

**ОШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И
ЭКОНОМИКИ ПРИ ГОСУДАРСТВЕННОМ КОМИТЕТЕ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИКИ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Диссертационный совет Д 05.17.541

На правах рукописи
УДК.: 001.891.5:621.311.214

МЕДЕРОВ ТААЛАЙБЕК ТЫНЫЧТЫКОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БИРОТОРНОЙ
МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Специальность 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых
видов энергии

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек – 2017

Работа выполнена на кафедре «Возобновляемые источники энергии»
Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Обозов Алайбек Джумабекович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Исманжанов Анвар Исманжанович

кандидат технических наук, доцент
Айдарбеков Зарипбек Шарипович

Ведущая организация: **ОАО «Чакан ГЭС» г. Бишкек**

Защита состоится «3» марта 2017 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.17.541 при Ошском государственном университете и Научно-исследовательском институте энергетики и экономики при ГКПЭиН КР по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Ахунбаева, 119.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Ошского государственного университета, 723500, г. Ош, ул. Ленина, 331, и Научно-исследовательского института энергетики и экономики при ГКПЭиН КР, 720055, г. Бишкек, ул. Ахунбаева, 119.

Автореферат разослан « » января 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук

Акпаралиев Р.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. На сегодняшний день человечеством потребляется огромное количество энергоресурсов, основанных на использовании углеводородного топлива, что является угрозой их практического истощения и дефицита.

Поиски других путей и новых технологий получения энергии показали, что наиболее перспективными представляется энергия возобновляемых источников. Одним из основных преимуществ этих источников является их возобновляемость, достаточно высокий потенциал, повсеместная доступность и т.д. Кроме того они являются экологически чистыми, что дает им огромное преимущество перед традиционными углеводородными источниками энергии, использование которых приводит к существенному загрязнению окружающей среды.

Сегодня энергетика на основе возобновляемых источников успешно конкурирует с традиционной энергетикой уже во многих странах мира. К примеру, в США, ЮАР, Италии и Индии возобновляемая энергетика достигла сетевого паритета. По оценкам экспертов если Германия продолжит реализовать проект Energiewende и сохранит подобную тенденцию, то уже к 2050 году обеспечит себя электричеством из возобновляемых источников энергии на 80%.

В Кыргызской республике, где более 93% территории занимают горы, и где по каждому ущелью протекают большие и маленькие реки из ВИЭ наиболее перспективным является использование гидравлической энергии малых рек, потенциал которых сегодня оценивается порядка 5–8 млрд. кВт·ч в год. Освоение этих ресурсов могли бы дать возможность решить ряд существующих проблем таких как: а) обеспечение малых автономных объектов, которые расположены на отдаленных районах, электроэнергией. В особенности это касается таких потребителей как лесхозы, стоянки пчеловодов, чабанов, небольшие животноводческие фермы, метеостанции, лыжные базы, фельдшерско – акушерские пункты и т.д. б) сокращение расходов на сети; в) снижение импорта топливных ресурсов (уголь, газ) из соседних стран.

Сегодня разработаны и успешно используются большое разнообразие микроГЭС для электроснабжения малых автономных, децентрализованных потребителей созданные в свое время известными школами и такими учеными как: Головин М.П., Иванов В.М., Блинов Б.С., Ленев В.И., Ф. Цотлётерер, С. Девис, Харрис, Токомбаев К.А., Кадыркулов С.С., и др. Все они наряду с достоинствами имеют и ряд недостатков, как громоздкость, металлоемкость, высокая стоимость и т.д.

И поэтому одним из важных и актуальных научных задач при решении этих проблем является поиск и разработка новых, высокоэффективных, надежных и экономически привлекательных конструкций микроГЭС. Диссертационная работа направлена на разработку и создание микроГЭС с

бироторной гидротурбиной, которая лишена ряда недостатков известных конструкций микроГЭС.

Связь темы диссертации с основными научно-исследовательскими работами. Работа выполнялась по заказу МО и Н КР в рамках научных проектов: «Исследование и разработка методов расчета комбинированных систем энергоснабжения автономных объектов, работающих на ВИЭ» (2014-2015 гг.).

Целью диссертационной работы является разработка научно-обоснованной методики расчета и выбора рациональных параметров бироторной гидротурбины и создания на ее основе нового типа микрогидроэлектростанции.

Задачи исследования:

- Анализ и обобщение опыта использования микроГЭС для электроснабжения автономных объектов.
- Исследование особенностей работы гидротурбины и синтез бироторной микроГЭС.
- Установление закономерностей взаимодействия лопастей гидротурбины с водным потоком и выбор ее рациональных геометрических параметров.
- Исследование влияния кинематических и гидродинамических параметров турбины на выходную мощность микроГЭС.
- Построение обобщенной математической модели взаимодействия гидравлического потока с гидротурбинами с использованием программного продукта FlowVision.
- Определение рационального межтурбинного расстояния гидротурбин.
- Определение общего коэффициента полезного действия бироторной гидротурбины.

Методы исследований. В работе использованы современные методы математического моделирования, гидродинамическая теория решеток, теория гидротурбин. Исследования проводились с применением компьютерной программы FlowVision.

Научная новизна полученных результатов:

- Впервые синтезирована схема бироторной гидротурбины и на ее основе предложена новая оригинальная конструкция микроГЭС.
- Разработан новый метод расчета и выбора геометрических и гидравлических параметров гидротурбин бироторной микроГЭС.
- Построена обобщенная математическая модель взаимодействия лопастей гидротурбины с гидравлическим потоком с использованием программ FlowVision.
- Впервые предложено и защищено патентом (Патент №1506, №1748, №1808) принципиально новое техническое решение конструкции микроГЭС с бироторной гидротурбиной.

- Разработана методика расчета и выбора рационального межтурбинного расстояния.
- Впервые для бироторной гидротурбины получена зависимость определения общего к.п.д. в зависимости от параметров и режимов работы гидротурбин.
- Разработан алгоритм для исследования взаимодействия гидравлического потока с гидротурбинами.
- Создан действующий образец микроГЭС с бироторной гидротурбиной.

Практическая значимость полученных результатов.

- Предложенные принципиально новые технические решения бироторной микроГЭС создают возможность повысить её эффективность.
- Предложенная методика расчета гидродинамических параметров гидротурбины позволила осуществить разработку нового класса микроГЭС.
- Результаты исследований были использованы в учебном процессе при подготовке студентов соответствующих энергетических специальностей.
- Разработана и изготовлена принципиально новая конструкция бироторной гидротурбины для микроГЭС.
- Созданный образец бироторной микроГЭС использован в учебно-лабораторных целях.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- Технические решения, защищенные патентами на изобретения, конструкции бироторной микроГЭС.
- Разработанные методы расчета и выбора геометрических и гидравлических параметров гидротурбин бироторной микроГЭС.
- Расчетная модель бироторной гидротурбины для микроГЭС.
- Разработанная методика определения кинематических параметров гидротурбин.
- Методика определения межтурбинного расстояния.

Реализация результатов.

- Результаты исследований кинематики потока в бироторной гидротурбине реализованы в разработанных методах расчета и проектировании микроГЭС.
- Разработанные новые методы расчета и выбора геометрических и гидравлических параметров турбин бироторной микроГЭС реализованы при проектировании и изготовлении действующего опытного образца бироторной микроГЭС.
- Разработанный и изготовленный микроГЭС с бироторной гидротурбиной используется в учебном процессе кафедры «ВИЭ» КГТУ им. И. Раззакова.

- Методы расчета и проектирования бироторной гидротурбины для микроГЭС переданы в ОАО «Чакан ГЭС».

Личный вклад соискателя. Все научно-технические результаты диссертационной работы, в основном, получены лично автором под руководством научного руководителя.

Апробации результатов диссертации.

Основные результаты диссертации автором опубликованы в специализированных журналах. Докладывались и обсуждались на международных и республиканских научно-технических конференциях 2011 год г. Москва (Российская Федерация), 2012 год г. Бишкек (Кыргызстан), 2013 год г. Бишкек (Кыргызстан), 2014 г. Алматы (Республика Казахстан), а также в различных научных семинарах и круглых столах проводимых в КГТУ им. И. Раззакова. Также результаты работы докладывались на расширенном заседании кафедры «ВИЭ», на научных семинарах НИИ Энергетики и связи при КГТУ.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 13 научных работ, в том числе 10 статей все в периодических изданиях рекомендованных ВАК КР (имеются статьи опубликованные в журналах индексируемых системой РИНЦ) из них 6 статей в зарубежных научных журналах (Республика Казахстан, Республика Таджикистан, РФ), 3 патента на изобретения в Государственной патентной службе Кыргызской республики.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 138 наименований и 3 приложений. Содержательная часть изложена на 150 страницах компьютерного текста, содержит 20 таблиц, 81 рисунок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели, задачи исследования и основные направления исследований.

Первая глава посвящена проведению анализа и обобщению опыта исследований в данном направлении, проведен сравнительный анализ и рассмотрены особенности работы различных конструктивных решений имеющих микроГЭС, оценены достоинства и недостатки бироторных микроГЭС. Изучены типы гидротурбин и элементы проточного тракта применяемые для микроГЭС.

На сегодняшний день в мире широко применяются большое разнообразие микроГЭС для электроснабжения малых автономных потребителей, которые были свое время, созданы известными научными школами и учеными как Блинов Б.С., Ленев В.И., Головин М.П., Иванов В.М., Ф. Цотлётерер, С. Девис, Харрис, Токомбаев К.А., Кадыркулов С.С., и др. В Кыргызской республике тоже в свое время учеными нынешней КНТЦ «Энергия», тогдашней КиргНИОЭ были разработаны и созданы микроГЭС. К примеру, на *рис.1* приведена схема гирляндной микроГЭС Блинова Б.С.. Работает установка

следующим образом: гидротурбины 2 по два крепятся к гибкому валу 1, и каждая гидротурбина имеет общий узел 3 обеспечивающий неизменность положения гидротурбин на валу. Реакция сил натяжения гирлянды воспринимаются береговыми опорами. Один конец гирлянды через подшипник крепится на опоре 4, а другой конец соединяется с валом генератора.

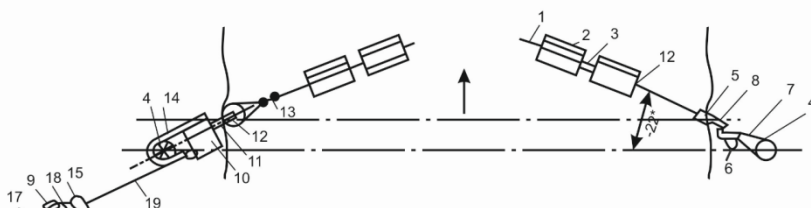


Рис.1.Одногирляндная микроГЭС

1- гибкий вал; 2- гидротурбина; 3- узел крепления; 4- опора; 5- подшипник; 6- трос чеки; 7- крепление к опоре; 8, 11- крюк; 9- генераторная опора; 10- мультипликатор; 12- блок; 13- стяжка; 14- опора мультипликатора; 15- стабилизирующая муфта; 16- генератор; 17- центробежный контактный регулятор; 18- тросовая передача.

установки, которая состоит из каркаса 1 с просветом 2, вала 3, цепной передачи 4, генератора 5, троса 6, лопасти 7, направляющей 8, штыря 9 с роликами 10. При опускании установки в течение поток проходя через просвет, в корпусе взаимодействуя с лопастями создавая в них гидродинамические силы, приводит их в движение.

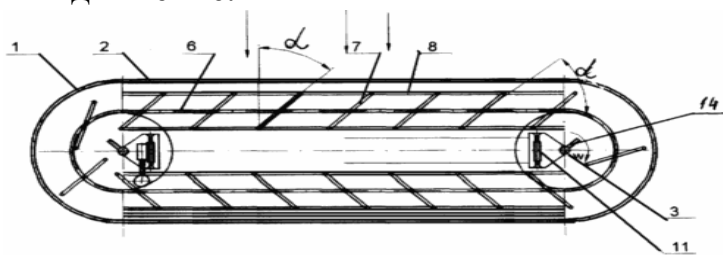


Рис.2. Схема равнинной установки

1 - каркас; 2 - проходные окна; 3 - вал; 4 - цепная передача; 5 - генератор; 6 - трос; 7 - лопасть; 8 - направляющий; 9 - штырь; 10 - ролик.

Несмотря на достаточную простоту конструкции, такие микроГЭС требуют больших материалозатрат, мощности же, как правило, получается небольшие.

На рис.2 представлена схема равнинной

установки, которая представляет собой интересное решение, по направленному использованию текущей среды в равнинной более спокойной части реки. Однако использование таких установок в горных условиях приводит к затруднениям.

На рис.3 показана схема рукавной микроГЭС. Эти установки, как правило, предназначены для больших напоров. Микрогидроэлектростанция требует для своей работы сооружения рукотворной плотины или напорного бассейна для осуществления стабильного забора воды водозаборником, прокладывания и подготовки трассы для рукавов, а также нужно постоянно следить за уровнем воды и степенью засоренностью водозаборника.

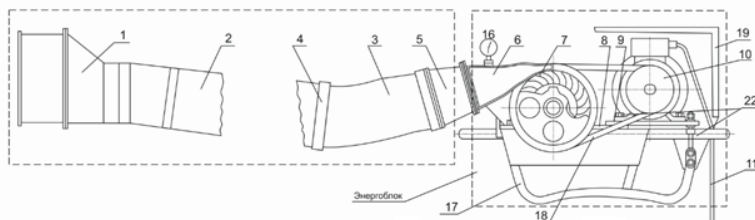


Рис.3. Микрогидроэлектростанция типа МГЭС 1.5 У1

1- водозаборник; 2- переходник с заслонкой; 3- рукав; 4- хомут; 5- переходник; 6- направляющий аппарат; 7- турбина; 8,9-плита; 10- генератор; 11- кабель; 12- блок возбуждения; 13- блок управления; 14- блок балластных нагрузок; 15,21,22 - винт; 16- манометр; 17- рама; 18- ремень;

Имеет достаточно большие габариты и большую массу (470 кг) при относительно малой мощности, что представляет определенную трудность при его транспортировке и установки, т.е. уступает

некоторым установкам той же мощности с точки зрения компактности и мобильности.

Как показал анализ все конструкции наряду с достоинствами имеют и ряд недостатков, как громоздкость, металлоемкость, высокая стоимость и т.д. И поэтому была поставлена задача усовершенствовать известные конструкции сделать их более эффективным, дешевым, надежным. Связи с этим были предложены принципиально новые технические решения конструкции, так называемы бироторные. Которые в отличие от обычных микроГЭС, позволяют отказаться от использования мультипликатора, и могут эффективно работать при относительно малых напорах.

На основе проведенного анализа синтезирована предлагаемая новая технологическая схема бироторной микроГЭС. На *рис.4* показана принципиальная схема бироторных микроГЭС. Принцип работы бироторной микроГЭС заключается в том, что в одном гидравлическом потоке работают два рабочих колеса, которые расположены на одной оси один за другим и вращаются, при этом в разные стороны относительно друг к другу.

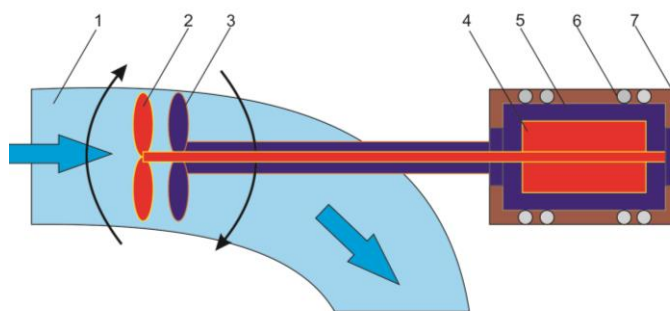


Рис.4. Принципиальная схема бироторной микроГЭС

1- подводный трубопровод; 2 – первая гидротурбина; 3 – вторая гидротурбина; 4 – вал; 5 – статор; 6 – подшипники; 7 – корпус.

На *рис.5* представлена принципиальная схема второго варианта бироторной микроГЭС. Установка состоит из напорного водовода 1, направляющего аппарата 2, гидротурбины с пропеллерным рабочим колесом 3, которое установлено на валу 4 и отводящей трубы 5. Вал 4 рабочего колеса 3 жестко соединен с валом 6 ротора 7 гидрогенератора. Для осуществления вращения статора 9 между корпусом гидрогенератора и статором 9 смонтированы подшипники скольжения 8. Для обеспечения вращения статора 9 используется прямозубчатая передача. Для этого на конце статора 9 установлено зубчатое колесо 10 (ведомое) с внутренним зацеплением и с диаметром d_3 . Для вращения ротора 7 и статора 9 в противоположные стороны шестеренки 11 с диаметром d_2 установлены между зубчатым колесом 10 статора 9 и зубчатым колесом 12 (ведущее) ротора 7 с диаметром d_1 .

Микрогидроэлектростанция работает следующим образом: Водяной поток по напорному водоводу 1 поступает к направляющему аппарату 2, где изменяет скорость и направление. На участке между направляющим аппаратом 2 и рабочим колесом 3 гидротурбины создается циркуляция потока для того, чтобы создать безударный вход потока воды к лопастям рабочего колеса 3 гидротурбины. При взаимодействии водяного потока с лопастями рабочего

колеса 3 гидротурбины возникают гидродинамические силы, которые образуют вращающий момент, вследствие чего вращается гидротурбина. Далее водяной поток, передав свою гидравлическую энергию рабочему колесу 3 гидротурбины, утекает в нижний бьеф по отводящей трубе 5. Рабочее колесо 3 гидротурбины преобразует гидравлическую энергию потока в механическую энергию вращения вала 4. Соединенный с валом 4 рабочего колеса 3 гидротурбины вал 6 ротора 7 начинает вращаться, а вместе с ним начинает вращаться и зубчатое колесо 12 ротора 7, которое зацепляется с шестеренками 11 и вращает их. Шестеренки 11, в свою очередь, зацепляясь с зубчатым колесом 10 статора 9, вращают статор 9 в противоположную сторону относительно вращения ротора 7 за счет внутреннего зацепления.

Использование прямозубчатой передачи в гидрогенераторном блоке обеспечивает надежность установки и простоту монтажа и демонтажа механической системы.

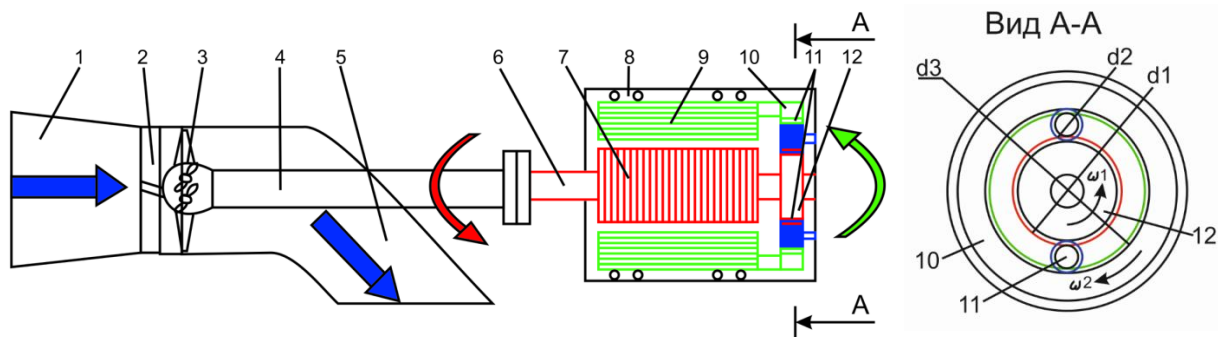


Рис.5. Принципиальная схема установки

Вторая глава посвящена исследованию кинематики потока и определению рациональных геометрических параметров бироторной гидротурбины микроГЭС.

С целью изучения характера движения жидкости, определения его кинематических и гидродинамических параметров была построена расчетная модель узла бироторной гидротурбины *рис.б*. На схеме приведены основные геометрические, гидравлические, кинематические и динамические параметры.

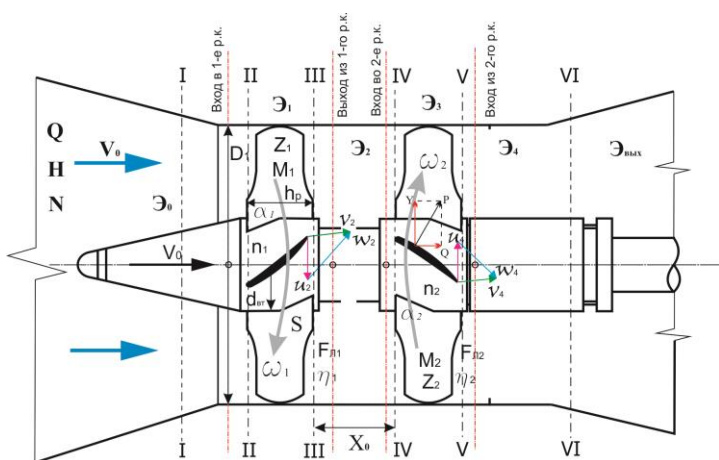


Рис.б. Расчетная схема бироторной гидротурбины

средняя скорость потока V_0 , энергии потока в соответствующих сечениях \mathcal{E}_i ,

коэффициенты полезного действия гидротурбин η_1, η_2 , сопротивления движению в рабочем колесе $F_{Л1}, F_{Л2}$, окружные скорости u_1, u_2 , относительные скорости w_1, w_2 и абсолютные скорости v_1, v_2 , угловые скорости вращения гидротурбин ω_1, ω_2 относятся к основным кинематическим параметрам. Динамическими параметрами на расчетной схеме указаны моменты M_1, M_2 , подъемная сила Y , сила сопротивления Q , и полная сила P действующие на лопасти рабочих колес.

Чтобы определить кинематические параметры потока и рассчитать геометрические параметры турбины решаем обратную задачу теории решеток, которая позволяет определить формы профиля по заданному закону распределения скорости (давления) на контуре профиля.

В общем виде для вязкой жидкости решение можно искать используя уравнения Навье – Стокса

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \nabla^2 \vec{v}$$

где $\frac{d\vec{v}}{dt}$ – полное ускорение частицы жидкости; \vec{F} – ускорение от массовых сил; $-\frac{1}{\rho} \text{grad } p$ – ускорение от сил давления; $\nu \nabla^2 \vec{v}$ – ускорение от сил вязкости.

Для плоской задачи в проекциях по осям координат упомянутое выше уравнение запишется в виде

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_x}{dt} &= F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \right) \\ \frac{dv_y}{dt} &= F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} \right) \end{aligned} \right\}$$

Принимая во внимание, что для воды величины сил обусловленных вязкостью пренебрежимо малы, воспользуемся уравнением Эйлера движения идеальной несжимаемой жидкости

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p$$

Движение жидкости в рабочем колесе имеет достаточно сложный характер. Так при входе в рабочее колесо до попадания на лопасти поток движется с определенной скоростью, параллельно оси вращения колеса. Затем поток поступает на лопасти и каналы между лопастями. В результате взаимодействия потока с лопастями рабочего колеса последний начинает

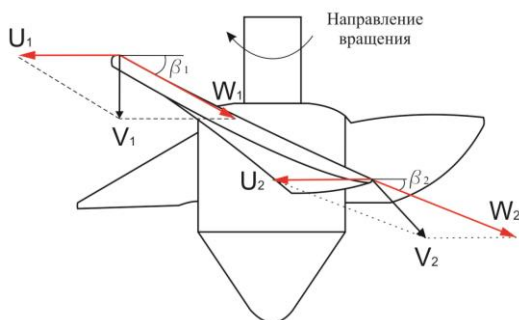


Рис.4. Распределение скоростей в осевом рабочем колесе турбины

вращаться, в результате которого приобретает окружную скорость (u). Вектор окружной скорости всегда направлен по касательной к окружности вращения *рис.4*. Попадая на лопасти жидкость, скользит по его поверхности со скоростью (w), которую принято называть относительной. Вектор относительной скорости всегда направлен по касательной к поверхности лопасти. Если обозначить окружную скорость u входа на

лопасть u_1 и при выходе из лопасти u_2 , а относительную скорость при попадании на лопасть w_1 и при выходе из лопасти w_2 , то векторы абсолютной скорости при входе и на выходе лопасти v_1 и v_2 соответственно определяются векторной суммой:

$$\vec{v}_1 = \vec{u}_1 + \vec{w}_1; \quad (1)$$

$$\vec{v}_2 = \vec{u}_2 + \vec{w}_2; \quad (2)$$

Таким образом, соотношение между абсолютной, окружной и относительной скоростью устанавливается параллелограммом или треугольником скоростей.

Расчетный диаметр определяем как среднюю величину соответствующих диаметров

$$D_p = \sqrt{0,5 \cdot (D_1^2 + d_{\text{врт}}^2)}; \quad (3)$$

Тогда окружная (переносная) скорость будет равна

$$u_1 = u_2 = u = \frac{\pi D_p n}{60}; \quad (4)$$

Абсолютная скорость v может быть определена как

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi(D_1^2 - d_{\text{врт}}^2)}; \quad (5)$$

Зная значения v_1 и u_1 , строим параллелограмм скоростей и находим относительную скорость w_1 .

$$\vec{w}_1 = \vec{v}_1 - \vec{u}_1;$$

Форма входного параллелограмма скоростей зависит от углов α_1 между u_1 и v_1 , а также β_1 между u_1 и w_1 . Угол β_1 зависит от конструкции и формы лопасти. Угол α_1 зависит как от угла β_1 , так и от режима работы турбины. Направление лопастей рабочего колеса в данной точке определяется углом δ между касательной к средней линии профиля лопасти, проведенной в сторону, обратную вращению колеса.

Абсолютная скорость v_2 определяется по (2) с учетом того что относительная скорость w_2 направлена по касательной к лопасти т.е. $\beta_2 = \delta_2$. Из этого условия:

$$w_2 = \frac{v_1}{\sin \delta_2} \quad (6)$$

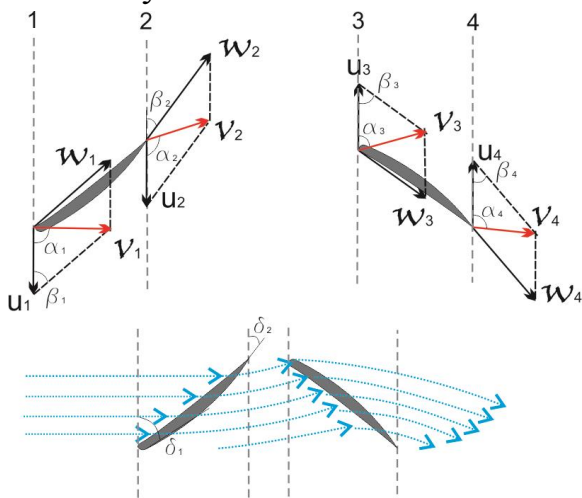


Рис.5. Параллелограммы скоростей и траектории абсолютного движения жидкости бироторной гидротурбины

Полученные в результате параллелограммы скоростей и траектории абсолютного движения жидкости в бироторной гидротурбине показаны на рис.5.

Таким образом, на основе приведенного выше способа построения параллелограммов скоростей можно видеть, что кинематические параметры зависят от частоты вращения n и расхода Q .

Число лопастей Z определим из условия, чтобы размер лопасти и угол охвата лопасти, отсчитываемый при его

горизонтальном положении, не должен превышать $\theta = 90^\circ$.

$$Z_1 = \frac{360^\circ}{\theta^\circ} \cdot \frac{L}{t} \quad (8)$$

где $\frac{L}{t}$ средняя густота решетки.

В соответствии с приданием лопасти винтовой поверхности угол наклона крайнего сечения δ_D определим как

$$Ctg\delta_D = \lambda \left(3.74 - \frac{1860 \cdot \eta^{5/3}}{\mu^2 \cdot n_s^{4/3}} \right) \quad (9)$$

$$\text{где } \lambda = (1 - m^2)(1 - k), \quad \mu = \sqrt{\frac{1+m^2}{2}}$$

На *рис.7* показаны расчетные сечения рабочего колеса. Лопасти рабочих колес имеют радиально расположенные кромки и одинаковые углы охвата. В качестве профилей, решетки лопастей рабочего колеса при различных радиусах, были использованы профили серии RAF – 6. Лопасть рабочего колеса пересекаются цилиндрическими поверхностями на 5 сечений I-I...V-V с радиусом R_i . Для каждого сечения с известным радиусом определяем густоту решетки

$$\left(\frac{L}{t}\right)_{\text{сеч}} = \frac{\left(\frac{L}{t}\right)_{\text{вт}} - \left(\frac{L}{t}\right)_{\text{пер}}}{n_{\text{сеч}}}; \quad (10)$$

где $\left(\frac{L}{t}\right)_{\text{сеч}}$ - густота решетки соответствующего сечения, $n_{\text{сеч}}$ - количество сечений.

Шаг решетки определяем как

$$t = \frac{2\pi R_i}{Z}; \quad (11)$$

Длину хорды профиля находим из выражения $l/t = l \cdot Z/\pi D_1$

Полученные в результате расчета значения углов установки, длины хорды, шага решетки и т.д. приведены в табл.1.

Основные характеристики лопасти

Таблица 1

Радиальные сечения	$R, \text{ мм}$	$\delta, \text{ град}$	l/t	$t, \text{ мм}$	$l, \text{ мм}$	$f_{\text{max}}, \text{ мм}$	$\sigma_{\text{max}}, \text{ мм}$
0-0 (у втулки)	35	51	0.847	73	62	4	8
I-I	50	47	0.821	105	86	4	7
II-II	65	41	0.795	136	108	3.5	6
III-III	80	35	0.77	167	129	3	5
IV-IV	92	29	0.769	193	148	2.5	4
V-V	103	25	0.743	216	160	2	3
VI-VI (на периферии)	110	22	0.693	230	159	2	3

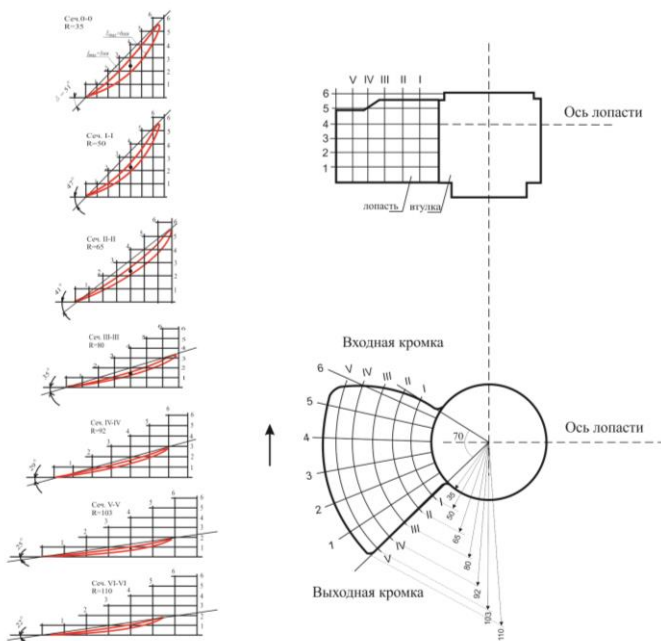


Рис.7. Лопасть рабочего колеса

Для того чтобы оптимизировать расстояние между двумя гидротурбинами нужно определить потери энергии междурбинном расстоянии X_0 . С этой целью необходимо проследить за состоянием энергии потока \mathcal{E}_2 в сечении III-III при выходе из первого рабочего колеса и энергии потока \mathcal{E}_3 в сечении IV-IV у входных кромок лопастей второго рабочего колеса. Выделим в турбинной камере между сечениями III-III и IV-IV цилиндр с диаметром D_1 и длиной X_0 .

Потери энергии $\Delta\mathcal{E}_{23}$ в промежутке между этими сечениями будет:

$$\Delta\mathcal{E}_{23} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3; \quad (12)$$

Согласно уравнению Бернулли,

$$\Delta\mathcal{E}_{23} = h_{2-3}; \quad (13)$$

где h_{2-3} - гидравлические потери на трение по длине на промежутке между сечениями. Эти потери определяются для турбулентного течения как:

$$h_{2-3} = \lambda \frac{X_0}{D_1} \frac{v^2}{2g}; \quad (14)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения, учитывающий движения потока по трубе (число Рейнольдса) и шероховатости внутренней поверхности трубы.

Тогда если (14) подставить в (13), то получим:

$$\Delta\mathcal{E}_{23} = \lambda \frac{X_0}{D_1} \frac{v^2}{2g}; \quad (15)$$

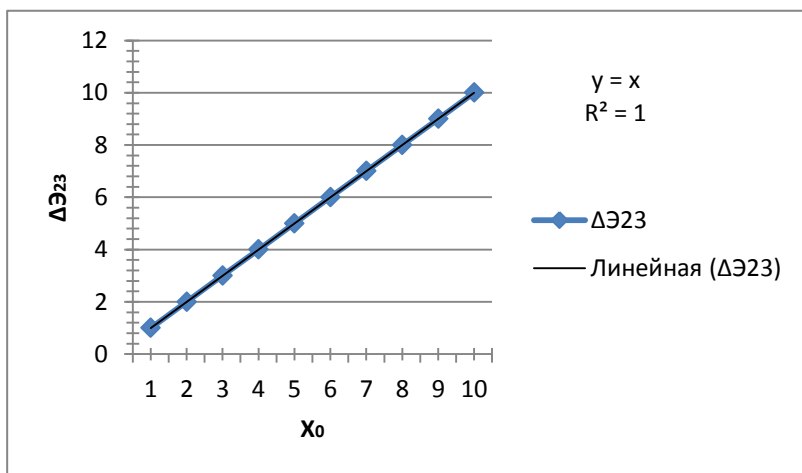


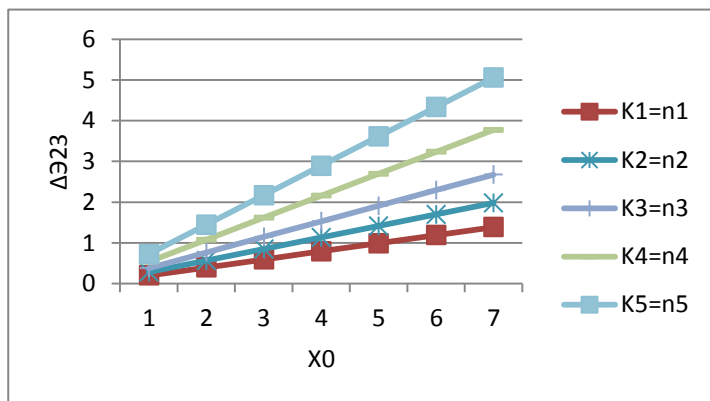
Рис.8. Зависимость потерь энергии от междурбинного расстояния в турбинной камере

Если обозначим постоянные параметры как $K = \frac{\lambda v^2}{2gD_1}$, то $\Delta\mathcal{E}_{23} = KX_0$; (16)

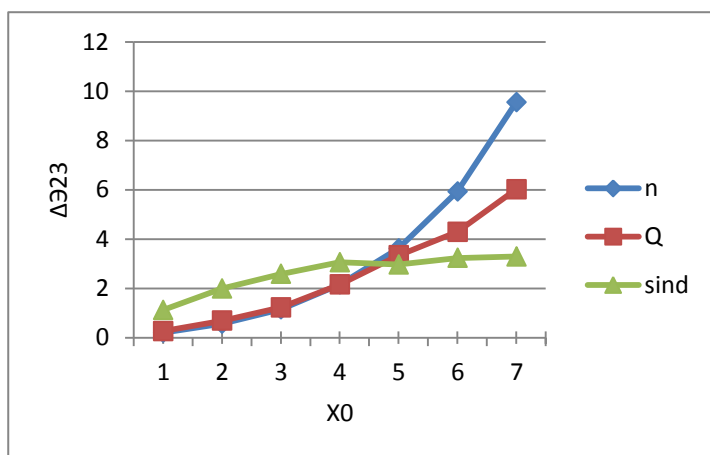
Полученное уравнение позволяет определить взаимосвязь между потерей энергии и междурбинным расстоянием. На рис.8 показана зависимость $\Delta\mathcal{E}_{23} = f(X_0)$ где аргументом функции потерь энергии $\Delta\mathcal{E}_{23}$, является расстояние между турбинами X_0 .

Полученная характеристика $\Delta\mathcal{E}_{23} = f(X_0)$ показывает прямую зависимость потери энергии от расстояния между двумя гидротурбинами в турбинной камере.

Проанализировав данную зависимость можно утверждать, что потери энергии



между двумя гидротурбинами в турбинной камере бироторной гидротурбины будут тем меньше, чем меньше будет межтурбинное расстояние. Идеальным был бы случай если $X_0 = 0$, но это невозможно связи с конструктивными ограничениями, поэтому оптимальным будет



минимально возможное расстояние X_{min} с учетом последнего.

Зависимость абсолютной скорости от частоты вращения имеет экспоненциальную зависимость, а от расхода и угла $\sin \delta_2$ имеет полиномиальную зависимость. Тогда очевидно, что значение постоянного параметра K в уравнении (16) зависит от изменения частоты вращения, расхода и угла $\sin \delta_2$ точно по

Рис.9. Зависимость потерь энергии от межтурбинного расстояния при разных значениях K

такой же характеристике вследствие прямой пропорциональности скорости v_2 . Значит величина изменения потери энергии $\Delta\mathcal{E}_{23}$ в промежутке между двумя гидротурбинами при различных K будет иметь такой же характер изменения и тем больше, чем больше длина этого промежутка.

Рассмотрим схему расположения гидротурбин на валу *рис.10*. Как показано на рисунке по требованию к сварным швам при соединении лопастей к втулке должно предусматриваться некое расстояние Δ от края втулки до кромки лопастей. Тогда если длина хорды профиля лопасти у втулки L , угол поворота профиля лопасти к оси втулки β_1 , то ширина лопасти у втулки B_1 как известно будет:

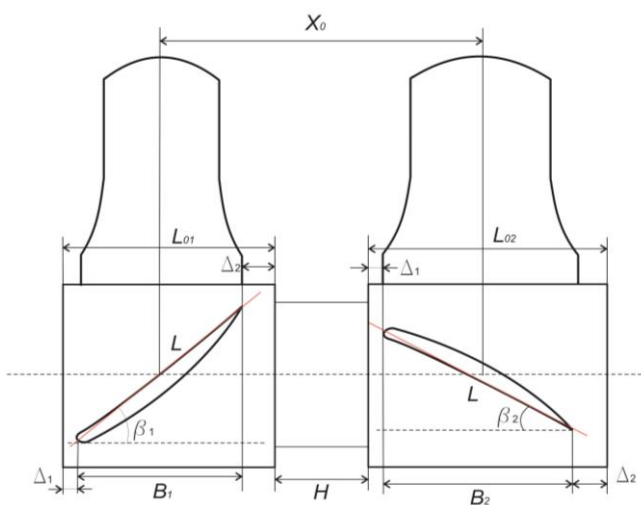


Рис.10. Схема расположения гидротурбин на валу

$$B_1 = L \cos \beta_1; \quad (17)$$

Тогда ширина втулки L_{01} с учетом требований технологии сварки будет:

$$\begin{aligned} L_{01} &= B_1 + \Delta_1 + \Delta_2 \quad \text{или} \\ L_{01} &= L \cos \beta_1 + \Delta_1 + \Delta_2; \end{aligned} \quad (18)$$

Ширина второй втулки L_{02} может быть определен аналогично к (18).

Тогда,

$$L_{02} = L \cos \beta_2 + \Delta_1 + \Delta_2; \quad (19)$$

Из формул (18) и (19) не трудно заметить, что ширина втулки зависит от угла поворота профиля лопасти к оси втулки β , если считать что другие параметры имеют некоторые постоянные значения.

Исходя из выше изложенного, определим минимальное межтурбинное расстояние

$$X_0 = \frac{4\Delta + H + L(\cos \beta_1 + \cos \beta_2)}{2}; \quad (20)$$

Третья глава посвящается расчету и выбору гидродинамических параметров гидротурбин.

Для определения величины коэффициента полезного действия гидротурбины рассмотрим его структурную схему *рис.11*.

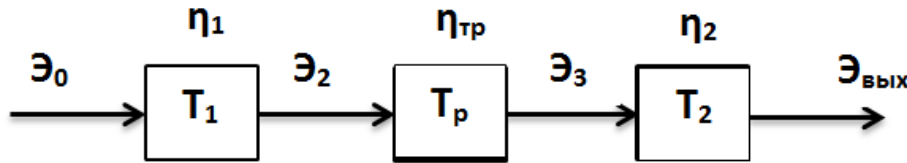


Рис.11. Структурная схема бироторной гидротурбины

\mathcal{E}_0 – энергия подводимая к первой турбине;

\mathcal{E}_2 – энергия вышедшая из первой турбины и проходящая через межтурбинное расстояние;

\mathcal{E}_3 – энергия, дошедшая до второй турбины (энергия, подводимая ко второй турбине);

$\mathcal{E}_{\text{выт}}$ – остаточная энергия гидравлического потока прошедшая через обе турбины.

Определим к.п.д. бироторной гидротурбины

$$\eta_{\text{общ}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{зат}}}; \quad (21)$$

где $Q_{\text{пол}}$ – полезная энергия бироторной гидротурбины, $Q_{\text{зат}}$ – энергия, подводимая к бироторной гидротурбине (затраченная энергия). В нашем случае $Q_{\text{зат}} = \mathcal{E}_0$;

Пренебрегая величиной потерь обусловленных трением жидкости о стенки втулки и стенки камеры в межтурбинном расстоянии, так как они несравненно малы по сравнению с работой потока на лопастях турбины можно записать:

$$Q_{\text{пол}} = \mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_{\text{выт}}, \quad (22)$$

Тогда,

$$\eta_{\text{общ}} = \frac{\mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_{\text{выт}}}{\mathcal{E}_0} \quad (23)$$

Согласно приведенной структуре имеем

$$\mathcal{E}_0 = \frac{\mathcal{E}_0 - \mathcal{E}_2}{\eta_1}; \quad \mathcal{E}_{\text{выт}} = \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_3 \eta_2; \quad (24)$$

С учетом (24) можно записать (23) в виде

$$\eta_{\text{общ}} = 1 - \frac{\partial_3 - \partial_3 \eta_2}{\partial_0 - \partial_2} \cdot \eta_1 = 1 - \frac{\partial_3(1 - \eta_2)}{\partial_0 - \partial_2} \cdot \eta_1;$$

В полученном уравнении во втором члене числитель и знаменатель разделим на ∂_0 и проводя некоторые преобразования получим

$$\eta_{\text{общ}} = 1 - \frac{\partial_3}{\partial_0} (1 - \eta_2); \quad (25)$$

Если ввести обозначение $C = \frac{\partial_3}{\partial_0}$ – коэффициент турбины, можно записать

$$\eta_{\text{общ}} = 1 - C(1 - \eta_2); \quad (26)$$

На рис.12. представлены величины изменения $\eta_{\text{общ}}$ при различных значениях коэффициента турбины C .

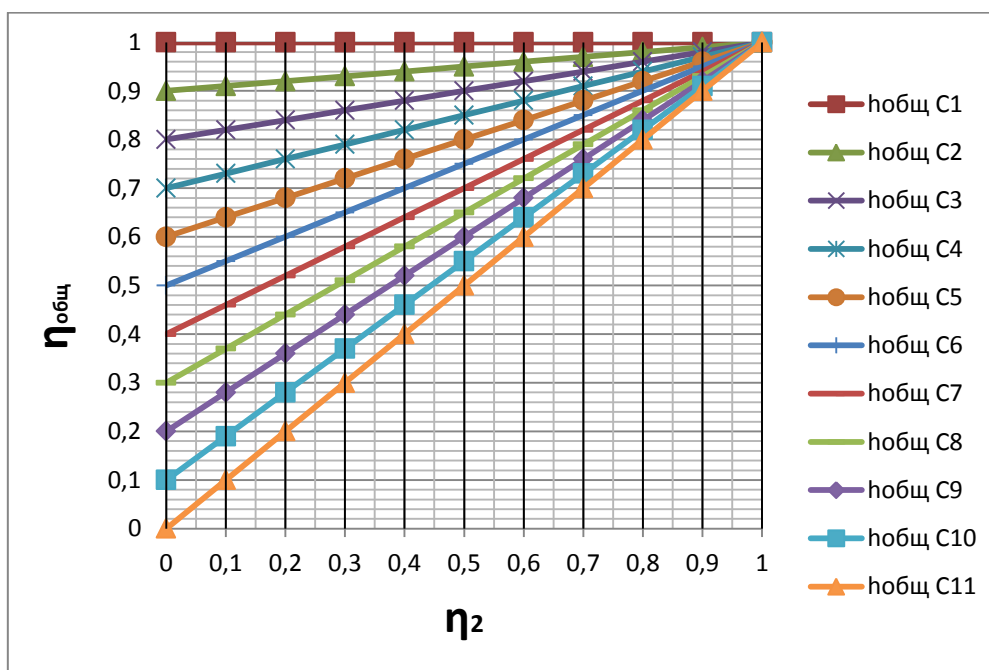


Рис.12. Зона характеристических прямых $\eta_{\text{общ}}$ бироторной гидротурбины

Решение задачи по расчету и выбору гидродинамических параметров гидротурбин осуществлялось при помощи программного продукта FlowVision на основе разработанной модели и алгоритма расчета приведенного на рис. 13.

При моделировании бироторной гидротурбины формируем последовательность действий, необходимые для решения задач в пакете. Первоначально модель гидротурбины в FlowVision, выполняется с помощью внешней программы — геометрического препроцессора.

В качестве такого препроцессора используется пакет Компас 3D, Solid Works, AutoCAD относящийся к семейству САДов (Computer-Aided Design — автоматизированное проектирование), которые получили широкое распространение в современной научной и инженерной практике.

Результаты моделирования процесса взаимодействия водного потока с гидротурбинами и действия гидродинамических сил визуально можно видеть на рис.14. Где отчетливо показаны траектории движения и скорости жидкости, а также распределение давлений на поверхности лопастей.

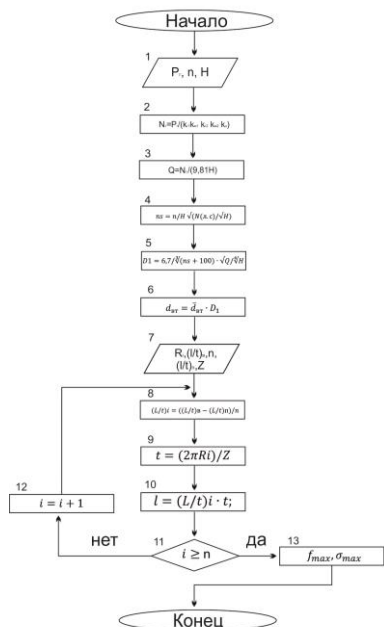


Рис.13.Алгоритм расчета

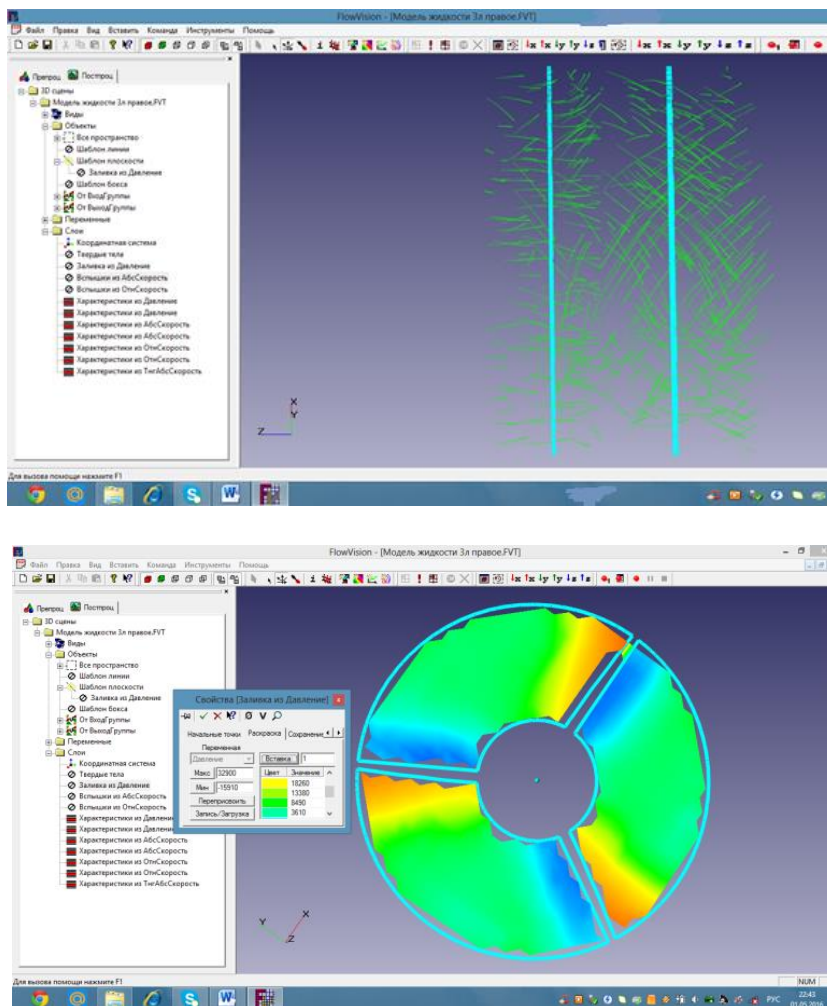


Рис.14. Результаты моделирования гидравлического потока с профилем лопасти турбины с использованием программы FlowVision: а) картина траекторий движения скоростей б) картина распределения давления на лопастях.

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию особенностей работы микроГЭС с бироторной гидротурбиной и их элементов. Техничко-экономическому анализу и расчету экономической эффективности.

Для изучения поведения бироторной гидротурбины микроГЭС был создан экспериментальный стенд на пойме БЧК (Большого Чуйского канала) вблизи ГЭС-3 «Чакан ГЭС» *рис.15*.

Экспериментальный стенд состоит из следующих основных элементов: 1 - подводящий трубопровод; 2 - вентиль; 3 - первое рабочее колесо; 4 - второе рабочее колесо; 5 - бироторная микроГЭС; 6,7 - цифровой тахометр; 8 - гидрогенератор; 9 - панель с нагрузкой, блоком управления, балластом, вольтметром и амперметром; 10 - многофункциональный измерительный прибор «Metrel»; 11 – осциллограф; 12 – счетчик воды.

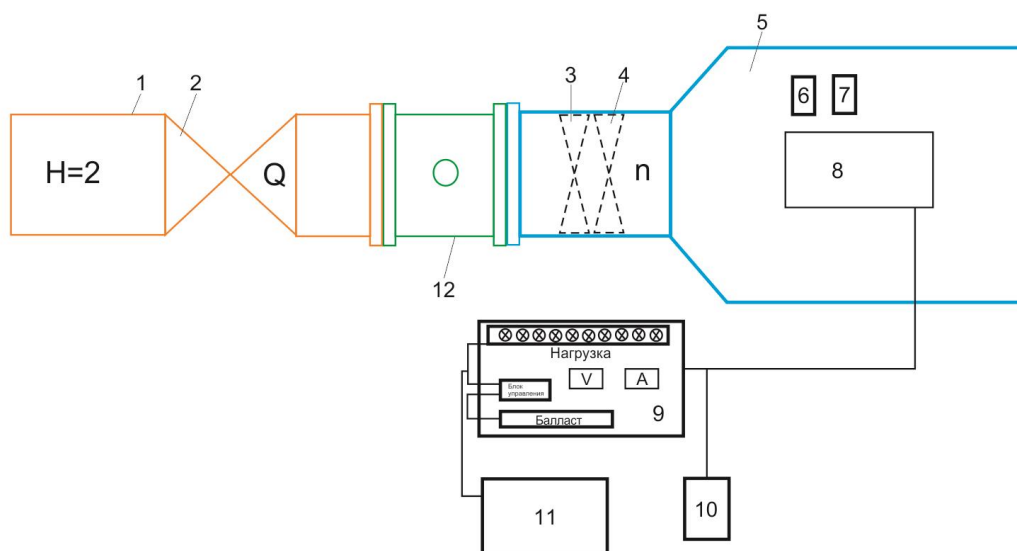


Рис.15. Экспериментальный стенд

Работа экспериментального стенда осуществляется следующим образом. Сначала запускается сифон, для этого закрывается вентиль 2 и при помощи вакуумнасоса в наивысшей точке сифона создается разрежение. Разность между атмосферным давлением действующем на свободной поверхности воды в канале, и пониженным давлением в верхней части сифона порождает подъем и движение воды по сифону в водовод 1. Далее поток воды по подводящему водоводу 1 проходя через счетчик воды 12 прибывает к турбинной камере испытуемой микроГЭС 5 *рис.15*. В турбинной камере под воздействием водяного потока вращается по часовой стрелке и вращает вал ротора генератора первая гидротурбина 3, другая вторая гидротурбина 4, вращается в обратном направлении и вращает вал статора, таким образом, происходит противоположное вращение двух валов, на которых отдельно расположены ротор и подвижной статор. После, водяной поток отдав свою энергию гидротурбинам через отводящую камеру удаляется обратно в водоток. Расход воды регулируется вентилем 2, частоты вращения гидротурбин измеряются бесконтактными цифровыми тахометрами 6,7, мощность, напряжение и ток измеряются измерительным прибором «Metrel» 10.



Рис.16. Бироторная микроГЭС во время испытания

В результате проведения экспериментов были получены следующие основные характеристики:

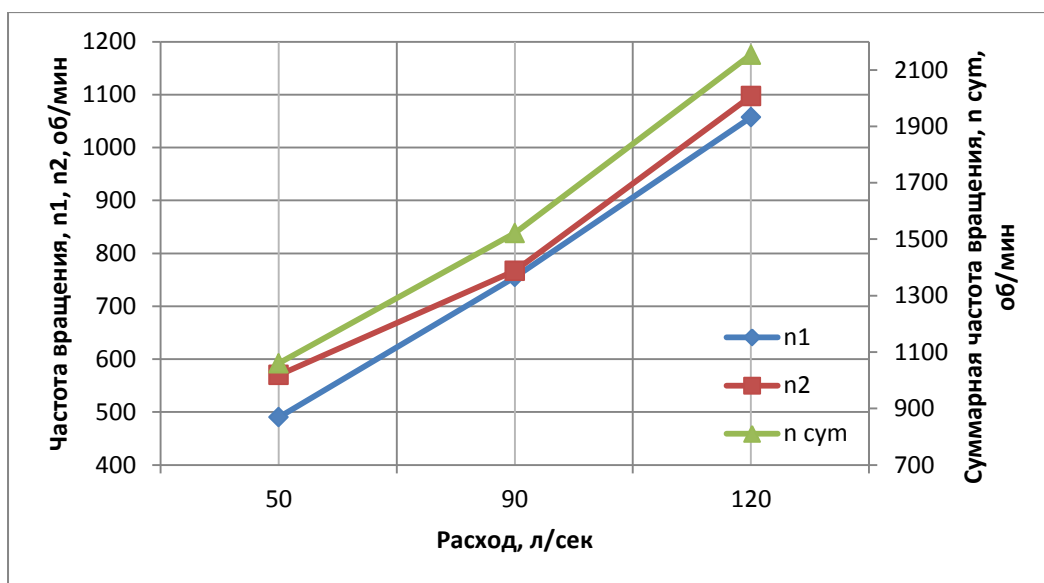


Рис.17. Зависимость частоты вращения от расхода

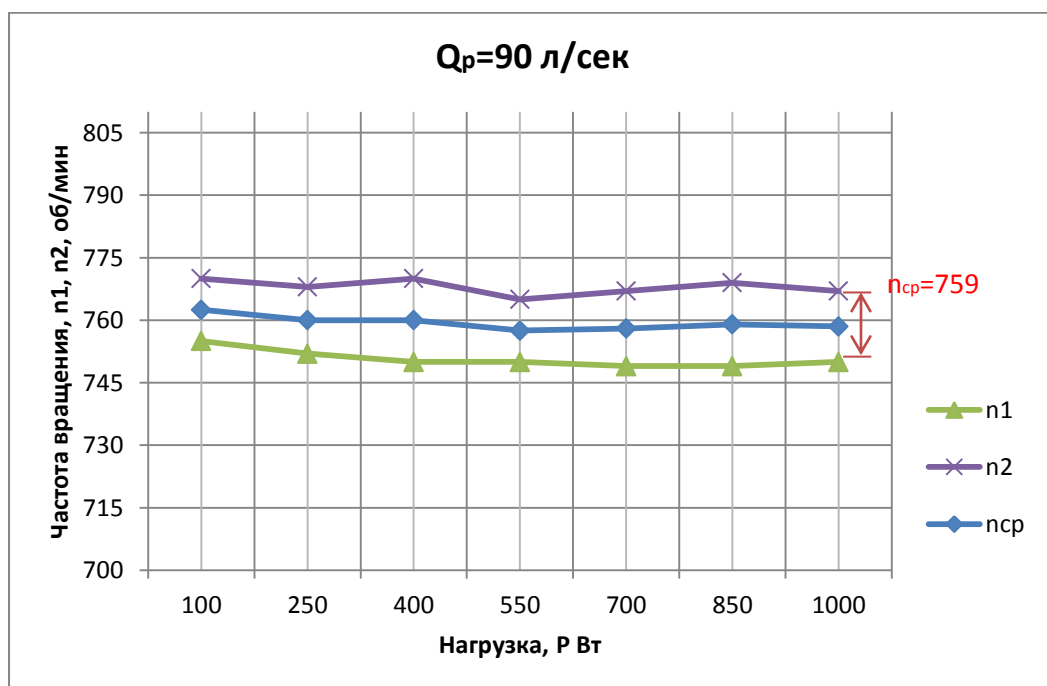


Рис.18. График зависимости частот вращения гидротурбин от различных нагрузок

Анализ полученных результатов показывает, величина требуемого расчетного значения частоты вращения $n=1500$ об/мин достигается при расчетном расходе $Q_p = 90$ л/с и соответствует требуемым условиям работы микроГЭС. Изменение выходной мощности соответствует расчетным данным. Выход на номинальную мощность происходит при средней относительной частоте вращения турбин 759 оборотов.

ВЫВОДЫ

- Проведенный анализ рассмотренных различных технических решений микроГЭС показывает, что существует их большое разнообразие и каждая из них имеет свои достоинства и недостатки.
- Предложено принципиально новое техническое решение микроГЭС бироторного класса, которое выявляет и предлагает устранение многих существенных недостатков и имеет ряд конструктивных особенностей.
- Разработанная модель и алгоритм позволил изучить процесс взаимодействия гидравлического потока с бироторной гидротурбиной.
- Моделирование гидротурбины с водяным потоком при помощи программы «FlowVision», позволила установить правильность построения расчетных модели и рассчитать все геометрические и кинематические параметры гидротурбины и турбинной камеры.
- Разработана методика определения кинематических параметров гидротурбин.
- Разработана методика расчета и выбора рационального межтурбинного расстояния, а также впервые для бироторной гидротурбины получена зависимость определения общего к.п.д. в зависимости от параметров и режимов работы гидротурбин.
- На основе полученных относительных параметров турбинной камеры осуществлена разработка конструкции узла и принято ее компоновочное решение.
- Создан экспериментальный стенд и изготовлен действующий опытный образец микроГЭС с бироторной гидротурбиной.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Медеров Т.Т. Бироторная микрогидроэлектростанция. [Текст]: / Т.Т. Медеров, Р.У. Ураимов. // Материалы международной научно-практической конференции на тему «Качественное образование, передовая наука, зеленая экономика – будущее планеты». Алматы, 2014. –С. 279-282.

2. Медеров Т.Т. Особенности работы бироторных микрогидроэлектростанций. [Текст]: / Т.Т. Медеров, А. Дж. Обозов. // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, №31, Бишкек, 2014. - С. 205-208.

3. Медеров Т.Т. Исследование особенностей работы гидрогенератора бироторной микроГЭС. [Текст]: / Т.Т. Медеров, А. Дж. Обозов, Р.А. Акпаралиев, Р.У. Ураимов. // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, №31, Бишкек, 2014. - С. 174-179.

4. Медеров Т.Т. Моделирование и исследование процессов преобразования энергии в бироторной микроГЭС. [Текст]: / Т.Т. Медеров, А.

Дж. Обозов, Р.А. Акпаралиев, Р.У. Ураимов. // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, №32, Бишкек, 2014. - С. 273-278.

5. Медеров Т.Т. Исследование и моделирование бироторного гидрогенератора для микроГЭС. [Текст]: / Т.Т. Медеров, А. Дж. Обозов, Р.А. Акпаралиев, А. Жамалов. // Сборник научных статей. Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Инновация-основа развития сельского хозяйства», посвященная 20-летию Конституции Республики Таджикистан. Душанбе, 2014.-С. 6-10.

6. Медеров Т.Т. Анализ и исследование существующих типов гидротурбин малой мощности. [Текст]: / Т.Т. Медеров, А. Дж. Обозов, Р.А. Акпаралиев, Р.Б. Тентиев. // Сборник научных статей. Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Инновация-основа развития сельского хозяйства», посвященная 20-летию Конституции Республики Таджикистан. Душанбе, 2014.-С 147-151.

7. Медеров Т.Т. Микро ГЭС с регулируемой балластной нагрузкой для электроснабжения автономных потребителей. [Текст]: / Т.Т. Медеров, А. Дж. Обозов, Р.А. Акпаралиев, Р.Б. Тентиев. // Сборник научных статей. Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Инновация-основа развития сельского хозяйства», посвященная 20-летию Конституции Республики Таджикистан, Душанбе, 2014.-С 270-275.

8. Медеров Т.Т. Результаты построения гидродинамической модели турбины микроГЭС. [Текст]: / Т.Т. Медеров. // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, №33, Бишкек, 2015. - С. 273-278.

9. Медеров Т.Т. Бироторный гидрогенератор. [Текст]: / Т.Т. Медеров, А. Дж. Обозов, Р.А. Акпаралиев. // Материалы 8й-международной научной конференции, « Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия», США, Северный Чарльстон, Южная Каролина, 2015.-С 115-119.

10. Медеров Т.Т. Расчет и построение рациональных параметров профиля бироторной турбины. [Текст]: / Т.Т. Медеров. // «Наука и Мир», международный научный журнал, №1 (29), 2016, Том 1. Издательство «Научное обозрение», Россия, г. Волгоград, 2016.-С 71-74.

11. Патент на изобретения Бироторная микрогидроэлектростанция. [Текст]: / Т.Т. Медеров, А. Дж. Обозов, Р.А. Акпаралиев, Р.Э. Исаев, Р.М. Ботпаев. // Государственная патентная служба КР.-№ 1506, от 31 октября 2012.

12. Патент на изобретения Микрогидроэлектростанция. [Текст]: / Т.Т. Медеров, А. Дж. Обозов, Р.А. Акпаралиев, Р.Э. Исаев, Р.М. Ботпаев. // Государственная патентная служба КР.-№ 1748, от 29 мая 2015.

13. Патент на изобретения Комбинированная гидроустановка. [Текст]: / Т.Т. Медеров, А. Дж. Обозов, И.Г. Кенжаев, А. Жамалов, Р.А. Акпаралиев, Р.Ж. Ураимов. // Государственная патентная служба КР.-№1808, от 30 ноября 2015.

РЕЗЮМЕ

**диссертации Медерова Таалайбека Тынычтыковича на тему:
«ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БИРОТОРНОЙ
МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ»
на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых
видов энергии**

Ключевые слова: бироторная турбина, микроГЭС, напор, расход, мощность, гидротурбина, лопасть.

Объект исследования: бироторная микрогидроэлектростанция.

Целью диссертационной работы является разработка научно обоснованной методики расчета и выбора рациональных параметров и создания бироторной микрогидроэлектростанций.

Полученные результаты: Впервые синтезирована принципиально новая схема бироторной микрогидроэлектростанции. Предложена расчетная модель бироторной гидротурбины для микроГЭС. Разработана методика выбора параметров бироторной гидротурбины микроГЭС позволяющая осуществить разработку подобного типа бироторных микроГЭС. Разработана методика экспериментальных исследований параметров бироторной гидротурбины микроГЭС. Запатентованы новые технические решения бироторной микроГЭС (Патент №1506, №1748, №1808). Сконструирован и изготовлен действующий опытный образец бироторной микроГЭС. Результаты исследований внедрены в учебный процесс КГТУ им. И.Раззакова для направления «Электроэнергетика и электротехника».

Область применения: Бироторная микроГЭС предназначена для электроснабжения децентрализованных маломощных автономных потребителей.

**Медеров Таалайбек Тынычтыковичтин
05.14.08 – Кайра калыптануу энергия түрлөрүнүн негизиндеги
энерготүзүлүштөр адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты
илимий даражасына изденүүдөгү «БИРОТОР
МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯСЫН ИЗИЛДӨӨ ЖАНА ИШТЕП
ЧЫГУУ» темасына жазылган диссертациялык ишине
КОРУТУНДУ**

Негизги сөздөр: биротордук турбина, микроГЭС, напор, чыгым, кубаттуулук, гидротурбина, калак.

Изилдөө объектиси: биротор микрогидроэлектростанциясы.

Диссертациялык иштин максаты болуп биротор микрогидроэлектростанциясын түзүү жана параметрлерди эсептөө жана тандоонун илимий негизделген усулун иштеп чыгуу саналат.

Аткарылган иштердин жыйынтыгында: биротор микрогидроэлектростанциясынын принципиалдык жаңы схемасы алгачкы жолу синтезделди. МикроГЭС үчүн биротордук гидротурбинанын эсептик модели сунушталды. Окшош типтеги биротор микроГЭСин иштеп чыгууга мүмкүндүк түзүүчү микроГЭСин биротордук гидротурбинасынын параметрлерин тандоо усулу иштелип чыкты. МикроГЭСин биротордук гидротурбинасынын параметрлерин эксперименттик изилдөө усулу иштелип чыкты. Биротор микроГЭСнин жаңы техникалык чечимдери патенттелди (Патент №1506, №1748, №1808). Биротор микроГЭСнин иштөөчү тажрыйбалык үлгүсү жасалды. Изилдөөлөрдүн жыйынтыгы И.Раззаков атындагы КМТУде «Электроэнергетика жана электротехника» багыты үчүн окуу процессине киргизилди.

Колдонуу областы: Биротор микроГЭСи алыс аралыкта жайгашкан аз кубаттуулуктагы жеке керектөөчүлөрдү электр энергиясы менен камсыздоо үчүн багытталган.

SUMMARY

**of the dissertation Mederov Taalaibek Tynychtykovich on the theme
“RESEARCH AND DEVELOPMENT BIROTOR TYPE MICRO HYDRO
POWER STATION” for the scientific degree of candidate of technical sciences
in specialty 05.14.08 – Power stations based on renewable energy**

Keywords: birotor type turbine, micro hydro power station, head, flow, power, hydroturbine, blade.

Object of research: birotor type micro hydro power station.

The aim of dissertation work is to develop scientifically based methods of calculation and choice of rational parameters and create birotor type micro hydro power station.

Obtained results: In first time synthesized principally new scheme of birotor type micro hydro power station. Calculation model of birotor type hydroturbine for micro hydro power station was proposed. The method of selecting parameters birotor type turbine micro hydro allows for the development of this birotor type micro hydro power station. The technique of experimental research of birotor type hydroturbine micro hydro power station was developed. New technical solutions of birotor type micro hydro power station were patented (Patent №1506, №1748, №1808). Birotor type micro hydro power station acting prototype was designed. The results of researches are introduced in the educational process KSTU named after I.Razzakov for guiding "Power and Electrical Engineering."

Range of application: Birotor type micro hydro power station intended for decentralized power supply of low-power autonomous consumers.

