

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук, доцента, Ачитаева Андрея Александровича на диссертацию Ян Юйсун «Повышение эффективности работы ветроэнергетической установки путем использования комбинации интеллектуальных алгоритмов ориентации и отбора мощности» / «Improving the efficiency of the wind turbine using a combination of smart yawing and power control algorithms», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

Актуальность темы диссертации

Рассматриваемая диссертационная работа выполнялась в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск.

В случае частого изменения направления и скорости ветра ось ротора ветроэнергетической установки, как правило, неколлинеарна направлению вектора набегающего потока ветра, что вызывает реакцию системы отслеживания направления ветра и, соответственно, системы ориентации ветроэнергетической установки (ВЭУ). Практика показывает, что контроллер системы ориентации непросто настроить на корректную работу при различных скоростях ветра и частоте колебаний его направления, т.е. в режиме реального времени задача устранения ошибки ориентации является достаточно сложной. Наконец, отклонение набегающего потока воздуха вращающимися лопастями вызывает дополнительную дифференциальную ошибку ориентации, которая до сих пор полностью не может быть устранена, что выливается в системные потери при выработке электроэнергии ветроустановками мегаваттного класса. Для ветроэлектростанции мощностью 100 МВт, если предположить, что среднее время полноценной работы составляет 6 часов в сутки в течение 365 дней в году, годовые потери мощности из-за отклонения от курса составляют $6,03 \cdot 10^6$ кВтч. Ежегодные экономические потери электроэнергии из-за отклонения оси ротора от реального направления ветра составляют 0,9045 миллиона долларов в год, если вести расчет по цене 0,15 долларов за кВтч. Таким образом, исследование и решение этих проблем имеют как научно-технический, так и экономический характер.

Чтобы значительно снизить влияние неопределенности ветра на эффективность ветроустановок и получить максимальную энергию ветра при решении проблем ориентации, необходимо оптимизировать работу данной системы. Это можно сделать, например, с использованием более точного датчика измерения скорости и направления ветра и/или корректировки процесса управления ориентацией и т.д.

Проведение исследований на реальных ветроэнергоустановках является чрезвычайно трудновыполнимым и дорогостоящим мероприятием. Однако, как

показывает практика, проведение исследований на виртуальных компьютерных моделях значительно облегчает выполнение задач и минимизирует затраты на эксперименты.

Таким образом, выбранная Ян Юйсун тема диссертации является актуальной и использует передовые технологии управления и уникальные алгоритмы при работе системы ориентации в процесс изменения направления ветра. Предложенный алгоритм управления ориентацией ветроэнергетических установок с горизонтальной осью вращения (ГО ВЭУ), достаточно уникален и применим к любой ГО ВЭУ.

Степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций, сформулированных в диссертации

Положения и выводы диссертации базируются на фундаментальных основах технической науки, а также подходах и концепциях ветроэнергетической технологии. Методология исследования включает подробный анализ предмета и объекта исследования, систематизацию результатов анализа научных и практических исследований российских и зарубежных ученых, качественное сравнение и синтез существующих методических подходов, сбор и анализ данных.

В исследовании диссертант корректно использует прикладные методы научных исследований: логико-структурный, технический, статистический анализ, методы математического моделирования на основе платформы MATLAB/SIMULINK.

Выстроенная автором последовательность и логика в изложении текста диссертации и структурировании материалов исследования позволили добиться целостности при подготовке диссертации и автореферата, а также обеспечить высокую аргументированность выводов и положений. Поставленные проблемы в работе полностью раскрыты и предложены авторские методы их решения.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность основных научных результатов и выводов диссертации Ян Юйсун обосновывается корректно отобранными и примененными методами сбора и обработки статистических данных, корректностью применения математического аппарата, использующего известные, многократно подтвердившие свою достоверность программы, а также детально описанными методиками моделирования, позволяющими воспроизвести проведенные научные исследования.

Полученные результаты опубликованы в 15 научных работах, в том числе 10 статей в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК

РФ и Аттестационным советом УрФУ, из них 5 статей в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus, 1 патент на полезную модель и 1 свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ, а также докладывались на 5 международных конференциях:

- 1). Международная конференция по промышленному инжинирингу, применению и производству (ICIEAM 2020);
- 2). IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research & Practice (PEAMI 2020);
- 3). Международная конференция по промышленному инжинирингу, применению и производству (ICIEAM 2021);
- 4). Международная Уральская конференция по зеленой энергетике (Ural Con 2021);
- 5). Международная конференция по промышленному инжинирингу, применению и производству (ICIEAM 2023).

Материалы научных и теоретических исследований, изложенных в диссертационной работе, Ян Юйсун используются в учебной дисциплине ДВ.1.05.02 Комплексное использование ветроэлектростанций. Дисциплина преподается в рамках магистерской программы 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника (Комплексное использование возобновляемых источников энергии на английском языке) на кафедре «Электрические станции, сети и системы электроснабжения» Энергетического факультета ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

Все изложенное позволяет сделать заключение о достоверности положений, выносимых на защиту.

Характеристика структуры и содержания диссертации

Диссертационное исследование содержит введение, четыре главы и заключение, 2 приложения, библиографический список из 208 наименований. Диссертация изложена на 156 страницах машинописного текста, содержит 72 рисунка и 6 таблиц.

Во введении дана общая характеристика работы, степень разработанности темы исследования, представлены цели, задачи, выносимые на защиту положения, описана научная новизна и теоретическая значимость результатов.

В первой главе определены основные направления развития ветроэнергетики, выявлены ключевые проблемы, возникающие при проектировании компонентов ВЭУ, дается описание системы преобразования энергии ветра с помощью ВЭУ, обосновывается актуальность исследования, приводится обзор литературы, формулируются цель и задачи диссертации.

Путем анализа методов управления ориентацией установлено, что наиболее распространенным методом управления является система ориентации

на основе флюгера. В этом случае положение гондолы корректируется в соответствии с измеренным усредненным направлением ветра. Поскольку измеряется среднее направление ветра, получаемые в реальном времени данные имеют определенную задержку. Чтобы избежать влияния задержки данных о направлении ветра, соискателем было решено разработать новую модель системы управления ориентацией ротора ВЭУ, которая использует нейронную сеть для прогнозирования будущего направления ветра и сочетает в себе алгоритм поиска «подъема на холм» для устранения ошибки ориентации в реальном времени.

Во второй главе описан процесс преобразования энергии в системах ветроэнергетических установок при изменении направления ветра, включая текущее аэродинамическое состояние ветроагрегата в части сил и нагрузок, действующих на лопасти, с описанием разработанной функциональной математической модели горизонтально-осевой ветроэлектрической установки (ГОВЭУ), предназначенной для исследования мощности ВЭУ.

Разработана имитационная модель ветроэнергоустановки изучения функции ориентации ротора ВЭУ для дальнейшей реализации решений по устранению ошибки ориентации. Необходимо отметить, что наличие погрешности ориентации не только увеличивает крутящий момент на отдельные части лопастей, сокращая их срок службы, но и существенно снижает выходную мощность. Т.о. очевидно, что современные системы реагирования по отклонению направления ветра способствуют значительным потерям энергии. В связи с этим одной из задач исследования соискателя являлась разработка подходящего алгоритма управления ориентацией, позволяющего точно и быстро устранять ошибки ориентации ВЭУ.

Третья глава описывает алгоритмы отслеживания максимальной мощности. Она также посвящена разработке методики определения производительности ветроэлектрической установки при непрерывно изменяющемся направлении ветра, а также разработке комбинированного алгоритма управления ветроэнергоустановкой.

Разработанный алгоритм управления ориентацией сначала использует искусственную нейронную сеть (ИНС) для прогнозирования будущего направления ветра, чтобы избежать задержки в данных о направлении ветра, а затем использует алгоритм поиска «путем восхождения на холм (ПВНХ)» для устранения ошибок в реальном времени. Во время этого процесса эффективность алгоритма управления рысканьем оценивается путем наблюдения за выходной мощностью ветроустановки.

В четвертой главе описана разработанная с использованием программного пакета Matlab/Simulink имитационная модель ВЭУ и система управления ориентацией ВЭУ. Описаны периоды, во время которых после изменения направления ветра возникает ошибка ориентации, снижающая выходную мощность, после чего виртуальный контроллер ВЭУ разворачивает

гондолу в нужном направлении. В связи с этим выполнено моделирование электрических компонентов, а также системы управления для исследования динамического поведения ветроэнергетической установки на основе использования разработанного алгоритма управления ориентацией.

В заключении приведены основные выводы и обобщены полученные в диссертационной работе результаты и перспективы дальнейшей разработки темы исследования и рекомендации.

Научная новизна исследования

1. С использованием пакета MATLAB/Simulink разработаны новые имитационные модели ветроагрегата SWT-3.6-120, асинхронного генератора и системы ориентации с новым виртуальным контроллером ориентации и MPPT-контроллером. Адекватность модели верифицирована путем сравнения с экспериментальными данными, полученными от системы SCADA для различных условий эксплуатации;

2. Разработан новый комбинированный алгоритм управления ориентацией ротора ВЭУ на основе данных, предсказанных нейросетью и способа управления мощностью ВЭУ на основе метода «путем восхождения на холм». Управление активными элементами системы ориентации осуществляется в реальном времени с прогнозированием предстоящего изменения направления ветра;

3. Получены результаты тестирования верифицированной симуляционной модели ВЭУ SWT-3.6-120, демонстрирующие снижение погрешности ориентации ротора ВЭУ до 1° , с повышением выходной мощности ВЭУ на 6,88%.

Практическая значимость работы

Разработана новая имитационная компьютерная модель ВЭУ, содержащая универсальные компоненты, которыми можно управлять с помощью различных систем внешнего управления, что отражает функциональность и гибкость применения новой модели. Верифицированная компьютерная модель может быть использована исследователями, конструкторами и пользователями в области ветроэнергетики для имитации работы системы ориентации любой ВЭУ.

Синтезирован новый комбинированный алгоритм управления отбором мощности ВЭУ с минимизацией ошибки ориентации и повышением коэффициента использования энергии ветра на основе использования данных ИНС и ПВНХ. Данный алгоритмический подход может быть использован на практике для программирования систем управления ВЭУ мегаваттного класса.

Замечания по диссертации

Положительно оценивая диссертацию в целом, ее логику, обоснованность, достоверность, полученные новые научные результаты, теоретическую и эмпирическую базу исследования, следует выделить следующие дискуссионные положения, недостатки и замечания:

1. В компьютерной модели не учитываются временные задержки при активации и реакции системы, вызванные инерционностью механических звеньев. Это искажает результаты компьютерного моделирования влияния работы комбинированного алгоритма управления ориентацией ротора на процесс работы ветроэнергетической установки. Т.о. определенные условия могут существенно изменить временные задержки при работе ветроустановки. Следовательно, возникнет дополнительная погрешность при определении ошибки ориентации. Какая при этом может быть максимальная погрешность ошибки ориентации?

2. Применил ли автор методику системы слежения за комбинированного алгоритма управления ориентацией ротора ВЭУ на реальной ВЭУ? Если эффективность действительно улучшилась, то как это соотносится с полученным виртуальным результатом улучшения Ср на 6,88%?

3. Из работы не совсем понятно, учитывал ли автор частоту колебаний направления ветра и частоту изменения скорости ветра в процессе моделирования? В динамике на практике учет изменения целого ряда таких параметров онлайн требует большой мощности вычислителя что не может быть отражено в виртуальном контроллере. Т.о. в модели было необходимо отразить влияние скорости изменения параметров на скорость реакции системы. Насколько эти изменения повлияют на работу модели, если в модель все же добавить вышеприведенные параметры?

4. Учитывает ли модель резкое, кардинальное (на более чем 90 градусов) изменение направления ветра и какая будет в этом случае реакция алгоритмов, представленных на рисунках 1.9–1.13? Вопрос задан в связи с тем, что нейросеть настроена на значительно меньшие отклонения и крупные возмущения могут быть восприняты алгоритмами некорректно.

5. Может ли в разработанную модель быть заложен тип вертикально-осевой ветроэнергетической установки для проведения аналогичных исследований? Принцип регулирования закрылками лопастей в этом случае будет другой.

6. Сравнивал ли автор результаты компьютерного моделирования смоделированной ВЭУ и блок-схемы ВЭУ, которые приведены в штатной библиотеке программного пакета SIMULINK?

7. Как вы видите тенденции и направления развития вашей темы исследования в будущем?

Заключение

Диссертация Ян Юйсун на тему «Повышение эффективности работы ветроэнергетической установки путем использования комбинации интеллектуальных алгоритмов ориентации и отбора мощности» / «Improving the efficiency of the wind turbine using a combination of smart yawing and power control algorithms», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является самостоятельной, законченной, актуальной научно-квалификационной работой, обладающей научной новизной и практической значимостью. В результате диссертантом разработаны методы повышения точности ориентации и эффективности систем ориентации ветроэнергетических установок.

Диссертация и автореферат соответствуют пунктам Паспорта специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы: 1, 2, 4 и 6.

Автореферат диссертации Ян Юйсун полностью соответствует тексту диссертации, отражает ее основное содержание, имеет логически грамотное построение и последовательность изложения результатов исследования.

По результатам диссертационного исследования автором опубликовано достаточное количество научных работ, в том числе 10 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки РФ. Диссертация и автореферат соответствует пунктам Паспорта научной специальности и удовлетворяет требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Ян Юйсун, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент:

кандидат технических наук, доцент,
заместитель директора по научной работе
Саяно-Шушенский филиал федерального
государственного автономного
образовательного учреждения
высшего образования "Сибирский
федеральный университет"

Ачитаев Андрей Александрович

«07» 06 2024 г.

Почтовый адрес организации:
655619, Республика Хакасия, пгт.
Черемушки, д. 46 (Саяно-Шушенский
филиал СФУ), ауд. 111, корп. 2
Тел.: +7 923 257 51-10
Эл. почта: achitayevaa@gmail.com

Подпись А. А. Ачитаев заверяю

