

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

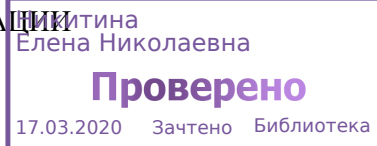
ТОЛОЧКИН АНТОН СЕРГЕЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ
ВОЗОБНОВЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

Направление 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль «Электроснабжение»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель

кандидат технических наук, доцент
Кузьмин Роман Вячеславович

Рецензент

кандидат технических наук,
заместитель начальника УПК
Филиала ПАО «Компания «Сухой»
КнААЗ им. Ю.А. Гагарина»
Киница Олег Игоревич

Защита состоится «20» марта 2020 года в 09 часов 00 мин
на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению
подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомоль-
ском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013,
г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 203/3.

Автореферат разослан «___» марта 2020 г.

Секретарь ГЭК

Н.Н. Мельникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время существует проблема обеспечения энергией потребителей, удаленных от централизованной энергосистемы. Подключение автономных потребителей к централизованной системе энергообеспечения во многих случаях нецелесообразно. Это объясняется их сильной удаленностью, рассредоточенностью и труднодоступностью населенных объектов, нуждающихся в обеспечении энергией. Особенно остро эта проблема проявляется в Дальневосточном регионе.

В этом случае целесообразным является применение автономных систем энергообеспечения. В настоящее время данные системы обладают большим разнообразием и их исследованию посвящено большое количество работ. Наибольшим распространением среди этих систем получили автономные энергоустановки на базе дизель-генераторов. Подобные системы обладают рядом очевидных недостатков, главным из которых является их дороговизна и необходимость постоянных поставок топлива к труднодоступным объектам.

Альтернативой дизель-генераторам могут служить системы, использующие энергию возобновляемых природных источников. Примером таких систем являются установки использующие энергию потоков воды и ветра. Подобные системы широко исследуются и находят все большее применение. В Дальневосточном регионе актуальной является задача разработки и внедрения энергоустановок на базе микроГЭС, использующих энергию низкопотенциальных потоков равнинных рек.

Энергетический кризис, связанный с сокращением запасов энергетического топлива, а также возрастающие вопросы экологии определяют все больший интерес к использованию природных возобновляемых энергоре-

сурсов. В связи с тяжелой ситуацией, сложившейся в энергетическом секторе экономики России, одним из перспективных направлений политики энергосбережения является использование нетрадиционных источников. Среди них весьма существенное место по запасам и масштабам использования занимает энергия потоков воды. Гидроэлектростанции могут устанавливаться практически на любых водотоках: от небольших ручьев до крупных рек. Относительная стабильность потока воды и широкие возможности по регулированию его энергии позволяют использовать простые и дешевые системы генерирования и стабилизации параметров производимой энергии.

Объектом исследования является децентрализованная система электроснабжения на основе микроГЭС.

Предметом исследования является децентрализованная система электроснабжения на основе микроГЭС для объектов индивидуального энергопотребления.

Целью и задачей исследования является повышение эффективности использования системы децентрализованного электроснабжения на базе микроГЭС для равнинных рек; определение основных показателей, обеспечивающих технологичность, улучшение КПД, надежность; разработка конструктивного исполнения СЭС на базе микроГЭС с улучшенными показателями надежности; верификация конструкции с использованием пакета MatLab.

Методика выполнения работы базировалась на применении математического и физического моделирования. В теоретических исследованиях применялись аналитические и численные методы расчёта. Постановка и обработка численных экспериментов велась с применением ЭВМ.

Личный вклад. Автором был проведен обзор наиболее перспективных и надежных систем автономного электроснабжения на базе микроГЭС,

произведен расчет бесплотинной микроГЭС на основе индукторного дугостаторного генератора на постоянных магнитах, исследованы математические модели осевой гидротурбины пропеллерного типа и индукторного дугостаторного генератора, произведено моделирование в среде MATLAB.

Апробация работы. Основные научные положения и результаты докладывались и обсуждались на II Всероссийской научно-практической конференции, Электропривод на транспорте и в промышленности (Хабаровск, 2018 г.)

Публикации. По результатам исследований, отражённых в диссертационной работе написаны 2 научно-исследовательские статьи:

1. Кузьмин, Р. В. Анализ и перспективы использования децентрализованных систем энергоснабжения на базе малых и микрогидроэлектростанций / Р. В. Кузьмин, В. О. Макаров, А. С. Толочкин // Электропривод на транспорте и в промышленности: тр. II Всерос. науч.-практ. конф. (Хабаровск, 20–21 сентября 2018 г.) / под ред. С. В. Власьевского. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2018. – С. 290-293.

2. Громов, А. А. Системы электроснабжения на базе автономных установок / А. А. Громов, В. Л. Колякин, А. С. Толочкин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2019. – № III - 1(39). – С. 4-9.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников из 51 наименования, содержит 124 страницы основного машинописного текста, 46 рисунков, 16 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, приводится краткое изложение цели работы, намечен круг решаемых задач.

Первая глава содержит анализ использования водных ресурсов равнинных рек, способы использования, возможности, предложения по использованию микроГЭС, обзор генераторов и мини – электростанций и обзор децентрализованных систем электропитания стабильной частоты. Среди систем электропитания стабильной частоты могут быть выделены четыре основные группы: установки с регулируемыми турбинами (рисунок 1а), установки с приводом постоянной скорости (рисунок 1б), установки на базе машино-вентильных систем (рисунок 1в) и установки с регулированием величины нагрузки генератора (рисунок 1г).

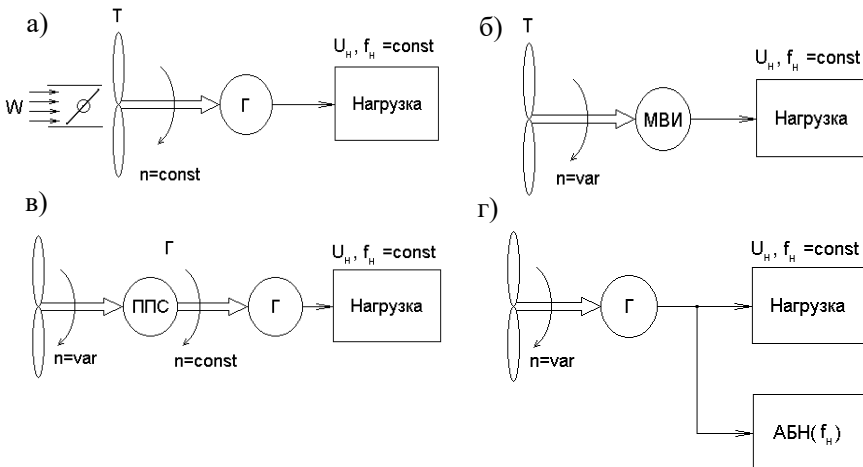


Рисунок 1 – Структурные схемы систем стабилизации выходных параметров:

а – установка с регулируемыми турбинами; б – установка с ППС;
в – установка на базе МВС; г – установка с автобалластной нагрузкой

Последние характеризуются наибольшей простотой, дешевизной и быстродействием. Их недостаток – необходимость балластной нагрузки. Однако балластной нагрузкой могут являться любые потребители электроэнергии не критичные к изменению величины напряжения (например: нагревательные элементы, которые присутствуют в каждом доме), поэтому этот недостаток, в большинстве случаев, не являются определяющими факторами.

Вторая глава посвящена особенностям электромагнитного расчета дугостаторного индукторного генератора, турбины и основных элементов системы. Безредукторные варианты построения микроГЭС обладают многими преимуществами перед микроГЭС с редуцированием частоты вращения гидротурбины: упрощение конструктивной схемы, надежность, минимизация затрат на изготовление, отсутствие дополнительных трущихся частей, исключение механизмов смазки и муфт. Наиболее перспективным техническим решением является безредукторная установка с использованием дугового статора. Выполнение статора генератора в виде дуги на такую же мощность приводит к экономии материалов и позволяет уменьшить величину технологически выполнимого воздушного зазора. Устройство генератора показано на рисунке 2.

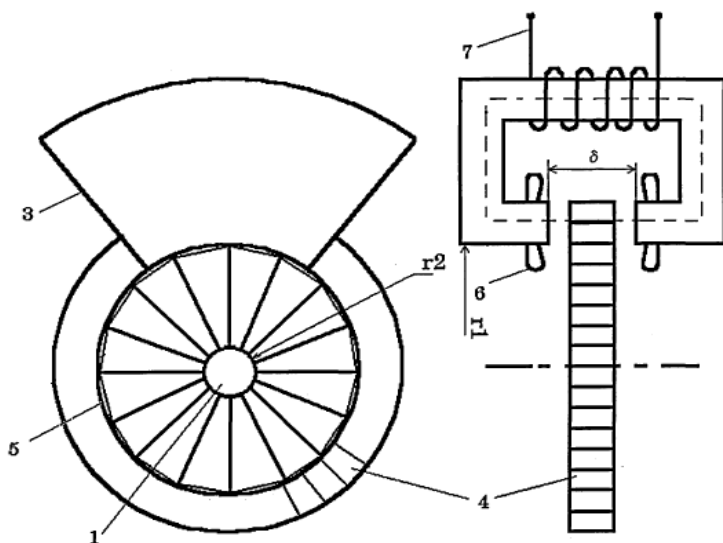


Рисунок 2 – Индукторный дугостаторный генератор

Осевая гидротурбина 1 (рисунок 2) конструктивно объединена с электрическим дугостаторным генератором (геометрические пропорции на рисунке для наглядности искажены). Ротор генератора выполнен в виде сегментных элементов 2, закрепленных на внешнем ободе гидротурбины 3. Обмотка возбуждения 4 создает постоянный магнитный поток в магнитопроводе 5, замыкающийся через воздушный зазор δ и пересекающий сегментные элементы ротора. При вращении гидротурбины, сегментные элементы, проходя через воздушный зазор, пересекают магнитный поток. При этом возникают пульсации магнитного потока в воздушном зазоре. Переменный магнитный поток индуцирует ЭДС в обмотки якоря 6. При подключении к обмотке якоря нагрузки, в нагрузке и в обмотке якоря протекает электрический ток.

Из-за специфики конструкции генератора, была предложена новая методика расчёта таких машин. Также была составлена математическая мо-

дель гидротурбины, выявляющая зависимости мощности гидротурбины от скорости течения реки и диаметра рабочего колеса.

Третья глава посвящена разработке и исследованию математической модели индукторного генератора и системы электроснабжения в целом. В качестве системы регулирования была выбрана двухконтурная система стабилизации напряжения и частоты. Параллельно нагрузке генератора подключаются два тиристорных моста с выводами на автобалластную нагрузку и обмотку возбуждения. Изменение величины угла открытия тиристорного моста автобалластной нагрузки позволяет регулировать частоту вырабатываемого напряжения в широких пределах, тогда как изменение величины угла открытия моста обмотки возбуждения позволяет изменять амплитуду выходного напряжения. Предложенная модель системы (рисунок 3) была смоделирована в программной среде MATLAB при разных режимах. Анализ полученных результатов показал, что параметры выходного напряжения соответствуют государственному стандарту.

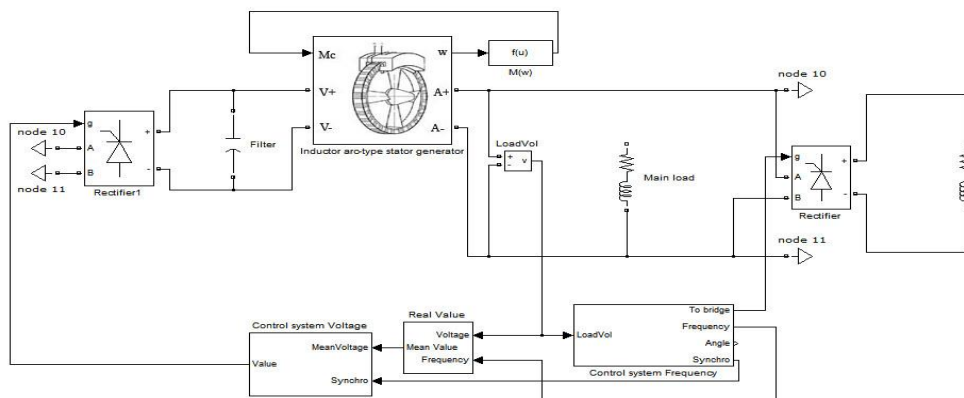


Рисунок 3 – Структурная схема микроГЭС

Результаты проведенных опытов:

Опыт 1: Используем DC voltage source (постоянный источник напряжения) $U=24$ В.

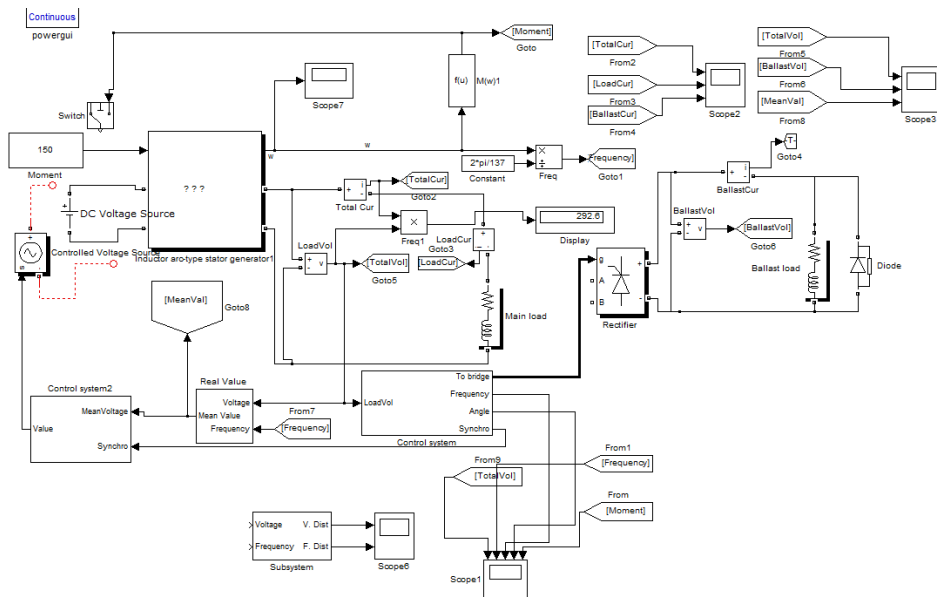


Рисунок 4 – Схема микроГЭС в программе MATLAB для опыта 1

В данном опыте используется активно-индуктивная полезная нагрузка, балластная нагрузка отключена. Задавая значения активно-индуктивной нагрузки в блоке [Main load] получаем выходные значения частоты и напряжения нагрузки. Значения частоты выводятся на осциллограф с тега [Frequency], а значения напряжения нагрузки – с тега [TotalVol].

По полученным значениям частоты и напряжения нагрузки построены зависимости напряжения генератора (U) от полного сопротивления (z) (рисунок 5) и частоты генератора (f) от полного сопротивления (z) (рисунок 6).

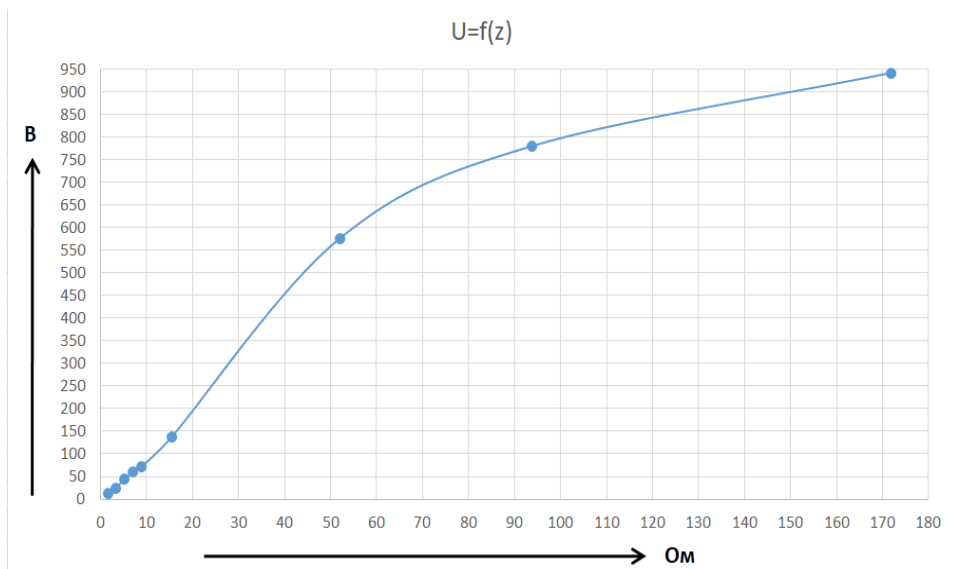


Рисунок 5 – Динамическая характеристика напряжения генератора при изменении нагрузки

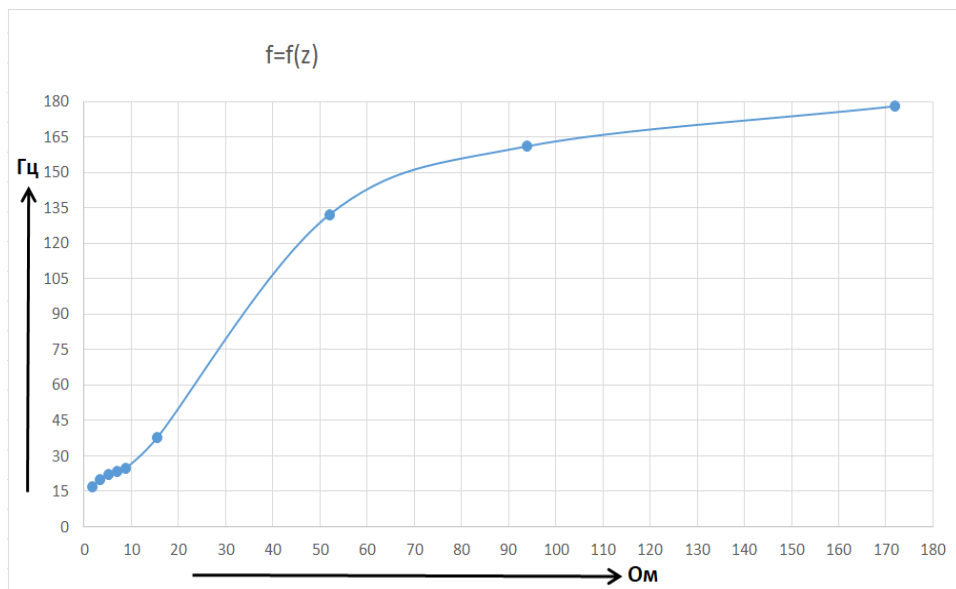


Рисунок 6 – Динамическая характеристика частоты генератора при изменении нагрузки

Изменяя подаваемый момент в блоке [Moment] получаем выходные значения частоты и напряжения нагрузки. Значения частоты выводятся на осциллограф с тега [Frequency], а значения напряжения нагрузки – с тега [TotalVol].

По полученным значениям частоты и напряжения нагрузки построены зависимости напряжения генератора (U) от подаваемого момента (W) (рисунок 7) и частоты генератора (f) от подаваемого момента (W) (рисунок 8).

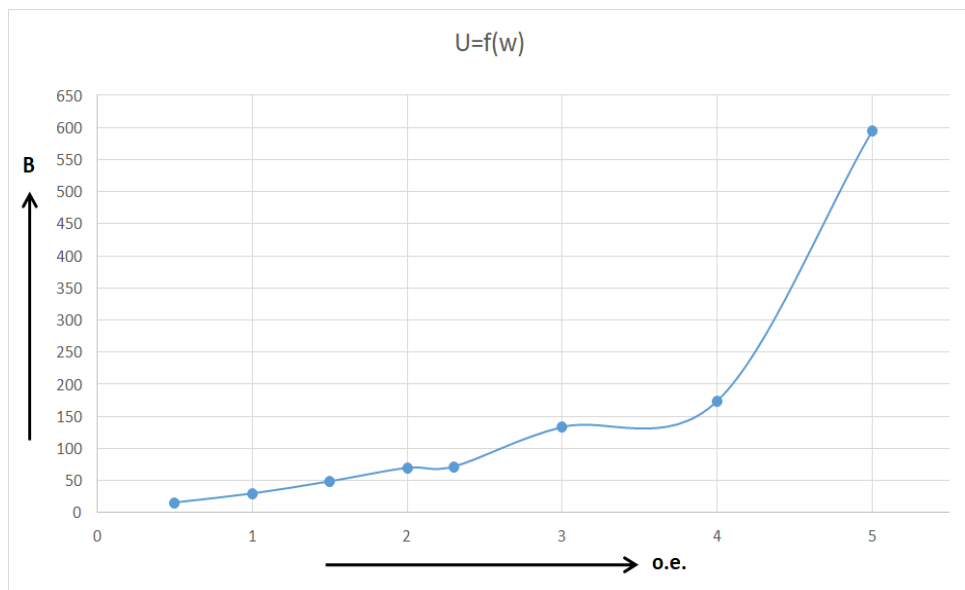


Рисунок 7 - Динамическая характеристика напряжения генератора при изменении момента

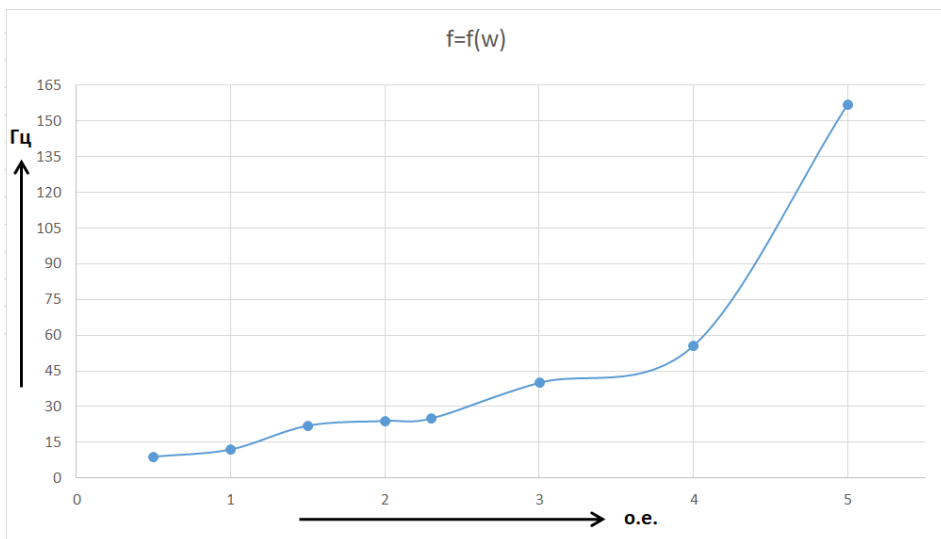


Рисунок 8 - Динамическая характеристика частоты генератора при изменении момента

Опыт 2: Используем Controlled voltage source (управляемый источник напряжения).

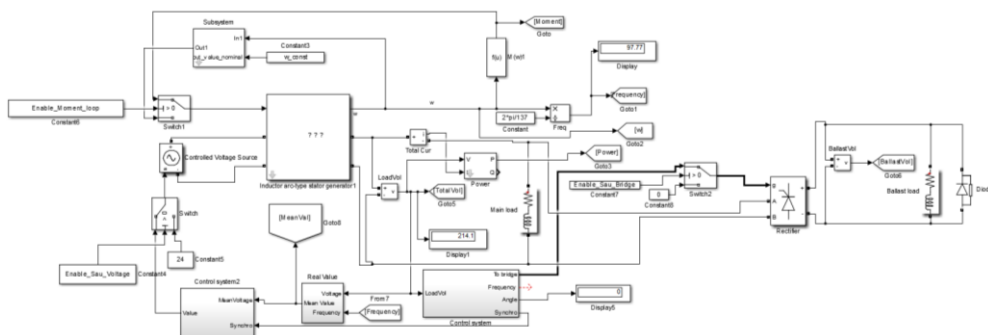


Рисунок 9 – Схема микроГЭС в программе MATLAB для опыта 2

В данном опыте используется как активно-индуктивная полезная нагрузка, так и активно-индуктивная балластная нагрузка. Задавая значения активно-индуктивной полезной нагрузки в блоке [Main load] и балластной нагрузки в блоке [Ballast load] получаем выходные значения частоты,

напряжения нагрузки и напряжения балласта. Значения частоты выводятся на осциллограф с тега [Frequency], значения напряжения нагрузки – с тега [TotalVol], значения напряжения балласта – с тега [BallastVol]. Также в данном опыте необходимо контролировать угол открытия тиристоров с помощью устройства [Display5].

По полученным значениям частоты, напряжения нагрузки и напряжения балласта построены зависимости частоты (f) от угла открытия тиристоров (α) (рисунок 10), напряжения нагрузки (U) от угла открытия тиристоров (α) (рисунок 11) и напряжения балласта (U_{ballast}) от угла открытия тиристоров (α) (рисунок 12).

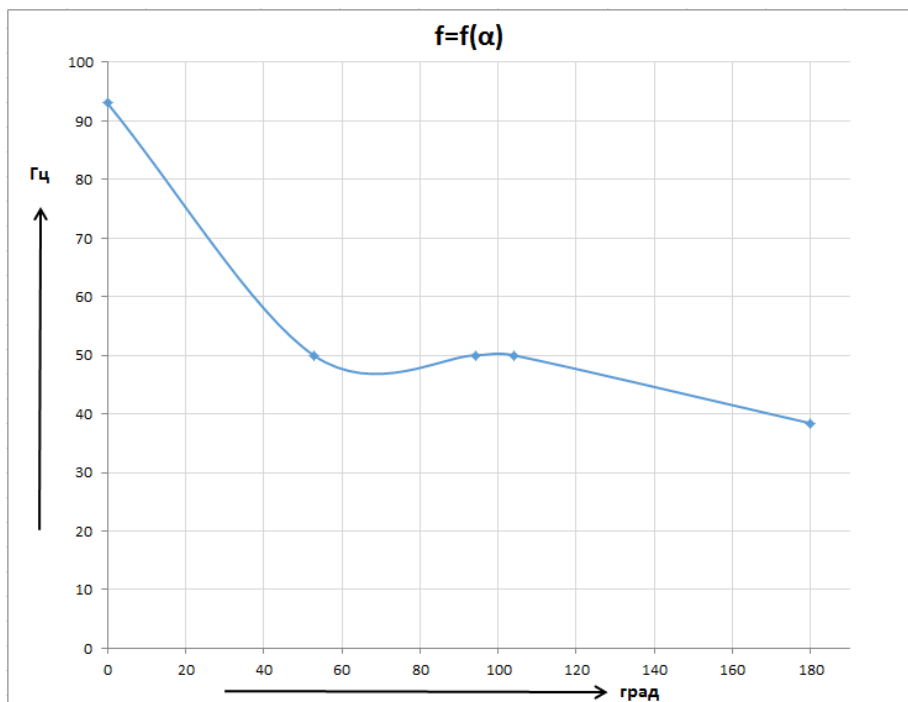


Рисунок 10 - Зависимость частоты от угла открытия тиристоров

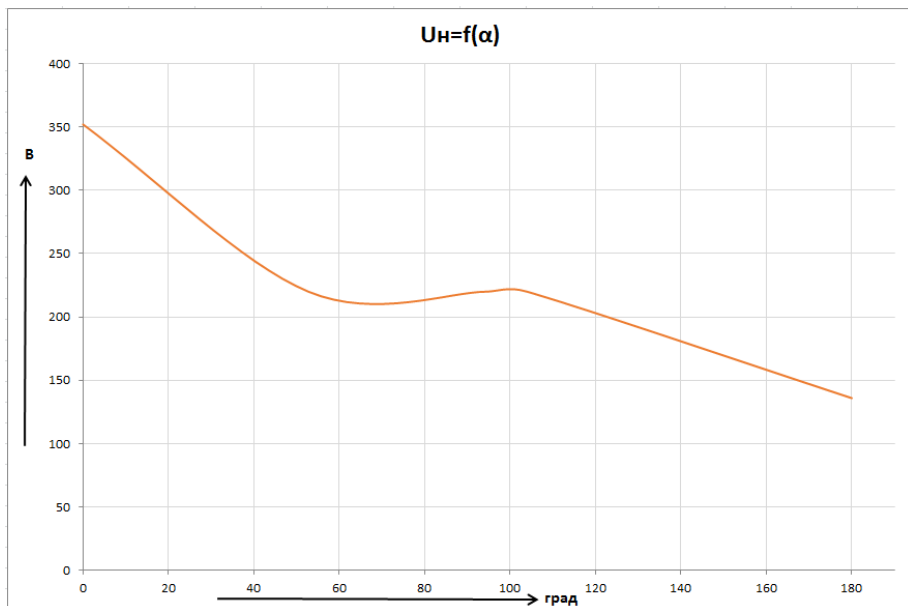


Рисунок 11 - Зависимость напряжения нагрузки от угла открытия тиристоров

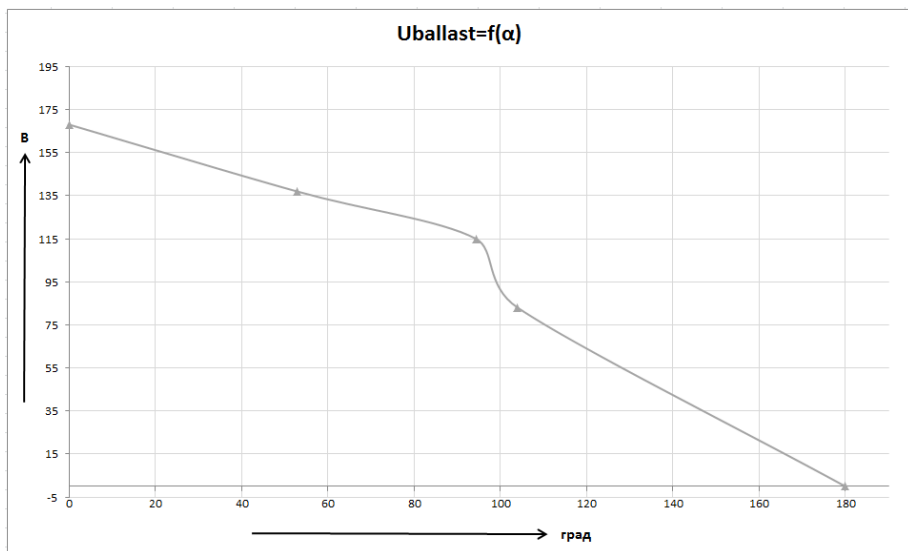


Рисунок 12 - Зависимость напряжения балласта от угла открытия тиристоров

Общий вид зависимостей частоты (f), напряжения нагрузки (U), напряжения балласта (U_{ballast}) от угла открытия тиристоров (α) показан на рисунке 13.

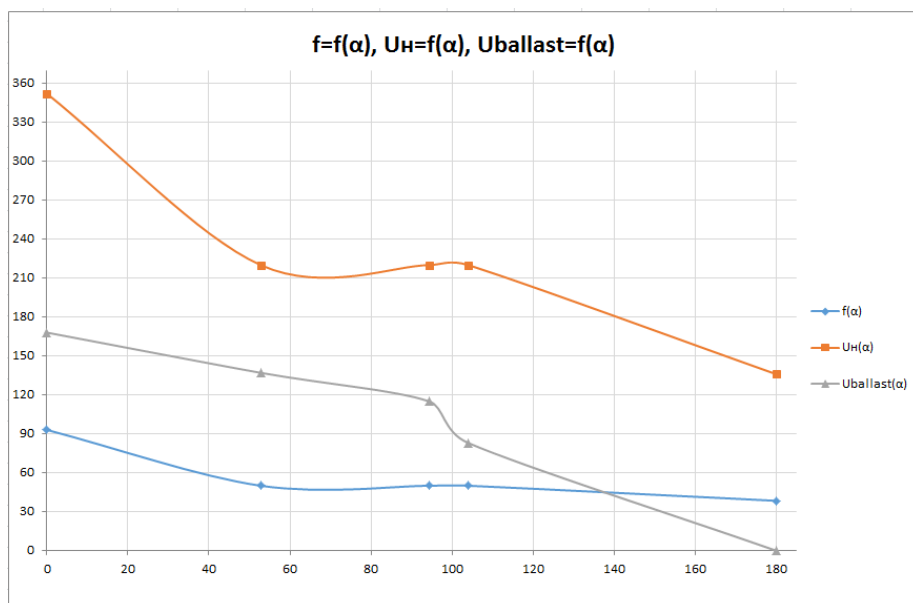


Рисунок 13 – Зависимость частоты, напряжения нагрузки и напряжения балласта от угла открытия тиристоров

Четвертая глава посвящена экономическому обоснованию проектируемой системы, определяет производственные затраты и экономический эффект производства.

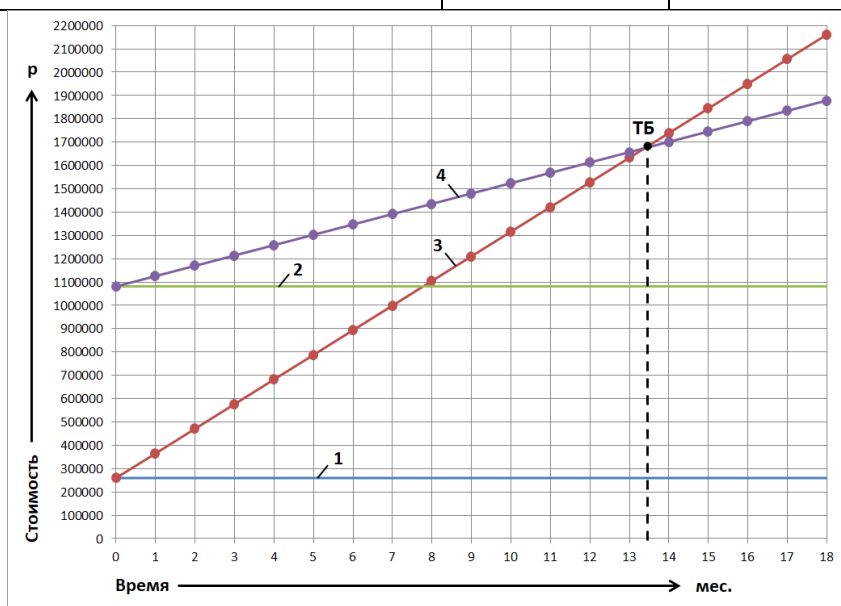
МикроГЭС производит 10 кВт/ч 24 часа в сутки, 365 дней в году. Соответственно, за сутки ее производительность составит 240 кВт/ч, за месяц – 7,2 МВт/ч, а за год – 86,4 МВт/ч.

В качестве альтернативы микроГЭС взят дизельный генератор на 10 кВт.

Для определения срока окупаемости установки микроГЭС составлена таблица (таблица 1) и построен график зависимости общей стоимости от времени эксплуатации (рисунок 14).

Таблица 1 – Расчет себестоимости микроГЭС и дизельного генератора

Тип затрат	Стоимость, р	
	МикроГЭС	Дизельный генератор
Суммарные капитальные затраты	1081421	260000
Суммарные эксплуатационные затраты в год	531664	1267832
Себестоимость за год	1613085	1527832



ТБ – точка безубыточности; 1 – суммарные капитальные затраты на ДЭС; 2 – суммарные капитальные затраты микроГЭС; 3 – полные затраты на ДЭС; 4 – полные затраты на микроГЭС.

Рисунок 14 – График срока окупаемости микроГЭС

Согласно проведенному экономическому расчету полная себестоимость проектируемой установки микроГЭС (на основе индукторного дуго-

статорного генератора с постоянными магнитами) незначительно выше себестоимости дизель генератора. Однако стоимость обслуживания микроГЭС незначительна, а время использования велико. Это подтверждает график окупаемости микроГЭС, согласно которого срок окупаемости составил 13,5 месяцев. Данный факт говорит об экономической целесообразности разработки микроГЭС на основе индукторного дугостаторного генератора с постоянными магнитами.

Принимая во внимание общую стоимость системы и статистические данные рынка нетрадиционных источников энергии, можно сделать вывод, что система эффективна и конкурентоспособна. Отвечает всем требованиям и нормам качества электроэнергии, безопасна для человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ известных технических решений. В результате проведённого критического анализа предлагается бесплотинная микроГЭС на основе индукторного дугостаторного генератора на постоянных магнитах.

2. Обоснована эффективность замены децентрализованных систем энергообеспечения на базе дизель-генераторов (автономные системы) на системы, использующие энергию возобновляемых природных ресурсов, в частности низкопотенциальную энергию равнинных рек.

3. Предложенная конструкция генератора для микроГЭС позволяет создавать безредукторные установки и значительно повышать потребительские свойства системы энергоснабжения.

4. Разработаны и исследованы математические модели осевой гидротурбины пропеллерного типа и индукторного дугостаторного генератора.

5. Разработана структурная схема системы управления. Математическое моделирование в среде MATLAB позволило смоделировать работу системы управления в нескольких режимах.

6. Экономический расчет показал, что спроектированная система имеет ряд значительных преимуществ перед существующими аналогами, что значительно увеличивает ее конкурентоспособность по сравнению с другими системами, представленными на рынке.