

## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук Ядагаева Эркемена Геннадьевича на диссертационную работу Ачитаева Андрея Александровича «Исследование электромеханической совместимости ветроэнергетической установки с автономной электроэнергетической системой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

### ОЦЕНКА АКТУАЛЬНОСТИ ИЗБРАННОЙ ТЕМЫ

В настоящее время ветроэнергетика является в мире сложившимся направлением в возобновляемой энергетике. По данным Всемирной ассоциации энергии ветра, установленная мощность всех мировых ветряных электростанций (ВЭС) в 2017 году впервые в истории превысила отметку 500 ГВт и оказалась выше общей мощности функционирующих атомных электростанций более чем на 100 Гвт. Современное развитие ветроэнергетики идет по двум независимым направлениям. С одной стороны - это увеличение единичной мощности ветроэнергетических установок (ВЭУ), с другой стороны - это совершенствование элементов и узлов ВЭУ с целью улучшения энергетической эффективности и повышения её регулировочной способности в установившихся и переходных режимах. Представленная диссертация относится к второму направлению.

В автономных электроэнергетических системах (АЭС), в составе которых работают ВЭУ на базе синхронных генераторов на постоянных магнитах (СГПМ), существует проблема электромеханической совместимости генерирующих устройств, работающих параллельно с другими генераторами. В связи с выше сказанным, решение задачи по обеспечению электромеханической совместимости и повышению регулировочной способности ВЭУ в АЭС, является актуальным

направлением, тем более, что в России имеется большое количество автономных систем.

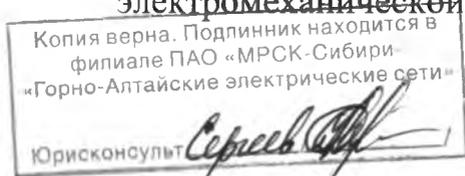
## **СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ, ИХ ДОСТОВЕРНОСТЬ И НОВИЗНА**

Научные положения диссертационного исследования представлены достаточно обоснованно и доказываются проведением экспериментальных исследований. Результаты, проведенного исследования соответствуют поставленным задачам и носят элементы научной новизны:

1. В систему уравнений моментов введено новое понятие эквивалентного угла ротора генератора, представляющей собой сумму углов ротора быстроходного звена электромагнитного вариатора и угла корректировки за счет динамической связи ротора генератора и турбины. Данная корректировка названа приведенным углом дополнительного рассогласования.
2. Подтверждено экспериментально, что приведенный угол дополнительного рассогласования можно измерять косвенным способом.
3. Сформулирована концепция комплексного управления скоростью вращения генератора на быстроходной стороне электромагнитного вариатора с использованием управления добавочным моментом электромагнитного вариатора и на тихоходной стороне турбины путем изменения угла заклинения турбины ВЭУ для обеспечения электромеханической совместимости с АЭС.

Представленная диссертация соответствует заявленной тематике «Исследование электромеханической совместимости ветроэнергетической установки с автономной электроэнергетической системой».

В исследовании дан обзор средств и способов обеспечения электромеханической совместимости ВЭУ на базе синхронных генераторов



на постоянных магнитах, работающих в составе АЭС. Автором представлен обзор состояния исследований в этом направлении, как отечественными, так и зарубежными учёными.

Проблема электромеханической совместимости особенно касается ВЭУ, работающих с переменной скоростью вращения турбины, так как этот режим позволяет обеспечить максимальный захват энергии из ветрового потока. Для обеспечения электромеханической совместимости предложен электромагнитный вариатор с переменным передаточным отношением, который позволяет заменить редуктор и преобразователь частоты и произведено исследование переходных процессов в нём при различных возмущениях. Для исследования электромеханических переходных процессов в АЭС были созданы математические модели в среде имитационного моделирования *Matlab Simulink*. Также, автором были созданы модели в программном комплексе *Ansys Maxwell* для численной верификации математической модели электромагнитного вариатора при различных режимах.

Предложена концепция комплексного управления ВЭУ с электромагнитным вариатором и синтезирован закон управления, который изменяет момент (регулирует скорость), корректирует фазу (эквивалентный угол рассогласования) и формирует заданную подъёмную силу турбины за счёт изменения угла заклинения. В ходе исследований изменялись параметры генератора и нагрузки. Результаты исследований подтвердили обеспечение электромеханической совместимости ВЭУ с электромагнитным вариатором с другими генераторами в системе.

Обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов определяется строгой теоретической аргументацией выбора направления исследования, применением строгих математических моделей, экспериментальных методов исследования в рассматриваемой области и созданием опытных образцов, подтверждена обсуждением результатов на всероссийских и международных конференциях и научных семинарах.

В целом результаты исследований и полученные выводы доказывают, что диссертационная работа направлена на решение актуальной научно - технической задачи, имеющей большое научное и прикладное значение для современной электроэнергетики.

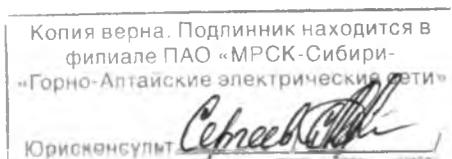
## **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Практическая значимость состоит в следующем:

- автором предложена компоновка ВЭУ с электромагнитным вариатором позволяющая создать ВЭУ с повышенной регулировочной способностью;
- автором были разработаны динамические модели электромагнитного вариатора в составе ВЭУ, позволяющие регулировать значение приведенного угла рассогласования ротора турбины и генератора;
- проведена верификация динамической модели электромагнитного вариатора на экспериментальном образце обеспечивает достоверность моделирования процессов приведенного рассогласования роторов турбины и генератора;
- разработаны алгоритмы управления ветроэнергетической установкой с электромагнитным вариатором, обеспечивающие стабилизацию скорости вращения ротора генератора при сильных возмущениях в АЭС.

Важно отметить, что результаты диссертации были использованы при разработке технических решений и были использованы при проектировании серийного образца ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения на базе электромагнитного вариатора в компании ООО «ЭКОФАКЕЛ» (г. Новосибирск) и АО «Сибирские приборы и системы» (г. Омск).

## **КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ РАЗДЕЛОВ ДИССЕРТАЦИИ**



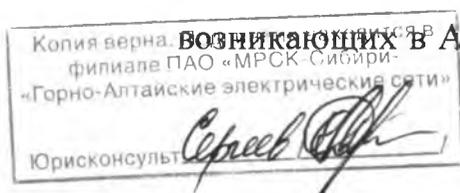
Диссертация изложена на 177 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, 4 приложений. Каждая глава характеризуется постановкой задач, содержание каждой главы соответствует ее названию, после каждой имеются выводы.

В 1-ой главе представлены технологии в ветроэнергетике, обеспечивающие повышение электромеханической совместимости ветроэнергетических установок в составе автономной электроэнергетической системы.

Во 2-ой главе рассмотрены динамические модели электромагнитного вариатора при различных углах рассогласования. Проведена численная верификация разработанных математических моделей. Исследована возможность и целесообразность использования электромагнитного вариатора в составе ВЭУ в целях реализации регулирования частоты в АЭС.

В 3-ей главе описаны задачи по разработке алгоритмов управления электромагнитного вариатора в целях стабилизации скорости вращения быстроходного ротора со стороны генератора при параллельной работе в АЭС. Разработана математическая модель магнитного вариатора с применением принципа построения системы стабилизации скорости вращения ротора СГ при одинаковой постоянной времени механической инерции. Рассмотрен режим резкого изменения мощности нагрузки и режим трехфазного короткого замыкания. Разработан алгоритм комплексного согласования фазы при параллельной работе СГПМ с разными параметрами времени механической инерции. Следует отметить, что представленный алгоритм комплексного управления позволяет снизить нагрузку на электромагнитный вариатор. Представлены алгоритмы комплексного управления скорости вращения СГПМ. Проведен синтез законов комплексного управления, с использованием метода Мейсона.

4-ая глава посвящена исследованию переходных процессов, возникающих в АЭС, состоящей из двух ВЭУ. Основным результатом главы



стали исследования переходных процессов при параллельной работе двух синхронных генераторов с использованием электромагнитного вариатора. Получены результаты экспериментальных исследований, отображают наличие и влияние на момент приведенного угла дополнительного рассогласования при формировании добавочного момента со стороны генератора.

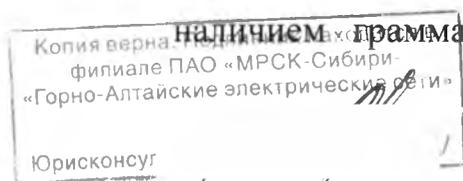
### ЗАМЕЧАНИЯ

1. Насколько экономически обоснована замена механического редуктора и преобразователя частоты на электромагнитный вариатор.
2. Следовало более подробно пояснить, почему увеличение или снижение нагрузки происходит на 15% или это предельное значение.
3. Хотелось бы знать, насколько полученные результаты применимы для других АЭС, если в их составе будут малые ГЭС, газотурбинные установки, фотоэлектрические преобразователи.
4. В тексте имеются орфографические и синтаксические неточности.
5. В тексте не полностью указана и описана процедура получения экспериментальных данных с установки макетного образца электромагнитного вариатора.

Отмеченные замечания носят рекомендательный характер и не снижают ценности и новизны результатов диссертационной работы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учётом вышеизложенного диссертация «Исследование электромеханической совместимости ветроэнергетической установки с автономной электроэнергетической системой» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне. Диссертация написана хорошим научным языком, оформлена аккуратно, однако с наличием грамматических ошибок. По каждой главе имеются выводы,



сформулированы основные результаты исследования. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Печатные труды в полном объеме отображают основные положения работы.

## **СООТВЕТСТВИЕ ДИССЕРТАЦИИ КРИТЕРИЯМ ПОЛОЖЕНИЯ О ПРИСУЖДЕНИИ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ**

Диссертационная работа отвечает требованиям п.9, 13, 18 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013г, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Ачитаев Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук, начальник отдела перспективного развития филиала ПАО «МРСК Сибири» - «Горно-Алтайские электрические сети»  
Телефон: 8(38822)47594

Моб. телефон: 8(913)999-67-30

Рабочий адрес: 649100, Российская Федерация, Республика Алтай, Майминский район, с. Майма, ул. Энергетиков, д. 15

E-mail: yadagaev@mail.ru

Домашний адрес: 649000, Республика Алтай, Горно-Алтайск, ул. Кирова 28

Ядагаев Эркемен Геннадьевич

17.08.2018

Копия верна. Подлинник находится в филиале ПАО «МРСК-Сибири» - «Горно-Алтайские электрические сети»

Юрисконсульт 