

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Гулова Дилова Юсуфовича «Разработка электротехнического комплекса диагностики аварийных режимов короткого замыкания генераторов гидроэлектростанций малой и средней мощности», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03-Электротехнические комплексы и системы.

### **Актуальность темы**

Вопросы, связанные с развитием альтернативных источников электроэнергии в России, в последнее время становятся все более актуальными. Достаточно успешно развивается ветроэнергетика и солнечная энергетика. Сложность освоения гидроресурсов связано с тем, что крупные реки в основном уже освоены, а для малых и средних рек необходимо создавать сеть из микро-ГЭС и мини ГЭС. Процесс в этом направлении идет, но его надо неуклонно поддерживать научными исследованиями и инженерными решениями. Диссертационные исследования Гулова Д.Ю., направленные на создание полностью автоматизированных мини-ГЭС без постоянного обслуживания, соответствуют этим тенденциям, и поэтому их следует признать важными и актуальными. Для Республики Таджикистан, имеющей значительные гидроресурсы в силу своего географического положения, решение поставленных научных задач имеет особую значимость.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 153 наименований, 3 приложений. Работа изложена на 148 страницах, из них 118 страницы основного текста. Работа содержит 35 иллюстраций, 15 аналитических выражений, 7 таблиц, 5 приложений.

**В первой главе** показано значение освоения малых и средних рек для Таджикистана, приведена структура современной мини-ГЭС, определена роль диагностической системы аварийных ситуаций для гидроэлектростанций роботов.

**Вторая глава** посвящена созданию системы диагностики коротких замыканий, как основного вида аварийных ситуаций, для якорной обмотки магнитоэлектрического вентильного гидрогенератора. Диагностика построена на цифровой модели электрической машины, в которой якорная обмотка разделена на

отдельные соединенные последовательно проводники. Такой подход позволил эмитировать любые короткие замыкания: межвитковые, межсекционные, межфазовые, замыкание на корпус. Для выявления коротких замыканий предложено новое техническое решение. В якорную обмотку заложена дополнительная диагностическая обмотка, которая по структуре полностью повторяет трехфазную силовую обмотку, но намотанную тонким проводом и работающей на холостом ходу. Обмотка фиксирует магнитную несимметрию, возникающую при коротких замыканиях. Разделение электромагнитных процессов для силовой цепи и информационной цепи позволило надежно определять аварийную ситуацию и предупреждать ее на ранних стадиях.

**В третьей главе** проводится тепловой анализ генератора при аварийных ситуациях коротких замыканий. Тепловая модель строится на основе метода конечных элементов в программе Ansys Icerak. Процедура анализа упрощена за счет того, что электромагнитная модель и тепловая модель взаимосвязаны через оболочку Workbench, при этом рассчитываются переходные и установившиеся тепловые режимы. В модели наглядно показаны локальные перегревы поврежденной фазы.

**Четвертая глава** посвящена экспериментальной проверке применения диагностической обмотки. На опытном образце показана эффективность ее применения для различного числа короткозамкнутых витков. Показан разработанный измерительный комплекс, который может быть включен в общую диагностическую систему.

**В заключении** диссертации приведены основные результаты и выводы, отражающие содержание работы.

**Научная новизна и теоретическая значимость** представленной работы определяется прежде всего новым решением по применению дополнительной диагностической обмотки для выявления коротких замыканий. Кроме этого представляет теоретический интерес созданные цифровые модели электрической машины, в которой якорная обмотка детализирована до отдельных проводников. Такой подход позволил смоделировать различные аварийные ситуации для

электромагнитного анализа и определить локальные перегревы при расчете тепловых полей.

**Практическая ценность результатов работы** заключается в том, что в диссертации предложена и экспериментально проверена новая методика диагностики коротких замыканий. Она более простая и менее затратная по сравнению с системами, основанными на тепловых и магнитных сенсорах, выявляющих локальные перегревы и магнитную несимметрию.

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

Работа имеет практическую направленность и ее результаты можно использовать при разработке реальных автоматизированных мини-ГЭС. Принципы построения цифровых двойников и использования предложенной диагностики можно применять в учебном процессе при подготовке студентов электрических специальностей.

#### **Достоверность результатов работы**

Полученные результаты согласуются с общей теорией электрических машин. Метод симметричных составляющих и метод конечных элементов являются хорошо проверенными на практике методиками анализа, поэтому основные результаты исследования сомнений не вызывают.

#### **Соответствие паспорту специальности**

Проведенные исследования соответствуют следующим пунктам паспорта научной специальности 05.09.03 Электротехнические комплексы и системы: п.1. системных свойств и связей, физическое, математическое, имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем»; п.3. «Разработка, структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления.»; п.4. «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях»; п.5. «Разработка безопасной и эффективной эксплуатации, утилизации и ликвидации электротехнических комплексов и систем после выработки ими положенного ресурса».

## **Апробация диссертации и публикации**

Публикации материалов диссертации в аккредитованных изданиях и рейтинговых научных журналах, а также участие соискателя в международных конференциях говорят о том, что исследования были представлены научному сообществу для анализа и обсуждения основных результатов.

**Автореферат** отражает основное содержание диссертации и дает представление о разработанных моделях и предложенных методиках. Он структурирован и удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям.

## **Вопросы и замечания по работе**

1. Разработанный диагностический комплекс включает в себя определение различных видов коротких замыканий: витковых, межсекционных, межфазных, замыканий на землю, но в гидрогенераторе количество неисправностей и аварийных ситуаций может быть гораздо больше: это выход из строя подшипников, тепловое размагничивание постоянных магнитов, механические разрушения от вибрационных воздействий, включая резонансные, попадание внутрь генератора воды. Каким образом эти аварийные ситуации диагностирует разработанная система?

2. Для проведения тестов на различные виды коротких замыканий в диссертации предлагается подробная математическая модель на основе метода конечных элементов, в которой якорная обмотка представлена отдельными проводниками. Но с другой стороны для анализа предлагается упрощенная двухмерная модель. При этом для теплового анализа представлена трехмерная модель. Почему для создания цифрового двойника для электромагнитного анализа не применена трехмерная модель, которая была бы гораздо ближе к реальной электрической машине?

3. Представляемая модель не позволяет эмитировать короткие замыкания в лобовых частях. Как разработанная модель реагирует на этот вид аварийных ситуаций?

4. К магнитной несимметрии, на которую реагирует диагностическая обмотка, приводит, в том числе, и несимметрия нагрузки по фазам, что на практике не является аварией. Не приведут ли предлагаемые технические решения к ложным срабатываниям системы защиты?

5. В диссертации предлагается два варианта применения диагностической обмотки: при соединении ее фаз в звезду и при соединении ее фаз в треугольник. В работе не приводится информации о чувствительности этих схем к аварийным ситуациям. Какой схеме необходимо отдать предпочтение на практике?


6. Применение диагностической обмотки декларируется как инновационное решение, составляющее новизну исследований, но при этом не приводится информация о наличии авторских прав ни на устройство диагностики, ни на способ диагностики.


### Заключение по диссертации

Диссертация Гулова Д.Ю. на тему «Разработка электротехнического комплекса диагностики аварийных режимов короткого замыкания генераторов гидроэлектростанций малой и средней мощности» является законченной научной работой, а ее автор Гулов Диловар Юсуфович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03-Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент

кандидат технических наук (05.09.03-Электротехнические комплексы и системы), ведущий научный сотрудник кафедры электромеханики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет»

  
Вавилов Вячеслав Евгеньевич

  
450008, Российская  
Федерация, Приволжский  
федеральный округ,  
Республика Башкортостан,  
Уфа, ул. К. Маркса, д. 12  
Тел: +7 927 346-53-05. E-mail:  
vavilovv@ugatu.su

