

УТВЕРЖДАЮ  
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,  
Заместитель директора по научно-  
организационной работе  
Дорохов А.С.

« 25 » марта 2019 г.

## ОТЗЫВ

Ведущей организации – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»  
о диссертации Буяльского Владимира Иосифовича  
«Автоматизированная система управления ветроэнергетической установкой на базе оценки скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в машиностроении и приборостроении)

### 1. Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа посвящена решению проблемы повышения эффективности энергосбережения за счет обеспечения повышения стабильности скорости вращения ротора ветроколеса.

Практическая целесообразность выполнения исследований определяется необходимостью решения проблем продолжительности работы ветроэлектрических агрегатов, экономии производимой электроэнергии при собственном потреблении, эффективности использования энергии ветра, обеспечения стабильности частоты производимой электроэнергии – что обеспечивает повышение эффективности энергосбережения.

Актуальность выбранной темы определяется также критическим анализом современных методов автоматического управления ветротурбинами, не обеспечивающие повышения эффективности управления нестационарными режимами работы промышленных ветроэлектрических агрегатов.

## 2. Оценка содержания диссертации.

Диссертационная работа включает введение, 6 разделов, выводы, список использованных источников из 94 наименований и четырех приложений.

*Во введении* автором обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, объект и предмет исследования, исследовательские приемы, показана научная новизна и практическая значимость результатов работы, личный вклад соискателя, освещение результатов на семинарах, количество публикаций в профессиональных изданиях, которые содержат результаты диссертации.

*В первом разделе* дана общая характеристика ветроэнергетических установок и их систем управления, проведен критический анализ современных методов автоматического управления ветротурбинами, исследованы процессы автоматизированного управления в ветроагрегатом при различных внешних условиях, рассмотрен вопрос требования автоматизации и высокой надежности с минимальным надзором, определены основные направления по созданию систем автоматизированного управления ветроустановкой, сформулирована постановка задачи исследований.

Диссертантом на основании выполненного анализа обосновано показано, что своевременная подготовка системы к внешним возмущающим воздействиям за счет оценки времени включения двигателя угла питча для изменения положения лопастей наиболее эффективный способ повышения стабильности скорости вращения ротора ветроколеса и данный способ выбран в качестве основного для организации оперативного управления ветроагрегатом и решения задач исследований.

Рассмотрение этой части диссертации позволяет сделать вывод, что диссертант хорошо представляет себе проблемы повышения эффективности управления ветротурбиной, особенности проектирования и эксплуатации ветроэлектрических агрегатов. Выбор диссертантом метод своевременной подготовки системы к внешним возмущающим воздействиям обоснован также повышением эффективности использования энергии ветра, уменьшения нагрузки на силовые элементы конструкции ветроагрегатов в процессе эксплуатации с целью

продления срока их эксплуатации, обеспечения стабильности частоты электроэнергии производимой ветроустановкой, что весьма важно для ветроэнергетики.

***Замечания по первому разделу:***

- *в разделе помимо теоретического анализа источников и научной проблемы целесообразно было бы представить структурную схему автоматизированной системы управления ветроэнергетической установкой, которая и содержит задачи дальнейших исследований;*
- *для корректности исследования предложенного метода, можно было бы выбрать ветроэлектрический агрегат более нового поколения.*

***Второй раздел*** диссертационной работы посвящен установлению математической зависимости угловой скорости ветроколеса от скорости ветра и угла положения лопасти.

Показано, что предложенная формула отвечает эксплуатационным требованиям технической документации исследуемой ветроэлектрической установки, а также исследовано, что разработанная математическая зависимость пригодна в использовании и для других ветроагрегатов с горизонтальной осью вращения. Можно согласиться, что математическая модель имеет научную новизну, ее отличительная особенность состоит в наличии коэффициента в предложенной формуле, который обеспечивает понижение кубической степени метеопараметра до единицы, что дает возможность получить линейную зависимость скорости вращения ротора в соответствии с изменением внешней среды.

Диссертантом установлены и разработаны также мероприятия по обеспечению учета плотности воздушного потока в различные времена года при реализации предложенной математической зависимости. Все результаты и ход анализа хорошо задокументированы и проиллюстрированы.

***Замечания по второму разделу:***

*Обоснование номинального коэффициента (стр. 47) на основе разложения функции  $\sin^2\alpha$  в ряд Тейлора, не является обязательной задачей.*

***Третий раздел*** диссертации посвящен разработке и численному решению математической модели оценки времени включения двигателя привода угла pitch лопасти в соответствии с изменением скорости ветра и величины потребляемой

электроэнергии на последующем отрезке времени с учетом инерционности системы и постоянной времени переходного процесса.

Диссертантом предлагается метод своевременной подготовки системы к внешним возмущающим воздействиям, суть которого состоит в том, что сначала выполняется оценка скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии, как внешних возмущающих воздействий, затем на основе полученных данных моделируется угловая скорость ветроколеса, определяется необходимый угол положения лопасти, а затем принимаются управляющие решения, если угловая скорость не выходит за пределы допустимой ошибки – включение двигателя привода питча не осуществляется, если такие условия нарушены, тогда в соответствии с оценкой времени – включается двигатель и изменяет текущее положение лопастей на расчетное, то есть требуемое.

На основе разработанной математики автором произведен расчет для различных метеорологических и электроэнергетических условий и проведен анализ полученных результатов, для определения критических условий изменения указанных параметров. Выявлено, что экстремальным случаем, является, когда скорость ветра изменится в большую сторону, а нагрузка в меньшую, так как при таком явлении возникает момент инерции, который играет роль тормозного усилия, а следовательно, препятствует возвращению угловой скорости ветроколеса к ее номинальному значению, что определяет необходимость в заблаговременной подготовке системы к внешним возмущениям.

#### ***Замечания к третьему разделу:***

*График отображения результатов оценки времени включения двигателя привода питча (рис 3.4, стр.66) не придает информативности, так как данные тестирования представлены в таблице 3.1 (стр. 67).*

***В четвертом разделе*** приведена методика и описание экспериментальных исследований процесса автоматического регулирования угловой скорости ветроколеса с запаздыванием. Автором выполнено компьютерное моделирование системы автоматического регулирования угловой скорости ветроколеса с запаздыванием. Выведена система дифференциальных уравнений для системы автоматического регулирования угловой скорости ветроколеса в зависимости от

скорости ветра, мощности потребляемой электроэнергии, угла положения лопасти и приведенного момента инерции.

Экспериментальная часть работы выполнена с использованием метода компьютерного моделирования, что позволило адаптировать численные эксперименты на математических моделях.

***Замечания по четвертому разделу:***

*Для проведения компьютерного моделирования анализа влияния запаздывания регулирования угловой скорости ветроколеса на амплитуду регулируемой величины и на время переходного процесса, автором применяется метод с использованием ПИД-регулятора, который не позволяет с достаточной точностью учитывать параметры ветроэлектрического агрегата.*

***В пятом разделе*** работы предложены метод оценки угловой скорости ветроколеса, угла положения лопасти, а также метод оценки скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии, как величин случайных случайного процесса.

Диссертантом также определен интервал времени выборки измеренных значений случайного процесса и алгоритм согласованного доступа к двигателю привода питча со стороны предложенного и основного методов принятия управляющих решений. На основе предложенных алгоритмов представлен вид окна компьютерной программы, реализующей предложенный метод принятия управляющих решений.

***Замечания по пятому разделу:***

*Программное обеспечение исследуемой ветроустановки является лицензионным, что делает невозможным доступа к ее коду.*

***Шестой раздел*** представляет синтез структурной схемы автоматизированной системы управления ветроэнергетической установкой, реализующей предложенную методику, выполнено обоснование структурно-функциональной схемы автоматизированной системы управления ветроэнергетической установкой, обоснование и построение алгоритма функционирования подсистемы интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению ветроэлектрическим агрегатом. Дана оценка на основе количественной

характеристики, эффективности применения предложенного метода принятия управляющих решений.

***Замечания по шестому разделу:***

*Оценку на основе количественной характеристики, эффективности применения предложенного метода принятия управляющих решений, целесообразно было бы определять в четвертом разделе компьютерного моделирования, системы автоматического регулирования угловой скорости ветроколеса.*

***В выводах*** изложены наиболее важные научные и практические результаты решаемой научной задачи, раскрыто состояние научной проблемы, основные теоретические разработки, необходимые для решения поставленной научной задачи и практические результаты выполненной работы.

***Замечания по выводам:*** *В диссертации в разделе «Основные научные и практические результаты работы...» на стр. 153 автором изложено 8 выводов, а поставленных задач 3, задачи и выводы между собой не коррелируются, научные и практические результаты не показаны, нет ни одной цифры, подтверждающей практический результат.*

***Общие замечания по работе:***

*Имеется несогласованность информации отраженной в автореферате и диссертации, так в автореферате на стр. 7 указано: «по результатам проведённых исследований опубликовано 23 печатных работы... в журналах из перечня ВАК – 3;...», в диссертации на стр. 11 указано: «по результатам проведённых исследований опубликовано 22 печатных работы... в журналах из перечня ВАК – 3;...».*

*Представленные положения, выносимые на защиту, не являются таковыми, так как в них отсутствует утверждение, из этого следует, что каждое выносимое на защиту положение представляет собой содержательное высказывание, для которого имеется возможность вынесения вердикта: истинно оно или ложно. Собственно защита – и есть доказательство истинности каждого из этих положений. Отсюда вытекает, что на защиту выносятся столько же положений, сколько задач решено в исследовании. Ко всему прочему на защиту выносятся не все положения, а только основные и научные. В диссертации задач 3,*

*а положений 4. Считаю, что подзаголовок должен содержать следующее: «Основные научные положения, выносимые на защиту».*

*В диссертации, на стр. 1 указан год 2018, считаю, что надо исправить на 2019*

*Отсутствует экономическое обоснование целесообразности проведенных научных исследований, что в текущих рыночных условиях является важным элементом актуальности.*

*Диссертация с названием: «Автоматизированная система управления ветроэнергетической установкой на базе оценки скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии», предполагает разработку, изготовление и исследование материальной системы, но в диссертации нет ни одной фотографии подтверждающей её наличие, это вызывает сомнение в достоверности выполненной практической работы.*

Считаю, что содержание, структура, объем, и оформление диссертационной работы Буяльского В.И. отвечает требованиям ВАК РФ.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в машиностроении и приборостроении).

### **3. Достоверность, новизна и степень обоснованности научных положений, выводов и результатов диссертации**

Достоверность и обоснованность результатов, полученных в диссертационной работе, определяется следующим:

- использованием фундаментальных законов и методов расчета математической модели процесса;
- физической непротиворечивостью полученных результатов;
- подтверждением результатов теоретического исследования экспериментальными данными и существующей практикой эксплуатации ветроэлектрических агрегатов;
- строгими математическими выводами основных уравнений модели и методики расчета.

*Новизна научных положений и результатов диссертации* заключается в следующем:

– Усовершенствована математическая модель процесса производства электроэнергии ветроэнергетической установкой, отличающаяся тем, что метеопараметр, определяющий характер зависимости угловой скорости ротора ветроколеса от скорости ветра и угла положения лопасти выбирается таким образом, который позволяет заблаговременно определить изменение частоты вращения ветротурбины, что способствует учету динамических свойств системы для повышения оперативности принятия управляющих решений при переменных характеристиках метеорологических условий, а наличие коэффициента в предложенной формуле, обеспечивает понижение кубической степени метеопараметра до единицы, что дает возможность получить линейную зависимость скорости вращения ротора в соответствии с изменением внешней среды;

– Впервые разработан метод оценки времени включения двигателя привода угла питча лопасти в соответствии с изменением скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии на последующем интервале времени с учетом инерционности системы и постоянной времени разворота лопастей, что позволяет обеспечить своевременную установку лопастей на необходимый угол положения для повышения стабильности частоты вращения ротора ветроколеса;

– Усовершенствован метод автоматизированного управления процессом производства электроэнергии ветроэнергетической установкой путем формирования угловой скорости ротора ветроколеса и угла положения лопасти на основе упреждения изменений скорости ветра и величины потребляемой электроэнергии на малые промежутки времени (среднеквадратическая ошибка математического ожидания метеопараметра не превышает 4%).

– Организация интервала, в течение которого осуществляется осреднение измеренных значений, производится с помощью учета хронологии характера изменения внешней среды, чтобы минимизировать время контроля выходных управляемых параметров, который реализуется согласно критерию формирования доступа к двигателю привода питча со стороны предложенного и основного методов принятия управляющих решений, что дает возможность повысить стабильность



частоты вращения ротора ветротурбины за счет уменьшения продолжительности переходного процесса в среднем в два раза.

Основные научные результаты сформулированы во введении диссертации, теоретическое и экспериментальное обоснование полученных результатов приведено в разделах по тексту диссертационной работы.

#### **4. Значимость для практики**

Практическая значимость работы заключается в том, что на основе математической модели оценки времени включения двигателя привода питча представлены рекомендации и методика своевременной подготовкой системы к внешним возмущающим воздействиям позволяющая осуществить оперативное управление нестационарными режимами работы ветроэлектрических агрегатов.

Кроме того, практическая значимость исследования заключается в возможности использования выводов и рекомендаций автора диссертации в практике для дальнейшего проектирования и освоения алгоритмического обеспечения систем автоматического управления для повышения стабильности угловой скорости ротора ветроколеса.

#### **5. Полнота изложения в опубликованных работах положений и результатов диссертации**

Все основные положения и результаты диссертации нашли надлежащее отображение в 23 печатных научных работах, из которых 3 работы опубликованы в специализированных научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

#### **6. Анализ автореферата диссертации**

Информация, содержащаяся в автореферате диссертации, отражает основные положения и результаты диссертационной работы и отвечает ее содержанию. Текст и содержание автореферата соответствуют требованиям ВАК РФ.

#### **7. Вывод**

Диссертационная работа «Автоматизированная система управления ветроэнергетической установкой на базе оценки скорости ветра и мощности потребляемой электроэнергии», выполненная Буяльским Владимиром Иосифовичем, в которой получены научно-обоснованные результаты, позволившие

решить важный научно-практический вопрос повышения эффективности энергосбережения за счет повышения стабильности скорости вращения ротора ветроколеса.


Считаю, что по актуальности, новизне, научному уровню, обоснованности и достоверности научных положений, результатов и выводов, не взирая на указанные выше замечания, диссертационная работа отвечает требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Буяльский Владимир Иосифович заслуживает присуждение научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в машиностроении и приборостроении).

Диссертационная работа рассмотрена в отделе возобновляемой энергетики ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. В рассмотрении работы принимали участие ведущие специалисты в области ветроэнергетики: к.т.н. Гусаров В.А., к.т.н. Доржиев С.С., к.т.н. Базарова Е.Г, к.т.н. Моренко К.С.

Д.т.н., доцент

Подпись Юферева Л.Ю. заверяю,  
ученый секретарь ФГБНУ ФНАЦ ВИМ



 Юферев Л.Ю.

 Смирнов И.Г.