

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук

Казакова Юрия Борисовича

на диссертационную работу Аминова Дилшоода Саидовича

**«Теоретические основы разработки водопогружных гидрогенераторов, используемых в качестве возобновляемых источников электроэнергии малых и средних рек»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты

### **Структура и объем диссертационной работы**

Структура диссертационной работы общепринятая, имеет четкое логическое построение. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка (201 наименование), приложений. Диссертация изложена на 159 страницах основного текста, содержит 46 иллюстраций и 3 таблицы. По диссертационной работе сделаны выводы, представляющие результаты работы, рекомендации их практического применения и перспективы развития темы. Диссертационная работа изложена логичным, аргументированным и ясным языком, технически корректно оформлена. Во всех разделах диссертации автор использует доказательный стиль изложения.

### **Актуальность темы**

Анализ суммарного энергетического потенциала малых и средних рек показывает, что он в несколько раз может превосходить энергетический потенциал больших рек. Энергетический потенциал больших рек практически уже использован - на них построены и работают мощные гидроэлектростанции. Малые и средние реки обладают недоиспользованным возобновляемым потенциалом для выработки электроэнергии. В связи с этим проблема освоения энергоресурса малых и средних рек является важной и актуальной научной задачей. Специфика малых и средних рек - переменная скорость течения, небольшая мощность водяного потока, небольшая глубина реки, особенности рельефа; требует разработки и применения, наиболее подходящих к этим условиям, электрических генераторов. В связи с этим диссертация Аминова Д.С., посвященная разработке и исследованию вентильных машин комбинированного возбуждения, работающих в качестве водопогружных гидрогенераторов мини-ГЭС, способных использовать энергетический потенциал возобновляемых источников электроэнергии малых и средних рек, является актуальной.

**В первой главе** приводится классификация малых и средних рек России и ближнего зарубежья, оценивается их энергетический потенциал, определяется основная структура мини-ГЭС, в качестве базовой конструкции для гидрогенератора мини-ГЭС выбирается вентильный генератор комбинированного возбуждения.

**Вторая глава** посвящена разработке математической модели вентильного генератора комбинированного возбуждения. Модель упрощена и построена на основе метода эквивалентных схем замещения, что позволило ее использовать в процессе дальнейшей оптимизации с большим количеством циклических вычислений. Интерес представляет методика расчета постоянного магнита. Магнитное поле постоянного магнита рассчитывается с использованием метода конечных элементов, но число элементов заранее определено и для них прописаны уравнения взаимосвязей, которые

составляют глобальную матрицу. Модель расчета магнитного поля постоянного магнита параметризована. Такой подход позволил получить простую, но достаточно точную расчетную модель генератора комбинированного возбуждения.

**В третьей главе** разрабатывается система оптимизации вентильного генератора комбинированного возбуждения. Доработана концепция многоуровневой однокритериальной оптимизации для задач проектирования.

**Четвертая глава** содержит описание системы анализа полученных результатов по окончании оптимизационных расчетов. Она построена на основе разработанного программного обеспечения для расчета характеристик генератора комбинированного возбуждения с использованием метода конечных элементов. Распространенные программные пакеты объединены в единую оболочку, что позволило решать связанные задачи по анализу электромагнитного и теплового состояния вентильного генератора комбинированного возбуждения.

**В пятой главе** представлена разработка проектной системы вентильного генератора комбинированного возбуждения, содержащая этапы синтеза и подробного анализа. Проектная система проверяется на конкретном техническом задании при разработке вентильного генератора комбинированного возбуждения для мини-ГЭС на одной из рек Таджикистана.

**В заключении** содержатся выводы, сделанные по результатам всей работы, определяются направления дальнейших исследований по применению вентильных генераторов комбинированного возбуждения при создании мини-ГЭС.

#### **Научная новизна:**

- Разработан **метод** расчета магнитной системы вентильных электрических машин комбинированного возбуждения, отличающийся учетом особенностей конструкции машины на основе применения полевых моделей с заранее определенным числом элементов для возможности использования в процессе оптимизации конструкции.

- Разработана математическая **модель** многоуровневой однокритериальной оптимизации генератора комбинированного возбуждения по выбранному критерию, отличающаяся возможностью определения функции цели по результатам расчетов физических полей.

- Разработана математическая **модель** связанного анализа электромагнитного и теплового состояний генератора комбинированного возбуждения, отличающаяся решением взаимозависимых электромагнитной и тепловой задач с учетом особенностей конструкции генератора комбинированного возбуждения.

- Разработана гибкая **проектная система** вентильного генератора комбинированного возбуждения, отличающаяся использованием результатов многоуровневой оптимизации.

#### **Теоретическая и практическая значимость результатов работы**

Теоретическая значимость результатов диссертации заключается в дальнейшем развитии теории вентильных машин комбинированного возбуждения, в разработанных математических моделях, методиках расчета и программах, позволяющих проводить уточненное комплексное моделирование и исследование электромеханических и тепловых процессов в вентильных генераторах комбинированного возбуждения, системе проектирования таких машин.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в: повышении точности расчета характеристик вентильных генераторов комбинированного возбуж-

дения; возможности разработки усовершенствованных конструкций таких генераторов; использовании результатов исследований в учебном процессе ВУЗов и каскаде Варобских ГЭС, что подтверждено Актами внедрения.

### **Рекомендации по дальнейшему использованию результатов работы**

Полученные в диссертации результаты целесообразны к дальнейшему использованию в научно-исследовательских организациях при разработке новых перспективных электрических генераторах мини-ГЭС, на предприятиях для оценки и выбора конструкций электрических генераторах, в учебном процессе технических ВУЗов.

### **Достоверность результатов работы**

Достоверность полученных результатов и выводов обоснована корректным использованием теории электромеханического преобразования энергии, математических методов моделирования электромагнитных и электромеханических процессов, численных методов расчетов физических полей на основе метода конечных элементов с использованием известных компьютерных систем моделирования. Проведенные теоретические исследования и расчеты на основе разработанных математических моделей, методик и программ подкреплены изготовлением с использованием технологии 3D принтера масштабной модели генератора, что является дополнительным подтверждением корректности конструкторских решений и собираемости изделия.

### **Полнота опубликования и апробации основных результатов диссертации**

Основные положения диссертации достаточно полно изложены в 15 работах, из которых 4 статьи опубликованы в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и 6 работ индексированы в базе данных Scopus. Результаты исследований докладывались на Международных и Всероссийских конференциях. Это позволяет утверждать, что полученные результаты опубликованы с достаточной полнотой.

**Соответствие паспорту специальности.** Диссертация соответствует специальности 05.09.01 - Электромеханика и электрические аппараты и может быть рассмотрена в диссертационном совете УрФУ 05.01.02.

**Автореферат** отражает основное содержание диссертации, содержит выводы и полученные результаты исследования.

### **Замечания по работе**

1. При выборе базовой конструкции генератора с учетом переменной скорости течения малых и средних рек недостаточно проанализированы возможности применения традиционных синхронных генераторов, магнитоэлектрических генераторов с постоянными магнитами и, особенно, асинхронизированных гидрогенераторов.

2. Для разработки расчетных моделей генераторов параметризуются и анализируются магниты только прямоугольной формы с одноосевым вектором намагниченности. Не рассматриваются постоянные магниты других форм, с распределенными по элементам магнита векторами намагниченности.

3. В разработанном методе расчета постоянного магнита магнитная проницаемость ферромагнитных участков принимается постоянной, хотя в реальных магнитных систе-

мах насыщенность участков магнитной цепи меняется и зависит от многих факторов. Не оценена погрешность этого допущения.

4. При описании электромагнитных и тепловых процессов в вентильном генераторе не отражен вентильный характер работы. Магнитная цепь генератора комбинированного возбуждения имеет сложную форму, магнитный поток в вентильном генераторе меняется для обеспечения стабильности выпрямленного выходного напряжения.

5. Разработанная проектная система имеет ограничения - 8 уровней оптимизации для предполагаемых проектных ситуаций. На практике число проектных ситуаций может быть больше. Не проанализированы случаи, когда по техническому заданию заказчика ни один уровень не удовлетворяет.

6. Нет свидетельств на программные продукты, разработанные и описанные в работе (стр. 44. «Фрагмент реализации методики в программе Mathcad»; стр. 72 «Математическая модель по приведенному алгоритму реализована в программной среде Delphi и включена в программный комплекс ...»; Заключение: п.4 «..подсистема синтеза оптимальной геометрии..»; п.5 «..подсистема анализа проектной системы...в основу подсистемы анализа положены разработанные и проверенные на практике САД программы..»; п.6 «..подсистема теплового анализа..» и др.).

7. Совпадает текст диссертаций Косимова Б.И. стр. 43-47, 69-70, 98-100 и Аминова Д.С. стр. 53-57, 90-91, 104-105, посвященный описанию общих подходов к оптимизации. Однако в целом степень оригинальности текста диссертации высокая и достаточная.

8. Присутствуют недочеты в стилистике и оформлении диссертации (научная новизна не сформулирована в виде ряда конкретных положений; в выражении 2.36 ошибочно введено  $\ln$ ; рис. 2.2 и 2.4 диссертации, рис. 2 автореферата – ошибки обозначения; в главу 4 «Разработка системы анализа электромагнитного состояния ВГКВ» включены разделы по тепловому анализу). Присутствуют безапелляционные и не подкрепленные результатами утверждения, например, «...методика расчета постоянного магнита, учитывающая **все** особенности магнитных систем», «Возобновляемые с источники ... имеют **неограниченный** ресурс», «Анализ (где?) целевых функций показал, что для ВГКВ задачу оптимизации можно ограничить поиском локального экстремума, который является единственным, не усложняя задачу поиском глобального экстремума». Разделы 5.1 и 5.2 к специальности «Электромеханика и электрические аппараты» отношения не имеют, так как рассматривают **гидротехнический** анализ **водного** потенциала реки. Не обоснованно включение в список используемых источников публикаций [5,6,10,11,12,37,59,138,177], посвященных ветрогенераторам, ссылки [184-189] не соответствуют темам публикаций. Не вычленен личный вклад в статье: Ганджа С.А., Аминов Д.С., Косимов Б.И., Ниматов Р.Р. Разработка инженерной методики расчета магнитных систем с постоянными магнитами на основе метода конечных элементов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 29. – С. 58 – 74; 1.0 п.л.

Указанные замечания не меняют общего положительного мнения о работе, хотя и отражаются на качестве изложенного материала.

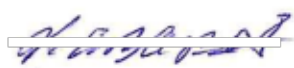
### Заключение по диссертации

Диссертационная работа «Теоретические основы разработки водопогружных гидрогенераторов, используемых в качестве возобновляемых источников электроэнергии малых и средних рек» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача разработки, проектирования и исследования вентильных машин комбинированного возбуждения, работающих в качестве водопогружных гидрогенераторов мини-ГЭС, способных в полной мере использовать энергетический потенциал возобновляемых источников электроэнергии малых и средних рек.

Диссертационное исследование соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.09.01- «Электромеханика и электрические аппараты» (отрасль наук - технические): 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».

Диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней УрФУ. **Аминов Дилшод Саидович** заслуживает присуждения ученой степени **кандидата технических наук** по специальности 05.09.01- «Электромеханика и электрические аппараты».

Официальный оппонент, доктор технических наук (диссертация защищена по специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты), профессор, заведующий кафедрой «Электромеханика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

 **Казаков Юрий Борисович**  
Дата составления отзыва «23» 10 2020

153003, Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, ИГЭУ, корп. А, ауд. 158.  
Телефон: +7 (4932) 269-706  
E\_mail: elmash@em.ispu.ru

Я, Казаков Юрий Борисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись д.т.н., профессора **Казакова Ю.Б.** заверяю:

Ученый секретарь ученого Совета ИГЭУ  **Ширяева Ольга Алексеевна**  
23. «10» 2020 г.

