

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента, Велькина Владимира Ивановича 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

Диссертационная работа выполнялась в ФГБОУ ВО ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск.

Ветровые ресурсы в высшей степени являются стохастическими, частое изменение направления ветра с отклонением набегающего воздушного потока вращающимися лопастями ветроэнергетической установки (ВЭУ) приводит порой к значительной дифференциальной ошибке ориентации ротора. При этом, когда ось ротора неточно сориентирована на направление ветра, выходная мощность снижается. В настоящее время ВЭУ с горизонтальной осью класса MW в основном используют флюгерные, SoDAR или LiDAR датчики для измерения направления ветра, однако практика свидетельствует о том, что эти измерения имеют большие погрешности. Флюгер, установленный на гондоле позади ротора, генерирует запаздывающие сигналы, которые зависят не только от расстояния от ротора до датчика, но и от степени вихреобразования, возникающего при отражении набегающего потока лопастями. При этом очевидно, что погрешность измерения направления ветра зависит от целого ряда параметров – скорости ветра, его направления, скорости изменения этих параметров, установочного угла лопастей, формы лопастей и комля, строения гондолы и т.д.

Исследования соискателя показывают, что при ошибке ориентации в диапазоне от -20° до 5° средняя погрешность составила приблизительно $9,5^\circ$, а потери мощности составили более 4 % от общей выработки. Вихревой след от лопастей влияет на производительность ВЭУ, стоящих далее по потоку, усредненная ошибка в пределах ветропарка составляет до 35° . Вероятность того, что отстоящая далее по потоку ВЭУ будет иметь ошибку ориентации в диапазоне $\pm 25^\circ$, составила более 25%. Можно также отметить, что погрешность измерения направления ветра с помощью различных флюгерных систем и других приборов в системах ветропарков до сих пор кардинально не устранена, т.о. актуальность исследований в данной области сохраняется.

Система ориентации является нелинейной и неопределенной, в связи с чем система управления ориентацией ВЭУ имеет высокую динамику. На практике непредсказуемость изменения направления ветра и наличие таких проблем, как задержки в отслеживании направления ветра, приводят к низкой

точности определения направления потока ветра, что в свою очередь вызывает частое срабатывание механизма разворота ротора на ветер, что, очевидно, влияет на эффективность ВЭУ и снижает преимущества ветроэлектростанций в плане выработки максимума «зеленой» энергии. Таким образом, существующий подход ориентации ВЭУ может и должен быть усовершенствован. При этом одним из наиболее доступных и экономичных способов является компьютерное моделирование, на чем и основана диссертационная работа. Использование модели прогнозирования на основе искусственной нейронной сети (ИНС) явилось хорошим способом оценки будущих параметров ветра и оптимизации процесса ориентации. Соискателем предложен и успешно реализован алгоритм «поиска с восхождением на холм», что позволило достаточно точно отслеживать направление ветра традиционной флюгерной системой. В связи с вышеизложенным, такой подход позволяет повысить общую экономическую эффективность как отдельно стоящей ВЭУ, так и ветроэлектростанции.

Таким образом, выбранная Ян Юйсун тема диссертации является актуальной и нацелена на решение важной задачи повышения эффективности систем ориентации ветроэнергетических установок.

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. Методы исследования включают 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.

Поставленные проблемы в работе полностью раскрыты и предложены авторские методы их решения.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов, научных положений, результатов диссертации Ян Юйсун и выводов обосновываются корректностью применения известных положений механики, аэродинамики, теоретических основ электротехники, ветроэнергетики, нейронных сетей, оптимизация, математической статистики, и методов моделирования с применением ЭВМ. Кроме этого, при решении поставленных задач диссертации использованы методы математического моделирования в программном комплексе MATLAB/Simulink.

Полученные соискателем 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).

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

Характеристика структуры и содержания диссертации

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

В первой главе определены конструкция ВЭУ и рассмотрена работа ветроэнергетических установок в различных режимах, исследованы системы их ориентации. Для максимальной утилизации энергии ветра система управления ВЭУ должна обеспечить высокую скорость реакции системы управления в условиях быстро меняющихся скорости и направления ветра, а также параметров ВЭУ: независимое питч-управление, регулирование скорости / крутящего момента генератора, управление ориентацией и т.д. Система ориентации предназначена для постоянного регулирования положения ротора с приведением его в максимально эффективное положение, когда ось вращения ротора условно коллинеарна вектору набегающего потока (она не может быть коллинеарной в связи с небольшим (6-7 градусов) наклоном оси ротора к горизонту). Ориентация ротора происходит непрерывно или дискретно-непрерывно, в зависимости от алгоритма работы, в связи с частыми изменениями направления ветра. Во всех ВЭУ, а особенно в ВЭУ мегаваттного класса стабильность работы системы ориентации определяет качество установки, а также срок ее службы.

Во второй главе описана основная теория исследования, включающая

функциональное моделирование ВЭУ. Проведены исследования системы ориентацией, проанализирована аэродинамическая обстановка, сила и скорость ветра, а также нагрузка ротора в процессе ориентации, в результате чего оптимизирована ошибка, генерируемая датчиками системы ориентации. В MATLAB/Simulink создана общая функциональная модель ВЭУ с типичной системой управления. Модель служит для последующей оптимизации управления ориентацией в различных условиях эксплуатации.

В третьей главе решена задача отслеживания направления ветра в реальном времени с определенной точностью, разработан новый принцип комбинированного управления ориентацией ВЭУ. На первом этапе разработан алгоритм прогнозируемого управления с помощью искусственной нейронной сети и алгоритм поиска с восхождением на холм для системы ориентации. Затем эти два алгоритма скомбинированы в соответствии с принципом работы ВЭУ. На втором этапе разработанный комбинированный алгоритм управления ориентацией интегрирован в имитационную модель системы управления ВЭУ.

В четвертой главе описывается конструкция разработанного и смоделированного виртуального контроллера ВЭУ. Данный контроллер ветроэнергетической установки разработан с использованием программного обеспечения MATLAB/Simulink. Используется для проверки эффективности разработанного алгоритма управления ориентацией в соответствии с фактическими эксплуатационными данными SWT-3.6-120.

Научная новизна исследования

Новизна представленной на отзыв диссертационной работы определяется в первую очередь новой имитационной компьютерной моделью ветроэлектрической установки SWT-3.6-120, характеризующейся наличием модуля гибкого виртуального контроллера, представляющего контроллер ориентации и МРРТ-контроллер (контроллер отслеживания максимальной точки мощности), и предназначенного для исследования характеристик ветроэлектрической установки в зависимости от применяемых алгоритмов управления. Улучшен алгоритм управления ориентацией с помощью введения новой комбинированной стратегии управления, основанной на данных нейросети и алгоритме управления мощностью на основе восхождения на холм. Согласно описанию функциональной модели, алгоритм управляет сервоприводом системы ориентации с прогнозированием предстоящего изменения направления ветра на основе данных нейросети, таким образом система управления ВЭУ может отслеживать изменение направления ветра в реальном времени, используя алгоритм восхождения на холм для снижения ошибки ориентации, предсказанной нейросетью.

Наиболее значимыми новыми результатами, полученными в диссертационной работе, являются:

- Новый комбинированный динамический алгоритм определения производительности ВЭУ с точным, быстрым и эффективным отслеживанием изменения направления ветра, со снижением ошибки ориентации.

- Метод оптимизации комбинированной стратегии на основе алгоритма прогнозирования направления ветра с помощью ИНС и алгоритма управления мощностью на основе ПВНХ для отслеживания изменения направления ветра в реальном времени с поддержанием максимального значения коэффициента использования энергии ветра, в том числе с увеличением срока службы ВЭУ.

Практическая значимость работы

В диссертационной работе был проведен синтез нейросети и алгоритмов восхождения на холм для обеспечения минимизации ошибки ориентации с соответствующим увеличением мощности ВЭУ на 6,88%. Повышение эффективности управления работой ВЭУ на основе разработанных алгоритмов осуществлено практически во всем рабочем диапазоне скорости ветра, что демонстрирует независимость алгоритмов от поведения ветра. Производители ВЭУ могут в дальнейшем использовать эти алгоритмы в программировании систем управления ориентацией. Верифицированная компьютерная модель может быть в дальнейшем использована исследователями, конструкторами и пользователями в области ветроэнергетики.

Замечания по диссертации

Несмотря на положительную оценку диссертации в целом, к работе имеются следующие замечания:

1. Не приведено сравнение экономической эффективности традиционной флюгерной системы ориентации и решения, найденного соискателем.

2. Судя по всему, алгоритм поиска максимальной точки мощности в виде «путем восхождения на холм» в комбинированной системе управления рысканием является аналогом МРРТ? Или есть какие-либо отличия?

3. Из работы непонятно, на каком этапе и режиме работы ВЭУ алгоритм включается и эксплуатируется системой управления ВЭУ.

4. Когда предложенный алгоритм планируется внедрять в систему управления? Во время проектирования или непосредственно эксплуатации?

5. В работе не раскрыт потенциал практического применения результатов исследования.

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 ветряных турбин.

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:

доктор технических наук, доцент, ФГАОУ
ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина», г. Екатеринбург, профессор
кафедры атомных станций и
возобновляемых источников энергии


Велькин Владимир Иванович

« 03 » июль 2024 г.

Почтовый адрес организации:

620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Тел.: +7 (343) 375-47-48, +7 (343) 375-95-08

Эл. почта: v.i.velkin@urfu.ru

Подпись В.И. Велькин заверяю


УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
УРФУ
МОРОЗОВА В.А.

