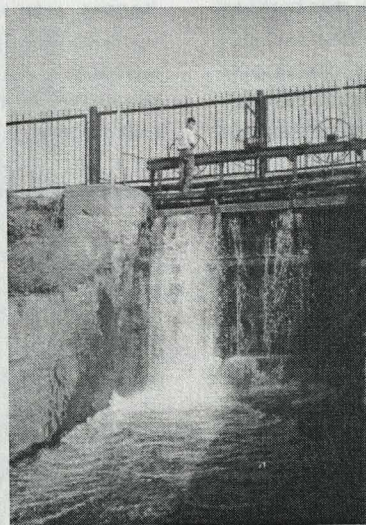


Рисунок 3 – Водосбросные сооружения

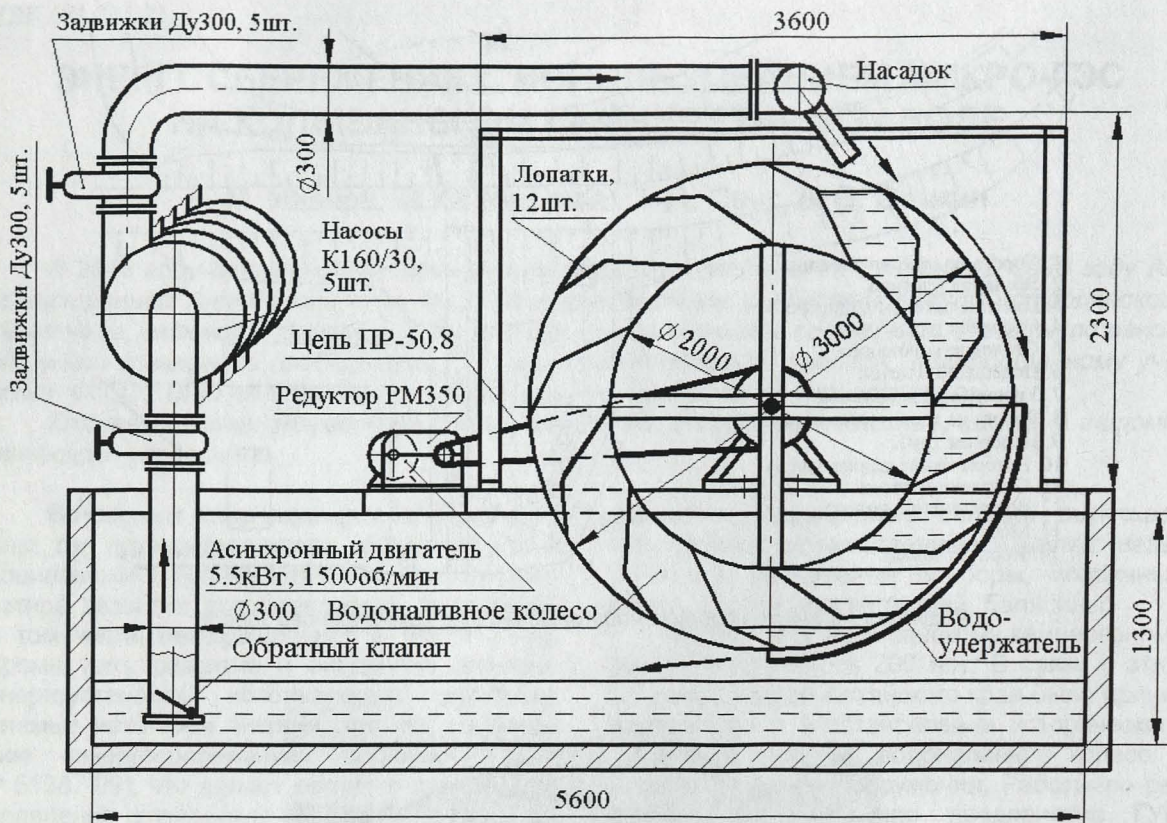


Рисунок 4 – Модель водоналивного колеса

От подводящего канала остался только трубопровод, проложенный в теле плотины, диаметром 1200 мм. Отводящий лоток был завален камнем.

В помещении водоналивного колеса, высота которого 7,5 м, размеры в плане 8,0х2,8 м, сохранилась только одна опора колеса из камня и отводящий канал сечением 1,5х1,5 м длиной 30 м с дном из лиственницы.

В лаборатории гидротехнических сооружений малых гидроузлов и микро-ГЭС кафедры ТГиВВ АлтГТУ была создана модель водоналивного колеса в масштабе 1:2 диаметром 3 м и шириной 0,88 м (рисунок 4).

Оптимизирована форма лопаток, позволяющая получить наполнение около 50 % от максимально возможного объема (объема полукольца).

С применением водоудержателя, расположенного в нижней четверти колеса и заполненного в виде радиально изогнутой стенки с зазором 10 мм от колеса, удалось увеличить наполнение до 60 %. Увеличивая наполнение колеса, мы можем, при одной и той же снимаемой мощности, уменьшить его размеры [8, 9]. По историческим данным наполне-

ние водоналивного колеса Колыванского камерезного завода было около 40 %.

Вода подавалась на модель колеса насосной станцией, включающей пять насосов K160/30, по трубопроводу диаметром 300 мм с задвижками Ду300. Максимальный расход воды 200 л/с. Это позволило создать систему автоматического регулирования водяным колесом мощностью 4 кВт. Вместо первоначально рассчитанного стального вала диаметром 120 мм использовали стальную ось диаметром 60 мм, что было достигнуто за счет передачи вращающего момента от колеса к редуктору через звездочку цепной передачи, закрепленную на спицах.

Для передачи крутящего момента от колеса к редуктору был проведен экспериментальный сравнительный анализ ременной и цепной передач. Установлено, что использовать ременную передачу для низкооборотного колеса не целесообразно.

Передаточное отношение цепной передачи к редуктору Ц2У-250-50 составляет 1:1,5. Передаточное отношение повышающего редуктора 1:50. К нему подключен асинхронный двигатель с частотой вращения 1500 об/мин и мощностью 5,5 кВт.

При расходе 200 л/с частота вращения модели водоналивного колеса 18-20 об/мин (окружная скорость на внешнем ободе колеса составляет около 3 м/с). При этом максимальная вырабатываемая мощность системы 3 кВт и общий КПД 60 % (КПД гидротурбины, например, 90 %). Общий КПД водоналивного колеса определялся как отношение электрической мощности  $N_{эл}$ , фиксируемой ваттметром в блоке управления электрической нагрузки, к гидравлической мощности  $N_{гидр}$ . Гидравлическая мощность определялась по формуле:

$$N_{гидр} = \rho g H Q,$$

где  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$H$  – высота от излива воды до уровня воды в отводящем канале, приблизительно равным диаметру колеса, м;

$Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/с.

КПД привода составляет 80 %, КПД генератора – 80 %. Общий КПД был увеличен с 40 % до 60 % за счет водоудержателя, который задерживал воду в карманах колеса (рисунок 4).

Таким образом, применение водоналивных колес наиболее эффективно в случае прямого использования гидроэнергии низкооборотными потребителями без применения редуктора и преобразования ее в электрическую энергию.

По разработанной в [5] комплексной методике расчета микро-ГЭС и на основе данных, полученных при исследовании модели водоналивного колеса в масштабе 1:2 диаметром 3 м, был разработан проект микро-ГЭС с водоналивным колесом в натуральную величину диаметром 5,5 м, шириной 0,9 м и количеством лопаток – 48 (рисунок 5).

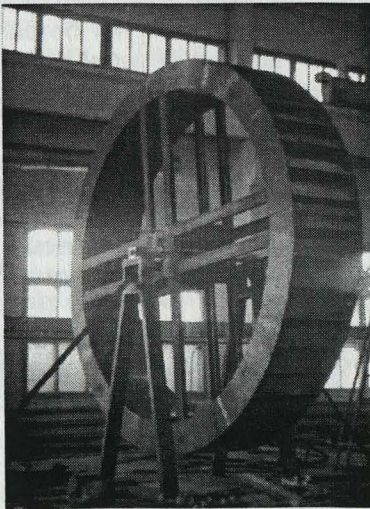


Рисунок 5 – Водоналивное колесо

При этом был использован накопленный опыт конструирования лопаток, что позволило достичь наполнения колеса аналогично модели. Применение водоудержателя так же позволило увеличить наполнение до 60 %. Натурное колесо было спроектировано с деревянными лопатками на металлическом каркасе.

Из водохранилища вода подается в уравнильный бассейн по трубопроводу из бетона размером 1,5×1,5 м через тело плотины и далее поступает на колесо по металлической трубе диаметром 0,8 м с переходом на прямоугольную 0,7×0,7 м.

Расчетный расход воды 1000 л/с, при этом частота вращения колеса 10 об/мин, а окружная скорость, так же как и на модельном колесе, около 3 м/с.

Вместо деревянного вала диаметром 500 мм использована стальная ось диаметром 100 мм.

Внутри здания на подводящем трубопроводе предусмотрена задвижка диаметром 500 мм с электроприводом для регулирования расхода воды, подаваемой на колесо (рисунок 6).

Для передачи крутящего момента от колеса к редуктору Ц2-350-31,5 применена цепная передача с передаточным отношением 1:2,5. Передаточное отношение повышающего редуктора 1:31,5.

К редуктору подключен генератор, в качестве которого использован асинхронный двигатель с частотой вращения 750 об/мин и мощностью 16 кВт [10–12]. При этом максимальная вырабатываемая водоналивным колесом электрическая мощность – 12 кВт с общим КПД 60 % при среднегодовом расходе около 500 л/с. В летне-осенний период расход снижается до 150 л/с.

Таким образом, применение водоналивных колес может быть эффективно и в наше время для выработки электроэнергии при наличии неиспользуемого возобновляемого источника энергии – потока воды.

В теле каменно-земляной плотины камнерезного завода устроены три водосбросных отверстия с плоскими затворами высотой 4,5 м и шириной 1,5 м для пропуска максимального паводка однопроцентной обеспеченности 12,5 м<sup>3</sup>/с (рисунок 3). Боковые устои выполнены из бетона, а «быки» из металлического двутаврового профиля. За водосбросными отверстиями расположен быстроток длиной 25 м и перепадом 4,1 м. Русло реки в нижнем бьефе сложено из камней крупностью 150–200 мм.

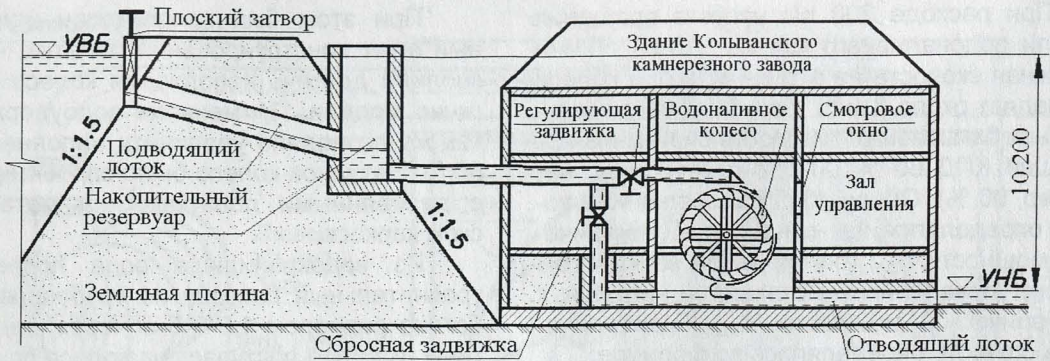


Рисунок 6 – Разрез по оси водовода Кольванского камнерезного завода

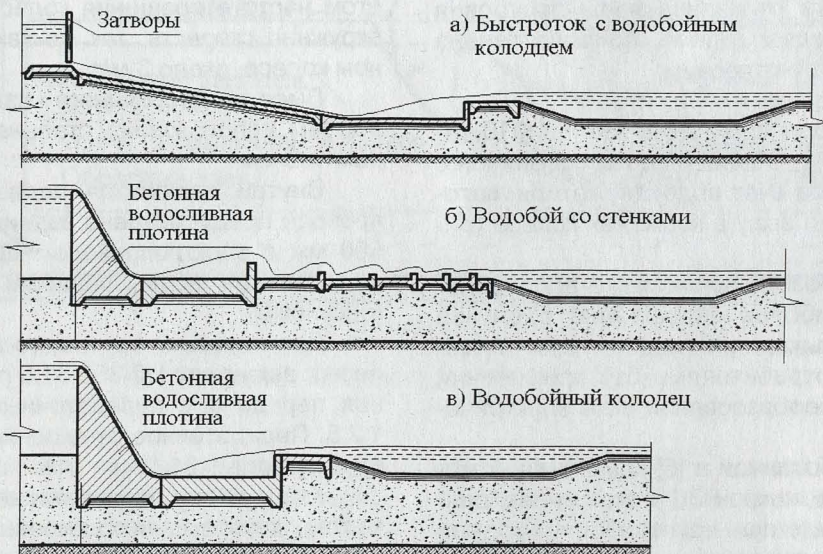


Рисунок 7 – Варианты водосбросных сооружений

Проведены поверочные расчеты и технико-экономическое сравнение вариантов существующего водосброса с быстротоком и водосбросных сооружений, включающих водосливную бетонную плотину практического профиля (рисунок 7) [6, 7]. Толщина водобойной плиты складывается из толщины, воспринимающей статическую нагрузку, и толщины, воспринимающей динамическую нагрузку.

При расчете определено, что толщина плиты на динамическую нагрузку составляет примерно 35 % от суммарной, а толщина плиты на статическую нагрузку – около 65 %. Толщина плиты водобойного колодца 2,0 м, а при сооружении водобойных стенок – 1,7 м. Общая длина водосбросных сооружений с водобойным колодцем 56 м, а с водобойными стенками – 73 м.

По объемам бетонных работ устройство исторического быстротока с запроектирован-

ным водобойным колодцем наиболее экономично.

Недостаток существующего водосброса в том, что за быстротоком нет бетонного крепления, а для гашения энергии потока воды в нижнем бьефе используется шероховатое русло реки из каменной наброски, которое размывается в паводковый период.

В результате работ, проведенных на Кольванском камнерезном заводе, построена микро-ГЭС с водоналивным колесом диаметром 5,5 м, с одноканальной системой автоматического управления и блоком автоматического управления электрической нагрузкой. В качестве генератора использовался промышленный электродвигатель с короткозамкнутым ротором серии АИР 180М8УЗ, мощностью 15 кВт и синхронной скоростью вращения 750 об/мин. Основные характеристики микро-ГЭС приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные характеристики микро-ГЭС с водоналивным колесом 5,5 м

Мощность, кВт		Напор, м		Расход, м <sup>3</sup> /с	Номинальное напряжение, В		Номинальная частота, Гц
Номинальная	Максимальная	Статический	Рабочий		Фазное	Линейное	
12,0	15,0	6,0–6,5	5,5	0,55	230 <sup>+15</sup> <sub>-30</sub>	400 <sup>+25</sup> <sub>-50</sub>	50 ± 2,5

Высокие технико-экономические показатели микро-ГЭС достигнуты за счет применения оригинальных конструкторских решений авторов, защищенные патентами РФ на изобретения и полезные модели [8 – 12].

В настоящее время микро-ГЭС работает на Колыванском камнерезном заводе и вырабатывает электроэнергию для его нужд. Работа микро-ГЭС в штатном режиме с августа 2002 года показывает, что такие энергоустановки могут эффективно использоваться для энергосбережения и электроснабжения автономных потребителей малой мощности круглый год.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бальзанников, М. И. Возобновляемые источники энергии. Аспекты комплексного использования [Текст] / М. И. Бальзанников, В. В. Елистратов. – Самара : ООО «Офорт»; СГАСУ, 2008. – 331 с.
2. Елистратов, В. В. Возобновляемая энергетика / В. В. Елистратов. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 239 с.
3. Васильев, Ю. С. Оценка ресурсов возобновляемых источников энергии в России [Текст] : учеб. пособие / Ю. С. Васильев, П. П. Безруких, В. В. Елистратов, Г. И. Сидоренко. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 250 с.
4. Сёмкин, Б. В. Характеристика и возможность использования возобновляемых и нетрадиционных источников энергии для электроснабжения потребителей небольшой мощности на территории Алтайского края [Текст] / Б. В. Сёмкин, В. М. Иванов, Т. Ю. Иванова, П. П. Свит // Вестник Алтайской науки. – Барнаул, 2008. – № 2 (2). – С. 113–122.
5. Свит, П. П. Низконапорные микро-ГЭС с автобалластным регулированием (сфера эффективного применения, расчет, конструирование и эксплуатация) [Текст] : монография / П. П. Свит, В. М. Иванов, Б. В. Сёмкин, Т. Ю. Родивилина. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. – 160 с.
6. Иванов, В. М. Расчет и проектирование гидротехнических сооружений для гидроэлектростанций малой мощности и объектов водоснабжения и водоотведения. Часть I [Текст] : учеб. пособие / В. М. Иванов, Б. В. Сёмкин, Т. Ю. Иванова, А. А. Блинов. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2008. – 101 с.
7. Иванов, В. М. Расчет и проектирование гидротехнических сооружений для гидроэлектростанций малой мощности и объектов водоснабжения и водоотведения. Часть II [Текст] : учеб. пособие / В. М. Иванов, Б. В. Сёмкин, Т. Ю. Иванова,

А. А. Блинов, П. В. Степанова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2008. – 96 с.

8. Патент на изобретение № 2306453. Устройство для преобразования энергии воды в электроэнергию / В. М. Иванов, Б. В. Сёмкин, Т. Ю. Родивилина, П. П. Свит, Г. О. Клейн. – Заявка № 2005133292; Заявл. 28.10.05 г. – Оpubл. в Б.И., 20.09.07 г., Бюл. № 26.

9. 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.

10. 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 г. – Оpubл. в Б.И. 10.07.10 г., Бюл. №19.

11. Патент на полезную модель № 102065. Микро-гидроэлектростанция / 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.

12. 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.

**Иванов В. М.**, д.т.н., профессор, E-mail: [tgvv@mail.ru](mailto:tgvv@mail.ru); **Иванова Т. Ю.**, к.т.н., доцент, E-mail: [trodivilina@mail.ru](mailto:trodivilina@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; **Свит П. П.**, к.т.н., доцент, E-mail: [spp0304@mail.ru](mailto:spp0304@mail.ru), Россия, Алтайский край г. Барнаул, «Управление Алтайского края по промышленности и энергетике», экспертно-аналитический отдел в сфере энергетики, +7(385-2)36-81-15; **Сёмкин Б. В.**, д.т.н., профессор, E-mail: [sbv@mail.altstu.ru](mailto:sbv@mail.altstu.ru), Россия, Алтайский край, г. Барнаул, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», кафедра «Естествознание и системный анализ», +7 (385-2) 29-09-66.