

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

кафедра
ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИН
им. А.В. Щегляева

подразделение
ГИДРОМЕХАНИКИ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН
им В.С. Квятковского

НАУЧНАЯ РАБОТА

в рамках конкурса
«Новая генерация-2015»

по направлению
«Энергетическое машиностроение»

Разработка понтонной низконапорной микроГЭС

Автор: магистрант **Дружинин А. А.**

Научный
руководитель: д.т.н, профессор **Волков А. В.**

МОСКВА, 2015

Содержание

Введение.....	3
Цели научной работы.....	4
Задачи научной работы.....	4
Анализ состояния гидроэнергетического потенциала малых рек РФ.....	5
Актуальность направления исследований.....	6
Обоснование направления исследований для проектирования микроГЭС.....	6
Изготовление и испытание модельной микроГЭС.....	11
Изготовление и испытание натурной микроГЭС.....	16
Технологичность выбранной конструкции.....	18
Область применения разработанной конструкции микроГЭС.....	19
Заключение.....	20

Введение

Основанием для начала исследований в рамках направления данной научной работы послужила проблема неосвоенности гидроэнергетического потенциала равнинных рек нашей страны, в результате чего огромное количество децентрализованных потребителей испытывают значительный недостаток электроэнергии. В настоящее время также ставятся задачи с решением вопросов энергообеспечения, экологически чистой выработки электроэнергии, в связи с чем необходимо обратить внимание на возможность полезного использования сточных вод очистных сооружений городов.

Опыт энергомашиностроителей, полученный в процессе проектирования, отработки и введения в эксплуатацию малых ГЭС с различными типами гидроагрегатов показал необходимость ухода от проблемы паводковой аварийности гидромашин. Кроме того, рассматривая перспективное освоение малых рек территории России, возникает потребность повышения энергоэффективности гидроагрегатов в условиях низких напоров и малых водотоков с невысокими скоростями течения в русле рек, а гидроэлектростанции, срок службы которых близок к выводу из эксплуатации, нуждаются в восстановлении. Это порождает возможность использования готового напорного фронта и сооружения нового гидроэнергетического устройства с наименьшими капиталовложениями.

Все эти вопросы положили начало исследованиям в области гидроэнергетического машиностроения.

Цели научной работы

Повышение гидроэнергетического потенциала неосвоенных малых равнинных рек является важнейшим направлением исследований, это позволит, главным образом, ускорить проблему электроснабжения отдалённых локальных потребителей.

Не менее важной целью является разработка такого энергетического оборудования, которое обеспечивало бы энергоэффективную выработку электроэнергии наиболее экологически чистым способом.

Задачи научной работы

- Разработка энергоэффективной микроГЭС;
- Сравнение схем её построения;
- Выбор расчётных параметров гидроагрегата;
- Создание макета микроГЭС и проведение его испытаний.

Анализ состояния гидроэнергетического потенциала малых рек РФ

Россия отстает в освоении гидроэнергетических ресурсов от других стран. Занимая второе место в мире после Китая по обеспеченности гидроэнергетическими ресурсами (9 % от мировых запасов), наша страна до сих пор освоила не более 20 % из них (для сравнения в Японии этот показатель составляет 99 %, во Франции - 90 %, в США и Бразилии - 50 %).

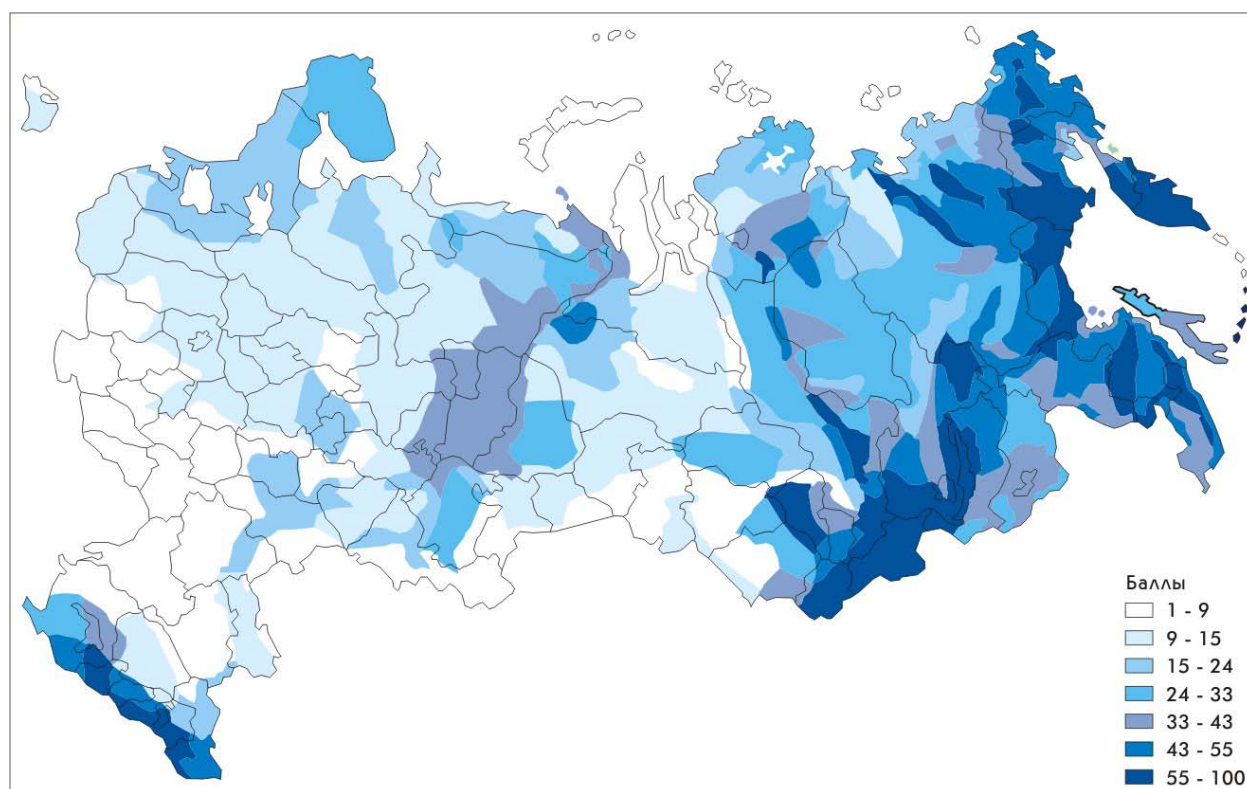


Рис. 1. Гидрографические данные территории России

Гидрографические данные (рис. 1) подтверждают, что сток более 2 млн. малых рек составляет половину стока всех рек на территории страны. Данный факт предоставляет широкомасштабные возможности для развития малой гидроэнергетики. Установлено, что на Европейскую часть России приходится 25%, на Сибирь - 40% и 35% - на Дальний Восток. В наиболее промышленно развитой части страны – Центре Европейской части, гидроэнергетический потенциал использован с самым высоким местным показателем. Возможности развития гидроэнергетики в Европейской части имеются на Северо-Западе и Северном Кавказе. В целом по Европейской части России использование гидроэнергетического потенциала составляет 46%.

Актуальность направления исследований

Поставленная задача связана с решением вопросов развития экологически чистой выработки электроэнергии, а также с весьма недостаточным интересом, проявляемым к гидроэнергетическому потенциалу малых равнинных рек и сточных вод очистных сооружений городов. Основная проблематика состоит в энергообеспечении сельского населения, расположенного в изолированных районах, зачастую вблизи малых рек, потенциал которых с точки зрения энергетики используется более чем незначительно.

Аналогичный вопрос касается, например, и станций очистки сточных вод, где имеются большие расходы воды с перепадами высот, не превышающих двух-трёх метров водяного столба и представляющих возможность дополнительной выработки электроэнергии, использование её на собственные нужды. Всё это является очень острым и важным с точки зрения развития возобновляемых источников энергии и нетрадиционной гидроэнергетики вопросом, который свидетельствует о безусловной актуальности развития и восстановления микрогенерации в настоящее время и создания энергоэффективного оборудования для решения этих задач.

Обоснование направления исследований для проектирования микроГЭС

Основной проблематикой инженерного подхода к проектированию является малая эффективность работы типовых гидроагрегатов в условиях низких располагаемых напоров (не более 2-3 метров водяного столба) и малых (менее 1...2 м/с) скоростей потока в русле реки.

Анализ области применимости различных видов гидротурбин (рис. 2) показывает, что рабочая зона гидротурбин с высокой частотой вращения, к которым относятся, прежде всего, обратимые гидромашины, ограничена снизу располагаемым напором около двух метров. Ниже этой границы их эффективность оказывается невысокой. Рабочую зону ниже двух метров чаще всего отводят свободно-поточным агрегатам. Но такие гидротурбины имеют малую частоту вращения и требуют применения мультипликативных схем

привода генераторов тока, что приводит к повышению капиталовложений на производство.

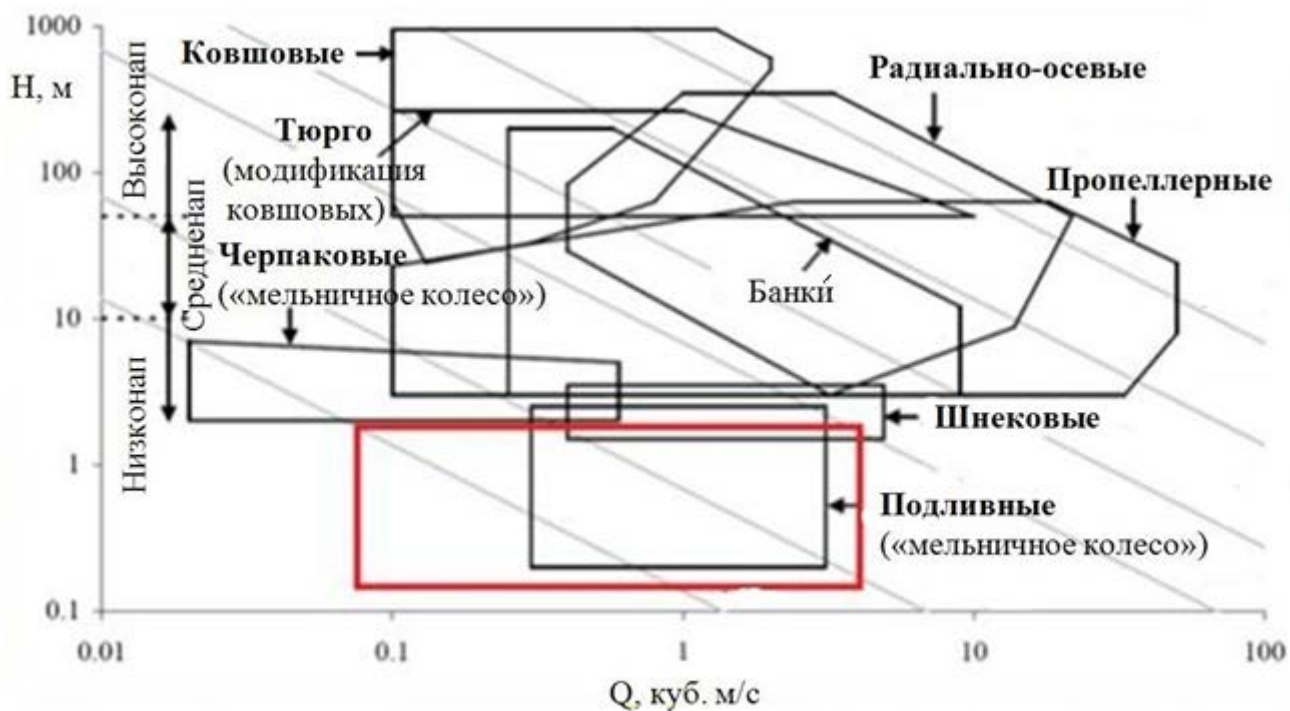


Рис. 2. Рабочее поле Q-N типовых гидроагрегатов

Именно поэтому при разработке конструкции гидротурбины, для работы в составе низконапорных микроГЭС, в качестве направления исследований было выбрано расширение рабочей зоны рабочих колёс гидротурбины.

Разрешением рассмотренных вопросов может послужить данная разработка понтонной низконапорной микроГЭС с сифонной отводящей трубой. Представленное гидроэнергетическое устройство, согласно вышеизложенным требованиям, предназначено для работы в условиях следующих ограничений:

- по напору – не более 2 метров;
- по скорости течения водотока – не более 1 м/с;
- по мощности не более 3 кВт.

Выбор энергоэффективной схемы микроГЭС

Конструкция рассматриваемой микроГЭС позволяет решить главные проблемы, возникающие при проектировании гидроэнергетических установок (радиально-осевых, осевых, диагональных, Банки и др.) – это, прежде всего, большие объемы строительства и высокие капитальные затраты.

Ввиду того, что выбор конструкции микроГЭС обусловлен снижением капитальных затрат при производстве и её монтаже, компоновка данного гидротехнического сооружения представляется наиболее привлекательной для дальнейших исследований в виде гидроагрегата с сифонной отводящей трубой. Такая конструкция допускает расположение водовода поверх тела плотины. Кроме того, сифонные микроГЭС представляют собой модульные мобильные конструкции, которые могут быть выполнены на плавсредстве, что значительно расширяет её применимость. Таким образом, для исследования была принята схема микроГЭС сифонного типа, где в качестве гидротурбины используется осевая обратимая гидромашина, к выходу которой подсоединяется сифонный трубопровод, отводящий сработанный поток в нижний бьеф.

Компоновка настоящей микроГЭС представляет собой плавучее сооружение типа «дебаркадер», что не требует возведения массивных бетонных конструкций, а также делает установку мобильной и эффективной к транспортировке. Данный факт предоставляет широкие возможности по снижению затрат при восстановлении ранее существовавших малых ГЭС и ускорению электрификации отдалённых от энергосистем потребителей.

Проведённый в предыдущей главе анализ позволяет сделать вывод о том, что в условиях малого располагаемого напора воды наибольшую эффективность имеют турбины Банки и осевые гидротурбины. Рассмотрим эти типы, как конкурирующие.

Турбине Банки присущи некоторые недостатки по сравнению с осевой. Она имеет гораздо меньшую скорость вращения, что осложняет получение электроэнергии надлежащего качества; является подливной, т.е. работает на

границе раздела двух фаз и взаимодействует с водой в окружающей воздушной среде. Это приводит к интенсивному обледенению её конструкции в холодное время. Поэтому рациональным выводом служит применение осевой гидротурбины напорном водоводе, по которому вода течёт из верхнего водоёма в нижний – самотёком.

Применяемый в техническом решении гидроагрегат является важнейшим элементом данного гидротехнического сооружения и имеет электрогенератор с высокой частотой вращения. Это позволяет уйти от распространённой проблемы гидротехнических сооружений, созданных в условиях малых водотоков – использования электрических машин с низкой частотой вращения, как правило, требующих сложных дорогостоящих преобразователей, мультипликаторов, использование которых, с точки зрения капиталовложений, могло бы быть сопоставимо со стоимостью возведения всего рассматриваемого гидроэнергетического устройства.

Кроме того, основное стремление использовать при проектировании гидроагрегат и электрическую машину высокой частоты вращения позволяет обеспечить выработку электроэнергии, отвечающей стандарту на её качество.

Запуск сифона обеспечивается гидромашинной в режиме насоса. При достижении достаточного разрежения в колене сифона разгон потока в нем до расчетной скорости будет происходить уже самопроизвольно. За счёт избыточного разрежения на выходе насос перейдет в турбинный режим, а электродвигатель – в генераторный. Такое решение позволяет упростить процесс пуска и обойтись без традиционной системы запуска сифона с помощью дополнительного вакуумного насоса. Разгон потока в сифоне с помощью гидромашинной в насосном режиме позволяет установить высокую расчётную скорость течения и использовать таким образом гидромашинную с высокой частотой вращения. Это исключает из схемы мультипликатор для привода генератора, усложняющего и значительно удорожающего схему. В связи с принятой конструкцией были рассмотрены шесть схем, отличающихся друг от друга местом размещения гидротурбины в сифоне (рис. 3).

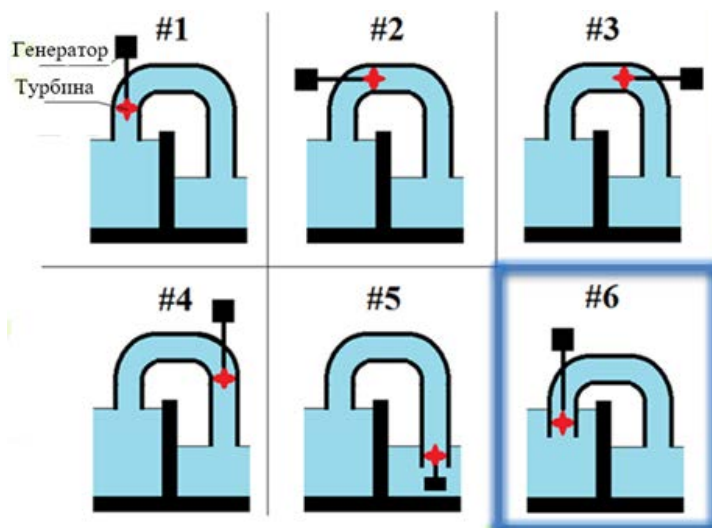


Рис. 3. Схемы вариантов расположения гидротурбины в сифонном трубопроводе

Сравнительная оценка энергоэффективности представленных конструктивных схем сифонных микроГЭС показала практическую идентичность энергоэффективности исследованных конструктивных схем с идентичными расчётными параметрами. Однако, рассмотренная схема №6 имеет важные преимущества перед остальными схемами:

- максимальный кавитационный запас;
- конструктивное и эксплуатационное преимущество.

Осевая гидромашина способна работать в турбинном и насосном режимах без реверса направления вращения ротора и без реверса направления потока через неё. Такая гидромашина, работая в схеме №6 в режиме насоса, обеспечивает заполнение сифона, т. о. запуская сифон без участия внешнего вакуумного насоса. Остальные рассмотренные схемы обойтись без него не могут. В связи с этим, схема №6 была принята для дальнейших исследований.

Представленные материалы являются результатами научно-исследовательской работы, получившей финансовую поддержку в результате конкурсного отбора трёхлетних прикладных научных исследований, направленных на создание продукции и технологий, по приоритетному направлению "Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика" (соглашение о предоставлении субсидии от 27.06.2014 № 14.574.21.0076).

Изготовление и испытание модельной микроГЭС

В процессе исследований разработана методика проектирования микроГЭС, определена её эскизная компоновка и расчётные параметры, проведено макетирование конструкции. Её расчётная схема и модель представлены на рис. 4, 5.

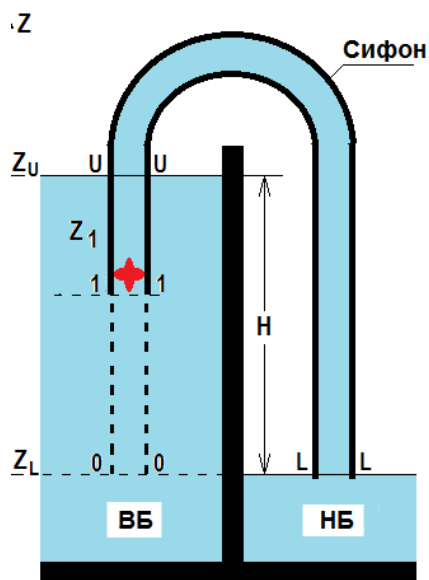


Рис. 4. Расчетная схема и фотоснимок модели микроГЭС

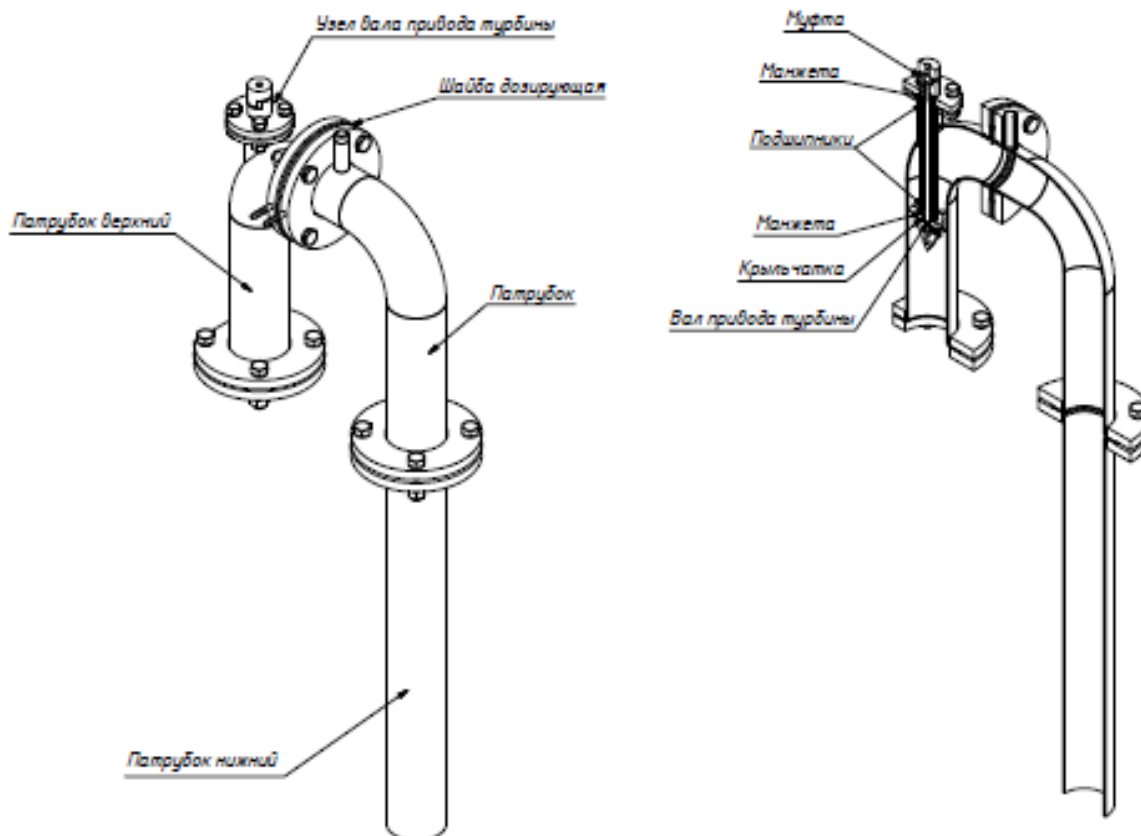


Рис. 5. Эскиз гидроагрегата

Использование гидроагрегата с высокой частотой вращения, компоновка которого предусматривает его расположение в верхнем бьефе плотины, позволяет добиться решения ещё одной проблемы, присущей традиционным конструкциям гидротехнических сооружений – возможности ухода от паводковой аварийности гидроагрегатов, как правило, располагающихся в нижнем бьефе.

Модель микроГЭС прошла успешные испытания на гидродинамическом лабораторном стенде НИУ «МЭИ», представленного на рис. 6:



Рис. 6. Гидродинамический лабораторный стенд НИУ «МЭИ»

Принципиальная схема устройства стенда представлена на рис. 7. Основной узел стенда представляет собой гидродинамический лоток прямоугольного сечения со стеклянными стенками. Максимальный расход воды через стенд, регулируемый задвижкой 1, обеспечивает достижение скорости течения в его русле до 1,0 м/с при перепаде высот между уровнями верхнего и нижнего резервуаров до 0,8 метра. Поток, перед входом в верхний бьеф проходит направляющий аппарат 2, предназначенный для его стабилизации. Трубка Пито-Прандтля 5 позволяет отслеживать уровень полного и статического напора на пьезометрах 8, 9, а регулирующий щит 7 устанавливает требуемый уровень отметки в верхнем бьефе. Следовательно,

основной узел лабораторного стенда хорошо подходит в качестве экспериментального стенда для исследования модели микроГЭС.

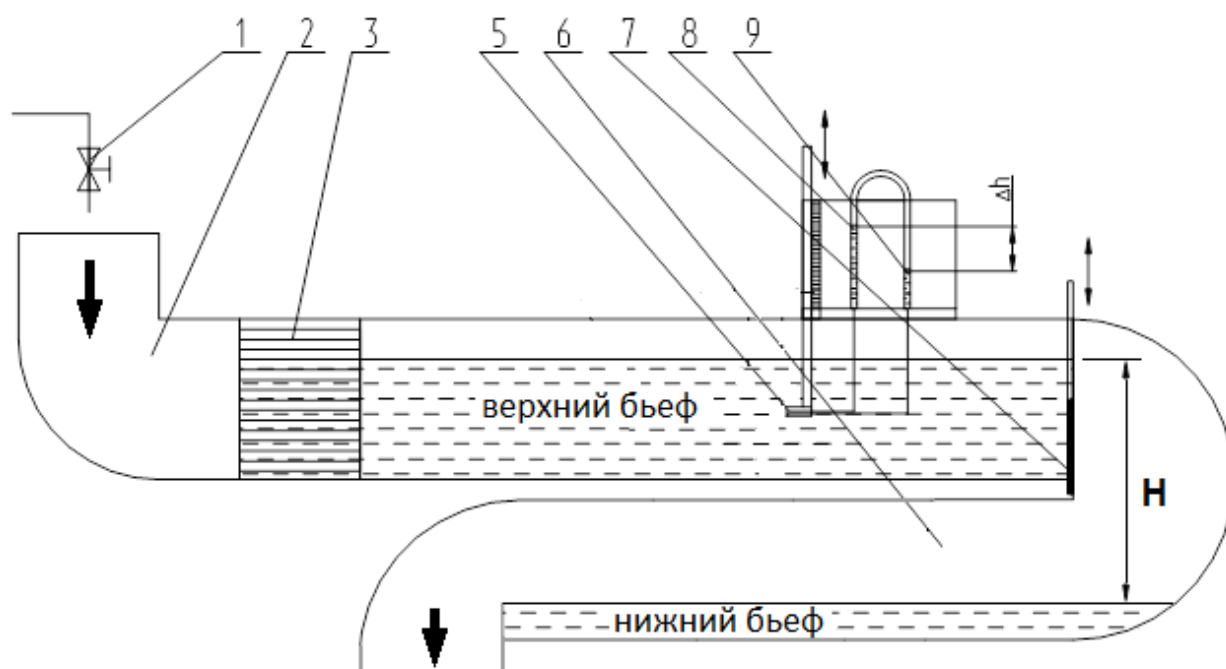


Рис. 7. Принципиальная схема устройства стенда

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1 – регулировочная задвижка; | 5 – трубка Пито-Прандтля; |
| 2 – подводящее колено; | 6 – отводящее колено; |
| 3 – трубчатый направляющий аппарат; | 7 – регулирующий щит; |
| | 8 – уровень полного напора; |
| | 9 – уровень статического напора. |

Испытания опытного образца сифонной микроГЭС проводились с использованием комплекта рабочих колёс, предусматривающих различное число лопастей, а также варианты их профилирования.

При исследовании лопастная система представлялась в виде профиля единичного размаха, расположенного на среднем радиусе рабочего колеса. На рис. 8 приведены расчётная схема профиля лопасти, планы скоростей и схема сил, действующих на профиль, движущийся поступательно поперек оси потока жидкой вязкой среды.

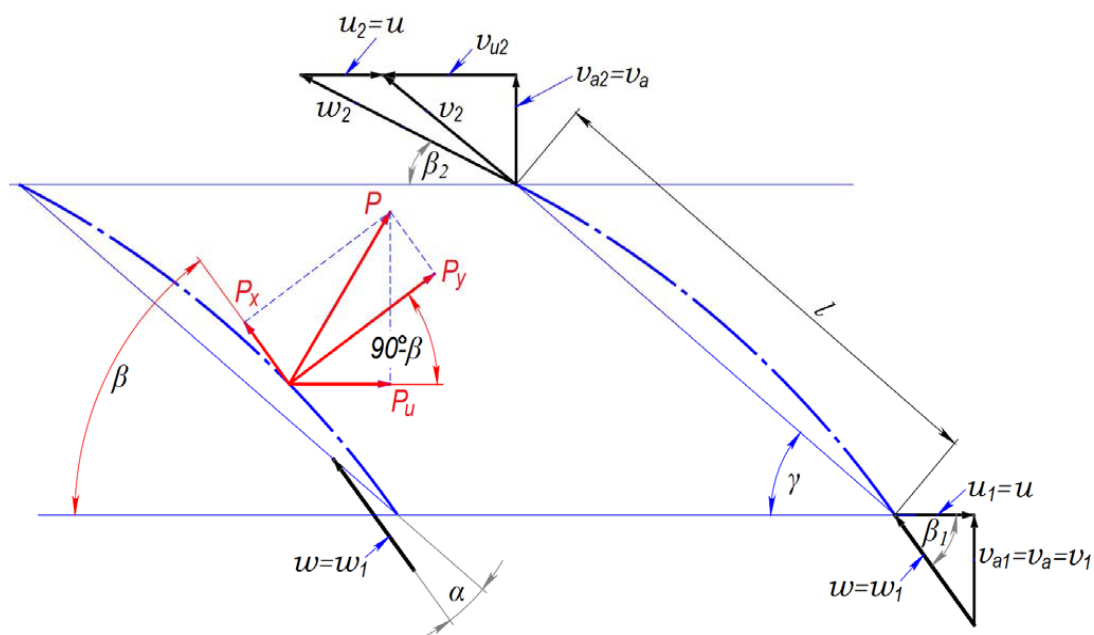


Рис. 8. Расчетная схема лопастной системы рабочего колеса

l – длина хорды профиля;

γ – угол установки профиля;

u – линейная (окружная) скорость движения лопасти по среднему радиусу r рабочего колеса

($u = \omega \times r$, где ω – угловая скорость вращения колеса);

v – абсолютная скорость потока;

v_a – осевая скорость потока;

v_u – окружная составляющая абсолютной скорости потока;

w – относительная скорость потока;

w_u – окружная составляющая относительной скорости;

$\beta_1 = \beta$ – угол набегания;

$\beta_2 < \beta$ – угол стекания;

α – угол атаки профиля;

P_y – подъемная сила профиля;

P_x – сила лобового сопротивления профиля;

P – сила, действующая на профиль со стороны потока;

P_u – окружная составляющая силы P .

Варьируя параметрами расчетной схемы был создан комплект опытных образцов лопастных систем и испытан на экспериментальном стенде. При исследовании модели были сняты мощностные и моментные характеристики, приведённые на рис. 9:

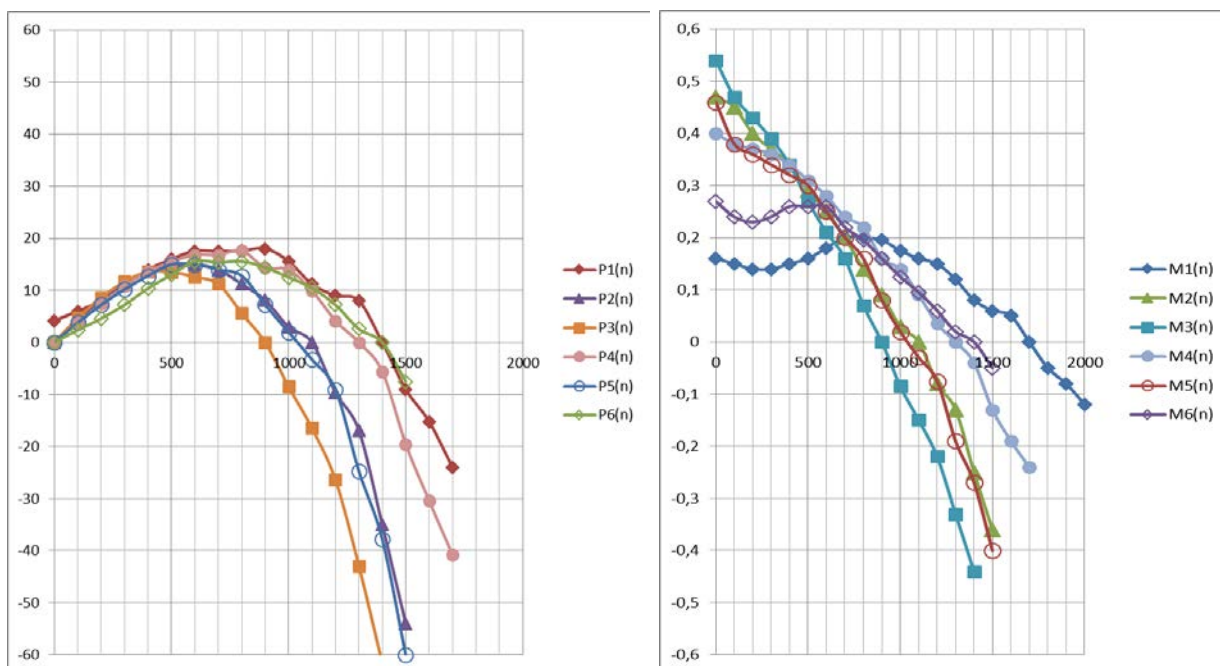


Рис. 9. Мощностные и моментные характеристики
испытанных рабочих колёс

В процессе испытания и анализа полученных данных были отобраны наиболее энергоэффективные лопастные системы (рис. 10):



Рис. 10. Рабочие колеса с различной конфигурацией лопастной системы

По результатам дальнейших исследований было выявлено рабочее колесо, лопастная система которого позволяет добиться наибольшей выработки мощности, что демонстрируется на мощностной характеристике (рис. 11).

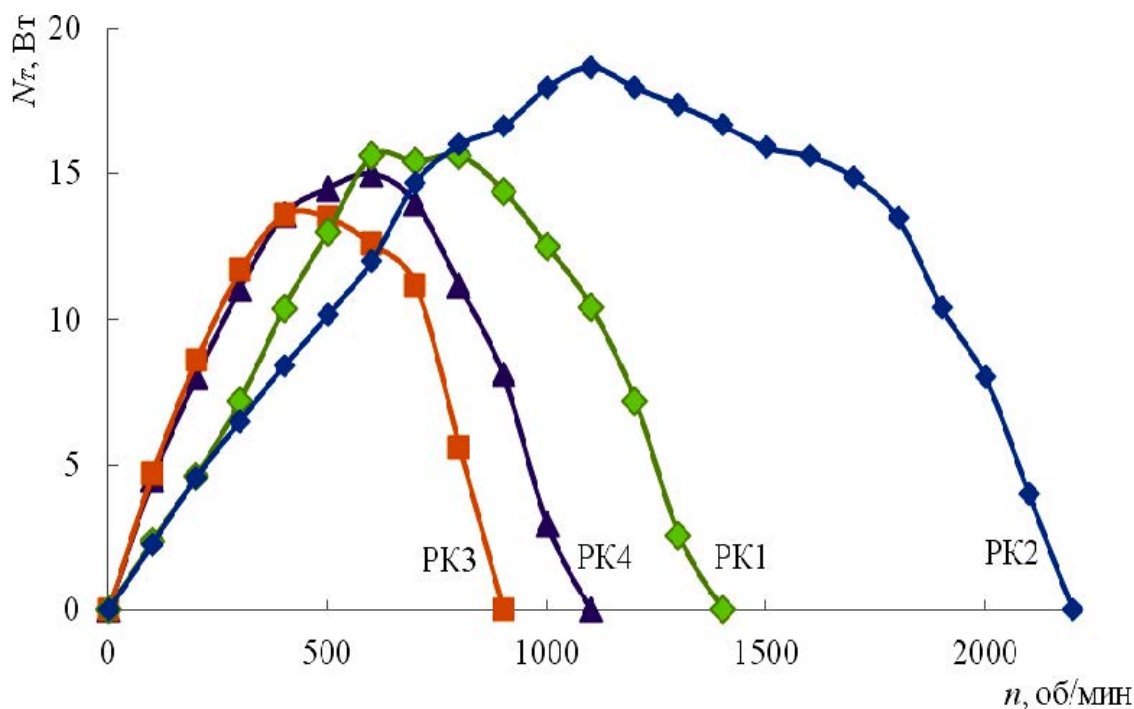


Рис. 11. Мощностные характеристики гидротурбины с различными рабочими колесами

Анализ полученных данных на основе модельного стенда показал не только работоспособность микроГЭС данного типа и успешные результаты испытаний, но и необходимость проведения дальнейшего проектирования натурального гидроагрегата, что является весьма актуальной задачей в рамках Государственной программы РФ «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года».

Изготовление и испытание натурной микроГЭС

Выводы, сделанные по результатам испытаний модели, выявили необходимость внесения изменений в конструкцию микроГЭС. В частности, необходимо реализовать следующее:

- установку раструба сифонного трубопровода грибовидной формы на входе;
- введение диффузорного участка на выходе из отводящей трубы.

Потребность в установке раструба необходима для стабилизации входящего в рабочее колесо потока, выравнивания эпюры его скоростей и, как следствие, более качественного обтекания лопастной системы осевой

гидромашины, а наличие диффузорного участка на выходе из сифонного трубопровода обусловлено стремлением снизить гидравлические потери, связанные с высокой скоростью потока, проходящего через гидротурбину.

На основе принятых изменений разработан макет гидроагрегата, представляющий собой совокупность обратимой электрической машины и осевой гидротурбины. Параметры гидроагрегата следующие:

- номинальная мощность ОЭМ..... 2,2 кВт;
- синхронная частота вращения вала ОЭМ..... 1000 об/мин;
- расчетная частота вращения выходного вала турбины 1000 об/мин;
- внешний диаметр рабочего колеса турбины 0,25 м;
- расчетный напор турбины полный 1,33 м;
- масса модуля 37 кг.

Гидроагрегат, общий вид которого представлен на рис. 12, состоит из обратимой электрической машины 1, корпуса 2, входного раструба 3, обтекателя вала рабочего колеса 4 и рабочего колеса гидротурбины 5.

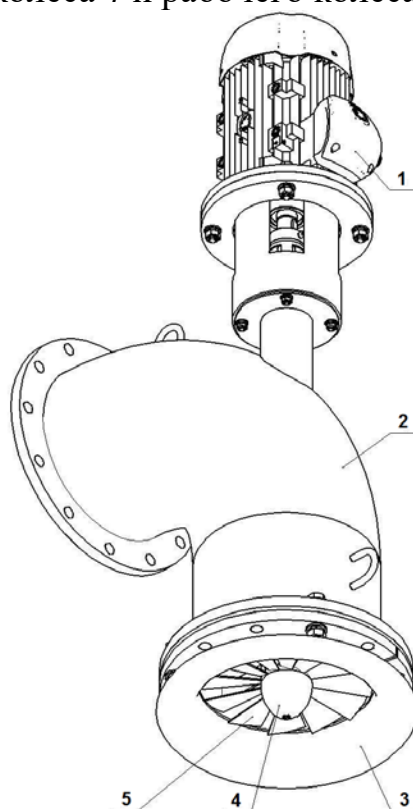


Рис. 12. Общий вид макета гидроагрегата

1 – стартер-генератор; 2 – корпус; 3 – раструб входной; 4 – наконечник; 5 – крыльчатка.

Также разработана 3D-модель и эскизная компоновка с размещением гидроагрегата на объекте (рис. 13). На основе проведённых исследований планируется проведение натурных испытаний для отработки полученного решения и применения в дальнейшем для решения актуальных вопросов энергомашиностроения.

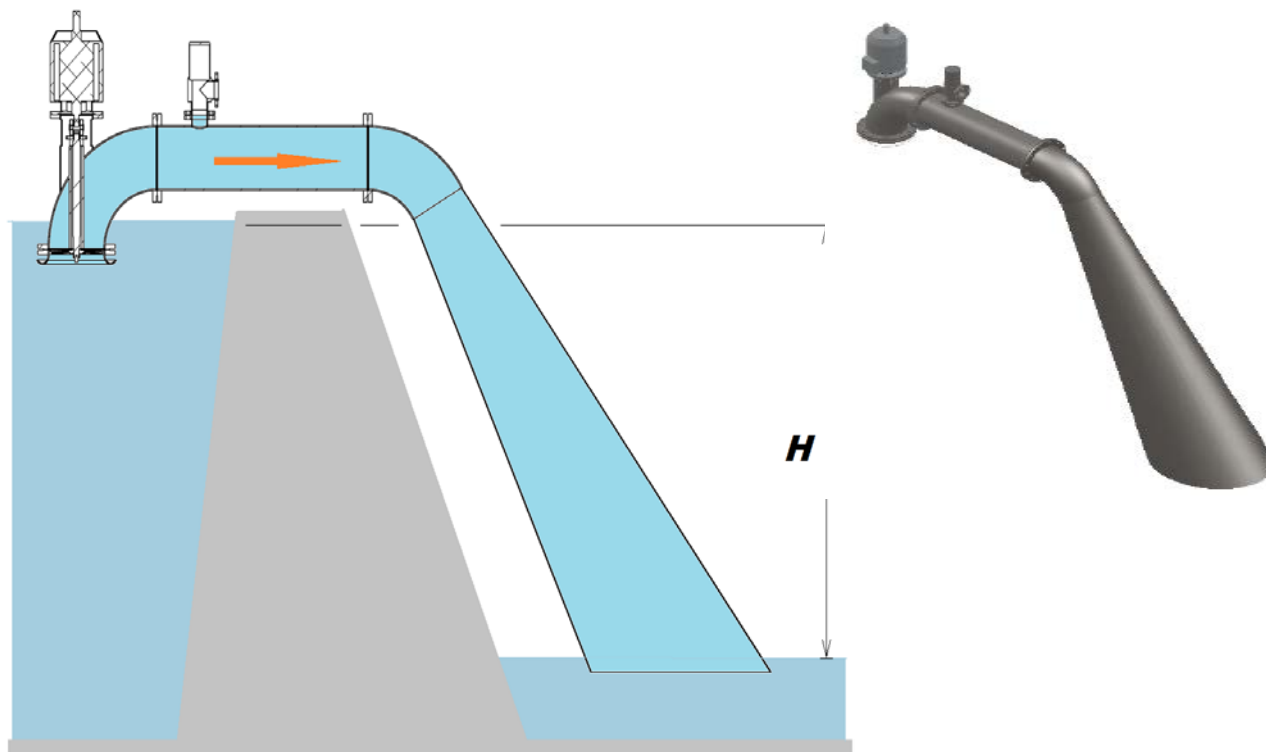


Рис. 13. Эскизная компоновка и трёхмерная модель натурального гидроагрегата

Технологичность выбранной конструкции

Разработанная конструкция является оригинальной и технологичной, что подразумевает использование стандартных деталей, регламентированных ГОСТ, а также серийно выпускающихся узлов и агрегатов. Это позволит создать импортозамещение при производстве микроГЭС и решить вопрос не только снижения капиталовложений на изготовление, но и дальнейшего ремонта в более доступных и краткосрочных рамках.

Область применения разработанной конструкции микроГЭС

Реализация проведенной научной работы может быть востребована для:

- водоканалов с использованием серии разработанных натуральных образцов микроГЭС на водоочистных сооружениях и работы данных установок как на автономную нагрузку, так и параллельно с сетью;
- устаревших электростанций, где износ гидравлического оборудования представляется критическим, но имеется возможность использовать готовый напорный фронт возведённой плотины;
- систем охлаждения ТЭС, предоставляющих работу в условиях больших водотоков при небольших перепадах высот.

Заключение

Изложенные в данной научной работе исследования показывают, что существующая проблема энергообеспечения, заключающаяся в неосвоенности гидроэнергетического потенциала малых рек нашей страны, может быть решена, отвечая при этом госпрограмме Минэнерго «Энергетическая стратегия России на период до 2035 г.» благодаря разработкам в области гидроэнергетики с удовлетворением требований, во главе которых можно выделить:

- задачи развития малой гидроэнергетики,
- разработку низконапорных малых ГЭС,
- высокие технико-экономические показатели представленных решений.

Кроме того, рассматривая процесс исследований локально, следует отметить, что изготовленный экспериментальный образец модели микроГЭС планируется использовать в учебных целях в качестве лабораторного стенда для обучения студентов специальности 150802 «Гидравлические машины, гидроприводы и гидро- пневмоавтоматика». Это позволит обучающимся получить начальные навыки работы с гидроэнергетическим оборудованием, знания физических процессов, происходящих при его эксплуатации.

Все рассмотренные в научной работе факты делают вклад в актуальность проведённых исследований и позиционируют их как разработки в области гидроэнергетики с высоким потенциалом для практического применения.

Список литературных источников

1. Быков Н.Н., Емин О.Н. Выбор параметров и расчет маломощных турбин для привода агрегатов. М.: Машиностроение, 1972. – 228 с.
2. Бычков В.М., Встовский А.Л., Пантелеев В.И., Федий К.С. Низкоскоростной синхронный генератор и система управления режимами его работы. // Известия высших учебных заведений. Электромеханика, 2010. № 3. с. 23-28.
3. Викторов Г.В. Подобие и моделирование в гидромашинах. М.: МЭИ, 1980.
4. Кривченко Л.Г. Гидравлические машины: турбины и насосы. М.: Энергоатомиздат, 1978. – 320 с.
5. Ломакин А.А. Осевые и центробежные насосы. Л.: Машиностроение. 1966. – 365 с.
6. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. М.: Машиностроение, 1977. – 288 с.
7. Черных А.Г., Бондаренко А.В. Экспериментальное исследование опытного образца установки микроГЭС с энергоблоком типа экранированный асинхронный генератор-турбина. // Вестник Иркутской государственной сельскохозяйственной академии, 2012. №53 сс. 120-129.
8. Date A., Date A., Akbarzadeh A. Performance Investigation of a Simple Reaction Water Turbine for Power Generation from Low Head Micro Hydro Resources. Smart Grid and Renewable Energy, 2012, No.3, pp. 239-245.
9. Parygin A.G., Volkov A.V., Ryzhenkov A.V. Commentary on the Efficiency of Selected Structural Designs of Low Head Micro Hydraulic Power Plants // Modern Applied Science, Vol. 9, No. 4, 2015. doi:10.5539/mas.v9n4p116. URL: <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v9n4p116>