

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. И. Раззакова**

---

**Диссертационный совет Д 05.14.493**

На правах рукописи

УДК.: 621.313.17

**АКПАРАЛИЕВ РУСЛАН АБДЫСАМАТОВИЧ**

**«ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БИРОТОРНОГО ГИДРОГЕНЕРАТОРА  
ДЛЯ МИКРО ГЭС»**

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 – 2015**

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  
**Дикамбаев Шамиль Бектурганович**

**Ведущая организация:** **ОАО «Чакан ГЭС»**

Защита состоится «22» января 2016 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 05.14.493 при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова, г. Бишкек, 720044, по адресу: пр. Мира, 66.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направить по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, Кыргызский государственный технический университет, диссертационный совет Д 05.14.493

Автореферат разослан «    » декабря 2015 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 05.14.493  
кандидат технических наук, доцент

Э.Б. Исаева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** В настоящее время с интенсивным потреблением человечеством традиционного углеводородного топлива как газ, уголь, нефть, стало ясно, что их запасы не безграничны и необходимо искать новые нетрадиционные способы добычи и использования энергии. В этой связи внимание обращено к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) как наиболее перспективным и экологически безопасным и в том числе к энергии малых водотоков.

В Кыргызской Республике использование гидроэнергетического потенциала малых рек, находит все более широкое применение для использования микрогидроэлектростанций.

Потенциал малых рек и водотоков оценивается в 1,6 млн. кВт мощности, а выработка может составить порядка 5–8 млрд. кВт·ч в год. В этом случае использования микроГЭС является более чем актуальным, однако выбор места и схемы размещения микро ГЭС определяется природными условиями и не всегда желания будущего пользователя удовлетворяется полностью.

Как показывает анализ автономных потребителей сегодня в мире существуют различные типы и виды микроГЭС, которые имеют множество различных технических и конструктивных решений, причем очень трудно отдать предпочтение той или иной конструкции, так как каждая из них оригинальна по своему и имеет свои как положительные, так и отрицательные стороны. Часто наличие крупных габаритов имеющихся конструкций микро ГЭС, большой вес и высокая стоимость делают их недостаточно привлекательными и перспективными для потребителя. Более того использование одних типов микроГЭС можно использовать в одних условиях, и не возможны в других. Некоторые из них требуют высоких напоров или большие расходы гидравлического потока, которые не в каждой местности эксплуатации можно обеспечить. Однако, даже в случае высоких напоров и расходов многие микро ГЭС, имеют не высокие технико-экономические показатели. В большинстве случаев в микроГЭС используются мультипликаторы для увеличения частоты вращения ротора генератора, что приводит к удорожанию конструкции и увеличению его массо-габаритных размеров. В этой связи поиск и разработка малоэнергоёмкой высокоэффективной микро ГЭС с небольшим напором и расходом воды малыми масса габаритными размерами приемлемой ценой является весьма **актуальной и важной задачей.**

Нами были изучены и анализированы опыты создания микроГЭС и его генераторов, известных школ и ученых таких как: Ленёва. Н., Загрядцкого, В.М., Токомбаева К.А., Кадыркулова С.С., Щеглова., Цотлётера Ф.

В микроГЭС используется достаточно разнообразные типы генераторов в зависимости от типа и вида микроГЭС, однако они все имеют одно конструктивное сходство: ротор гидрогенератора вращается, а статор не подвижен - статичен.

В работе синтезирована принципиально новая схема гидрогенератора, предложены новые технические решения её конструкции, исследованы кинематические, динамические и электротехнические параметры гидрогенератора.

Разработаны методы расчета, модели и созданные алгоритмы реализуются с использованием современных программных продуктов.

**Связь темы диссертации с основными научно-исследовательскими работами.** Работа выполнялась по заказу МОиН КР в рамках научных проектов: «Исследование и разработка низконапорной микрогидроэлектростанции» (2006-2007 гг.), «Создание опытно-промышленного образца низконапорной микроГЭС» (2008г), «Исследование и разработка нетрадиционных технологий и технических средств с использованием ВИЭ в целях обеспечения устойчивого развития ТЭК Кыргызстана» (2011), «Исследование и разработка системы энергоснабжения автономных потребителей с использованием малых и микроГЭС» (2015-2016).

**Целью диссертационной работы** является разработка научно обоснованных методов расчета и проектирование нового типа бироторного гидрогенератора для микро ГЭС.

**Задачи исследования:**

- анализ состояний энергообеспеченности децентрализованных автономных потребителей;
- изучение существующих микро ГЭС и особенности их работы;
- синтез бироторного гидрогенератора для микро ГЭС;
- исследование особенностей работы бироторного гидрогенератора для микро ГЭС и его электромагнитные характеристики.
- разработка расчетной модели бироторного гидрогенератора;
- исследование динамической устойчивости работы бироторного гидрогенератора;
- разработка алгоритма расчета и выбор параметров бироторного гидрогенератора с учетом динамической устойчивости его работы;
- разработка методики экспериментальных исследований параметров бироторного гидрогенератора;
- проектирование и создание опытного образца бироторного гидрогенератора для микроГЭС.

**Методы исследований.** В работе использованы методы математического моделирования, обобщенная теория электрических машин, теория электромагнитного поля. Исследования проводились с применением компьютерной программы Ansoft Maxwell.

### **Научная новизна полученных результатов:**

- Впервые синтезирована принципиально новая схема бироторного гидрогенератора для микро ГЭС.
- На основе проведенных исследований доказана перспективность и эффективность использования бироторного гидрогенератора для микроГЭС.
- Впервые предложены и запатентованы ряд принципиально новых технических решений бироторного гидрогенератора для микроГЭС (Патент КР №1506, №1748, положительное решение на выдачу патента № 02/3015 от 02.10.2015.).
- Предложена расчетная модель бироторного гидрогенератора для микро ГЭС на основе, которой осуществлен выбор рациональных масса габаритных, кинематических, динамических и электромеханических параметров гидрогенератора для микроГЭС.
- На основе проведенных сравнительных расчетов показана возможность снижения масса-габаритных размеров бироторного гидрогенератора в сравнении с традиционными на 30-50%.

### **Практическая значимость полученных результатов.**

- Разработаны методы расчета и проектирования параметров бироторного гидрогенератора для микроГЭС.
- Осуществлен расчет и проектирования конструкции бироторного гидрогенератора.
- Разработан алгоритм выбора рациональных параметров гидрогенератора с использованием программного продукта Ansoft Maxwell.
- Изготовлен бироторный гидрогенератор для микро ГЭС.

### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- Синтезирован принципиально новый тип бироторного гидрогенератора для микроГЭС.
- Разработаны научно обоснованные методы расчета и выбора, основных масса габаритных и электромагнитных параметров бироторной микроГЭС.
- Осуществлен расчет и проектирование новой конструкции бироторного гидрогенератора микроГЭС на технические решения, которых получены ряд патентов.
- Построена расчетная модель и алгоритм выбора рациональных параметров бироторного гидрогенератора с использованием программы Ansoft Maxwell.
- Разработан и изготовлен опытный образец микроГЭС с бироторным гидрогенератором.

- Разработана методика экспериментальных исследований опытного образца микроГЭС и создан стенд для проведения экспериментов.

#### **Реализация результатов.**

- Результаты полученных научных исследований реализованы при разработке и создании опытного образца микроГЭС с бироторным гидрогенератором.
- Разработанный опытно-экспериментальный стенд используется в качестве учебно-лабораторных работ для студентов соответствующих направлений и профилей в КГТУ им.И. Раззакова.
- Методы расчета и проектирования бироторного гидрогенератора для микроГЭС переданы в ОАО «Чакан ГЭС».

**Личный вклад соискателя.** Все 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, 2013 год г. Бишкек, (Кыргызстан), 2014 г. г. Алматы (Республика Казахстан), 2014 г Уфа (Российская Федерация), а также различных научных семинарах и круглых столах проводимых в КГТУ им. И. Раззакова. Также результаты работы докладывались на расширенном научном семинаре кафедры «ВИЭ», на научных советах НИИ Энергетики и связи при КГТУ им. И. Раззакова.

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано 17 научных работ, рекомендованных ВАК КР. из них: 8 статей в зарубежных научных журналах (Республика Казахстан, Республика Таджикистан, РФ, ФРГ), 4 единоличных работ, 1 монография, 2 патента и 1 положительное решение на изобретения в Государственной патентной службе Кыргызской республики.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 105 наименований и 3 приложений. Содержательная часть изложена на 127 страницах компьютерного текста, содержит 6 таблиц, 69 рисунка.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована ее цель и поставлены задачи исследований.

**В первой главе** проведен обзор литературы по гидрогенераторам используемые в микро ГЭС, рассмотрены и проанализированы различные типы и виды микро ГЭС.

Проведен анализ различных типов конструкции микро ГЭС получивших наиболее широкое распространение в практике.

В настоящее время в практике находят широкое применение различные конструкции микро ГЭС для децентрализованных потребителей. Однако, все они наряду со своими достоинствами имеют недостатки, и основные из них это – громоздкость, дороговизна, необходимость наличия больших расходов или высоких напоров, низкая эффективность и ограниченность областей применения.

Как показывает анализ автономных потребителей, в условиях Кыргызской Республики значительная их часть расположена в районах, где сложно обеспечить соответствующие напоры или же, как правило, не хватает расхода воды, а наличие крупных габаритов имеющихся конструкций микро ГЭС, большой вес и высокая стоимость делают их непривлекательными для потребителя. В этой связи поиск и разработка мало энергоёмкой высокоэффективной микро ГЭС с небольшим напором и расходом воды и приемлемой низкой ценой является весьма актуальной и важной задачей.

Развитие строительства гидроэлектростанции в мире в 20 веке сопутствовало развитию электрических машин применяющие в качестве гидрогенераторов на ГЭС. На (рис.1) показана динамика роста использования гидрогенераторов за последние 100 лет.

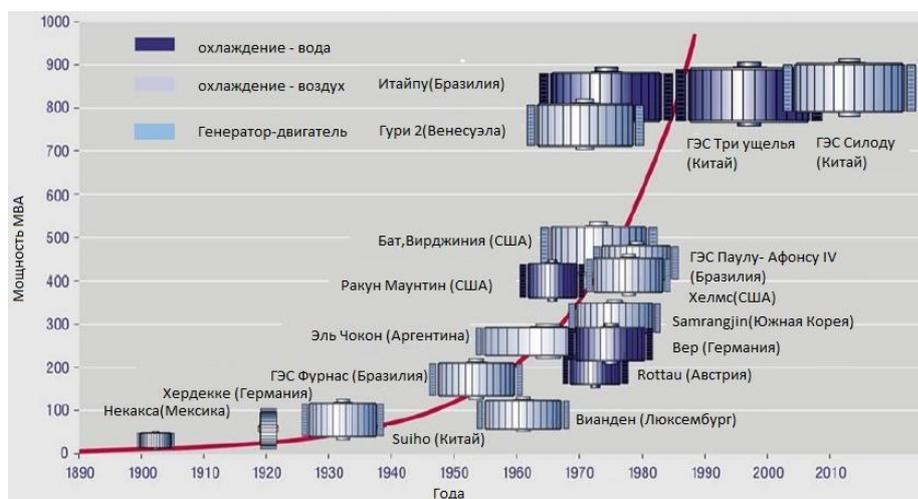


Рис.1. Динамика роста установленных мощностей гидрогенераторов.

В основном на всех больших гидроэлектростанциях установлены гидрогенераторы синхронным принципом работы, которые проектируются и рассчитываются практически одними и теми же известными методиками. Однако, в микрогидроэлектростанциях используются и другие принципы работы электрических машин. Если на крупных ГЭС, как правило, применяются синхронные генераторы, то в микро ГЭС диапазон применения различных видов электрических машин в качестве гидрогенераторов очень широк.

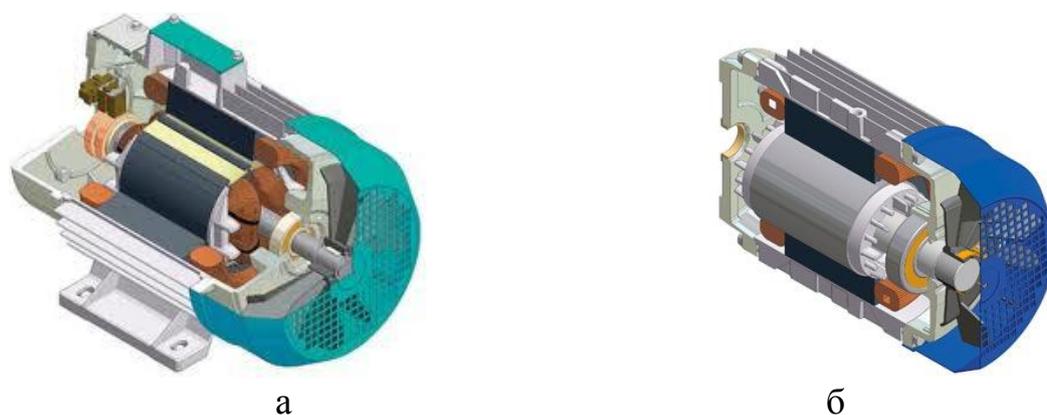


Рис. 2. Общий вид гидрогенераторов.  
а. синхронный б. асинхронный

Синхронные гидрогенераторы, безусловно, и в микроГЭС являются распространенным преобразователям механической энергии вращения вала гидроагрегата в электрическую энергию, однако в последнее время получили широкое распространения микроГЭС с асинхронными гидрогенераторами, включающие дополнительные специальные преобразователи частоты и батареи конденсаторов для обеспечения работы гидроагрегата (рис.2. а, б.).

Также в микроГЭС, а особенно для свободнопоточной микрогидроэлектростанции можно применить в качестве электрогенератора машины постоянного тока практически любого типа, но мощность его не должна превышать мощности гидротурбины.

В настоящее время у нас в стране не выпускаются специальные гидрогенераторы для микроГЭС. Поэтому некоторые производители применяют выпускаемые промышленностью серийные генераторы, имеющие иное предназначение, либо нестандартное оборудование (кустарного изготовления), что не всегда оправдано, т.к. не вполне учитываются специфичные условия работы гидрогенератора микроГЭС.

Виды устройства микро ГЭС в зависимости от области их использования достаточно разнообразны и могут работать как: проточные, напорные, низконапорные, наплавная, рукавная, сифонная, полупрямоточный, капсульная, прямоточный и т.д. Это означает, что режимы работы генератора отличается от режимов работы серийных генераторов, которые в основном предназначены для больших гидроэлектростанций.

К основным недостаткам машин постоянного тока, как и к асинхронным генераторам можно отнести необходимость в конденсаторной батарее для самовозбуждения и относительная сложность регулирования выходного напряжения, а также необходимость реле регуляторов. У синхронных генераторов меньшая мощность возбуждения и простота возбуждающих и регулирующих устройств в ряде случаев делают их более привлекательными применение в микроГЭС.

В связи с этим использование гидрогенераторов для МикроГЭС, нуждаются в разработке новой модификации гидрогенераторов специально предназначенных для работы в составе микро ГЭС, которые учитывали бы

режимы работы, специальных условий эксплуатации, типы и виды микроГЭС в зависимости от местности их расположения.

Все рассмотренные выше гидрогенераторы (электрические машины) с разным принципом работы практически не схоже, однако они все имеют одно конструктивное сходство: ротор гидрогенератора вращается, а статор не подвижен - статичен.

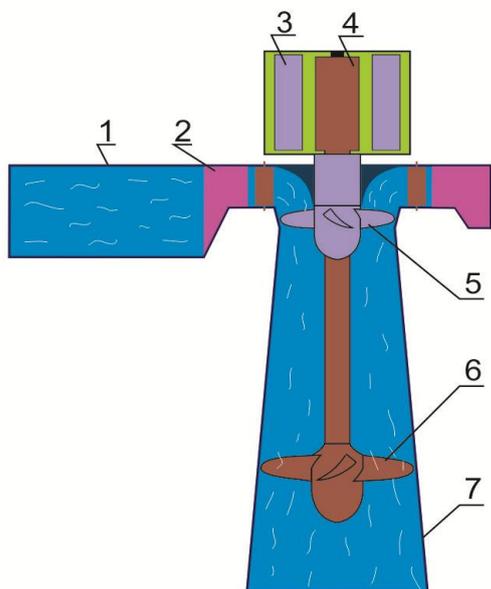


Рис. 3. Биторная микроГЭС.  
1.Подводящий лоток; 2.Спиральная камера; 3.Статор; 4. Ротор;  
5.Рабочее колесо; 6.Рабочее колесо;

В работе предлагается принципиально новая конструкция микроГЭС с биторным гидрогенератором на техническое решение, которой получен патент.

Общая конструктивная схема предложенного и разработанного биторного гидрогенератора приведен на (рис.3). Водяной поток по трубопроводу поступает к подводящему лотку 1 и затем поступает в спиральную камеру 2. Через спиральную камеру водяной поток поступает к рабочему колесу турбины 5 и вращает его в одну сторону. После рабочего колеса турбины 5 далее гидравлический поток под определенным углом направляется на лопасти второго рабочего колеса турбины

6 которая вращается противоположную сторону за счет обратного расположения профиля лопасти рабочего колеса турбины 6. Турбина 5 и турбина 6 соединены с ротором и соответственно со статором генератора через вал, где вал одной турбины располагается внутри вала другой турбины. Таким образом, в турбине происходит преобразование гидравлической энергии водяного потока в энергию вращения валов генераторов (ротора I) 4 и 3 (ротора II (статора)). При этом вращение ротора и статора осуществляется относительно друг друга в противоположные стороны, что обеспечивает увеличение частоты пересечения магнитным полем электрической обмотки генератора. После прохождения турбин отработанный водяной поток уходит через отсасывающую трубу 7.

**Вторая глава** посвящена разработке расчетной модели и исследованию особенностей работы биторного гидрогенератора.

Одним из главных параметров генератора является его внутренний диаметр  $D_1$ , длина  $l_1$ , сердечника статора, и число пар полюсов биторного гидрогенератора, расчет которых будем производить по подобию классического генератора. Отличительным признаком биторного гидрогенератора также как и у синхронного генератора является жёсткая связь между частотой  $f_1$  переменной ЭДС, наведённой в

обмотке статора, и частотой вращения ротора  $n_1$ , называемой синхронной частотой вращения:

$$n_1 = \frac{f_1}{p}. \quad (1)$$

Одним из основных параметров, влияющих на масса-габаритные размеры гидрогенератора является количество пар полюсов.

Как видно из (1), число пар полюсов  $p$  прямо связано с частотой вращения ротора  $n_1$  и увеличение частоты вращения ротора гидрогенератора  $n_1$  приводит к уменьшению числа пар полюсов  $p$ .

$$p = 60 \cdot \frac{f}{n} \quad (2)$$

Для увеличения частоты вращения ротора гидрогенератора необходимо увеличить расход или напор гидравлического потока в подводящей части микроГЭС. Однако увеличение гидравлических параметров микроГЭС, не всегда возможны и целесообразны.

В случае использования бироторного гидрогенератора, как видно из (2), требуется меньшее количество пар полюсов, чем в традиционном гидрогенераторе.

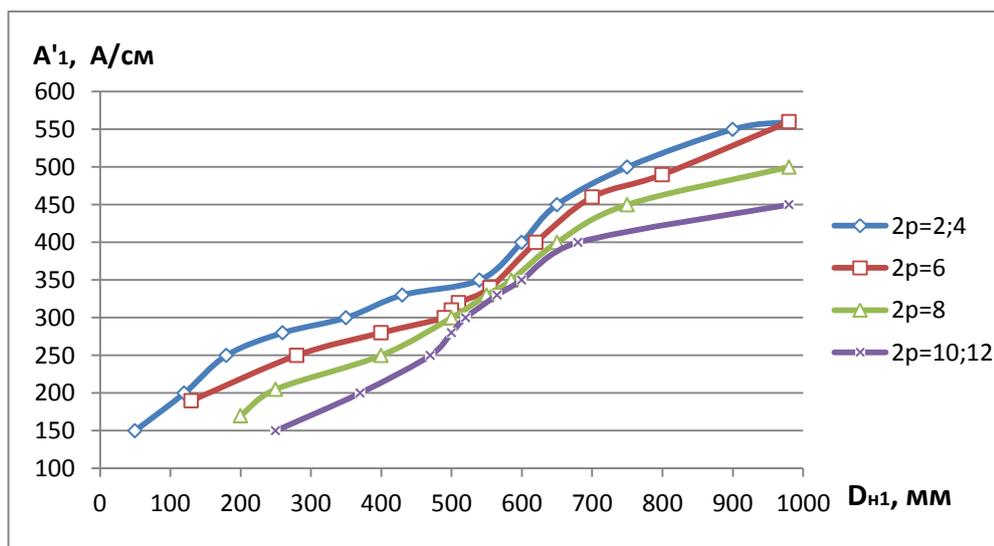


Рис.4. Зависимость линейной нагрузки тока ( $A'_1$ ) от внутреннего диаметра статора ( $D_{н1}$ ).

При определении расчетной длины сердечника статора  $l'_1$  бироторного гидрогенератора необходимо знать зависимости изменения внутреннего диаметра статора ( $D_{н1}$ ) от линейной нагрузки тока ( $A'_1$ ). Но при этом следует учитывать, что эти зависимости являются функциями также числа пар полюсов. На (рис.4). представлены диаграммы этих зависимостей при различных значениях пар полюсов.

$$l'_1 = 6,1 \cdot 10^7 P' / (D_1^2 n_1 A_1 B_\delta a' k_\Phi k_{об.м}). \quad (3)$$

В большинстве случаев электрические машины, проектируемые в качестве синхронного генератора используют изоляцию класса нагревостойкости F. Для бироторного гидрогенератора также выбираем

изоляцию класса нагревостойкости F. Данные, приведенные на (рис.4) и (рис.5), соответствуют выполнению бироторного гидрогенератора с изоляцией класса нагревостойкости F.

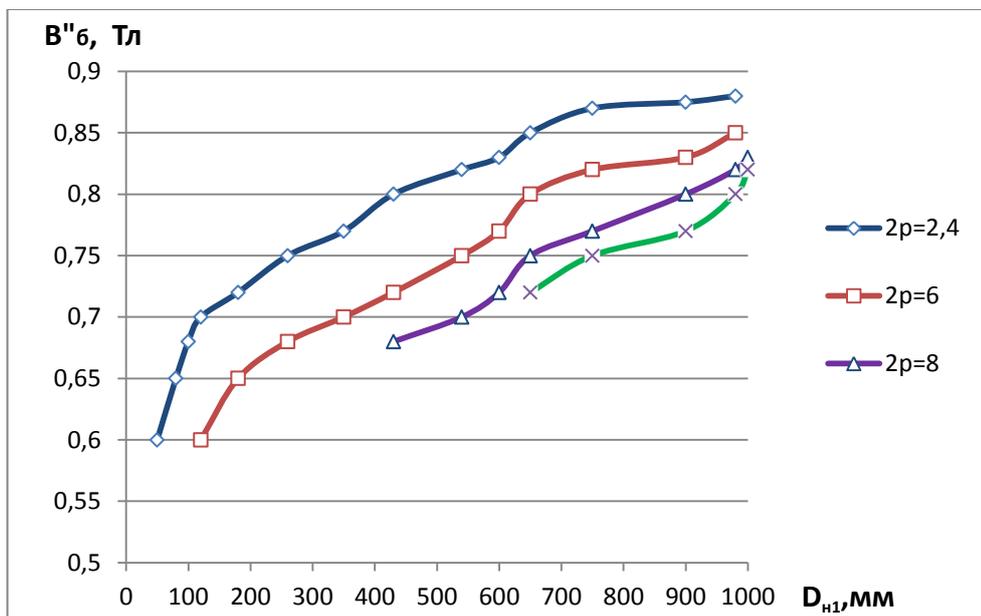


Рис.5. Зависимость магнитной индукции  $B_{\delta}$  от внутреннего диаметра статора ( $D_{H1}$ ).

Бироторный гидрогенератор разрабатывается как синхронная машина. Для уменьшения влияния реакции ротора воздушный зазор между полюсным наконечником и сердечником статора бироторного гидрогенератора принимаем значительно большим, чем в асинхронных. Воздушный зазор:

$$\delta = 36 \cdot 10^{-6} \tau A_1' / (x_{ad*} B'_{\delta 0} k'). \quad (4)$$

где  $\tau$  - полюсное деление сердечника статора, мм;  $x_{ad*}$  - индуктивное сопротивление реакции ротора по продольной оси.;  $B'_{\delta 0}$  - предварительное максимальное значение магнитной индукции в воздушном зазоре бироторного гидрогенератора при х.х. и номинальном напряжении, Тл;  $k'$  - коэффициент, учитывающий наличие зазоров в стыке полюса и сердечника ротора или полюсного наконечника и полюса.

где полюсное деление сердечника статора можем определить:

$$\tau = (\pi D_1) / (2p)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора определяем по построенной кривой зависимости, представленной на (рис .6).

Для того чтобы форма поля возбуждения в воздушном зазоре между полюсным наконечником и сердечником статора приближалась к синусоиде, полюсным наконечникам придаем определенную форму. Для полюсного наконечника бироторного гидрогенератора применяем гребенчатую конструкцию с равномерным воздушным зазором 0,5 - 2,0 мм.

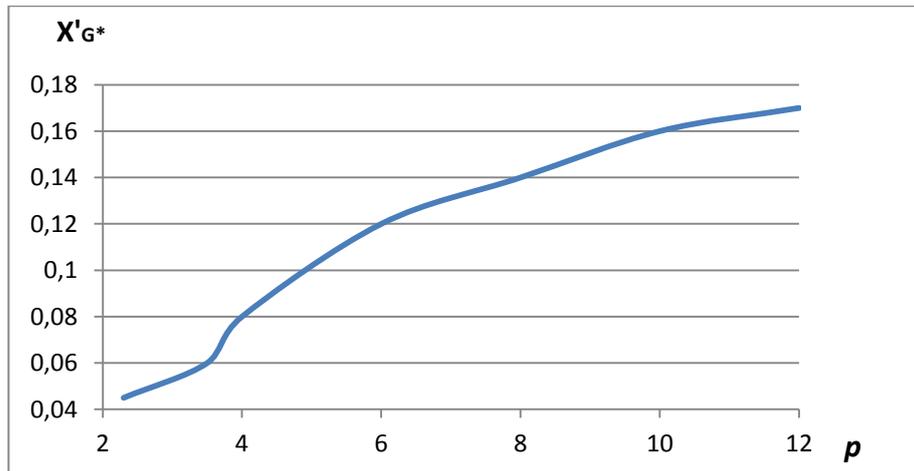


Рис.6. Зависимость индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора  $x'_{\sigma^*}$  от числа пар полюсов ( $p$ )

В бироторном гидрогенераторе значение  $h$  не превышает 280 мм, связи с этим длину сердечника ротора по оси примем равной длине сердечника полюса, т. е.  $l_2 = l_n$ ,

Ширина дуги полюсного наконечника

$$b_{n.n} = \alpha \tau. \quad (5)$$

Радиус очертания полюсного наконечника при эксцентричном воздушном зазоре

$$R_{n.n} = D_1 / \left[ 2 + 8D_1 (\delta'' - \delta') / b_{n.n}^2 \right]. \quad (6)$$

Ширина полюсного наконечника, определяемая хордой,

$$b'_{n.n} = 2R_{n.n} \sin[0,5b_{n.n} / (R_{n.n})]. \quad (7)$$

Высота полюсного наконечника по оси полюса для бироторного гидрогенератора определится как (рис. 7):

$$h_{n.n} = h'_{n.n} + R_{n.n} - \sqrt{R_{n.n}^2 - (0,5b'_{n.n})^2}. \quad (8)$$

Исследование показывает, что значение высоты полюсного наконечника у его края можно выбрать в пределах  $h'_{n.n} = 2 \div 20$  мм по конструктивным соображениям, однако при этом следует иметь в виду, что с ростом  $h_{n.n}$  возрастают рассеяние полюсов и переходное индуктивное сопротивление  $x'_d$ , а это может привести к ухудшению динамической устойчивости.

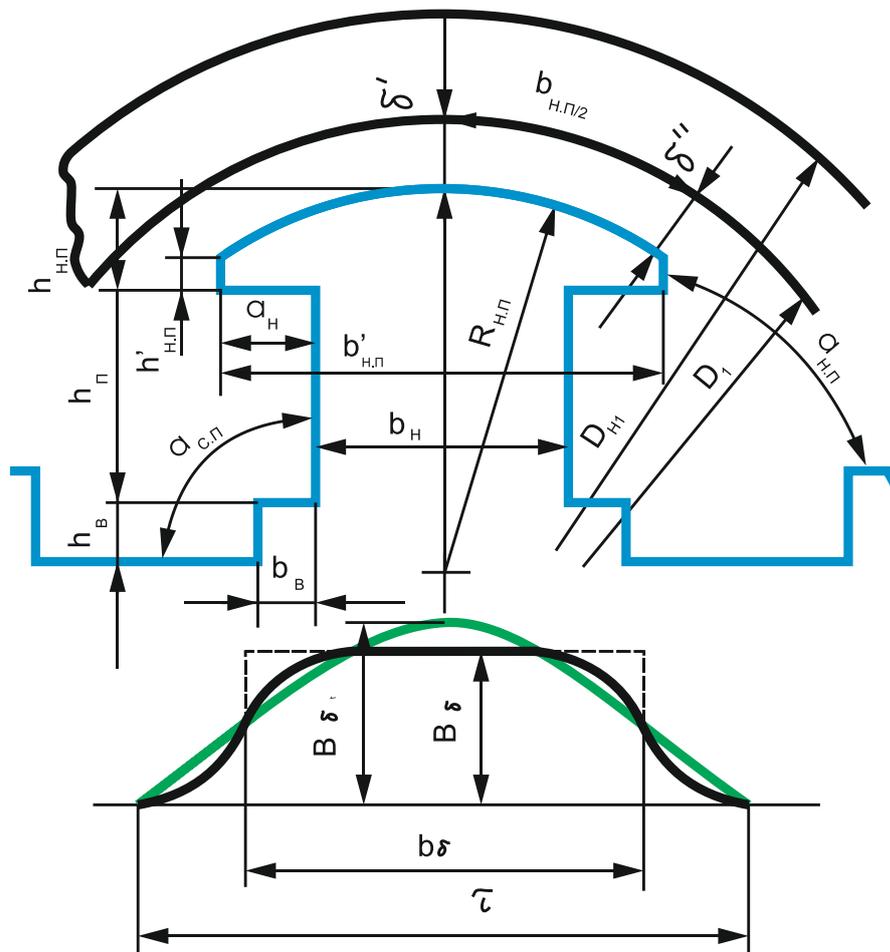


Рис.7. Полюс ротора бироторного гидрогенератора с воздушным зазором.

На основе полученных результатов была разработана конструкция микроГЭС с бироторным гидрогенератором (рис.8).

*Работает установка следующим образом.* Первоначально единый водяной поток по напорному трубопроводу поступает к подводящему лотку турбинной камеры 1. Обтекая турбинную камеру по всему периметру, под определенным углом направляется на лопасти первого рабочего колеса турбины 2 и вращает его в одну сторону. После рабочего колеса турбины 2 далее гидравлический поток под определенным углом направляется на лопасти второго рабочего колеса турбины 3, которая вращается в противоположную сторону, за счет обратного расположения профиля лопасти рабочего колеса турбины 3. Причем турбины 2 и 3 расположены последовательно друг за другом в одной подводящей трубе. Турбина 2 и турбина 3 соединены с ротором и соответственно со статором генератора через вал, где вал одной турбины располагается внутри вала другой турбины. Таким образом в турбине происходит преобразование гидравлической энергии водяного потока в энергию вращения валов генераторов ( ротора ) 4 и 5 (статора). При этом вращение ротора и статора осуществляется относительно друг друга в противоположные стороны, что обеспечивает увеличение частоты пересечения магнитным полем электрической обмотки гидрогенератора. После прохождения турбины отработанный поток вытекает через отсасывающую трубу 6.

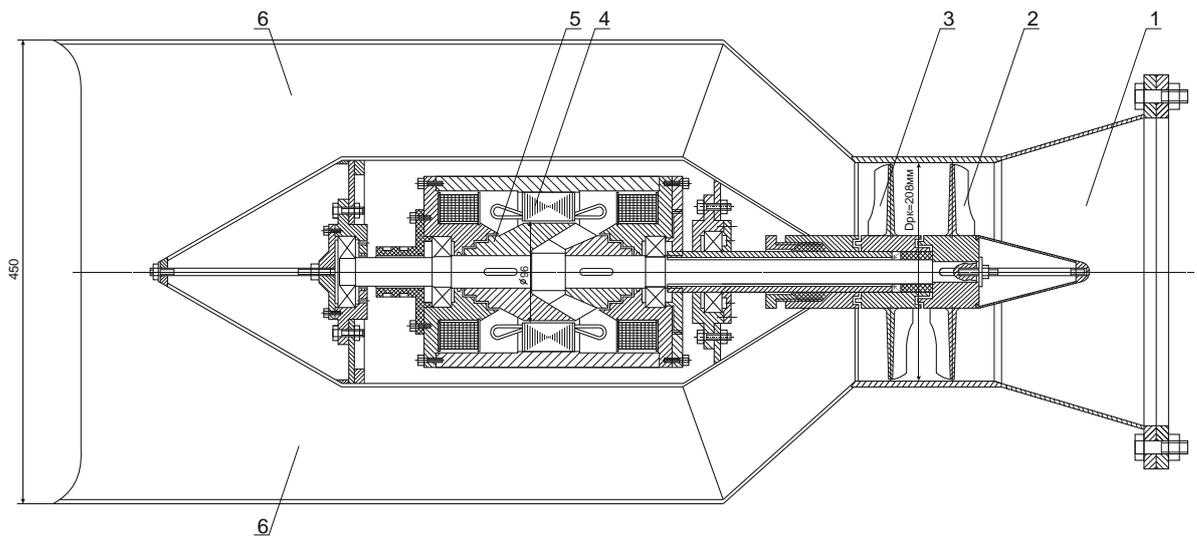


Рис.8. Конструктивная схема микро ГЭС с бироторным гидрогенератором  
 1.Подводящий лоток турбинной камеры;2. первое рабочее колесо; 3. второе рабочее колесо; 4. ротор бироторного гидрогенератора; 5.статор бироторного гидрогенератора; 6. отсасывающая труба.

**Третья глава** посвящена разработке алгоритма программы для исследования динамической работы бироторного гидрогенератора. Приведен аналитический метод расчёта магнитных полей бироторного гидрогенератора.

Электромагнитные процессы в электрических машинах (гидрогенераторах) описываются известными уравнениями Максвелла, в которых обычно пространственными зарядами и токами смещения пренебрегают:

$$\begin{aligned}
 \operatorname{rot} H &= J; \\
 \operatorname{div} B &= 0; \\
 \operatorname{rot} E &= -\frac{\partial B}{\partial t}; \\
 J &= \gamma(E + v \cdot B); \\
 B &= \mu(H)H.
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

где  $B$  и  $H$  - векторы индукции и напряженности магнитного поля;  $E$  - вектор напряженности электрического поля;  $J$  - вектор плотности тока;  $\gamma$  - электропроводность;  $\mu(H)$ - магнитная проницаемость.

При работе с программным комплексом ANSOFT: Maxwell 2D, 3D и RMXprt, исходными данными для исследования были приняты электромеханические параметры гидрогенератора и масса габаритные размеры полученные в результате расчета и выбора его рациональных значений в перечень которых вошли (исходные номинальные данные, основные геометрические размеры ротора и статора, геометрические размеры пазов статора, магнитов ротора или статора, выбор варианта расположения полюсов на роторе, линейные и нелинейные свойства материалов, конфигурацию обмотки и её лобовых частей).

Программный комплекс ANSOFT: Maxwell 2D, 3D и RMXprt, позволяет получить в табличном и графическом видах все важнейшие характеристики и параметры бироторного гидрогенератора такие как:

- Потребляемая мощность.
- Номинальное скольжение, вращающий момент, скорость.
- Данные по активным и реактивным сопротивлениям обмоток.
- Ток в обмотке статора.
- Данные по частоте вращения, величине питающего напряжения.

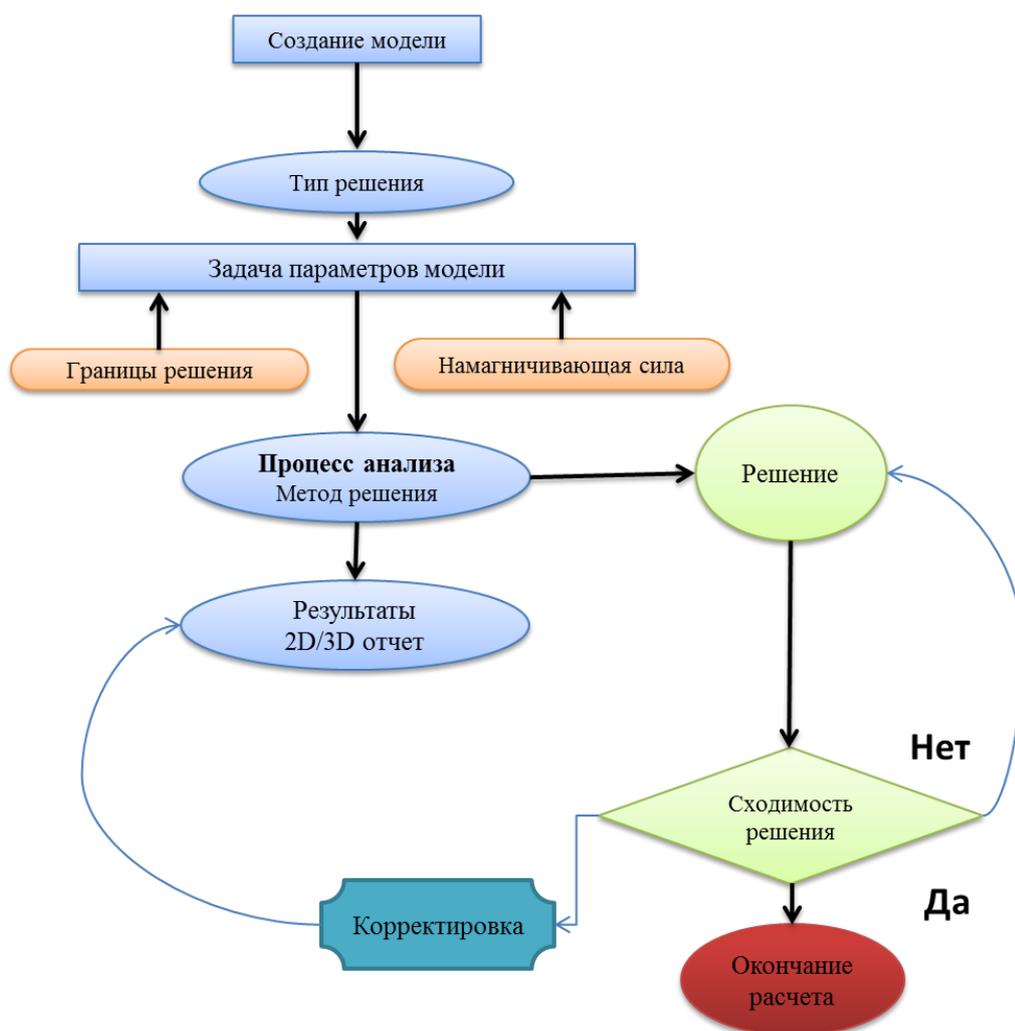


Рис.9. Алгоритм изучения электромагнитных процессов бироторного гидрогенератора.

Для моделирования и изучения электромагнитных процессов бироторного гидрогенератора разработан алгоритм (рис.9). Реализация алгоритма осуществлялась с помощью программного продукта Ansoft Maxwell.

На (рис.10) показан фрагмент отображения бироторного гидрогенератора для микроГЭС. В моменте моделирования ротор и статор бироторного гидрогенератора вращаются противоположно относительно друг друга. Противоположное вращение приводит к увеличению частоты

пересечения магнитным полем электрической обмотки генератора. Такой принцип работы приводит к увеличению частоты вращения бироторного гидрогенератора и обеспечивает выход на номинальную мощность при значительном снижении числа оборотов статора и ротора.

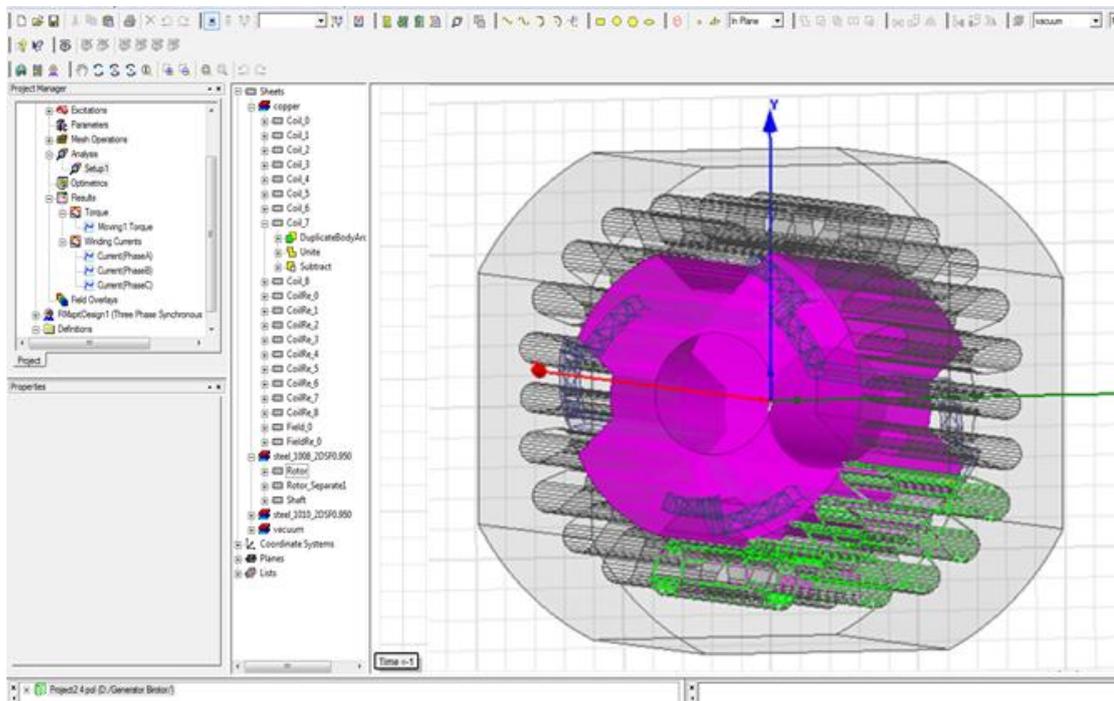


Рис 10. Фрагмент картины гидрогенератора в программном продукте Ansoft Maxwell.

В процессе моделирования изучены также особенности наведения ЭДС в обмотке статора бироторного гидрогенератора. На (рис.11) показан фрагмент момента магнитной индукции, и силовые линии поля для момента времени  $t=0.2c$ .

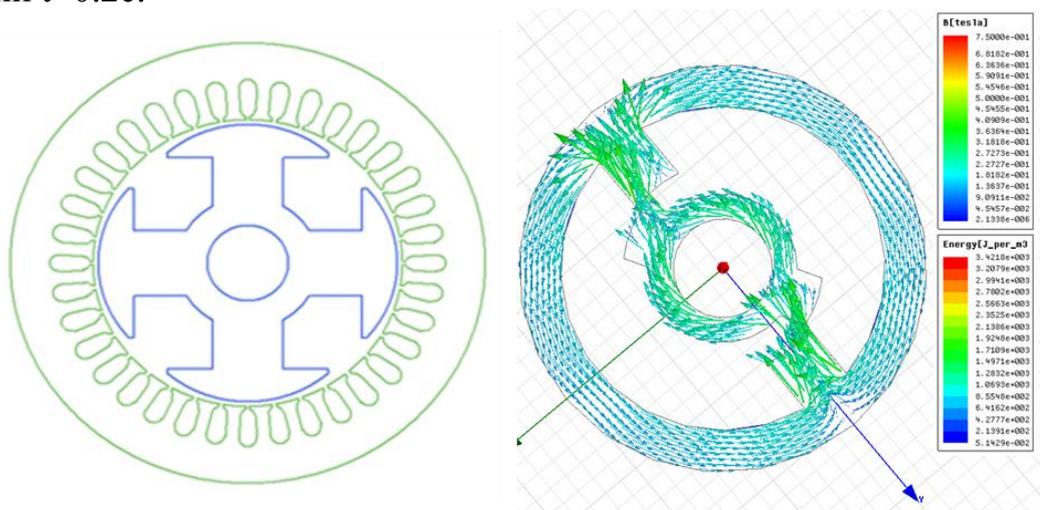


Рис. 11. Модуль магнитной индукции и силовые линии поля для момента времени  $t=0.2c$

При моделировании генерируемое напряжение холостого хода в статорной обмотке бироторного гидрогенератора по форме имеет абсолютно

синусоидальный вид, что характеризует динамическую устойчивость работы гидрогенератора (рис 12).

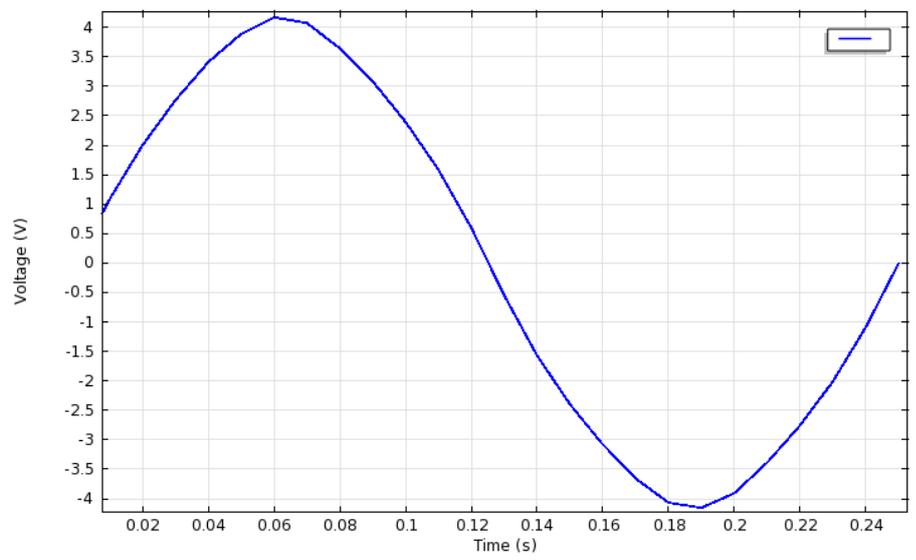


Рис.12. Форма напряжения бироторного гидрогенератора.

**Четвертая глава** посвящена к экспериментальному исследованию и технико-экономическому расчету бироторного гидрогенератора.

Для испытания изготовленного опытного образца бироторного гидрогенератора разработан экспериментально-исследовательский стенд (рис. 13).

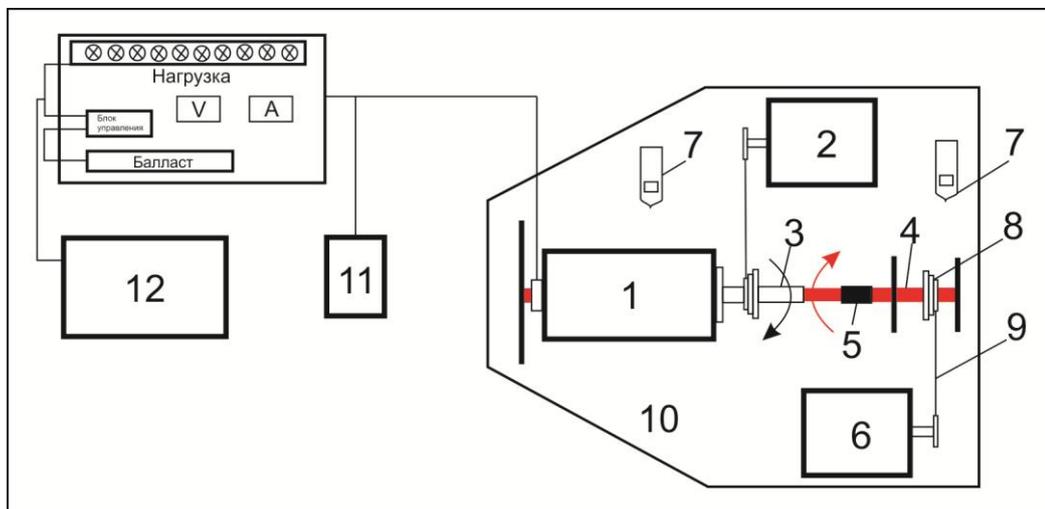


Рис. 13. Схема экспериментального стенда для испытания бироторного гидрогенератора

1.Бироторный гидрогенератор; 2.Двигатель для вращения статора бироторного гидрогенератора; 3.Вал статора бироторного гидрогенератора; 4.Вал ротора бироторного гидрогенератора; 5.Гибкая муфта; 6.Двигатель для вращения ротора бироторного гидрогенератора; 7.Цифровой тахометр для измерения число оборотов ротора и статора бироторного гидрогенератора; 8. Шкив вала ротора бироторного гидрогенератора; 9.Гибкий ремень; 10.Станина; 11.Универсальный измерительный прибор «Mertel»; 12.Осциллограф.

### *Принцип работы и методика проведение экспериментов.*

Первоначально 3-х фазное питание с напряжением 380В через автоматические выключатели подается двигателям 2 и 6, которые с помощью гибкого ремня 9 соединены через шкив 8 с валом ротора 4 и статора 3 бироторного гидрогенератора. Бироторный гидрогенератор 1 расположен на станине 10, которая жестка, закреплена на основе стенда. Двигатели предназначены для вращения ротора и статора бироторного гидрогенератора, однако вращение ротора и статора бироторного гидрогенератора осуществляются противоположные стороны относительно друг друга. С помощью шкивов 8 регулируется разное передаточное отношение, что влияет на разное число оборотов ротора и статора бироторного гидрогенератора. Вначале запускается двигатель 2 соединенный со статором бироторного гидрогенератора, который приводит во вращение статор бироторного гидрогенератора. При достижении ротора определенного числа оборотов, запускается двигатель 6 соединенный с ротором бироторного гидрогенератора, при этом двигатели 2 и 6 вращаются в разные стороны (двигатель 6 по часовой стрелке, двигатель 2 против часовой), что приводит к противоположному вращению ротора и статора бироторного гидрогенератора относительно друг друга (рис.13) и (рис.14). Число оборотов ротора и статора бироторного гидрогенератора во время эксперимента снимаются цифровыми тахометрами 7. С бироторного гидрогенератора отходит однофазный двух жильный электропровод к нагрузке, где расположены измерительные приборы: цифровой вольтметр, цифровой амперметр, 5 лампочек общей мощностью 1000 Вт, блок управление и балластная нагрузка.



Рис.14. Лабораторный стенд для исследование бироторного гидрогенератора

К отходящему двух жильному проводу однофазного тока подключаются клеммы измерительного прибора «Metrel». В Metrel записываются и сохраняются все выходные электрические характеристики и данные выдаваемым бироторным гидрогенератором. Также в нагрузку подключается осциллограф 12 показывающий и записывающий характер синусоидальности выходного напряжения. Вовремя работы бироторного

гидрогенератора последовательно включается нагрузка состоящих из 5 лампочек по 200 Вт.

В экспериментальных исследованиях вращение ротора и статора бироторного гидрогенератора осуществлялось в противоположные стороны по 750 об/мин, при которой относительная частота пересечение обмотки магнитного поля составляло 1500 об/мин. Полученные результаты экспериментов занесены в табл.1.

Табл. 1. Результаты экспериментальных данных бироторного гидрогенератора

№	время (мин)	статор	ротор	Бироторный гидрогенератор	Частота f	U Выходное напряжение	Нагрузка Вт
1	1	749	747	1496	49	216	200-1000
2	3	748	748	1496	49	218	200-1000
3	5	751	749	1500	49	217	200-1000
4	7	752	748	1500	50	220	200-1000
5	10	750	750	1500	50	220	200-1000

На основе полученных данных были построены графики зависимости (рис 15.)

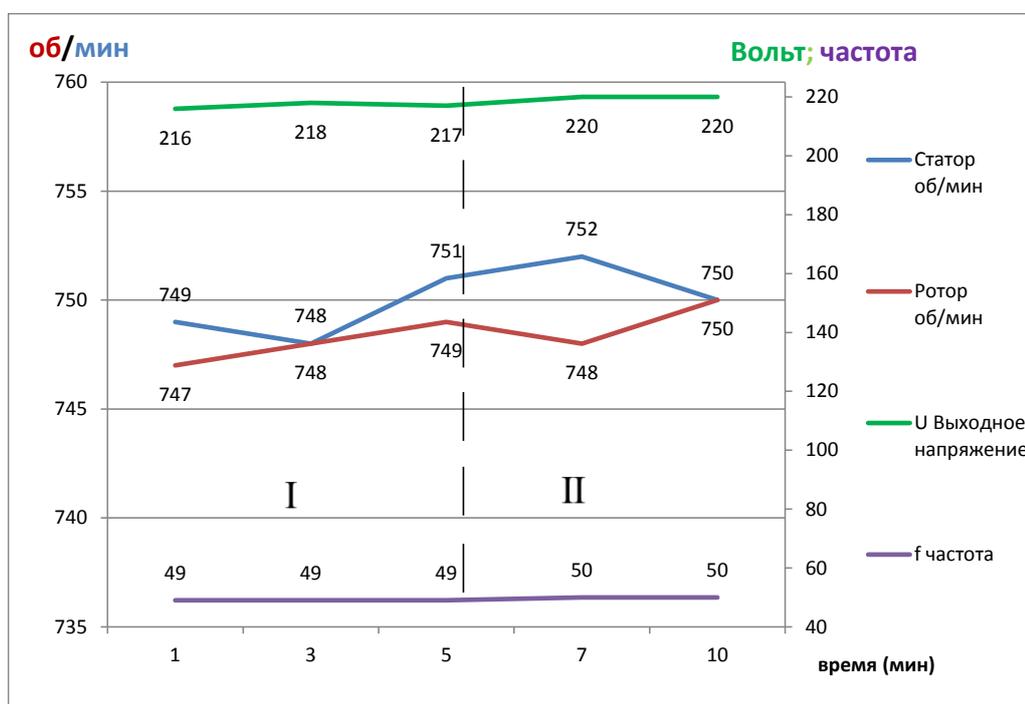


Рис.15.Зависимость число оборотов ротора и статора бироторного гидрогенератора и выходного напряжения от времени

Как показано на (рис.15.) число оборотов ротора и статора бироторного гидрогенератора в течение экспериментального времени под нагрузкой мощностью 1000 Вт изменялось от 740 до 755 об/мин, что в итоге в сумме

практически составляло номинальные значения 1500 об/мин бироторного гидрогенератора. При данных значениях оборотов выходные значения напряжения составляло от 216 до 220 В (рис. 15). Как видно из полученных диаграмм явно просматриваются 2 зоны. Первая зона при которой выходное напряжение ниже номинального и вторая зона при котором выходное напряжение имеет стабильно установившийся характер. Это можно объяснить тем, что при запуске гидрогенератора явно присутствует переходной период выхода его на установившийся режим (зона 1) и это связано, наличием инерционности системы.



Рис. 16. МикроГЭС с бироторным гидрогенератором во время эксперимента.

Из диаграммы можно также наблюдать, что частота вращения ротора и статора в первоначальный период несколько отличается, что сказывается и на выходном напряжении, но в последующем (зона.2) они практически выравниваются и как следствие наблюдается наличие устойчивого выходного напряжения. Изучение особенностей изменения формы выходного напряжения проводились на натурном экспериментальном образце в реальных практических условиях (рис.16).

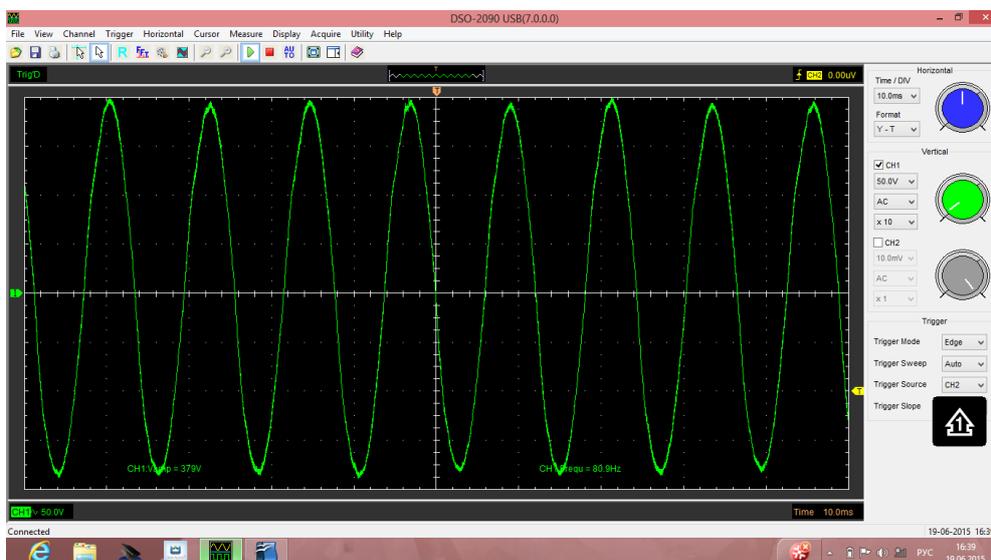


Рис.17. Форма напряжения бироторного гидрогенератора при нагрузке.

Натурные эксперименты проводились на экспериментальном полигоне ОАО «Чакан ГЭС». Во время экспериментов на холостом ходу отслеживалась форма изменения напряжения. Как видно из рисунка форма изменения напряжения имеет идеальный вид синусоиды (рис.17).

В работе также был проведен сравнительный технико-экономический расчет эффективности бироторной микроГЭС. Из расчета стоимости за 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии в сравнении ветроэнергетической установки, фотоэлектрической станцией и традиционной микроГЭС.

Проведенный сравнительный анализ показывает, что стоимость 1кВт·ч выработки электроэнергии микроГЭС с бироторным гидрогенератором составляет 2,5 сом, что ниже по сравнению с рассмотренными энергетическими установками, диапазон которых составляет (3,17-9,68 сом/кВт·ч).

Годовая экономическая эффективность микроГЭС с бироторным гидрогенератором мощностью 1 кВт составит 3 тыс. сом/год.

При удовлетворении потребностей в микроГЭС только в Кыргызской Республике (около 1000 шт) годовой экономический эффект может составить 3 млн сомов.

## ВЫВОДЫ

- Впервые синтезирована принципиально новая схема бироторного гидрогенератора для микро ГЭС.
- Впервые предложены и запатентованы (Патент №1506, №1748, положительное решение № 02/3015 от 02.10.2015) принципиально новые технические решения бироторного гидрогенератора для микроГЭС. Разработана расчетная модель бироторного гидрогенератора для микро ГЭС.
- Исследование электромагнитных процессов бироторного гидрогенератора позволила установить, что при противоположном вращении ротора и статора относительно друг друга происходит увеличение частоты вращения гидрогенератора и достижение её номинальной мощности происходит при более низких оборотах.
- Установлено, что применение предложенных конструктивных решений дает техническую возможность уменьшения геометрических и масса - габаритных размеров гидрогенератора на 30-50%, что ведет к существенному снижению стоимости микроГЭС.
- Разработан алгоритм программы для исследования динамических процессов работы бироторного гидрогенератора и реализации с использованием программы Ansoft Maxwell.
- Изготовлен действующий опытный образец бироторного гидрогенератора для микроГЭС.
- Разработана методика экспериментальных исследований бироторного гидрогенератора и проведен цикл экспериментов, как на стенде, так и в натуральных практических условиях.

- Доказана перспективность и работоспособность бироторного гидрогенератора для микроГЭС.
- Проведенный сравнительный технико-экономический расчет показал перспективность и экономическую целесообразность практического использования бироторной микроГЭС.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Акпаралиев Р.А. Экспериментальный стенд для микроГЭС. [Текст] / Р.А. Акпаралиев// Известия КГТУ.- Бишкек, 2009.- №19. - С. 24-86.
2. Акпаралиев Р.А. Особенности работы бироторного гидрогенератора. [Текст]: Р.А. Акпаралиев, А.Дж. Обозов. // Известия КГТУ.- Бишкек, 2011.- №23. - С. 28-31.
3. Akparaliev R. Renewable energy in Kyrgyzstan: state, policy and educational system. [Текст] / R. Akparaliev, R. Botpaev, Klaus Vajen, A. Obozov. //-Kassel, 2011.
4. Akparaliev R. Analyse des Arbeitsprinzips von Birotor Generatoren für Mikrowasserkraftwerke. Angewandte Forschung zur Stadt der Zukunft. Aktuelle Forschungsarbeiten zur urbanen Technologien und Infrastrukturen sowie urbanem Leben. [Текст] / R. Akparaliev// Beuth Hochschule für Technik Berlin.- Berlin, 2012.- С. 32-34.
5. Акпаралиев Р.А. Исследования влияния гидродинамических параметров на выходную мощность микроГЭС. [Текст]: / Р.А. Акпаралиев, А.Ж. Жамалов, А.Д. Обозов, М.М. Кунелбаев, Р.Исаев.//Science and world. International scientific journal №1 (1).-Волгоград, 2013.-С.83-88.
6. Акпаралиев Р.А. Исследование особенностей работы гидрогенератора бироторной микро ГЭС. [Текст]: / Р.А. Акпаралиев, А.Дж. Обозов, Т.Т Медеров, Р.У. Ураимов. // Известия КГТУ.- Бишкек, 2014. -№31.- С. 174-179.
7. Акпаралиев Р.А. Моделирование и исследование процессов преобразования энергии в бироторной микро ГЭС. [Текст]: / Р.А. Акпаралиев, А.Дж. Обозов, Т.Т Медеров, Р.У. Ураимов // Известия КГТУ.- Бишкек, 2014. -№32 (часть 1).- С. 273-278.
8. Акпаралиев Р.А. Динамическая устойчивость работы бироторного гидрогенератора для микро ГЭС. [Текст] / Р.А. Акпаралиев// Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Качественное образование, передовая наука, зеленая экономика-будущее планеты». Казахский Государственный Женский Педагогический университет.- Алматы,2014.-С.170-173.
9. Акпаралиев Р.А. Исследование и моделирование бироторного гидрогенератора для микро ГЭС. [Текст]: / Р.А. Акпаралиев, А.Дж. Обозов, Т.Т. Медеров, 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.

10. Акпаралиев Р.А. Анализ и исследование существующих типов гидротурбин малой мощности. [Текст]: / Р.А. Акпаралиев, А.Дж. Обозов, Т.Т. Медеров.// 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.

11. Акпаралиев Р.А. Микро ГЭС с регулируемой балластной нагрузкой для электроснабжения автономных потребителей [Текст]: / Р.А. Акпаралиев, А.Дж. Обозов, Т.Т. Медеров, 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.

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

13. Акпаралиев Р.А. Методика расчета и проектирования элементов бироторного гидрогенератора. [Текст] / Р.А. Акпаралиев// Известия КГТУ.- Бишкек, 2015.- №35. - С. 167-173.

14. Акпаралиев Р.А. Бироторная микрогидроэлектростанция-1,-2. [Текст]: Монография/ Р.А. Акпаралиев, А.Ж. Жамалов, А.Д. Обозов, М.М. Кунелбаев, Р.Исаев.// Алматы, 2015.-160 с.

15. Патент КР. Бироторная микрогидроэлектростанция. [Текст]: / Р.А. Акпаралиев, А.Дж. Обозов, Т.Т. Медеров, // Государственная патентная служба КР.- № 1506, от 31 октября 2012.

16. Патент КР. Микрогидроэлектростанция [Текст]: / Р.А. Акпаралиев, А.Дж. Обозов, Т.Т. Медеров. // Государственная патентная служба КР.- № 2917, от 07 мая 2015.

17. Патент КР. Комбинированная гидроустановка. [Текст]: /Р.А. Акпаралиев, А.Дж.Обозов, И.Г. Кенжаев, А.Жамалов, Р.Ж.Ураимов, Т.Т. Медеров.// (Получено положительное решение на выдачу патента КР. № 02/3015 от 02.10.2015.) Государственная патентная служба КР. 2015.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Акпаралиева Руслана Абдысаматовича на тему  
«ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА БИРОТОРНОГО ГИДРОГЕНЕРАТОРА  
ДЛЯ МИКРО ГЭС»

на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых  
видов энергии

**Ключевые слова:** бироторный гидрогенератор, микроГЭС, ротор, статор, генератор, мощность, напряжение, число оборотов, полюс, частота, автономный потребитель.

**Объект исследования:** бироторный гидрогенератор для микро ГЭС.

**Целью диссертационной работы** является разработка научно обоснованных методов расчета и проектирование нового типа бироторного гидрогенератора для микро ГЭС.

**Полученные результаты:** Впервые синтезирована принципиально новая схема бироторного гидрогенератора для микро ГЭС. Предложена расчетная модель бироторного гидрогенератора для микро ГЭС. Разработана методика экспериментальных исследований параметров бироторного гидрогенератора и создан экспериментальный стенд для его исследования. Запатентованы новые технические решения бироторного гидрогенератора для микроГЭС (Патент КР №1506, №1746, положительное решение № 02/3015 от 02.10.2015). Изготовлен действующий опытный образец бироторного гидрогенератора для микроГЭС. Результаты исследований внедрены в учебный процесс КГТУ им. И.Раззакова для направления «Электроэнергетика и электротехника».

**Область применения:** Микро ГЭС с бироторным гидрогенератором, предназначена для электроснабжения малоэнергоемких автономных потребителей.

**Акпаралиев Руслан Абдысаматовичтин**

**05.14.08 – Кайра калыптануу энергия түрлөрүнүн негизиндеги энерготүзүлүштөрдүн адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасына изденүүдөгү «МикроГЭС үчүн биротор гидрогенераторун изилдөө жана иштеп чыгуу» темасына жазылган диссертациялык ишине  
КОРУТУНДУ**

**Негизги сөздөр:** биротор гидрогенератору, микроГЭС, ротор, статор, генератор, кубаттуулук, чыналуу, уюл, айлануу саны, жыштык, жеке керектөөчү.

**Изилдөө объектиси:** микроГЭС үчүн биротордук гидрогенераторду иштеп чыгуу.

**Диссертациялык иштин максаты болуп** микро ГЭС үчүн биротордук гидрогенератордун жаны тибин долбоорлоо жана эсептөөнүн илимий негизделген усулдарын иштеп чыгуу саналат.

**Аткарылган иштердин жыйынтыгында:** Микро ГЭС үчүн биротордук гидрогенератордун принципалдуу жаны схемасы алгачкы жолу синтезделди. Микро ГЭС үчүн биротордук гидрогенератордун эсептөө модели сунушталды. Биротордук гидрогенератордун параметрин эксперименттик изилдөөлөрдүн усулдары иштелип чыкты жана аны изилдөө үчүн эксперименттик стенд түзүлдү. МикроГЭС үчүн биротордук гидрогенератордун жаны техникалык чечимдери патентелди (№1506, №1746 КР Патенти, № 02/3015, 02.10.2015.он чечим чыгарылды). Микро ГЭС үчүн биротордук гидрогенератордун иштөөчү тажрыйбалык үлгүсү даярдалды. Изилдөөлөрдүн жыйынтыктары « Электроэнергетика жана электротехника» багыты үчүн И. Раззаков атындагы КМТУ окутуу процессине киргизилди.

**Колдонуу областы:** Биротордук гидрогенераторлуу микроГЭС аз жеке керектөөчүлөрдүн электр менен камсыздоо үчүн багытталган.

## SUMMARY

**of the dissertation Akparaliev Ruslan Abdysamatovich on the theme “Research and development birotor type hydrogenerator for 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 hydro generator, micro hydro power station, rotor, stator, generator, power, voltage, revolutions, pole, frequency, autonomous consumer.

**Object of research:** birotor type hydro generator for micro hydro power station.

**The aim of dissertation work** is the development of scientifically based methods of calculation and design of a new birotor type hydro generator for a micro hydro power station.

**Obtained results:** First synthesized principally new scheme of birotor type hydro generator for micro hydro power station. Is proposed for calculation model of birotor type hydro generator for micro hydro power station. The technique of experimental studies of the parameters of birotor type hydro generator developed an experimental stand for his research. New technical solutions of birotor type hydro generator for micro hydro power station are patented (Patent №1506, №1746, favorable decision № 02/3015, 02.10.2015). Made current prototype of birotor type hydro generator for micro hydro power station. The research results are introduced in the educational process KSTU I.Razzakova for guiding "Power and Electrical Engineering".

**Range of application:** Micro hydro power station with birotor type hydro generator is designed to power low power autonomous consumers.