

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»

На правах рукописи



Аминов Дилшод Саидович

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ВОДОПОГРУЖНЫХ
ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МАЛЫХ
И СРЕДНИХ РЕК**

05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2020

Работа выполнена на кафедре «Теоретические основы электротехники» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент,
Ганджа Сергей Анатольевич

Официальные оппоненты: **Кзаков Юрий Борисович**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
энергетический университет имени В.И. Ленина»,
заведующий кафедрой «Электромеханика»;

Зубков Юрий Валентинович,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет», профессор кафедры
«Электромеханика и автомобильное
электрооборудование»;

Пластун Анатолий Трофимович,
доктор технических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина», профессор кафедры
«Электротехника» Уральского энергетического
института

Защита состоится «11» ноября 2020 г. в 10:15 ч на заседании диссертационного совета УрФУ 05.01.02 по адресу: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, ауд. И-420 (зал Ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», <https://dissovet2.urfu.ru/mod/data/view.php?d=12&rid=1469>

Автореферат разослан «__» _____ 2020 г.

Ученый секретарь



диссертационного совета

Болотин Кирилл Евгеньевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность предмета исследования. В последнее время в мире возрастает интерес к альтернативным источникам энергии, использующим энергию ветра, солнца, приливов и отливов, волн, геотермальную энергию. Одним из наиболее эффективных направлений развития нетрадиционной энергетики является использование энергии небольших водотоков с помощью малых гидроэлектростанций (ГЭС). Практически в любой стране существует большое количество рек с небольшой величиной водотока, которые с успехом могут быть использованы для строительства мини - ГЭС. В настоящее время наблюдается тенденция уменьшения доли традиционных источников энергии в энергобалансе ведущих развитых стран и возрастание доли альтернативных источников энергии.

Это обусловлено истощением запасов углеводорода, требованиями экологии по уровню выброса углекислого газа.

Альтернативные источники энергии экологически безопасны, они равномерно распределены по земному шару. В последнее время они становятся все более экономически выгодными.

Разработка надежного и экономичного оборудования для малых ГЭС является актуальной задачей, имеющей большое практическое значение при строительстве малых автономных гидроэлектростанций. Гидрогенераторы для малых рек – это надежные, экологически чистые, компактные, быстро окупаемые источники электроэнергии. Они экономически целесообразны для деревень, дачных поселков, фермерских хозяйств, а также мельниц, хлебопекарен, небольших производств в отдаленных, горных и труднодоступных районах, где нет линий электропередач, а их строительство требует больших финансовых затрат и времени.

Большой практический интерес в этой концепции представляют реки Таджикистана, Узбекистана и других стран с большим количеством горных водных ресурсов, расположенных в труднодоступных местах.

По данным Европейской Ассоциации малой гидроэнергетика суммарная установленная мощность малых гидроэлектростанций на 2010 год в мире составила 37 ГВт, в том числе в Евросоюзе-14 ГВт. Наилучшие результаты по освоению гидроресурсов малых рек имеют следующие страны Евросоюза: Италия 21%, Франция 17,5%, Испания 15,5%, Германия 14%, Австрия 9,4% от общего баланса выработки электроэнергии малыми гидроэлектростанциями.

В России энергетический потенциал малых рек составляет более 1000 млрд кВт·ч в год, что в несколько раз превосходит этот показатель для большой гидроэнергетики.

Следует отметить что, при достигнутых значительных результатах, инженерные и научные проблемы в этой области до конца не решены. Это связано с особенностями использования гидроресурсов малых рек.

Каждая малая река имеет свою специфику: скорость течения, мощность водяного потока, глубину, особенность рельефа. В этих условиях очень сложно

создать универсальный генератор, который удовлетворял бы всем требованиям. По этой причине серийно выпускаемые генераторы в каждом конкретном месте малой реки будут работать неэффективно, так как они спроектированы на конкретный режим работы. В связи с этим возникает проблема проектирования специального гидрогенератора для данной реки и конкретного места установки.

В настоящее время в литературе не описана методика проектирования таких гидрогенераторов. Отечественные диссертационные работы в полной мере не решают эту проблему, **поэтому разработка таких энергетических источников остается актуальной проблемой.**

Степень научной разработанности проблемы. Научная общественность проблеме развития малой гидроэнергетики уделяет пристальное внимание более 100 лет. За этот период накопился достаточный практический и теоретический опыт положительный и отрицательный. Если в начале развития этой отрасли проблемы экологии вообще не рассматривались, то в настоящее время без их учета невозможно принимать технические решения. Практика показала, что большая гидроэнергетика существенным образом влияет на баланс природных ресурсов. Отчуждение сельскохозяйственных земель, заиливание водных бассейнов, влияние на естественную биосферу, затраты на переселение людей и их новое обустройство – это только малый список реальных проблем.

При анализе научных заделов в этой области следует учесть комплексность решаемой проблемы, в частности по выбору типа мини-ГЭС, типа генератора, системы управления, накопления электроэнергии.

Ученые Московского энергетического института внесли существенный вклад в проектирование асинхронных и синхронных генераторов для мини-ГЭС, в частности электрических машин с мощными высококоэрцитивными постоянными магнитами. Представляют интерес наработки по малой гидрогенерации, использующей избыточное магистральное давление.

Ученые Ивановского энергетического государственного университета имеют серьезные научные заделы по вопросу оптимального проектирования электрических машин и их анализа.

Следует отметить вклад ученых Новосибирского государственного университета в область малой гидроэнергетики, в частности, разработки генератора двойного питания.

Интересен опыт Алтайского государственного технического университета по разработке мини-ГЭС с асинхронным генератором для сельскохозяйственного применения.

Самарский государственный технический университет внес существенный вклад в развитие альтернативной энергетики, в частности, в разработку генераторов для ветроэнергетических установок.

Заслуживают внимание научные исследования Уральского политехнического института по разработке специальных электрических машин, в частности, машин, работающих в агрессивных средах.

Южно-Уральский государственный университет в течение ряда лет занимается вопросами освоения альтернативной энергии и имеет научные заделы в этой области.

В наукометрической базе Scopus и Web of Science существует обширный материал, посвященный этой проблеме. Рассмотрены различные типы существующих мини-ГЭС, различные типы генераторов и систем управления к ним. В частности, изучены вентильно-индукторные генераторы, генераторы с электромагнитной индукцией, асинхронизированные синхронные генераторы. Хорошо представлены методы анализа сложных электромеханических систем на основе новейших инженерных технологий.

Большое количество научных работ говорит о том, что на сегодняшний день вопрос о выборе типа мини-ГЭС и типа электрической машины для гидрогенератора до конца не решен и идет активный поиск. Следует отметить, что исследования носят разрозненный характер по решению локальных узких технических задач. Не разработана проектная система, позволяющая решить связанную сквозную задачу от постановки технического задания по проектированию мини-ГЭС для конкретного места реки до синтеза и анализа конкретного устройства. Современный уровень развития вычислительной техники позволяет решить эту задачу. В данной научной работе предложено решение названных проблем.

Цель диссертационного исследования. Основной целью диссертационного исследования является создание методики по проектированию водопогружных гидрогенераторов, используемых в качестве возобновляемых источников энергии малых и средних рек. Данная методика должна позволить разработчику для выбранного места реки с конкретными гидроэнергетическими параметрами разработать систему генерации электроэнергии с максимальными показателями энергоэффективности (КПД, массоэнергетическими параметрами, надежностью).

Задачи исследования. Для достижения этой цели необходимо последовательно решить **следующие научные задачи:**

- выбрать тип мини-ГЭС, определить ее структуру;
- выбрать тип гидрогенератора, разработать его конструкцию;
- разработать методику расчета магнитной системы электрогенератора;
- разработать математическую модель для оптимизационного расчета гидрогенератора;
- разработать гибкую систему многоуровневой оптимизации гидрогенератора;
- разработать систему анализа электромагнитного состояния гидрогенератора;
- разработать систему анализа теплового состояния гидрогенератора;
- связать в единую проектную систему синтез гидрогенератора и анализ электромагнитных и тепловых характеристик.

Объект исследования. Объектом исследования является вентильная машина комбинированного возбуждения, работающая в режиме генератора.

Предмет исследования. Предметом исследования являются методы анализа и синтеза вентильной машины комбинированного возбуждения, работающей в режиме генератора. Это методы разработки математических моделей для оптимизации, математических моделей для оценки электродинамического и теплового состояния, методы оптимального проектирования.

Методология и методы исследования. Поставленные научные задачи решены с применением общей теории электрических машин, методов проектирования на основе схем замещения, методов нелинейного программирования для решения задачи оптимизации, методов конечных элементов для решения задач электромагнитного и теплового анализа, методов физического моделирования, методов трехмерного твердотельного моделирования.

Научная новизна

Класс вентильных машин комбинированного возбуждения известен достаточно давно, но принцип комбинированного возбуждения может быть реализован в большом количестве конструктивных исполнений. Как правило, конструкции машин этого класса имеют паразитный магнитный зазор, который ухудшает основные параметры. Этот фактор ограничивает развитие этих электрических машин. В работе применена уникальная конструкция вентильного генератора комбинированного возбуждения, которая не имеет этого недостатка. На конструкцию имеется патент РФ. Представленная в работе методика расчета этой конструкции обладает научной новизной и является дальнейшим развитием теории электрических машин этого класса.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод расчета магнитной системы вентильной электрической машины комбинированного возбуждения, **отличающийся от известных методов тем**, что в основу его положен метод конечных элементов, но число элементов заранее определено таким образом, чтобы количество уравнений, описывающих магнитное состояние системы, было небольшим и позволяло включить электромагнитный расчет в большое число оптимизационных циклов.

2. Математическая модель расчета вентильного генератора комбинированного возбуждения, **которая описывает уникальное запатентованное устройство**, имеющее различные конструктивные модификации и позволяющее включить эту модель в оптимизационные циклы для определения наилучшей по выбранному критерию геометрии.

3. Математическая модель многоуровневой однокритериальной оптимизации генератора комбинированного возбуждения, **отличающаяся тем**, что она позволяет создать гибкую проектную систему, позволяющую разработать генератор для различных проектных ситуаций.

4. Математическая модель анализа электромагнитного и теплового состояния генератора комбинированного возбуждения, которая, **в отличие от существующих методов анализа**, позволяет решить связанную задачу электродинамики и термодинамики генератора уникальной конструкции.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты. Полученные в работе научные результаты соответствуют пп. 2 «Разработка научных основ создания и совершенствования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов», пп. 3 «Разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии», пп. 5 «Разработка подходов, методов, алгоритмов и

программ, обеспечивающих проектирование, надежность, контроль и диагностику функционирования электрических, электромеханических преобразователей и электрических аппаратов в процессе эксплуатации, в составе рабочих комплексов» паспорта специальности.

Теоретическая значимость. В работе представлено дальнейшее развитие теории вентильных машин комбинированного возбуждения, которые недостаточно изучены в общей теории электрических машин, в частности, теоретическую новизну представляет собой методика расчета постоянного магнита, метод оптимизации этого класса машин, метод анализа электромагнитного и теплового состояния, который основан на решении связанной задачи.

Практическая значимость. Основным практическим результатом проведенных исследований является создание гибкой проектной системы, которая позволяет, в зависимости от требования заказчика, спроектировать гидрогенератор с оптимальной геометрией и наилучшими массоэнергетическими параметрами для конкретного места реки. Данные исследования являются основой для разработки системы автоматизированного проектирования для гибкого производства мини-ГЭС. Массовое производство мини-ГЭС позволит освоить гидропотенциал малых и средних рек, который по экспертным оценкам в несколько раз превосходит этот показатель для больших рек.

Разработанный метод расчета магнитной системы доведен до инженерной практики и может быть использован для расчета плоских прямоугольных постоянных магнитов для различных магнитных систем.

Внедрение результатов работы. Результаты научных исследований вызвали большой интерес в организации «Ассоциация малой энергетики». Это один из динамичных отраслевых союзов России, который объединяет предприятия и организации, осуществляющие свою деятельность в сфере малой распределенной и альтернативной энергетики и смежных отраслях. Проект участвовал в Международном конкурсе «Малая энергетика - большие достижения» в номинации «Инновационная разработка в сфере энергетики» и получил одобрение экспертов.

Метод расчета постоянного магнита и методика расчета электрической машины комбинированного возбуждения внедрены в учебный процесс Южно-Уральского государственного университета при подготовке бакалавров по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника в курсе «Проектирование специальных электрических машин».

Степень достоверности результатов работы. Достоверность полученных научных результатов подтверждается корректным использованием известных методов анализа и синтеза, применяемых в общей теории электрических машин, таких как метод эквивалентных схем замещения, метод конечных элементов, методы нелинейного программирования. Технологичность и собираемость разработанной конструкции проверена на масштабной модели, изготовленной по технологии 3D принтера.

Апробация работы. Основные положения результатов диссертационной работы и отдельные ее части докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях и семинарах:

- Научный семинар аспирантов «IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry» (Магнитогорск 2019);
- Международная научная конференция по энергетическому, экологическому и строительному инжинирингу «ЕЕСЕ-2019» (Санкт-Петербург 2019);
- Международная научно-техническая конференция «International Conference on Industrial Engineering» (Москва 2018-2019-2020);
- десятая научная конференция аспирантов и докторантов Южно-Уральского государственного университета. (Челябинск 2018);
- 70-я научная конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и сотрудников Южно-Уральского государственного университета. (Челябинск 2018);
- II Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Приоритетные направления развития энергетики в АПК» (Курган 2018);
- Международная научно-техническая конференция «2018 Global Smart Industry Conference» (Челябинск 2018);
- Международная научно-техническая конференция «International Ural Conference on Green Energy» (Челябинск 2018).

Публикации по теме диссертации. По результатам диссертационной работы опубликовано **15** работ, из них: **6** работ индексируются в базе данных **Scopus**, **4** статьи в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых изданий, **рекомендованных ВАК** Минобрнауки РФ, **5** статей в журналах **РИНЦ**.

Личный вклад автора в диссертационное исследование. Все научные результаты, включенные в диссертацию и представленные к защите, получены лично автором. Личный вклад диссертанта в работах, опубликованных в соавторстве, состоит в определении направлений исследований, постановке задач, разработке математических и имитационных моделей.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю доктору технических наук, доценту Гандже Сергею Анатольевичу за конструктивную критику и содействие при работе над диссертацией.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из определений, используемых научных терминов, основных обозначений и сокращений, введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 201 наименований, 3 приложений. Работа изложена на 166 страницах, из них 132 страниц основного текста. Работа содержит 46 иллюстраций, 97 аналитических выражений, 3 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность выбранной темы. Отмечено, что гидроресурсы малых и средних рек при правильном использовании могут в несколько раз превосходить этот показатель для крупных рек. Показаны степень научной разработанности исследуемой темы, задачи исследования, объект и предмет исследования, примененные в работе методы исследования, научная новизна и положения, выносимые на защиту, соответствие паспорту специальности, практическая значимость и результаты внедрения, апробация и публикации по теме диссертационного исследования.

Первая глава содержит классификацию малых и средних рек.

Оценить энергетический потенциал реки в данном выбранном месте можно по следующей зависимости:

$$P_{рек} = \rho_{воды} \frac{b_{реки} \cdot h_{реки}}{2} V_{ср}^3 \cdot \eta_{миниГЭС}, \quad (1)$$

где $P_{рек}$ - средняя мощность реки в данном месте (Вт); $\rho_{воды}$ - удельная плотность воды (кг/м^3); $b_{реки}$ - ширина реки (м); $h_{реки}$ - средняя глубина реки (м); $V_{ср}$ - средняя скорость реки в данном месте (м/с); $\eta_{миниГЭС}$ - КПД мини-ГЭС, включая КПД турбины, генератора и системы управления.

Сглаживать естественные пики и провалы энергопотребления можно за счет накопителя. Наиболее дешевым и надежным накопителем электроэнергии может служить химический источник - аккумуляторная батарея.

Соответственно, работая на накопитель, генератор должен вырабатывать постоянное напряжение для его зарядки. Следовательно, генератор для мини-ГЭС этого типа должен иметь встроенный выпрямитель.

Для получения стандартного напряжения из накопленного постоянного выпрямленного напряжения применим инвертор. На данные мощности стандартный инвертор представляет собой серийное комплектующее изделие.

Предварительный анализ показал, что генератор будет тихоходным с частотой вращения порядка 200 – 400 об/мин. Отечественный и зарубежный производители серийно не производят генераторы на эту частоту вращения. Такой генератор является специальным изделием и требует отдельного проектирования и производства.

Низкая частота вращения по сравнению со стандартной позволяет решить вопрос его герметичности следующим образом. Для низкооборотных машин надежным средством от проникновения внутрь воды является заполнение их трансформаторным маслом с применением компенсаторов давления. Гидрофобные свойства масла не дают проникнуть внутрь воде, а расширение масла приводит к заполнению компенсаторов, которые не предотвращают его вытекание под давлением. Электрическая принципиальная схема мини-ГЭС представлена на рис.1.

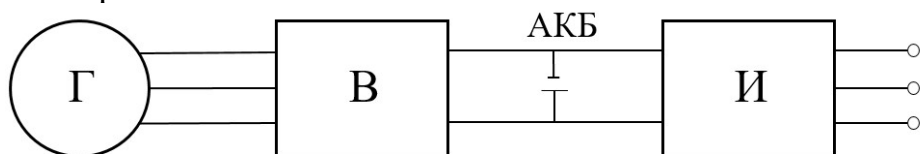


Рисунок 1. Электрическая принципиальная схема мини-ГЭС (Г-генератор, В-выпрямитель, АКБ – аккумуляторная батарея, И - инвертор)

На основе анализа различных типов машин, применительно к гидрогенератору выбран вентильный синхронный генератор с комбинированным возбуждением. Этот класс электрических машин содержит два источника для возбуждения: постоянные магниты и обмотку возбуждения. При этом применение мощных постоянных магнитов позволит уменьшить габариты генератора, а возможность регулирования магнитного потока за счет обмотки возбуждения во многом упростит систему по стабилизации выходного

напряжения. Известные генераторы комбинированного возбуждения имеют существенные недостатки, которые ограничили их применение. Это дополнительный паразитный воздушный зазор, увеличивающий габариты, и контактный токоподвод, который снижает надежность. Предлагаемая конструкция лишена этих недостатков. Данная конструкция уникальна, на нее оформлен патент РФ. Эскиз генератора показан на рис. 2.

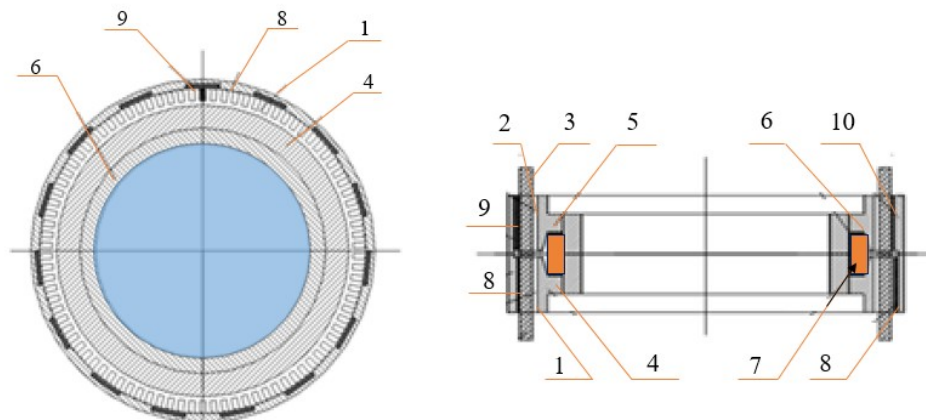


Рисунок 2. Эскиз генератора комбинированного возбуждения (1,2 пакеты статора;3-обмотка якоря;4,5,6-магнитопровод статора;7-обмотка возбуждения; 8-магнитопровод ротора;9,10-постоянные магниты).

Данная конструкция была взята в качестве базовой для проектирования гидрогенераторов малой и средней мощности, которые через выпрямитель работают на накопитель электроэнергии в виде аккумуляторных батарей и далее на инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный со стандартными параметрами.

Вторая глава посвящена разработке математической модели электромагнитного расчета вентильного генератора комбинированного возбуждения (ВГКВ) для оптимизации его геометрии.

Проектную систему ВГКВ представим в виде двух подсистем: подсистемы синтеза, в основу которой положим оптимальное проектирование геометрии по выбранным критериям, и подсистему анализа, включая анализ электромагнитного и теплового состояния электрической машины.

В настоящее время создать электромеханические устройства с высокими массоэнергетическими показателями невозможно без точных методов расчета полей и оптимизационных расчетов. При этом возникает следующее техническое противоречие. Точные электромагнитные расчеты требуют значительных вычислительных ресурсов и применения сложных программ, а методы оптимизации нуждаются в большом количестве циклов вычислений при выборе наилучших параметров. Включить тяжеловесные программы в оптимизационные циклы, не смотря на их точность, не представляется возможным из-за неприемлемого времени вычисления. Для разрешения этого противоречия была поставлена задача по разработке простой, но точной модели расчета магнитной системы, которую можно было бы использовать для оптимизации.

Магнитную систему практически всех электротехнических изделий для двухмерной задачи можно привести к виду, представленному на рис. 3а.

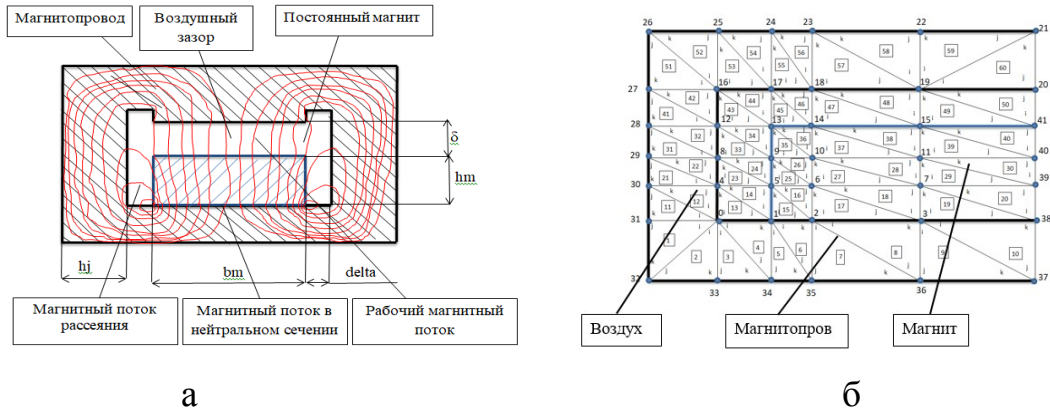


Рисунок 3. Расчетная модель магнитной системы

Данная модель учитывает все особенности магнитного состояния системы: потоки в нейтральном сечении, потоки рассеяния, рабочий поток.

Для разработки метода расчета постоянного магнита было принято простое, но достаточно эффективное решение. Путем нескольких тестовых вычислений для достаточно большого количества разнообразных магнитных систем было выбрано количество элементов, обеспечивающих требуемую точность расчета и позволяющих сформировать систему уравнений вручную. С достаточной погрешностью расчет исследуемую область можно разбить на 60 элементов (рис. 3б). Число узлов при этом составит 42 (рис.3 б).

Для упрощения построения расчётной матрицы нумерация узлов, начиная с нулевого номера, была принята таким образом, чтобы граничные узлы остались на внешнем контуре. В дальнейшем это упростило формирование глобальной матрицы. Обход узлов в элементе был задан против часовой стрелки. Нумерация элементов была принята в произвольном порядке. В качестве варьируемых параметров системы были приняты: высота магнита, ширина магнита, величина воздушного зазора, расстояние от боковой грани магнита до магнитопровода, толщина магнитопровода. В качестве изменяемых переменных были введены: магнитная проницаемость магнитопровода, остаточная индукция магнита, коэрцитивная сила магнита. В качестве константы была введена магнитная проницаемость воздуха.

На первом этапе построения модели были определены координаты узлов через варьируемые параметры геометрии системы. Таким образом, при изменении размеров магнитной системы изменялись только размеры элементов, количество элементов и узлов при этом оставалось заданным (60 элементов, 42 узла). Далее были определены элементы всех локальных матриц жесткости. Элементы глобальной матрицы жесткости были получены путем сложения значений локальных элементов. В результате было получено 483 линейных уравнения. Для решения системы уравнений был использован метод Гаусса, который в виде стандартной процедуры заложен в Mathcad и Delphi.

Через значения магнитных потенциалов в узлах элементов можно определить все характеристики магнитной системы:

$$B_{dcha} := \frac{A_{17}}{0.5 \cdot bm},$$

- средняя индукция в воздушном зазоре:

$$B_{dcha} := \frac{A_{13}}{0.5 \cdot bm},$$

- средняя индукция на поверхности магнита:

- средняя индукция в нейтральном сечении магнита: $B_{\text{пмаг}} := \frac{A_1}{0.5 \cdot b_m}$,

- магнитный поток: $F_{\text{mag}} := A_{13}$.

Для проверки точности расчета разработанной методики она сравнивалась с решением задач копий в программе Ansys Electronics Desktop, которая осуществляла автоматическую разбивку области расчета на несколько тысяч элементов. Погрешность по определению средней индукции в воздушном зазоре для различных магнитных систем составила 1.5 %, что является очень хорошим результатом для инженерных расчетов. Следует отметить, что время решения всех тестовых задач составило доли секунды, в отличие от работы программы Ansys Electronics Desktop, которая занимала около 2 минут. Этот новый подход может быть использован для решения подобных задач из других сфер научной деятельности: гидродинамики, аэродинамики, теплотехники, динамики напряжений.

Особенность генератора комбинированного возбуждения заключается в конфигурации магнитной цепи. Физически смешать магнитные потоки обмотки возбуждения и постоянных магнитов невозможно. Постоянные магниты не пропускают через свой объем «чужой» магнитный поток. Поэтому магнитный поток от обмотки возбуждения и от постоянных магнитов замыкаются по своим маршрутам. Результирующая ЭДС в обмотке якоря складывается от частей ЭДС активной части обмотки паза. ЭДС этих частей может складываться друг с другом, а может вычитаться в зависимости от направления магнитного потока обмотки возбуждения. Такая сложная магнитная цепь требует разработки специальной модели расчета. На рис. 4 показана магнитная цепь генератора комбинированного возбуждения.

Модель расчета магнитной цепи генератора построена на основе метода схем замещения по следующим участкам: воздушный зазор, зубец обмотки якоря, спинка якоря, торцевая часть магнитопровода якоря, осевая часть магнитопровода якоря, постоянный магнит, вкладыш магнитопровода индуктора, осевая часть магнитопровода индуктора.

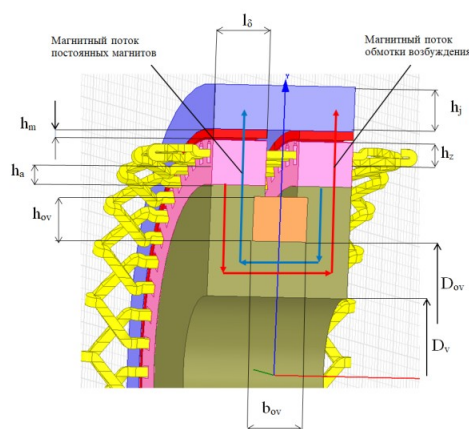


Рисунок 4. Магнитная цепь генератора комбинированного возбуждения.

При разработке математической модели расчета всего генератора входные параметры разделим на три независимые группы:

1. Константы. Это параметры, которые не меняются для данной проектной ситуации. Как правило, это исходные данные технического задания

на проектирование (номинальная мощность, номинальное напряжение, номинальная частота вращения и т. д.).

2. Ограничения. Это параметры, которые нельзя нарушать. Ограничения на модель могут наложить технологические службы (минимальная и максимальная высота магнита, минимальная ширина зубца, минимальная высота спинки, минимальный воздушный зазор), условия эксплуатации (максимально допустимый нагрев обмотки по выбранному классу изоляции, максимально допустимый нагрев постоянного магнита по условиям размагничивания) или заданная точность расчета параметров.

3. Независимые переменные. Это параметры, которые могут варьироваться независимо друг от друга в допустимых пределах. Как правило, это геометрические размеры якоря и индуктора.

Выходными параметрами математической модели являются показатели, полученные по результатам расчета, которые определяют качество спроектированной машины. Как правило, это массогабаритные или энергетические характеристики. Их выбор определяется конкретной проектной ситуацией. Математическая модель по приведенному алгоритму реализована в программной среде Delphi и включена в программный комплекс многоуровневой оптимизации ВГКВ. Приведенные аналитические зависимости содержат все основные взаимосвязи между геометрией и характеристиками.

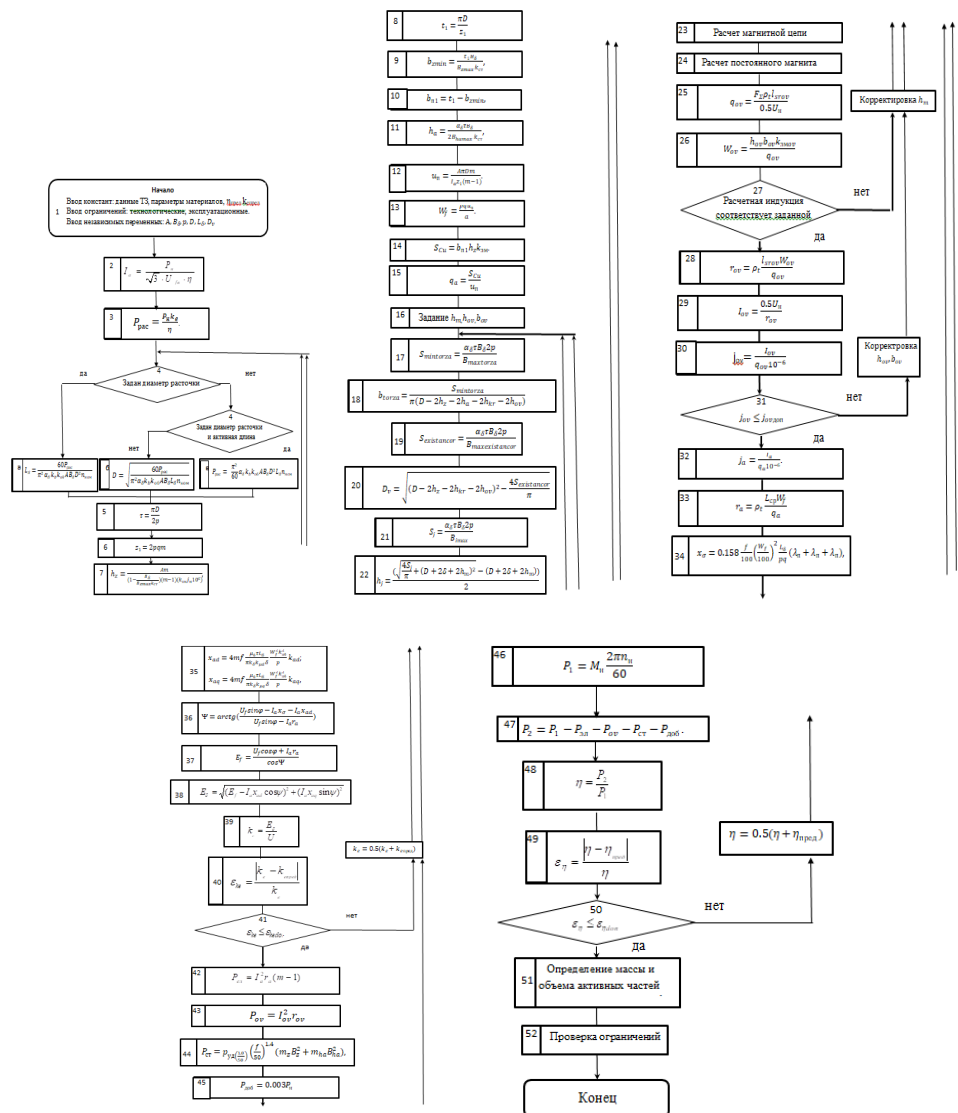


Рисунок 5. Блок-схема алгоритма электромагнитного расчета

В третьей главе представлена разработка системы оптимального проектирования ВГКВ для различных проектных ситуаций.

Одним из требований системы оптимального проектирования, ориентированной на сквозную технологию, является гибкость, то есть возможность осуществления для одной и той же конструкции различных уровней оптимизации. Если при поиске оптимума изменяются все независимые переменные, то решается самая сложная задача полной габаритной оптимизации. Но достаточно часто возникают проектные ситуации, для которых некоторые размеры или группа размеров должны быть фиксированными. Например, заданы наружный или внутренний диаметр при встраивании изделия в ограниченный объем, заданы габариты и так далее. При этих проектных ситуациях реализуются оптимизации более низкого уровня.

Подсистема синтеза реализует однокритериальную оптимизацию геометрии ВГКВ, но, в зависимости от проектной ситуации, критерий оптимизации может быть изменен и выбран из набора предложенных показателей качества.

Сформулируем задачу однокритериальной оптимизации ВГКВ в классической постановке: для заданных параметров (конкретного исполнения, материалов, исходных данных технического задания), при заданных ограничениях, необходимо, делая перебор независимых переменных по определенному алгоритму, определить геометрию, которая обеспечивала бы экстремальное значение выбранного критерия. В качестве констант в программе фигурируют данные технического задания и, в зависимости от уровня оптимизации, фиксированные геометрические размеры. В качестве ограничений выступают параметры, определяющие точность расчета, требования технологии изготовления и требования по условиям эксплуатации. Выбор критерия оптимальности определяется конкретной проектной ситуацией из следующего предложенного набора: минимальная масса активных материалов, минимальный объем магнитной системы, минимальная масса постоянных магнитов, минимальный вес якорной обмотки.

Данная постановка задачи оптимального проектирования легла в основу построения оптимизационной системы.

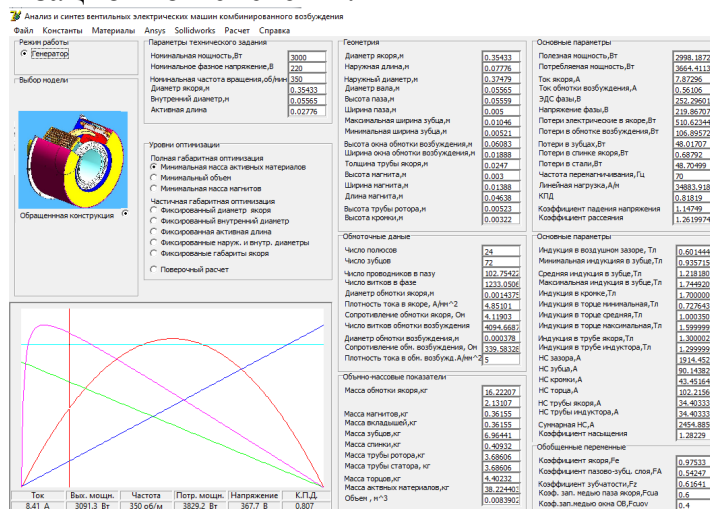


Рисунок 6. Интерфейс системы однокритериальной многоуровневой оптимизации ВГКВ

Для блока оптимизатора выбран алгоритм, сочетающий в себе детерминированный метод покоординатного спуска (Гаусса-Зейделя) при движении к экстремуму с методом однопараметрической оптимизации Фибоначчи, при выборе длины шага поиска. Этот метод показал хорошие результаты при оптимизации вентильных машин других типов.

В систему синтеза ВГКВ заложены следующие уровни оптимизации:

- полная габаритная оптимизация;
- габаритная оптимизация при фиксированном числе пар полюсов;
- габаритная оптимизация при фиксированном наружном диаметре;
- габаритная оптимизация при фиксированном внутреннем диаметре;
- габаритная оптимизация при фиксированной наружной длине;
- габаритная оптимизация при фиксированном наружном и внутреннем диаметрах;
- оптимизация при фиксированном наружном, внутреннем диаметрах и наружной длине (в заданных габаритах);
- оптимизация при заданных размерах постоянного магнита.

На основе данной концепции однокритериальной многоуровневой оптимизации с применением языка программирования высокого уровня Delphi была разработана система оптимального проектирования ВГКВ для различных проектных ситуаций. Интерфейс программы синтеза показан на рис. 6.

Четвертая глава посвящена разработке системы анализа электромагнитного и теплового состояния ВГКВ.

После проведения оптимизационных расчетов возникает объективная необходимость в проведении подробного анализа спроектированного генератора. Это связано с тем, что расчетные модели, которые включены в оптимизационный цикл, максимально упрощены из-за экономии времени работы компьютера. Они рассчитывают минимальное количество параметров, не содержат процедур детального расчета электромагнитного поля и поля температур. Анализ теплового состояния очень важен для ВГКВ, так как недопустимый перегрев может привести к размагничиванию постоянных магнитов.

Подсистемы электромагнитного и теплового анализа выполнены как самостоятельные блоки. Их можно использовать обособленно друг от друга и от предложенной системы оптимизации. Но разрозненное их использование затрудняет подготовку исходных данных и во многом снижает их эффективность, поэтому подсистема синтеза оптимальной геометрии и подсистема анализа магнитного и теплового состояния ВГКВ были включены в единый программный комплекс.

Из сложившейся практики по разработке конкретных проектов для разработки системы анализа электромагнитного состояния была выбрана САД система Ansys Electronics Desktop, предназначенная для полевого расчета электромеханических преобразователей, и программный комплекс Ansys Iserack для решения термодинамической задачи и расчета поля температур.

Предлагаемая конструкция ВГКВ является уникальной и не входит в базу типовых конструкций Ansys Electronics Desktop. Кроме этого, геометрия генератора не имеет плоской симметрии, поэтому для анализа ВГКВ

необходимо создавать 3D модель с использованием встроенного в систему инструментария.

Процедуру построения модели для анализа выполняют скрипты. В них записывается информация, полученная по результатам оптимизации, и далее по этой информации команды скриптов выстраивают модель в автоматическом режиме.

Для упрощения расчета и сокращения объема вычислений была использована осевая симметрия генератора, которая позволила определить параметры одного полюсного деления. Полные характеристики определялись умножением результатов на количество составляющих частей. Для анализа электромагнитного состояния был использован режим Transient, который позволяет проводить анализ динамических характеристик с учетом взаимного перемещения статора и ротора. Результаты создания трехмерной модели и расчета магнитного поля для генератора 3 кВт, 220 В, 350 об/мин приведены на рис.7.

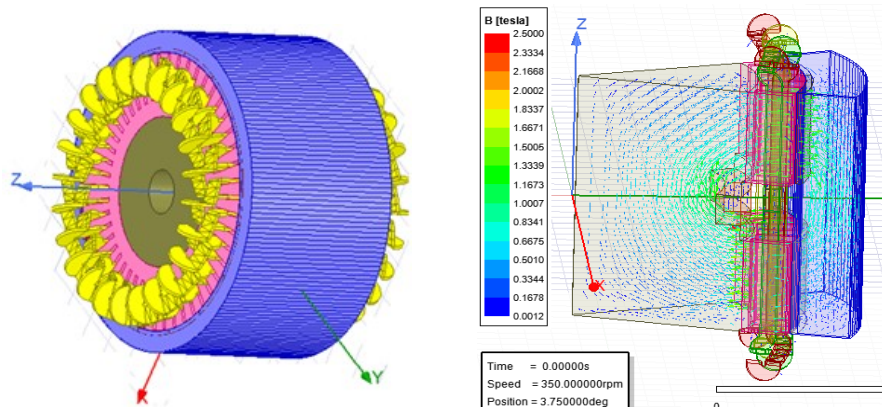


Рисунок 7. Трехмерная модель генератора и результаты расчета поля

Ansys Electronics Desktop позволяет учитывать влияние электронной системы управления на работу электрической машины. Принципиальная схема строится с использованием программы имитатора электронных схем Maxwell Circuit, которая является приложением программы (рис.8 а).

Подсистема электромагнитного анализа опробована при разработке макетного образца гидрогенератора 3 кВт. Расчетное значение выпрямленного напряжения показывает, что обмотка возбуждения достаточно эффективно стабилизирует напряжение в заданном диапазоне, а мгновенное значение выходной мощности подтверждает соответствие генератора одному из основных параметров (рис.8.б).

а)

б)

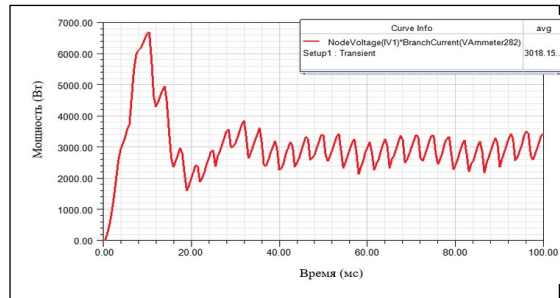
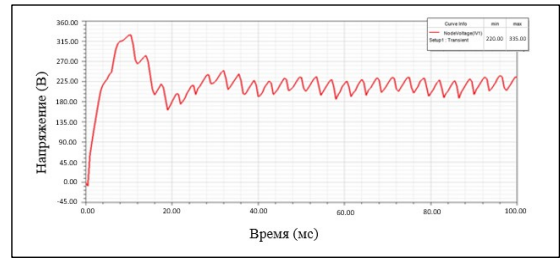
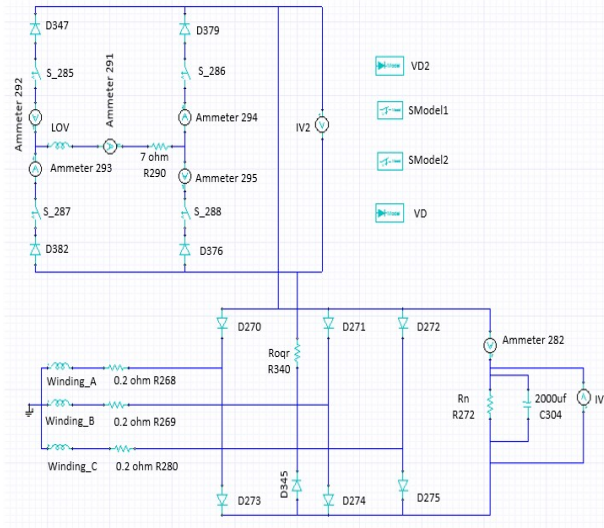
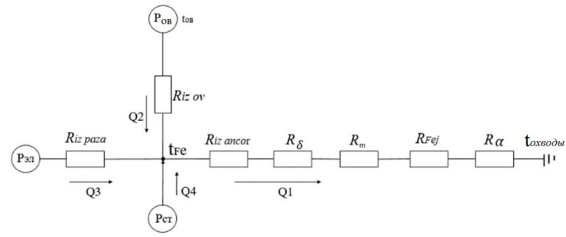
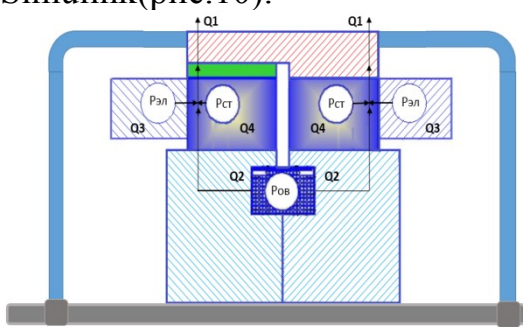


Рисунок 8. Схема имитатора регулятора напряжения, расчетные значения мгновенного выходного напряжения и мгновенной выходной мощности.

Тепловой анализ реализован в два этапа. На первом этапе выполнен анализ теплового состояния на основе метода тепловых схем замещения.

Схема тепловых потоков, эквивалентная тепловая схема замещения и уравнения, описывающие эту схему, представлены на рис.9. По этим уравнениям составлена тепловая схема замещения в программе Matlab Simulink(рис.10).



$$\begin{cases} P_{эл} + P_{ст} + P_{об} = Q_1 \\ t_{об} - t_{Fe} = P_{эл} R_{изрз} \\ t_{об} - t_{Fe} = P_{об} R_{исов} \\ t_{Fe} - t_{оxвoды} = Q_1 (R_{исанкор} + R_{\delta} + R_m + R_{fej} + R_{\alpha}) \end{cases}$$

Рисунок 9. Схема тепловых потоков, эквивалентная тепловая схема замещения и система уравнений для схемы.

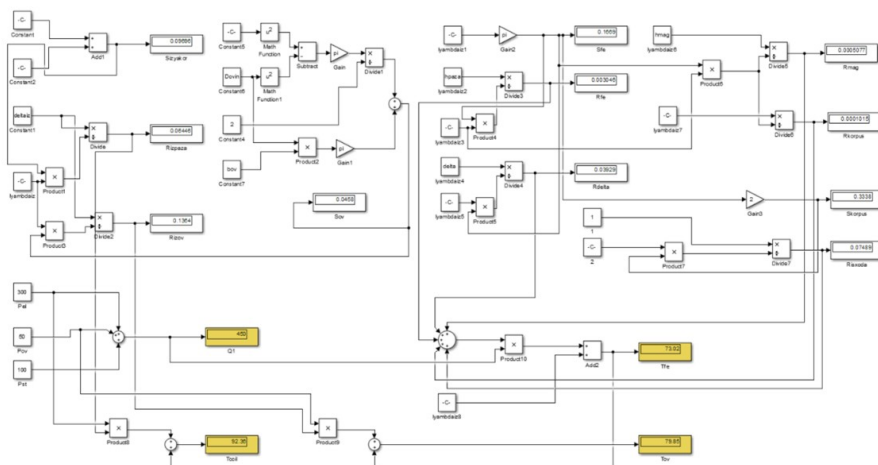


Рисунок 10. Тепловая модель ВГКВ.

Данная тепловая модель использовалась для определения средних температур генератора при различных токовых нагрузках в зависимости от режима работы.

На втором этапе реализован более точный расчет с использованием метода конечных элементов, который реализует программа Ansys Iserack. Расчет теплового состояния на основе метода конечных элементов реализован по следующей расчетной схеме. Первоначально выполнен расчет электромагнитного состояния генератора в программе Ansys Electronics Desktop. По результатам этого расчета более точно определялись потери в стали, в меди обмотки якоря и меди обмотки возбуждения. Далее данные передавались в программную оболочку Workbench. Она является связующим звеном с программой теплового расчета. На следующем этапе данные передавались непосредственно в программу расчета теплового поля Iserack.

В программе Iserack производилась окончательная настройка тепловой задачи: уточнялись материалы с учетом их термодинамических свойств, задавались размеры области, в которой осуществляется теплообмен, задавалась скорость охлаждающего агента и характер его движения (ламинарное, турбулентное), настраивалась расчетная сетка.

В результате расчета определялась температура в каждом элементе, на которые разбита модель генератора. Таким образом, система рассчитывала поле температур в отличие от интегральной температуры, которую определил метод тепловых схем замещения. Распределение температуры для 3D модели, содержащей ротор, статор, катушки и магниты, показано на рис. 11.

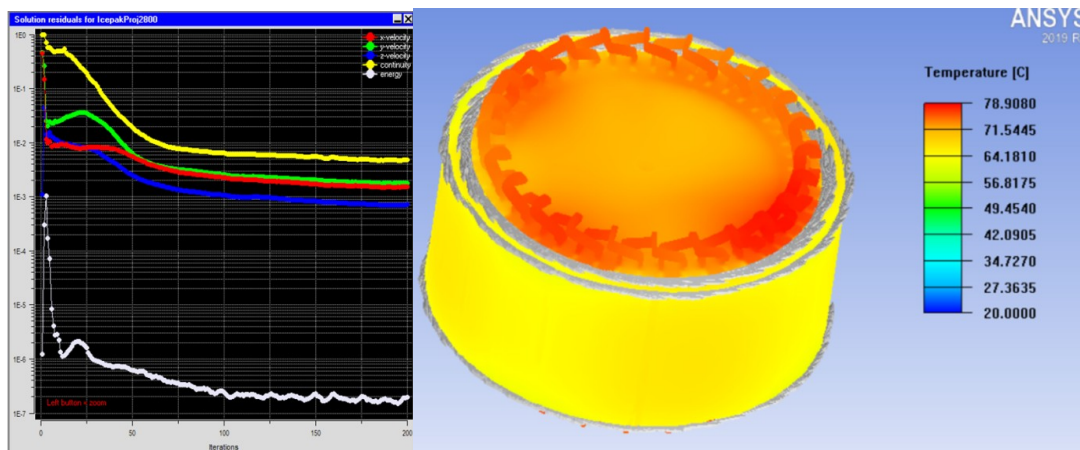


Рисунок 11. График сходимости теплового процесса и поле температур ВГКВ.

Наиболее нагретыми частям в генераторе комбинированного возбуждения является обмотка якоря и обмотка возбуждения. Проведенные расчеты для конкретных проектов показали, что температуры, рассчитанные двумя разными методами, достаточно близки, при этом метод тепловых схем замещения дает более пессимистичную картину по нагреву для обмотки якоря. Это можно объяснить тем, что в схеме замещения не учитывается сход тепла с лобовых частей обмотки.

В пятой главе дается описание проектной системы в целом, включая подсистему синтеза и подсистему анализа. Блок-схема проектной системы представлена на рис.12.

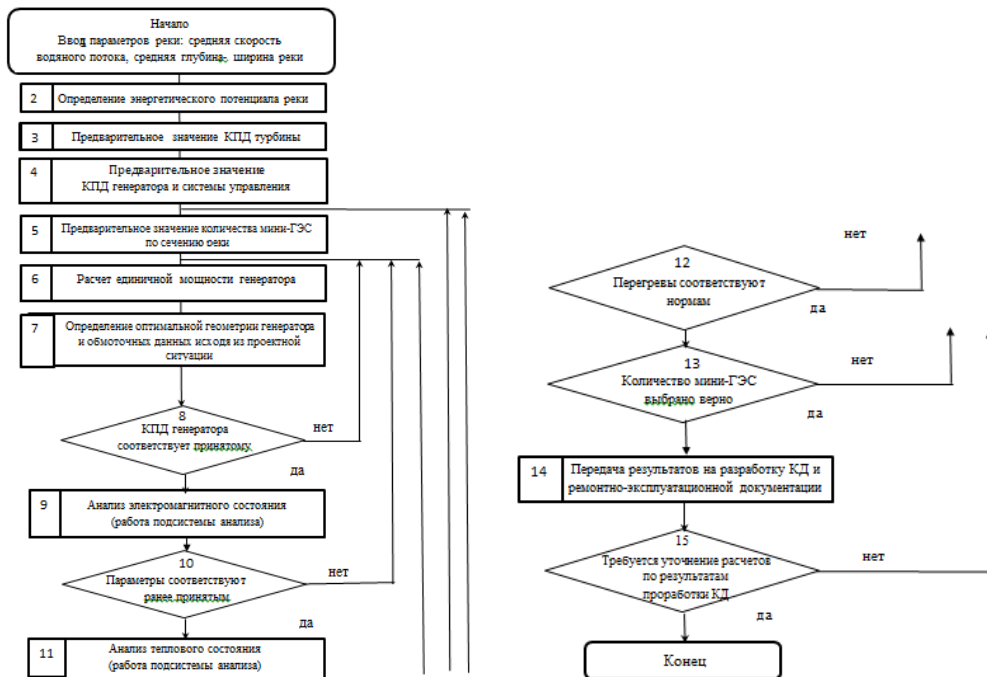


Рисунок 12. Структурная блок-схема проектной системы

Данная проектная система связывает в единый комплекс задачи синтеза и анализа. В процессе проектирования происходит взаимная передача данных из одной подсистемы в другую, что оперативно позволяет осуществлять циклы проектирования.

Разработанная проектная система опробована на различных конкретных проектах, в частности, в работе показана эффективность работы проектной системы на примере проектирования мини-ГЭС для реки Искандердарья (Таджикистан). В результате спроектирована мини-ГЭС, состоящая из 4 гидрогенераторов с параметрами 3 кВт, 350 об/мин, 220 В.

Разработана конструкция гидрогенератора в программной среде Solid works. Трехмерная твердотельная модель генератора представлена на рис.13

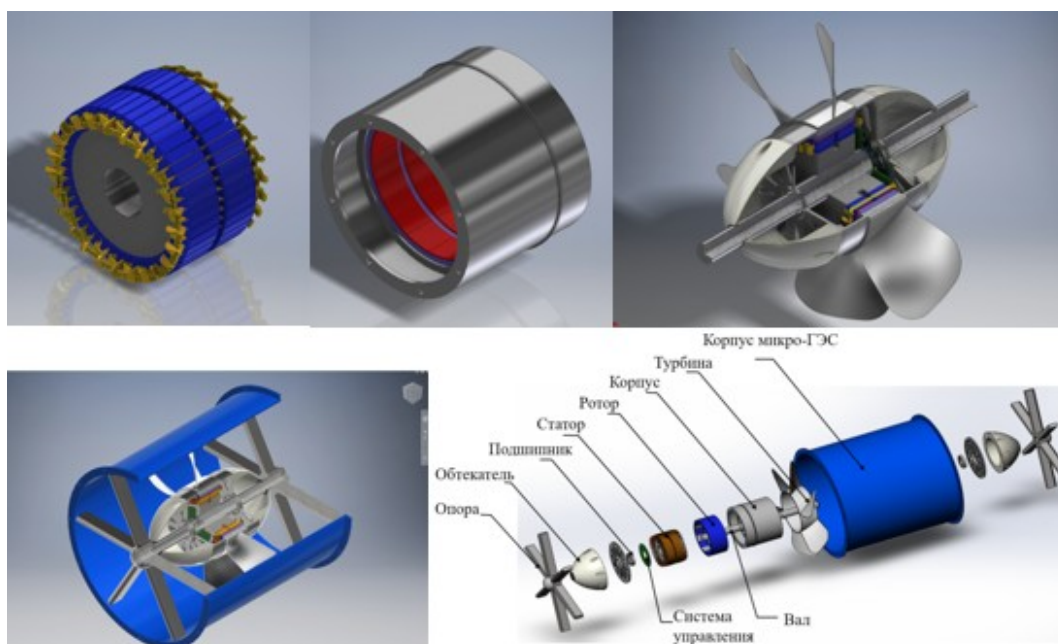


Рисунок 13. Трехмерная твердотельная модель гидрогенератора 3 кВт, 350 об/мин, 220 В, выполненная в Solid works

Для проверки собираемости и отработки вопросов по технологичности конструкции была изготовлена масштабная пластмассовая конструкция модели гидрогенератора с использованием технологии 3D принтера.

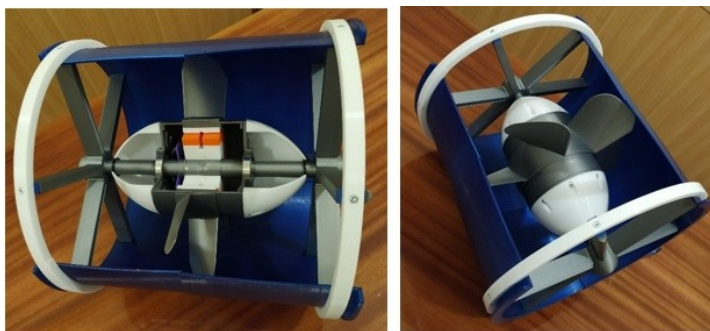


Рисунок 14. Фотографии масштабной модели гидрогенератора изготовленной по технологии 3D принтера

В настоящее время планируется изготовление опытного образца гидрогенератора 3 кВт. На данном образце будут проведены натурные испытания мини-ГЭС.

Заключение

В диссертационной работе содержатся научно доказанные теоретические положения оптимального проектирования мини-ГЭС, использующие энергетический потенциал малых и средних рек. Основная концепция проведенной научной работы заключается в том, что для эффективного использования малых и средних водных ресурсов необходимо идти не по пути разработки ряда гидрогенераторов, отличающихся по мощности, а проектировать гидрогенераторы для конкретной реки и конкретного места установки мини-ГЭС. Для этой цели была разработана проектная система проектирования таких гидроэлектростанций. В результате расширена существующая теоретическая база по проектированию специальных гидрогенераторов. Решенная техническая задача позволяет внести значительный вклад в развитие отечественного электромашиностроения, играющего важную роль в экономике страны.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований автором получены следующие основные результаты:

1. На основании обзора водных ресурсов РФ и ближнего зарубежья в качестве основного конструктивного варианта выбрана мини – ГЭС, которая использует энергию свободного течения воды. Данный выбор обусловлен, в основном, требованиями экологии и эстетики для места расположения станции. Мини – ГЭС состоит из генератора переменного тока, встроенного в него выпрямителя, преобразующего переменный ток в постоянный, накопителя электроэнергии в виде аккумуляторной батареи, инвертора, преобразующего постоянный ток в стандартный переменный. В качестве электрической машины выбран генератор комбинированного возбуждения уникальной конструкции, на которую имеется патент РФ. Выбор типа генератора определяется возможностью регулирования выходного напряжения по цепи возбуждения, что во многом упрощает систему автоматизированного управления мини-ГЭС.

Для обеспечения гидроизоляции водопогружного генератора принято решение наполнить его маслом с применением компенсаторов давления.

2. Разработана методика расчета постоянного магнита, учитывающая все особенности магнитных систем вентильных электродвигателей. Данная методика построена на основе метода конечных элементов, но содержит ограниченное наперед заданное количество уравнений, что позволяет включить расчетную математическую модель в большое число оптимизационных циклов. Расчетная модель параметризована и может рассчитывать магниты любых габаритов. На основе данного подхода разработана инженерная методика расчета постоянного магнита.

3. Разработана математическая модель расчета ВГКВ. В математической модели определены основные аналитические зависимости между электромагнитными величинами, константы, технологические и эксплуатационные ограничения, независимые переменные. Формализованы показатели качества. Математическая модель реализована в программной среде Delphi и является основой для разработки системы оптимального проектирования ВГКВ.

4. Разработана подсистема синтеза оптимальной геометрии ВГКВ. Основу ее составила многоуровневая однокритериальная оптимизация, при этом в зависимости от проектной ситуации имеется возможность выбора заданных критериев. Формализованы 8 уровней оптимизации геометрии ВГКВ. Для каждого уровня определена система констант, ограничений, независимых переменных и критериев оптимальности. С учетом выбора различных критериев система позволяет реализовать до 12 проектных ситуаций, закрывая практически все потребности реального проектирования ВГКВ данной конструкции.

5. Разработана подсистема анализа проектной системы. Подсистема анализа включает в себя оценку электромагнитного состояния и оценку теплового состояния гидрогенератора. В основу подсистемы анализа положены разработанные и проверенные на практике САД программы, реализующие метод конечных элементов. Подсистема анализа связана с подсистемой синтеза общей оболочкой и входит в общую проектную систему по созданию гидрогенераторов данного типа. При работе подсистемы анализа в автоматическом режиме создается трехмерная твердотельная модель генератора и электронная система управления. Модель электромагнитного анализа является цифровым двойником реального образца и электроники.

6. Разработанная подсистема теплового анализа реализована в два этапа. На первом этапе используется метод тепловых схем замещения, на основании которого определяются усреднённые температуры нагрева частей гидрогенератора. На втором этапе применена САД система Ansys Icerak, реализующая метод конечных элементов. Для построения тепловой модели второго этапа решается связанная электромагнитная и тепловая задача. В результате рассчитывается поле температур с учетом локальных перегревов.

7. Доказана работоспособность и эффективность работы проектной системы при разработке конкретной мини – ГЭС для реки Искандердарья (Таджикистан). С помощью системы определена оптимальная геометрия и основные параметры и характеристик мини – ГЭС, состоящей из 4

гидрогенераторов. Результаты работы проектной системы легли в основу разработки опытного образца гидрогенератора 3 кВт, 220 В, 350 об/мин. Создана трехмерная твердотельная модель гидрогенератора по которой сделан комплект конструкторской документации и изготовлены основные сборочные единицы.

8. Метод расчета постоянного магнита, методика расчета электрической машины комбинированного возбуждения внедрены в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника в курсе «Проектирование специальных электрических машин».

Дальнейшее развитие данного научного исследования возможно в следующих основных направлениях:

- расширение возможностей созданной проектной системы в плане включения в нее других конструкций генераторов, в том числе генераторов комбинированного возбуждения нормального исполнения, магнитоэлектрических генераторов с постоянными магнитами;

- дополнение данной проектной системы гидравлическими расчетами, которые позволят более точно рассчитывать гидравлические потери в турбине гидрогенератора;

- дополнение проектной системы функциями создания трехмерных твердотельных моделей в автоматическом режиме для автоматизации конструкторских работ.

В перспективе данная конструкторская система должна составить основу сквозного проектирования мини-ГЭС данного типа.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК и аттестационным советом УрФУ:

1. **Аминов Д.С.** Применение программного комплекса Ansys Electronics Desktop для анализа водопогружного гидрогенератора комбинированного возбуждения / Аминов Д.С. // Журнал «Электротехнические системы и комплексы» – 2020. – №1(46), – С. 13–18. 0.37 п.л.

2. **Аминов Д.С.** Разработка водопогружного гидрогенератора комбинированного возбуждения для освоения энергии малых и средних рек/ Ганджа С.А., Аминов Д.С., Косимов Б.И. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета «Электротехника, информационные технологии, системы управления». – 2020. – № 34. – С. 27 – 44. 1.2 п.л./ 0.4 п.л.

3. **Аминов Д.С.** Применение водопогружного гидрогенератора комбинированного возбуждения в качестве альтернативного источника энергии для малых и средних рек / Ганджа С.А., Аминов Д.С., Косимов Б.И. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия "Энергетика". – 2019. – №4. – С. 102 – 111. 0.56 п.л./ 0.2 п.л.

4. **Аминов Д.С.** Разработка инженерной методики расчета магнитных систем с постоянными магнитами на основе метода конечных элементов / Ганджа С.А., Аминов Д.С., Косимов Б.И., Ниматов Р.Р. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета

«Электротехника, информационные технологии, системы управления». –2019. – № 29. – С. 58 – 74. 1.0 п.л./ 0.25 п.л.

5. **Aminov D.** Development of Water Submersible Gyro Generator of Combined Excitation for Energy Development of Small and Medium Rivers / Gandzha S., Aminov D., Sogrin A. // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia, 2020. – Pp. 1–5. 9112084. (Scopus). 0.31 п.л./0.10 п.л.

6. **Aminov D.** Development of system of multi-level optimization for Brushless Direct Current Electric Machines / Gandzha S., Kosimov B., Aminov D. // International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Chelyabinsk, Russia, 2019. – Pp. 355–360. 8877650. (Scopus). 0.37 п.л. / 0.12 п.л.

7. **Aminov D.** Application of the Combined Excitation Submersible Hydrogenerator as an Alternative Energy Source for Small and Medium Rivers / Gandzha S., Aminov D., Kosimov B. // IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research & Practice (PEAMI), Magnitogorsk, Russia, 2019. – Pp. 30–35. 8915294. (Web of Science, Scopus). 0.37 п.л. / 0.12 п.л.

8. **Aminov D.** Development of a concept of an energy-efficient house for an environmentally friendly settlement in the South Ural / Gandzha S. Aminov D., Kosimov B., Nimatov R. Davlatov A and Mahmudov A // International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE – 2019). Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. 18 December 2019 St. Petersburg, Russia. – pp. 1–4 11009. (Scopus). 0.25 п.л. / 0.04 п.л.

9. **Aminov D.** Development of Engineering Technique for Calculating Magnet Systems with Permanent Magnets / Gandzha S., Kiessh I., Aminov D. // 2018 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Moscow, Russia, 2018. – Pp. 1–4. 8728650. (Web of Science, Scopus). 0.25 п.л. / 0.1 п.л.

10. **Aminov D.** Design of Brushless Electric Machine with Axial Magnetic Flux Based on the Use of Nomograms / Gandzha S., Aminov D., Kosimov B. // International Ural Conference on Green Energy (UralCon), Chelyabinsk, 2018. – pp. 282–287. 8544320. (Web of Science, Scopus). 0.37 п.л. / 0.12 п.л.

Публикации в других изданиях

11. **АМИНОВ Д.С.** Тенденции использования малых гидроэлектростанций в качестве возобновляемых источников энергии в странах центральной Азии / Ганджа С.А., Аминов Д.С., Косимов Б.И. // Научно-технические ведомости Севмашвуза. Издательство: Коптяев Евгений Николаевич, 2019. – №2, – С. 4–10. 0.38 п.л. / 0.12 п.л.

12. **АМИНОВ Д.С.** Разработка водопогружного гидрогенератора в качестве возобновляемого источника электроэнергии малых рек / Ганджа С.А., Аминов Д.С. // Десятая научная конференция аспирантов и докторантов ЮУрГУ. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – С. 82-87; 0.31 п.л./0.16 п.л.

13. **АМИНОВ Д.С.** Математическое моделирование постоянного магнита для оптимизации вентильных электрических машин возобновляемых источников энергии / Ганджа С.А., Аминов Д.С., Косимов Б.И. // Наука ЮУрГУ. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – С. 420–428; 0.5 п.л. / 0.17 п.л.

14. **Аминов Д.С.** Использование малых гидроэлектростанций в качестве возобновляемых источников энергии / Аминов Д.С., Косимов Б.И., Ниматов Р.Р. // Приоритетные направления развития энергетики в АПК Сборник статей по материалам II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Под общей редакцией С.Ф. Сухановой. Издательство: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева (Лесниково). 2018. – С. 70-75. 0.31 п.л. / 0.1 п.л.

15. **Аминов Д.С.** Комбинирования система бесперебойного питания на базе солнечных панелей, ветроэнергетической установки, гидрогенератора, аккумуляторной батареи и дизель – генератора / Аминов Д.С., Ниматов Р.Р., Косимов Б.И // Десятая научная конференция аспирантов и докторантов ЮУрГУ. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – С. 102–106. 0.25 п.л. / 0.1 п.л.

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 06.10.2020. Формат 60x84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 80 экз. Заказ 291.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76.