

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу *Бульского Владимира Иосифовича*
«Автоматизированная система управления ветроэнергетической установкой на базе оценки скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» (в машиностроении и приборостроении)

На отзыв представлена диссертационная работа на 208 страницах (166 страниц основного текста и 42 страницы приложений), содержащая 6 разделов, 30 рисунков, 7 таблиц, библиографический список из 94 наименований, а также автореферат. Объем, структура диссертации и автореферата соответствуют требованиям ГОСТ Р. 7.011-2011 и рекомендациям ВАК РФ.

Актуальность темы диссертации

Технология производства электроэнергии путём использования энергии ветра, это шаг к сохранению хрупкой экологической системы нашей планеты. Многие страны выделяют не малые средства на освоение альтернативных источников электроэнергии. К сожалению, пока что существующие технологии ветроэнергетики не могут конкурировать в производстве электроэнергии с тепловыми электростанциями, а тем более с атомной энергетикой. Кроме того, применяемые методы управления ветроэнергетической установкой в условиях быстро изменяющихся ветровых и электрических нагрузок не обеспечивают должной стабильности частоты вращения ротора турбины, что отрицательно влияет на надёжность и продолжительность безаварийной работы агрегатов, экономию производимой электроэнергии при собственном потреблении, а также на эффективность максимального использования энергии ветра.

Для создания технологических процессов и выбора режимов работы необходимо знание основных закономерностей и взаимосвязей параметров, определяющих процессы ВЭУ. Этого можно достичь с помощью разработки и создания систем автоматического управления технологическими процессами преобразования энергии (САУ ТП ПЭ), в состав которой входят несколько взаимосвязанных подсистем управления. На них возлагаются задачи, связанные с анализом и обработкой взаимосвязанных данных о ВЭУ с

последующим управлением или с выбором оптимальных режимов при решении целевых задач управления и автоматизации.

Одним из способов улучшения характеристик САУ ТП ПЭ является применение оптимальных методов и алгоритмов управления, основанных на современной теории управления сложными объектами ТП ПЭ и реализуемых на современных программируемых САУ. Анализ в реальном масштабе времени всех энергетических параметров ВЭУ и своевременная подготовка САУ ТП ПЭ к внешним возмущающим воздействиям, а также учет динамических свойств подсистем позволит уменьшить время переходных процессов регулирования угловой скорости ротора ветроколеса. Разработка и внедрение методов и алгоритмов управления САУ ТП ПЭ, определили цель и задачи, поставленные в работе, ее актуальность, теоретическую новизну и практическую значимость. Все это, несомненно, приведет к достижению высоких результатов в создании современных САУ ТП ПЭ.

Общая методология исследования

Автором диссертации на основе анализа литературных источников были определены основные требования к элементам САУ ТП ПЭ, методы построения регуляторов для системы автоматического управления, а также задачи, требующие решения в рассматриваемой предметной области. Далее согласно принципам построения ТП ПЭ проведен анализ методов повышения стабильности частоты вращения вала ветроколеса, уменьшающих динамические нагрузки на основные элементы конструкции в процессе эксплуатации и улучшающих показатели надежности составляющих частей современных конструкций ВЭУ. Логическим продолжением работы стало создание новых методик синтеза подсистем САУ, обеспечивающих высокоточное управление регуляторами ВЭУ. В заключительной части диссертации представлены варианты опытных образцов подсистем САУ ТП ПЭ. Все это придает диссертации заверченный характер, как с научной, так и с практической точек зрения. Итоги выполненных теоретических и экспериментальных исследований легли в основу сформулированных в диссертации пунктов научных положений, выдвигаемых автором на защиту.

Оценка структуры и содержания диссертации

Диссертационная работа в целом имеет логическую структуру. Она хорошо иллюстрирована и демонстрирует знание автором диссертации вопросов, относящихся к практической стороне выполненных исследований.

Однако, необходимо отметить терминологические ошибки и некорректный стиль изложения в некоторых теоретических разделах диссертации. Кроме того, названия разделов диссертации не полностью отражают их содержание. Так, в разделе 2 «Установление математической зависимости угловой скорости ветроколеса от скорости ветра и угла положения лопасти» рассматривается известная методика анализа динамических параметров для определенных частных задач (для ветроэлектрических генераторов фирмы ПКТБ «КОНКОРД» и *USW56-100*). В разделе 3 «Разработка математической модели оценки времени.....» задачи управления не связаны с предложенными математическими моделями электромеханики. В разделе 4 «Анализ влияния запаздывания включения двигателя привода Питча на время переходного процесса.....» задачи автоматического регулирования с запаздыванием также не связаны математическими моделями механики ветроэнергетической установки. Научные задачи проектирования ПИД регуляторов только декларированы, а решение отсутствует. Не понятна также терминология «Регулирование угловой скорости ветроколеса с конкретными параметрами запаздывания». Отсутствует описание структурной схемы САУ и описание передаточных функций функциональных элементов САУ. Модели САУ угловой скорости ветроколеса в пакете *Matlab*, представленные на рис. 4.3 и рис. 4.9 не описаны и не просматривается связь с системой дифференциальных уравнений (4.7), а результаты моделирования приводятся.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель, поставлены задачи исследования, показана научная новизна и практическая ценность выполненных исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе исследованы и проанализированы пути повышения эффективности автоматизированного управления ВЭУ с позиций повышения стабильности угловой скорости ротора ветроколеса с целью обеспечения надёжности и продолжительности безаварийного функционирования ветроэлектрических агрегатов, экономии производимой электроэнергии при собственном потреблении, эффективности использования энергии ветра, и обоснованы основные пути решения поставленных задач. Изложены предпосылки и необходимость исследования поставленных задач. Сформулирована цель, заключающаяся в повышении эффективности управления ВЭУ на базе оценки скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии, которые обеспечивают повышение стабильности частоты вращения ротора ветроколеса, уменьшают динамические нагрузки на

основные элементы конструкции в процессе эксплуатации, что способствует улучшению показателей надежности составляющих частей современных ВЭУ. Однако выводы по данной главе не полностью отражают проведенные исследования и частично повторяют формулировки решаемых задач.

Во втором разделе описаны математические модели изучаемых объектов и используемые методы исследования. Разработана методика получения и последующего анализа математической зависимости угловой скорости ветроколеса от скорости ветра и угла положения лопасти. Для решения задачи были использованы такие параметры, как уравнение связи ширины лопасти и коэффициента подъемной силы с деформацией потока ветра. Эти параметры определяют основные показатели качества управления. Получена математическая модель ветроэнергетической установки, характеризующая зависимость угловой скорости ветроколеса от скорости ветра и угла положения лопасти. Несмотря на насыщенность текста этой главы экспериментальными и теоретическими зависимостями, различными оценками, выводы проведенных исследований изложены весьма лаконично.

В третьем разделе предложена математическая модель оценки времени включения привода питча, в соответствии с изменением скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии. С учетом постоянной времени переходного процесса и инерционности системы рассмотрена интерпретация экспериментальных данных, полученных в ходе исследований. Проведенные исследования позволили сделать вывод о том, что на каждом отрезке времени известные или предполагаемые значения скорости ветра и потребляемой мощности не дают полную информацию о параметрах управления, так как приведенный момент инерции ветроколеса и время разворота лопастей также влияют на угловую скорость ветроколеса. Для разных алгоритмов управления предложены методики оценки коэффициентов запаздывания при различных комбинациях изменений потребляемой мощности генератора и скорости ветра. Максимальный коэффициент запаздывания включения привода питча будет в случае, когда скорость ветра изменяется в большую сторону, а мощность потребляемой энергии изменяется в сторону уменьшения. Запаздывание, не влияет на переходный процесс в том случае, когда скорость ветра изменяется в меньшую сторону, а потребляемая мощность в большую сторону увеличения или остается постоянной. Это связано с тем, что при разных комбинациях изменения скорости ветра и потребляемой мощности всегда присутствует приведенный момент инерции, выступающий в роли динамического тормозного усилия. Однако обстоятельные выводы по данному разделу, как и по второму

разделу не содержат количественных оценок результатов исследований.

В четвертом разделе проведен анализ влияния запаздывания включения электропривода питча на время переходных процессов в соответствии с изменениями, как скорости ветра, так и потребляемой мощности генератора. Для решения задач использовались Simulink-модели, разработанные на основе систем дифференциальных уравнений для автоматического регулирования с запаздыванием. Эта глава является наиболее сильной в научном плане частью диссертации, где автор демонстрирует свои знания в области автоматизации и управления ВЭУ. В этом разделе изложены результаты экспериментальных исследований и технические решения по повышению эффективности подсистем САУ, обеспечивающих высокоточное управление ВЭУ. Выводы по проведенным исследованиям изложены расплывчато, отсутствуют полученные конкретные научные и практические результаты по разделу.

В пятом разделе описаны разработанные подсистемы оценки изменения угловой скорости и угла положения лопасти ВЭУ. Для оценки динамики угловой скорости ветроколеса разработана математическая модель оценки стационарных метеорологических процессов с разложением в ряд полинома Чебышева. Как эта модель на практике будет применена нет соответствующего описания. Разработана также модель оценки угловой скорости ветроколеса и угла положения лопасти в соответствии с изменением скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии. Практическое применение модели отсутствует. Выводы по проведенным исследованиям изложены расплывчато, отсутствуют полученные конкретные научные и практические результаты по разделу.

В шестом разделе описаны схемы системы автоматического управления ВЭУ, приведены сравнительно сухие оценки по предложенным алгоритмам управления. Вместе с тем, формулировки выводов этой главы также слишком скупо отражают полученные результаты, не содержат количественных значений результатов проведенных исследований, некоторые из них вообще имеют декларативный характер, не представлены в полной мере структура САУ и алгоритмы ее управления.

В приложение работы вынесены: техническая документация на ветроэнергетическую установку *USW56-100*; расчетные данные коэффициента торможения и угловой скорости ротора ВЭУ для заданных атмосферных параметров; программы реализующие предложенные алгоритмы принятия управляющих решений; процедура оценки скорости ветра; процедура оценки потребляемой электроэнергии.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Содержание автореферата полностью отражает текстовый материал диссертационной работы, полученные в ней научные и практические результаты, основные выводы и рекомендации. В равной мере ему присущи и приведенные ниже замечания по качеству оформления и предоставления материалов по выполненным исследованиям.

Соответствие содержания диссертации содержанию опубликованных работ

Результаты исследования опубликованы в двадцати трех печатных работах, которые включают: три статьи в журналах, рекомендуемых ВАК РФ, двадцать статей в сборниках материалов Международных научных конференций, межвузовских сборниках научных трудов.

Соответствие темы диссертации заявленной научной специальности

Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в машиностроении и приборостроении)» по следующим пунктам:

- разработка методик синтеза подсистем автоматического управления положением угла лопастей ВЭУ с приводами питча позволяющих улучшить показатели качества электроэнергии, соответствует первому пункту паспорта специальности;

- разработка подсистем автоматического управления положением угла лопастей ВЭУ с приводами питча, синтез для САУ алгоритмов управления позволяют синтезировать законы управления углом положения лопастей ВЭУ и реализовать эффективное программное обеспечение на программируемых микроконтроллерных системах, что соответствует третьему пункту паспорта специальности;

- предложенные алгоритмы управления САУ положением угла лопастей ВЭУ с приводами питча, учитывающие в соответствии с изменениями, как скорость ветра, так и потребляемую мощность генератора соответствуют пятому пункту паспорта специальности.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Применение априорных моделей объектов и подсистем при синтезе новых САУ углом положения лопастей ВЭУ обычно предполагает

установление их адекватности не только на качественном уровне, но и на основе количественного сравнения с экспериментальными данными. Такие сравнительные результаты в работе отсутствуют.

2. В работе не указаны конкретные параметры положения угла лопастей ВЭУ с приводами питча, при которых достигается наиболее эффективная технология преобразования энергии, считаю, приведенные в диссертации соотношения и характеристики должны были определить эти параметры. Для анализа работы приводов питча желательно было привести их основные параметры и характеристики, при которых рационально использовать тот или иной алгоритм управления САУ и проанализировать преимущества и недостатки каждого алгоритма.

3. В выводах четвертой главы отмечаются преимущества, которые получены при использовании новых САУ с ПИД регуляторами. Однако, преимущества можно доказать лишь в сравнении с эксплуатационными характеристиками САУ с заданными регуляторами. Такие сравнительные результаты в диссертации отсутствуют.

4. Для определения параметров САУ углом положения лопастей ВЭУ используется структурная схема и математические модели, но не указаны конкретные параметры подсистем САУ, при которых достигается наилучшее управление в соответствии с изменением скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии.

5. Имеются недостатки в оформлении и диссертации, и автореферата: слишком длинно представлены результаты исследований по каждому разделу, имеются некорректные подрисуночные надписи, надписи в рисунках и неточности в терминологиях, не самые удачные комментарии к графическим материалам работы.

Заключение по работе

Диссертация Буяльского Владимира Иосифовича «Автоматизированная система управления ветроэнергетической установкой на базе оценки скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. В ней решается важная научно-техническая задача анализа, синтеза и реализации системы автоматического управления ВЭУ на базе оценки скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии, которые обеспечивают повышение стабильности частоты вращения ротора ветроколеса, уменьшают

динамические нагрузки на основные элементы конструкции в процессе эксплуатации современных ВЭУ. По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов представленная работа соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Буяльский Владимир Иосифович заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в машиностроении и приборостроении)».

Официальный оппонент

д.т.н., профессор,
профессор кафедры
электромеханики ФГБОУ ВО
Уфимский государственный
авиационный технический университет

Хасанов Зимфир Махмутович

Рабочий адрес: 450008, , г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12.
Тел. +7 (347) 273-77-87, моб. +7(919)-616-00-16
E-mail: zimfirm@list.ru

Подпись Хасанова Зимфира Махмутовича заверяю

Ученый секретарь

«27» марта 2019 года



Ефименко Наталья Вячеславовна