

УТВЕРЖДАЮ

проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Новосибирский

государственный технический университет»

Заслуженный деятель науки РФ, доктор

технических наук, профессор

А. Г. Вострецов

20 19 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на диссертацию Исломова Ильёсходжа Икромходжаевича «Исследование ветроустановки с магнитным редуктором», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03-Электротехнические комплексы и системы.

#### 1. Актуальность для науки и практики. Объект и предмет исследований.

Ветроэнергетика является одним из самых динамично развивающихся направлений современной электроэнергетики. Безусловно, непрерывный рост потребления электроэнергии во всем мире в сочетании с ограниченным ресурсом топливной энергетики приводит к значительному росту возобновляемой энергетики. Вместе с тем ветроэнергетика во всем мире развивается по двум независимым направлениям. Первое направление связано с расширением установленной мощности отдельных установок, и, как следствие, размеров и габаритов ветроэнергетических установок (ВЭУ) в ущерб КПД. Второе направление относится к улучшению отдельных элементов ВЭУ и совершенствование системы её управления.



Основное внимание в работе было уделено развитию концепции гибкой, бесконтактной передачи механической энергии от ветроэнергетической турбины к генератору за счет использования магнитного редуктора с изменяемым передаточным отношением и его управления с целью стабилизации выходных параметров генератора ВЭУ, что несомненно является актуальным исследованием в вопросах подключения ветроэнергетической установки в энергетические системы различного типа. Рассмотрены переходные процессы режимных параметров магнитного редуктора в составе ВЭУ.

## **2. Структура и содержание диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 115 наименования, совокупным объемом 194 страницы, включая 3 таблицы, 131 рисунок и восемь приложений.

**Во введении** обоснованы решаемая проблема и её актуальность, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, научная новизна полученных результатов и их теоретическая и практическая значимость. Кроме этого, приведены выносимые на защиту основные положения, а также сведения о методах исследований и достоверности их результатов, апробации и публикации материалов по тематике диссертации, реализации результатов работы, структуре и объеме диссертации.

**Первая глава** посвящена обзору способов получения электроэнергии от возобновляемых источников энергии, в том числе от ветроэнергетических установок. Представлены основные схемы генерирования электроэнергии ВЭУ с аккумулярованием и с потреблением постоянного тока. Рассмотрены схемы генерирования электрической энергии ВЭУ на основе выпрямительных и инверторных мостов с использованием синхронного или асинхронного генераторов, машин постоянного тока, а также схемы генерирования электрической энергии ВЭУ совместно с фотоэлектрической установкой. Также в работе приведена классификация электрооборудования ВЭУ по типу применяемых электрических машин в качестве генераторов.

**Во второй главе** проведены ветроэнергетические расчеты Республики Таджикистан. Получены результаты расчета изменения скорости ветра в течение



месяца на основе математического ожидания случайных величин скорости ветра. Построена математическая модель схемы генерирования электроэнергии на основе ВЭУ с тиристорным регулятором напряжения и ВЭУ с механическим планетарным редуктором с плавно изменяемым коэффициентом редукции для стабилизации электрических параметров ВЭУ. Анализ данной схемы генерирования показал, что при резком увеличении скорости ветра необходимо искусственно замедлить скорость вращения турбины ВЭУ. Получены осциллограммы угловых скоростей вращения при переходных процессах механического планетарного редуктора, которые показывают значительное увеличение напряжения и частоты.

**В третьей главе** изложены теоретические и конструктивные характеристики магнитного редуктора для стабилизации скорости вращения генератора. Представлена схема магнитного редуктора с трехфазной обмоткой статора, которая подключена к сети переменного тока через статический преобразователь частоты. Получены дифференциальные уравнения для тока и ЭДС статора. Сделаны осциллограммы скорости вращения генератора с магнитным редуктором на базе двухконтурного управления.

**Четвертая глава** рассматривает синхронную работу ВЭУ с магнитным редуктором с сетью и с другими источниками энергии. Выполнен анализ условия синхронной работы с несколькими источниками питания и обеспечения устойчивости электрических величин при отклонениях частоты сети (0,1-0,2 Гц). Доказана целесообразность использования магнитного редуктора в составе ВЭУ с проведением технико-экономического расчета. Определен максимальный срок окупаемости.

**В заключении** сформулированы основные результаты, полученные при решении поставленных задач и обеспечившие достижение цели диссертационной работы.

### **3. Научная новизна и значимость результатов диссертационной работы.**

1. Разработана схема генерирования электроэнергии на ВЭУ с магнитным редуктором с переменным коэффициентом редукции, которая обеспечивает стабилизацию скорости вращения генератора ВЭУ с использованием



двухконтурной системы с новым алгоритмом автоматического управления, состоящей из внутреннего контура регулирования тока статора магнитного редуктора и внешнего контура регулирования скорости вращения генератора ВЭУ.

2. Разработана схема автоматической рекуперации мощности от статора магнитного редуктора, обеспечивающая максимальное использование энергии ветра.
3. Разработана методика расчёта схемы генерирования электроэнергии на ВЭУ с магнитным редуктором, которая включает в себя расчёт основных характеристик магнитного редуктора с плавно-изменяющимся коэффициентом редукции для стабилизации скорости вращения генератора ВЭУ с применением преобразователя частоты, подключённого к статору магнитного редуктора.
4. Особенностью технико-экономического расчёта ВЭУ с магнитным редуктором является расчёт среднегодовой скорости ветра в Республике Таджикистан, его статистический анализ с определением доверительного интервала и срока окупаемости ветроустановки с магнитным редуктором.

#### **4. Практическая ценность и реализация результатов диссертационной работы.**

Разработанные схемы управления и методика расчёта ВЭУ с магнитным редуктором для улучшения технико-экономических показателей при её проектировании и эксплуатации. Полученная математическая модель и способы управления ВЭУ с магнитным редуктором применяется в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров на кафедре электроснабжения и автоматики Худжандского политехнического института Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.

#### **5. Соответствие содержания паспорту специальности.**

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы»:

П. 1 «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем, изучение системных свойств и связей, физическое, математическое,



имитационное и компьютерное моделирование компонентов электротехнических комплексов и систем» в части развития компоновки ВЭУ с магнитным редуктором и теории управления магнитного редуктора с статическим преобразователем частоты с рекуперацией энергии.

П. 2 «Обоснование совокупности технических, технологических, экономических, экологических и социальных критериев оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов и систем» в части получения технико-экономических результатов, подтверждающих малый срок окупаемости схемы генерирования ВЭУ с магнитным редуктором.

П. 3 «Разработка структурной и параметрической синтез электрических комплексов и систем, их оптимизация, а также разработка алгоритмов эффективного управления» в части синтеза регулятора скорости ВЭУ с магнитным редуктором для рационального использования энергии ветра.

П. 4 «Исследование работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем в различных режимах, при разнообразных внешних воздействиях» в части разработки схемы генерирования электроэнергии на базе ВЭУ с магнитным редуктором для стабилизации скорости вращения генератора ВЭУ с применением преобразователя частоты, подключённого к статору магнитного редуктора и для синхронизации ВЭУ с другими генераторами сети.

## **6. Апробация и публикация результатов диссертационной работы.**

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы в 12 печатных работах, в том числе 7 работ в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования результатов диссертационных исследований, 10 работ – в трудах Международных Всероссийских научно-технических конференций, 2 работы – в других изданиях.

## **7. Замечания по диссертации.**

1. В работе для исследования ветроэнергетического потенциала был использован нормальный закон распределения (стр. 43), однако, в мировой практике для решения данной задачи принято использовать функцию плотности



распределения Вейбулла. Непонятны причины использования нормального закона распределения.

2. На странице 48 представлена осциллограмма мощности ВЭУ, максимальное значение которой составляет 498,52 кВт. Однако, на предыдущей странице приведены характеристики ветровой турбины радиусом ветроколеса 3,2 м. При этом близкое номинальное значение мощности ВЭУ может составлять 6 кВт.

3. На рисунке 64 приведена схема генерирования электроэнергии ВЭУ с выпрямительно-инверторным преобразователем. Инвертор, исходя из рисунка, основан на IGBT транзисторах. Однако на предыдущей странице приведено описание рисунка, где фигурирует инвертор на основе тиристорных элементов.

4. На странице 95 приведены осциллограммы скоростей вращения магнитного редуктора, однако в диссертации не представлены исходные данные для анализа переходных процессов: величины и диапазоны передаточного отношения, номинальная мощность, динамические параметры (моменты инерций или значения постоянных времени звена генератора и турбины).

5. На странице 96 приведена структурная схема управления ВЭУ с магнитным редуктором, однако, магнитный редуктор представляет собой двухмассовую электромеханическую систему, где его динамические модели строятся на основе нелинейных дифференциальных уравнений, учитывающих гибкие связи быстроходного и тихоходного вала. Не совсем понятно, где отображены эти связи.

6. На страницах 97-100 представлены алгоритмы автоматизированной работы ВЭУ с магнитным редуктором. Не совсем ясно каким образом происходит энергоэффективная работа ВЭУ в условиях установившихся процессов. Энергия, вырабатываемая ВЭУ, идет на питание магнитного редуктора

7. На странице 156 представлена схема, где предложен вариант подключения магнитного редуктора к электрической сети без вставки постоянного тока. Каким образом обеспечивается энергоэффективный режим турбины с переменной скоростью вращения и как оказывает влияние на качество электрической энергии наличие ВЭУ с магнитным редуктором? Известно, что при

параллельной работе нескольких генераторов в сети в силу наличия обменной мощности при переходных процессах возникают колебательные процессы. На основании результатов представленных осциллограмм это не наблюдается.

8. В работе имеются стилистические погрешности.

### **8. Заключение**

В целом, представленная диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты. Выдвигаемые для публичной защиты положения имеют научное и практическое значение.

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертационная работа Исломов И. И. «Исследование ветроустановки с магнитным редуктором» по степени научной новизны, объему выполненных исследований и их практической ценности в достаточной степени является завершенной научной квалификационной работой на актуальную тему. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Исломов Ильёсходжа Икромходжаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы».

Отзыв на диссертацию и автореферат Исломов И. И. обсужден на заседании кафедры «Систем электроснабжения предприятий» НГТУ 14 марта 2019 г., протокол № 3.

Заведующий кафедрой

«Систем электроснабжения предприятий»

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

к.т.н., доцент,

Павлюченко Дмитрий Анатольевич

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, корпус № 2

Тел.: +7 (383) 346-15-51

e-mail: [pavluchenko@corp.nstu.ru](mailto:pavluchenko@corp.nstu.ru)