

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика»

**Мирзабаев Берик Исламбекович**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АВТОНОМНОЙ ВЕТРОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ПРОСТРАНСТВЕННО ДВИЖУЩИМСЯ ПАРУСНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ**

Диссертация содержит исследования направленные на выбор и обоснование параметров нового возобновляемого источника электрической энергии в виде автономной ветровой электростанции (ВЭС) с качающимся рабочим органом.

**Актуальность работы.** Современные экологические проблемы связанные с глобальным потеплением во многом вызваны традиционными источникам энергии в этой связи актуальным является расширение области применения возобновляемых источников энергии в частности ветровых электростанций (ВЭС). В настоящее время наибольшее распространение получили турбинные ветровые электростанции, которые делятся на горизонтальные и вертикальные в зависимости от ориентации оси турбины. Опыт применения и результаты исследований показывают, что для обеих видов турбинных ВЭС имеются существенные проблемы вызванные невозможностью прогнозировать изменения скорости и направления ветра за короткий промежуток времени. Кроме того, чтобы турбинные ВЭС могли генерировать электрическую энергию заданной мощности скорость ветра должна быть не меньше 10 м/с, и эта скорость и направление должны поддерживаться постоянно. При этом КПД турбинных ВЭС составляет 0.3. В связи с этим научно-исследовательские работы ученых, энергетиков и конструкторов часто направлены не только на совершенствование турбинных ВЭС, но и на поиск новых преобразователей энергии ветра в электрическую, чтобы получить возможность эксплуатировать ВЭС в местностях где скоростью ветра в среднем равна 3 м/с независимо от изменения направления и величины скорости ветра. Такие возможности обеспечивает парусная ветровая электростанция (ПВЭС), которая имеет кпд более чем в два раза превышающий турбинные, а также дешевле по стоимости из-за отсутствия таких дорогостоящих деталей и устройств, как лопасти, мощные мачты, редукторы. Актуальность исследования парусной ВЭС также объясняется тем, что ПВЭС не уязвима к ураганным порывам ветра, которые периодически наблюдаются на территории Казахстана. Кроме того парусная ВЭС, имеет возможности изменять парусность и адаптироваться к воздействиям воздушной массы.

**Объектом исследования** является возобновляемый источник электрической энергии в виде парусной ветровой электростанции с пространственно качающимся рабочим органом.

**Цель работы** заключается в исследовании и выборе параметров паруса и системы управления парусностью; исследовании характеристики управляемого пространственного демпфера из параллельного манипулятора; в выборе системы отбора мощности; в разработке и исследовании системы генерирования электрической энергии.

**Идея работы** заключается в совершенствовании парусной ВЭС. Для выбора паруса обладающего наилучшими аэродинамическими характеристиками, с применением методов компьютерного моделирования (ПП Solidworks). Чтобы эффективно преобразовать энергию ветра в энергию вращательного движения вала генератора введена система автоматического управления движением рабочего органа с парусом, состоящая из 4-х подсистем: предварительной установки параметров ПВЭС путем начальных установочных расчетов; предотвращения резонанса; генерирования электрической энергии и его стабилизации через установки на параллельный манипулятор 3-х генераторов и соединения их между собой для передачи генерированной энергии в сеть; управления движением рабочего органа изменяя преднатяг пружин актуаторов и изменяя количество паруса также перемещая его вдоль мачты в зависимости от скорости ветра.

**Обоснование новизны и важности полученных результатов:**

1) Для новой конструкции возобновляемого источника электрической энергии – парусной ветровой электростанции проведены теоретические исследования направленные на повышение эффективности генерирования электрической энергии за счет преобразования кинетической энергии ветра, с наименьшими потерями

2) В качестве рабочего органа был предложен обновленный тороидальный парус, с сечением похожим на профиль крыла самолета, с повернутым под определенным углом по тангажу ( $18^0$ ) поперечным сечением в итоге обладающий высокими аэродинамическими характеристиками.

3) Новый метод автоматизации управления парусностью парусной ВЭС, путем изменения момента силы, действующей на мачту, путем перемещения вверх или вниз тороидального паруса вдоль мачты в зависимости от скорости ветра.

4) Введена система автоматизации функционирования ПВЭС, состоящая из 4-х подсистем.

5) Предложен новый метод подключение трех генераторов к вертикальным приводам платформенного преобразователя через систему отбора мощности и улучшение стабилизации вырабатываемого энергии.

**Задачи исследования:**

- Выбор тороидального паруса и профиля сечения с высокими аэродинамическими характеристиками путем компьютерного моделирования и исследования в виртуальной аэродинамической трубе;

- Разработка лабораторного макета парусной ВЭС;

- Формирование динамической модели движения РО и создание релейной системы управления движением РО;

- Создание системы отбора мощности;

- Выбор параметров энергосистемы;
- Разработка системы автоматического управления парусностью, диагностики и аварийной сигнализации.

**Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту:**

- Исследование и выбор тороидального паруса с высокими аэродинамическими характеристиками путем компьютерного моделирования и обоснования выбранного тороидального паруса методом виртуальной продувке на аэродинамическом трубе.

- Разработка системы автоматического управления парусностью, системы генерирования электричества, диагностики и аварийного предупреждения;

- Формирование динамической модели управления движением рабочего органа парусной ветровой электростанции;

- Создание конструкции лабораторной модели парусной ветровой электростанции (ВЭС) и экспериментальное исследование движения рабочего органа;

- Создание системы отбора мощности;

- Выбор параметров и формирование системы генерирования электрической энергии.

**Методы исследования:**

Использованы методы компьютерного моделирования. Была создана 3D-модель тороидального паруса на SOLIDWORKS, проведены испытания на компьютерной программном пакете виртуальной аэродинамической трубе Autodesk Flow Design для получения аэродинамических параметров тороидального паруса.

Использован аналитический аппарат теории нелинейного автоматического управления.

Поведены экспериментальные исследования движения РО ПВЭС на специально созданной установке.

**Практическая значимость полученных результатов заключается в:**

возможности использования обновленных парусных ВЭС в регионах со средней скоростью ветра 3 м/с и частыми порывами ветра на территории Казахстана и других населенных пунктах за пределами Казахстана, где использование традиционных турбинных ВЭС не эффективны.

**Соответствие направлениям развития науки или государственным программам**

Диссертация выполнена в рамках проекта грантового финансирования ИРН AP09562116 «Разработка конструкций узлов опытного образца малой ветровой электростанции с качающимся парусным рабочим органом» (2021 г.). Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан «Энергетика и машиностроение», специализированному научному направлению «Альтернативная энергетика и

технологии: возобновляемые источники энергии, ядерная и водородная энергетика, другие источники энергии»

### **Обоснование и достоверность результатов и выводов.**

Достоверность результатов использования пакетов прикладных программ Autodesk Flow Design проверена расчетом аэродинамических характеристик известных из литературы профилей. Выводы, полученные аналитическими методами исследования нелинейных систем проверены проведением натуральных экспериментов. Обоснованность основных положений диссертации следует из положительного заключения по статье «Expansibility Of Electric Power Production By Sail Wind Power Stations» рецензентов журнала «International Journal of Mechanics and Control».

**Объем и структура работы.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, 4 приложений. Содержит 96 страниц машинописного текста, 56 рисунка, 4 таблиц, список использованных источников, включающий 101 наименование.

### **Описание основных результатов исследования:**

- Путем компьютерного моделирования с применением ПП SOLIDWORKS получена 3D модель улучшенного тороидального паруса, напоминающий профиль крыла самолета, поперечное сечение которого повернут на определенный угол ( $18^0$ ) по тангажу, обладающий более высокими аэродинамическими показателями по сравнению с другими.

- Разработана система автоматического управления ПВЭС состоящая из 4-х подсистем: предварительной установки параметров парусной ВЭС; предотвращения резонанса; генерирования электрической энергии; управления движением рабочего органа.

- Сформирована динамический модель релейного управления движением рабочего органа ПВЭС которая позволила установить отсутствие автоколебания и получить линеаризованное уравнение позволяющее управлять амплитудой РО путем изменения преднатяга пружин (демпферов) актуаторов.

- Сконструирована лабораторная модель ПВЭС и проведены экспериментальные исследования движения РО, которые подтвердили отсутствие автоколебания

- Предложен новый метод управления парусностью парусной ВЭС путем изменения силы действия момента на мачту, перемещая тороидальный парус вдоль мачты вверх или вниз в зависимости от скорости ветра.

- Создана системы отбора мощности для преобразования возвратно-поступательного движения в актуаторе во вращательное движения вала генератора.

- Создана схема подключение трех генераторов через систему отбора мощности к вертикально расположенным актуаторам платформенного преобразователя и схема подключение трех генераторов на сеть и стабилизация вырабатываемого из трех генераторов напряжения.

**Область применения.** Используется в крестьянских хозяйствах, и животноводческих фермах, которые расположены вдали от электросети. В

целом используются в регионах обширных территории со средней скоростью ветра 3 м/с.

**Вклад докторанта в подготовку каждой публикации** заключается: в выборе тороидальных парусов с высокими аэродинамическими характеристиками, подборе различных парусов путем 3D моделирования и тестирования в компьютерной виртуальной аэродинамической трубе. Разработка лабораторного макета новой парусной ВЭС. Формирование нелинейной динамической модели и релейной систему управления, гармонической линеаризации и получении линеаризованного уравнения управления. Подбор системы отбора мощности. Разработка системы автоматического управления РО, системы генераций и стабилизации генерирования электрической энергии.

#### **Апробация результатов диссертации и публикации.**

Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрение на научно – технических семинарах КарГТУ и на 1 международной конференций:

- Шоланов К.С., Marco Ceccarelli, Мирзабаев Б.И., Выбор модифицированного тороидального паруса для парусной ветровой электростанции, Международной научно-практической online конференции (Сагиновские чтения №12) 18-19 июня 2020 г.

- Опубликовано 2 статьи, входящая в информационные базы Scopus:

1. Sholanov K.S., Abzhaparov K., Mirzabaev. B. Justifying and choosing parameters of the wind power installation with an automatically controlled sailing working body. // Journal Energy Web and Information Technologies. – 2018. – Vol.6. – P. 1-8., ID: 2266, 2019 (процентиль 25).

2. Sholanov K.S., Mirzabayev B.I., Ceccarelli M. Expansibility of Electric Power Production by Sail Wind Power Stations, International Journal of Mechanics and Control, ISSN: 1590-8844, Vol. 22, No. 02, 2021, pp. 117-126 (Процентиль 47).

- Опубликовано 2 статьи 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., Мирзабаев Б.И., Сериков Б.К. Выбор тороидального паруса для новой парусной ветровой электростанций путем компьютерного моделирование, Труды университета 2019. – Караганда: КарГТУ, 2019. – Вып. №4. – С.126-129.

- Получен 1 патент на изобретения в международном патентной организации WIPO PCT:

1. Пат. № WO 2020/209705 A1 WIPO PCT, Ветровая электростанция с улучшенной парусностью, Wind power plants with improved sailing / Шоланов К.С., Мирзабаев Б.И.