

АННОТАЦИЯ

на диссертацию для соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D071800 «Электроэнергетика»

Кабанбаев Айбек Батырбекович

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМОЙ ВЕТРОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С КАЧАЮЩИМСЯ НАДУВНЫМ ПАРУСОМ

Диссертационная работа посвящена выбору и исследованию параметров ветро электростанции имеющий парус тороидальной формы с аэродинамическим профилем сечения и с автоматически управляемой площадью поверхности.

Актуальность работы. Возможность ветровых источников возобновляемой энергетики генерировать электрический ток в любой точке поверхности суши и побережья водных пространств делают ветровые электростанции перспективным сегментом мировой энергетики. Наметившаяся в настоящее время тенденция перехода от источников энергии на углеводородном сырье к возобновляемой энергетике еще больше усилили стремление сообщества к совершенствованию и внедрению новых возобновляемых источников и в частности ветровых электростанций (ВЭС). Однако вековой опыт применения ветровых электростанций показывает, что усилия ученых, конструкторов и энергетиков сосредоточены в основном на повышение эффективности преобразования энергии ветра в конструкциях турбинных ВЭС. Известно, что турбинные ВЭС делятся на ВЭС с горизонтальной и вертикальной ориентацией оси турбины. Причем в ВЭС с горизонтальной ориентацией оси, лопасти ротора турбины движутся под действием подъемных сил ветра. Независимое от изменения направления ветра функционирование отличает ВЭС с вертикальной ориентацией оси турбины, которые в основном работают за счет сил сопротивления воздушному потоку. Однако, как показывают исследования и многолетний опыт эксплуатации для турбинных ВЭС обоих видов основные проблемы создают непредсказуемость ветра, скорости и силы порывов ветра, часто изменяющиеся в короткие промежутки времени. Также проблемой является то, что нижняя граница диапазона скоростей ветра, при котором функционируют с номинальной мощностью турбинные ВЭС, как правило, достаточно высока - более 10 м/с при максимальном КПД равном 0.3. В этой связи на обширных территориях со средней скоростью ветра 3 м/с, турбинные ВЭС не могут быть использованы. Для решения проблем по совершенствованию турбинных ВЭС ведется поиск оптимальных ветровых преобразователей, постоянно модифицируются конструкции турбинных ВЭС.

Объектом исследования в работе является ветровая электростанция с качающимся рабочим органом состоящим из надувного паруса тороидальной формы с аэродинамическим профилем сечения.

Цель работы – выбор параметров путем исследования аналитическими, компьютерными и экспериментальными методами новой автоматически управляемой ветровой электростанции с качающимся надувным парусом предназначенной для генерирования электрической энергии в широком диапазоне скоростей ветра, начиная от 2.5 м/с и независимо от непредсказуемого изменения направления и скорости ветра.

Идея работы заключается в том, чтобы по подобию тунисской стартап Saphon Energy, создать парусную ВЭС не имеющей вращающейся турбины. Использовать новую технологию преобразования энергии ветра в электрическую энергию, которая заключается в том, что энергия ветра, захваченная качающимся парусом преобразуется в энергию поступательных движений шести актуаторов параллельного манипулятора, система отбора мощности преобразует энергию шести актуаторов в электрическую энергию. Создать систему автоматизации управления ВЭС, которая регулирует параметры системы так, чтобы при любых скоростях и направлениях ветра ВЭС работала с заданной производительностью.

Научная новизна:

- дано обоснование параметров паруса новой ВЭС путем компьютерного моделирования и экспериментальных исследований на аэродинамической трубе;
- создан действующий демонстрационный образец парусной ВЭС с циклически движущимся рабочим органом;
- для выбора и исследования парусной ВЭС разработан математический аппарат на основе уравнений состояния;
- в результате расчетов получено, что ВЭС за счет одновременного воздействия на парус силы сопротивления и подъемной силы более эффективно преобразует энергию ветра;
- получен алгоритм, построенный с применением математического аппарата, который позволяет выбрать параметры первичного преобразователя энергии, а также активного демпфирующего устройства, управляемого с помощью изменения преднатяга пружин;
- сформирована функциональная схема САУ ВЭС, состоящей из информационно-измерительной системы, исполнительных устройств и управляющей ПЛК;
- исследованы энергетические характеристики парусной ВЭС путем анализа мощности передаваемая системой отбора мощности (СОМ) на систему генерирования в зависимости от скорости ветра;
- дано обоснование структуры СОМ и выбора электрической машины для генерирования электрического тока.

Задачи исследования:

- обоснование и выбор аэродинамических характеристик паруса;
- подтверждение функциональных возможностей парусной ВЭС изготовлением действующего прототипа парусной ВЭС;
- создание аналитического аппарата для исследования и выбора параметров парусной ВЭС с качающимся рабочим органом;
- разработка алгоритма для определения параметров первичного манипуляторного преобразователя и демпфирующей системы;
- формирование системы автоматического управления парусной ВЭС составленной из 4-х подсистем:
 - управления парусностью;
 - управления демпфированием;
 - контроля генерированием электрической энергии;
 - управления при нештатных ситуациях;
- разработка алгоритма для парусной ВЭС, позволяющий оценить мощность силы ветра, передаваемую от рабочего органа, воспринимающего ветровую нагрузку через СОМ к валу ротора генератора;
- исследование энергетических характеристик парусной ВЭС путем исследования мощности передаваемой СОМ на систему генерирования в зависимости от скорости ветра;
- обоснование структуры СОМ и систем генерирования и аккумуляирования электрической энергии парусной ВЭС.

Основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

- результаты компьютерного моделирования и экспериментальных исследований геометрических и аэродинамических характеристик надуваемого паруса;
- испытания, проведенные с помощью действующей модели, которые подтвердили функциональные возможности парусной ВЭС с качающимся рабочим органом;
- аналитический аппарат полученный на основе уравнений состояния, для исследования и выбора параметров парусной ВЭС;
- алгоритм расчета и выбора параметров первичного преобразователя энергии, а также активного демпфирующего устройства;
- САУ парусной ВЭС, состоящая из подсистем: управления парусностью; управления демпфированием; контроля генерированием электрической энергии; управления при нештатных ситуациях;
- методы обоснования структуры СОМ, систем генерирования и аккумуляирования электрической энергии парусной ВЭС с качающимся надувным парусом.

Методы исследования: Научные и практические результаты диссертационной работы получены с использованием аналитического аппарата теории нелинейных систем автоматического управления и уравнений энергетического баланса. Для решения задач, поставленных в

диссертационной работе, также применялись: метод изготовления демонстрационного образца; компьютерное моделирование с применением программы Autodesk Flow Design: экспериментальные исследования на аэродинамической трубе; расчеты с применением ПП MatLab и Mathcad; проектирование САУ с применением TIA Portal; моделирование в WINCC.

Практическая значимость полученных результатов заключается в:

– создании объекта возобновляемой энергетики, использующий энергию ветра - парусной ветровой электростанция малой мощности, которая позволяет преобразовывать энергию ветра более эффективно, чем турбинные ВЭС;

– парусной ВЭС, которая позволяет существенно расширить территории применения ВЭС благодаря возможности эффективно генерировать электрический ток при скорости ветра от 2,5 м/с и может применяться на всей территории Казахстана, т.к. обширные территории Казахстана имеют среднегодовую скорость ветра около 3 м/с.

Обоснование и достоверность результатов и выводов. Полученные аналитический аппарат, результаты исследований компьютерным моделированием и экспериментальными исследованиям, а также расчет с применением пакетов прикладных программ являются достоверными так как они обсуждались зарубежными рецензентами при публикации в международном журнале по возобновляемой энергетике.

Объем и структура работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, 7 приложений. Содержит 119 страниц машинописного текста, 49 рисунка, 5 таблиц, список использованных источников, включающий 101 наименование.

Содержание работы. Во введение обосновано актуальность исследования и разработки парусной ВЭС с тороидальным профилем сечения паруса. Сформулированы цель и задачи диссертации, определены научная новизна, научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту, практическая значимость результатов исследований.

В первой главе изложено состояние вопроса и проведен обзор литературных источников и патентов, посвящённых разработке и исследованию всех видов ВЭС которые имеют разные методы преобразования энергии ветра в электроэнергию. Приведены характеристики и особенности конструкции ВЭС. Рассмотрены существующие технические решения по конструированию ВЭС и способы их преобразования энергии. Сформулированы цели и задачи исследования.

Во второй главе на основе натурального эксперимента на аэродинамической трубе и с помощью прикладной программы Autodesk Flow Design позволило обосновать выбор тороидальной формы паруса. В результате экспериментального исследования парусов трех геометрических размеров проведенных на аэродинамической трубе при различных углах атаки получены экспериментальные данные, в результате обработки которых построены графики изменения аэродинамических сил.

В третьей главе для выбора и исследования парусной ВЭС разработан математический аппарат на основе уравнений состояния. Показано, что алгоритм, построенный с применением математического аппарата, позволяет выбрать параметры параллельного манипулятора, а также активного демпфирующего устройства, управляемого с помощью изменения преднатяга пружин.

В четвертой главе сформирована структура системы управления парусной ВЭС. САУ ВЭС составлена из 4-х подсистем: управления парусностью; управления демпфированием; контроля генерированием электрической энергии; управления при нештатных ситуациях. Исследована система управления одного из исполнительных устройств – электромеханического клапана выхлопа, используемого для управления парусностью.

В пятой главе получен алгоритм, позволяющий оценить в парусной ВЭС мощность сил ветра, передаваемую от рабочего органа, воспринимающего ветровую нагрузку через СОМ к валу ротора генератора. На основании расчетов исследованы энергетические характеристики парусной ВЭС путем исследования мощности передаваемая СОМ на систему генерирования в зависимости от скорости ветра.

В заключении приведены результаты исследований:

- ❖ Компьютерным моделированием и экспериментальными исследованиями на аэродинамической трубе обоснованы и выбраны параметры паруса.
- ❖ Изготовлена действующая модель парусной ВЭС и путем испытания подтверждены функциональные возможности парусной ВЭС.
- ❖ Создан аналитический аппарат для исследования и выбора параметров парусной ВЭС с качающимся рабочим органом.
- ❖ Разработан алгоритм для определения параметров первичного манипуляторного преобразователя и демпфирующей системы.
- ❖ Сформирована системы автоматического управления парусной ВЭС составленной из 4-х подсистем:
 - управления парусностью;
 - управления демпфированием;
 - контроля генерированием электрической энергии;
 - управления при нештатных ситуациях.
- ❖ Для парусной ВЭС разработан алгоритм, позволяющий оценить мощность силы ветра, передаваемую от рабочего органа, воспринимающего ветровую нагрузку через СОМ к валу ротора генератора.
- ❖ Исследованы энергетические характеристики парусной ВЭС путем исследования мощности передаваемая СОМ на систему генерирования в зависимости от скорости ветра.

- ❖ Обоснована структура СОМ и систем генерирования и аккумулирования электрической энергии парусной ВЭС.

Область применения. Парусная ВЭС будет использована в отдаленных пастбищах, фазендах, где в экономическом и техническом плане нецелесообразно прокладывать традиционные источники электроэнергии.

Личный вклад соискателя заключается: в проведении натурального эксперимента на аэродинамической трубе; в проведении математического моделирования на прикладной программе; в конструировании демонстрационной модели парусной ВЭС; расчете и выборе первичного преобразователя энергии, систем отбора мощности, системы автоматического управления и системы генерирования электрической энергии.

Апробация результатов диссертации и публикации. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрение:

- на научно – технических семинарах КарГТУ;

- на 4 международных конференциях, в том числе 2 зарубежных:

1. Шоланов К.С., Кабанбаев А.Б. Исследование параметров ветроэнергетической установки с парусом тороидальной формы // VII науч.-техн. конф. с междунар. участием «Наука настоящего и будущего» для студентов, аспирантов и молодых ученых – Санкт-Петербург: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. – Т. 1 – С. 215-219;

2. Шоланов К.С., Кабанбаев А.Б. Математическое моделирование аэродинамических характеристик паруса тороидальной формы // Матер. IX междунар. науч.-техн. интерн.-конф. мол. учен. «Автоматизация, мехатроника, информационные технологии». – Омск: ОмГТУ, 2019. – С. 110-113.

3. Кабанбаев А.Б., Жасакбаев А.Д. Жел энергетикасы және желкенді жел генераторларының даму перспективасы. // Науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №10). – Караганда: КарГТУ, 2018. – Ч. 1 – С. 171-172.

4. Шоланов К.С., Иманкарим Р.К., Кабанбаев А.Б. Обоснование параметров переносной парусной ветровой электростанции. // Тр. междунар. науч.-практ. конф. «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №11). – Караганда: КарГТУ, 2019. – Ч. 5. – С. 141-144.

- 1 статья, входящая в информационные базы компаний Web of Science и Scopus, имеющая процентиль 64:

1. Sholanov K.S., Abzharov K.A., Kabanbayev A.B. Study and selection of parameters of an automatically controlled wind power station with swaying sails // International Journal of Renewable Energy Research (IJRER). – Turkey: GU, 2020. – V. 10, No. 2 – p. 768-779

– 3 статей в журналах, определенных списком Комитета по контролю в сфере образования и науки Республики Казахстан:

1. Шоланов К.С., Мырзабаев Б., Сүндет Ғ.Е., Кабанбаев А.Б. Исследование состояния парусных ветрогенераторов в Казахстане // Труды университета 2019. – Караганда: КарГТУ, 2019. – Вып. №2. – С.115-121;

2. Шоланов К.С., Кабанбаев А.Б. Исследование аэродинамических характеристик ветроэнергетической установки парусного типа // Труды университета 2019. – Караганда: КарГТУ, 2019. – Вып. №3. – С.131-137.

3. Шоланов К.С., Абжапаров К.А., Кабанбаев А.Б. Выбор и расчет параметров ветроэнергетической установки с автоматически управляемым парусным рабочим органом // Вестник КазНИТУ. – Алматы: КазНИТУ, 2018. – Вып. №4. – С. 127-136

– 1 патент Республики Казахстан:

1. Пат. 5431 Республика Казахстан. Ветровая электростанция с системой парусов (полезная модель) / Абильдаев А.А., Кабанбаев А.Б. - №2020/0379.1; заявл. 17.04.2020; опубл. 09.10.2020. Бюл. № 10.

– 1 свидетельство об интеллектуальной собственности:

1. Кабанбаев А.Б., Жасакбаев А.Д. Информационно - измерительная программа для ветроэнергетической установки парусного типа (программа для ЭВМ) // Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права. Запись в реестре № 2310 от 15.03.2019. – Министерство юстиции РК.

Результаты работы внедрены в учебный процесс Таразского регионального университета имени М.Х.Дулати на кафедре «Автоматики и телекоммуникации».