

АННОТАЦИЯ

Диссертационной работы на тему: «Разработка блоков управления для ветрогенераторов» на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07107 - «Робототехника и мехатроника».
Фазылова Алина Ринатовна

Актуальность работы. Ветровая энергия представляет перспективное решение для проблем нестабильности цен на электроэнергию и экологического загрязнения. Она становится все более популярной, конкурируя с традиционными источниками. В Казахстане ветровая энергия обладает значительным потенциалом, способным превышать потребность страны в 15 раз. Перспективные местности для ветрогенераторов выделены в исследованиях ООН. Существует высокий спрос на недорогие установки малой мощности для ветроэнергетики с упрощенной системой управления. Однако некоторые системы, такие как асинхронные генераторы, имеют ограниченный диапазон работы и не обеспечивают непрерывное использование ветрового потенциала при высоких скоростях ветра. Казахстан следует международным тенденциям в развитии энергетики, планируя увеличить долю возобновляемой энергии в общем объеме производства электроэнергии. Вместе с тем, развиваются методы управления ветрогенераторами, но существующие подходы имеют свои ограничения и недостатки.

Диссертация рассматривает конструирование блоков управления для вертикально-осевого многолопастного ветрогенератора «ВИНД ГЕНЕРАТОР В-1000», основанных на мехатронном управлении положением лопастей.

Цель исследования – Создать комплексную систему управления и мониторинга ветрогенератора для эффективного использования энергии ветра и обеспечения надежности и безопасности его функционирования.

Идея работы заключается в повышении эффективности работы вертикально-осевых ветрогенераторов, путем внедрения разработанного мехатронного блока управления лопастями и системы мониторинга основных узлов на вертикально-осевой многолопастной ветрогенератор «ВИНД ГЕНЕРАТОР В-1000».

Задачи исследования:

В соответствии с поставленной целью в диссертации сформулированы следующие задачи:

– Написать программу для получения прогноза скорости ветра в городе Алматы, применить метод экспоненциального сглаживания для повышения точности прогноза, рассчитать выходную мощность ветрогенератора и определить ошибку прогнозирования;

– Разработать и исследовать два блока управления лопастями вертикально-осевого ветрогенератора, провести экспериментальные исследования на базе двух лабораторных моделей для измерения амплитуды выходного напряжения без управления и с разработанной системой управления, и вычислить эффективность использования;

– Разработать и проверить на промышленном ветрогенераторе систему диагностики основных узлов ветрогенератора с применением ИОТ технологий;

– Сформулировать базу данных прогноза выходной мощности для Алматинского завода резиновой обуви "АРГО", определить экономию от внедрения вертикально-осевого ветрогенератора с блоком управления.

Объектом данного исследования является вертикально-осевой ветрогенератор.

Предмет исследования включает в себя определенные компоненты и аспекты, связанные с системами управления вертикально-осевого ветрогенератора. К ним относятся:

1. Блок мехатронного управления лопастями ветрогенератора. Данное исследование предполагает разработку математической модели, основанной на экспериментальных данных, создание разомкнутой системы управления и настройка регулирования на основе скорости ветра.

2. Повышение эффективности работы вертикально-осевого ветрогенератора. Внедрение второй модели управления углом атаки лопастей позволит рассчитать оптимального положения лопастей для максимальной эффективности. Производится разработка схемы управления на основе данных от датчиков, а также настройка регулирования.

3. Метод расчета прогнозируемой выходной мощности ветрогенератора включает в себя использование метода экспоненциального сглаживания. Производится минимизация ошибки прогнозирования на основе фактических и прогнозируемых данных о скорости ветра.

4. Система диагностики ветрогенератора на базе промышленного образца. Исследование предполагает подключение ветрогенераторов к сети дистанционного мониторинга.

5. Расчет эффективности внедрения блока управления. Разрабатывается программное обеспечение для получения и обработки данных о прогнозе скорости ветра, применяется метод экспоненциального сглаживания для улучшения точности прогноза.

Методы исследования. При выполнении исследований в данной диссертации использованы методы исследований, базирующиеся на анализе и обобщении научно-технической информации, теоретические исследования, методы компьютерного моделирования, методы математической статистики при обработке экспериментальных данных, методы математического моделирования, а также методы объектно-

ориентированного программирования при создании программного обеспечения.

Научная новизна этого исследования подкреплена следующими ключевыми вкладками:

1. Разработано программное обеспечение для получения данных о прогнозе скорости ветра для города Алматы с последующим расчетом выходной мощности ветрогенератора. Применен метод экспоненциального сглаживания для улучшения точности прогноза, после чего средняя ошибка прогнозирования снизилась на 0.54%.

2. Разработана и исследована система управления лопастями вертикально-осевого ветрогенератора, которая позволила увеличить эффективность использования ветрогенератора на 7.69%.

3. Разработана система диагностики основных узлов ветрогенератора с использованием ИОТ технологий, которая успешно работает и обеспечивает получение данных с датчиков. Эти данные позволяют оператору оценивать состояние ветрогенератора и выявлять проблемы.

4. Сформулирована база данных для прогноза выходной мощности, основанная на данных Алматинского завода резиновой обуви "АРГО". Внедрение ветрогенераторов с вертикально-осевой осью вращения и блоком управления позволило сэкономить мощность эквивалентную 3 ветрогенераторам номинальной мощностью 10 кВт для данного завода.

Практическая значимость и результаты:

В Казахстане, сравнительно поздно обратили внимание на развитие альтернативной энергетики. Активное ее начало принято датировать 2009 годом, когда приняли Закон «О поддержке возобновляемых источников энергии». За эти годы было сооружено 14 установок общей мощностью около 120 МВт. В прошлом году, например, на источники энергии, работающие от солнца и ветра, пришлось всего 1,33% произведенных в стране объемов электричества. Однако, как свидетельствует мировая наука, альтернативы возобновляемым источникам энергии сегодня нет. В данной диссертации проведены исследования в области повышения рациональности использования энергии ветра, а также, учитывая недостатки аналогов, разработана система управления ветрогенератора и система диагностики сети ветрогенераторов.

Система диагностики основных узлов ветрогенераторов, находящихся в одной сети обеспечит контроль за техническим состоянием каждого узла отдельно взятого ветрогенератора в единой сети. Таким образом, оператор будет получать информацию и сигнал о неисправности узла определенного ветрогенератора в единой сети.

Выводы, предлагаемые для защиты:

1. В соответствии с проведенным анализом методов управления ветрогенератором был выбран наиболее подходящий под заданные климатические условия метод управления ветрогенератором путем изменения угла атаки ветра на лопастях. Данным методом призван решить

проблему управления ветрогенератором при критических скоростях ветра и использовать энергию ветра максимально эффективно.

2. Была написана программа на языке Python, которая позволяет получать данные о прогнозе скорости ветра для города Алматы с сайта Accuweather. Далее, используя эти данные, был получен расчет выходной мощности ветрогенератора.

Также был применен метод экспоненциального сглаживания для обработки данных, полученных с сайта. Этот метод позволяет получить данные прогноза более точными. После обработки данных с сайта была снова рассчитана мощность и проведено сравнение с фактической мощностью, которая была получена по фактической скорости ветра. Далее была вычислена ошибка прогнозирования. Средняя ошибка по данным сайта составляет 5.11%, а средняя ошибка после расчета - 4.57%. Это говорит о том, что после применения метода экспоненциального сглаживания точность прогноза возросла, и средняя ошибка уменьшилась на 0.54%.

3. Была разработана и исследована система управления лопастями вертикально-осевого ветрогенератора. Экспериментальным путем были получены значения амплитуды выходного напряжения для двух лабораторных моделей вертикально-осевого ветрогенератора. Амплитуда выходного напряжения ветрогенератора без системы управления соответствует 5.2 В. После внедрения разработанной системы управления положением лопастей ветрогенератора амплитуда выходного напряжения стала соответствовать 5.6 В. Таким образом, разработанная система управления способна увеличить эффективность использования ветрогенератора на 7.69%

3. В ходе работы была разработана и проверена на промышленном ветрогенераторе система диагностики основных узлов ветрогенератора с применением ИОТ технологий. Данная сеть доказала свою работоспособность на экспериментальных исследованиях по получению данных с акселерометра и датчика Холла. На основе полученных данных с акселерометра было рассчитано максимальное выходное напряжение датчика в диапазоне рабочих частот, которое составило 3.9 В. Соответственно, можно сделать вывод, что выходное напряжение акселерометра в системе диагностики, должно иметь значения от 0 до 3.9В. Если выходное значение превышает 4 В, можно считать, что на ветрогенераторе имеются проблемы с коробкой передач. Также, на основе экспериментальных данных, полученных с датчика Холла, была установлена зависимость выходного напряжения от воздушного зазора. Также, в ходе работы была рассчитана зависимость температуры обмотки ветрогенератора от сопротивления. Эти данные позволяют оператору легко понимать полученные значения выходных электрических величин от датчика и сопоставлять с физическими изменениями в конструкции ветрогенератора.

4. Была сформулирована база данных по прогнозу выходной мощности при примере Алматинского завода резиновой обуви "АРГО", в виду доступности данных о фактическом энергопотреблении для различных климатических условий. Было установлено что, от внедрения в ветрогенератор с вертикально-осевой осью вращения блока управления экономия составляет 3 ветрогенератора номинальной мощностью 10 кВт для Алматинского завода резиновой обуви "АРГО"

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертационной работы докладывались на международных конференциях E3S Web of Conferences (2020 г.), CIEEE Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems- 2022 (г. Велико-Тырново, Болгария), E3S Web of Conferences (2023 г.), International Conference on Electronics, Engineering Physics and Earth Science (EEPES 2023), June, 2023 (Kavala, Greece).

Апробация созданных программного обеспечения и аналитических методов была проведена в рамках программы «Sustainability Living Lab: Outreach» темы «Разработка системы дистанционного мониторинга состояния основных узлов ветрогенератора».

По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ. Из них две в журналах, входящих в 1-ый квартиль по данным по базе данных Scopus (Скопус), одна в журнале, входящем в 3-ий квартиль по данным по базе данных Scopus (Скопус), 3 – материалы конференции, 4 – в научных изданиях РК. В каждую опубликованную статью докторантом был внесен достойный вклад, в них отражены выносимые на защиту положения, результаты, полученные докторантом в ходе проведенных исследований.

Получены 2 патента РК на полезную модель. Получена награда «Женщина в секторе ВИЭ» в номинации «лучший стартап в секции возобновляемых источников энергии»

Структура и объем диссертационной работы. Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и четырех приложений. Общий объем работы составляет 121 страница, работа содержит 73 рисунка, 16 таблиц, список литературы из 141 пункта.

Диссертационное исследование представляет собой комплексное исследование систем управления вертикально осевым ветрогенератором. Исследование структурировано следующим образом:

Введение: Во введении излагаются актуальность исследования, цели, предмет, задачи, методы, научная новизна и практическая значимость. В нем также освещается тестирование и публикация результатов исследований.

Глава 1: В этой главе проведен анализ мировых систем энергообеспечения и рассмотрено текущее состояние энергетического сектора Казахстана. Выделена необходимость разработки недорогих ветроэнергетических установок малой мощности с упрощенной системой управления, в связи с высокими затратами на техническое обслуживание, обусловленными удаленным расположением и высоким размещением

турбин. В контексте эффективности работы ветрогенераторов подчеркнута важность управления положением лопастей и изменения угла атаки в зависимости от скорости ветра. Описан также метод снижения затрат на обслуживание через разработку системы дистанционного мониторинга состояния узлов ветрогенератора

Глава 2: В данной главе основной задачей является разработка математических моделей компонентов системы управления ветрогенераторов. Современные тенденции в энергетике подчеркивают растущую важность цифрового управления, что стимулирует активное развитие систем математического и численного моделирования, а также совершенствование аппаратных и программных решений. Применение методов математического моделирования на этапе проектирования направлено на сокращение затрат и уменьшение времени, затрачиваемого на разработку, исследование и экспериментальное тестирование системы управления ветрогенераторами.

Глава 3: В этой главе производится компьютерное моделирование системы управления мехатронной системы шестилопастного ветрогенератора "ВИНД ГЕНЕРАТОР В-1000". В работе рассматривается применение обратной связи с использованием ПИ-регулятора для поддержания заданного угла поворота лопастей. Осуществляется анализ формулы управляющего сигнала и определение передаточной функции системы. Компьютерное моделирование проведено в программной среде TIA Portal, где исследованы различные значения коэффициентов регулирования. Полученные результаты позволяют выбрать оптимальные параметры регулирования.

Глава 4: В данном разделе представляет четыре лабораторные модели ветрогенераторов, каждая из которых имеет свои особенности и цель исследования. Первая модель является мехатронной системой управления ветрогенератором "ВИНД ГЕНЕРАТОР В-1000", основанной на математических моделях, полученных в предыдущем разделе. Экспериментальным путем определена передаточная функция этой модели путем анализа характеристического уравнения и получения экспериментальных данных об изменении выходного напряжения во времени. Также применен алгоритм идентификации объекта на основе характеристик ускорения. Вторая и третья модели являются вертикально осевыми ветрогенераторами, причем вторая модель оснащена системой управления, а третья - базовая модель без системы управления. Проведено экспериментальное сравнение этих двух моделей, где с помощью испытательного комплекса "Ретом-51" проанализированы и сопоставлены результаты работы обеих моделей. Четвертая модель представляет собой промышленный ветрогенератор, на котором проверялась система диагностики основных узлов. Осуществлены соответствующие испытания, чтобы оценить эффективность и надежность системы диагностики на реальной промышленной установке.

Заключение: В заключении обобщены результаты и ключевые выводы диссертационного исследования. В нем также намечается будущее для дальнейшей работы и развития в рамках выбранного направления исследований.