

## АННОТАЦИЯ

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

**Омаров Ануар Серикович**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С КАЧАЮЩИМСЯ ЗОНТОВЫМ ПАРУСОМ**

**Актуальность работы.** Экологическая ситуация в мире, связанная с глобальным потеплением, приводит к необходимости замещения органического топлива, загрязняющих окружающую среду, возобновляемыми источниками энергии. Доступная энергия ветра, которая может быть преобразована в другие виды энергии, приблизительно  $1,26 \times 10^9$  МВт. Так как это значение в 20 раз превышает глобальное потребление энергии, то энергия ветра в принципе может удовлетворить все энергетические потребности мира. В связи с этим вопрос преобразования ветра в электрическую энергию является наиболее актуальным среди возобновляемых источников энергии.

В настоящее время широкое распространение приобрели турбинные ветровые электростанции (ТВЭС) с вертикальным и горизонтальным расположением роторов, работающие соответственно за счет сил сопротивления и подъема. Анализ исследований в области ветроэнергетики показывает, что они в основном направлены на совершенствование ТВЭС и предусматривают решение следующих актуальных проблем: оптимизацию преобразования энергии ветра, например, путем демпфирования энергоколебаний в системе; мониторинга окружающих условий и работоспособности ТВЭС, используя большие данные; модернизации систем управления, например, используя контроллеры на основе наблюдателей возмущений; исследования аэродинамики лопастей. Однако для ТВЭС проблемой является непредсказуемость ветра, скорости и силы порывов ветра, часто изменяющиеся в короткие отрезки времени, а также то, что нижняя границей диапазона скоростей ветра, при котором функционируют с номинальной мощностью ТВЭС, как правило, достаточно высока - более 10 м/с при максимальном КПД равном 0.3. В этой связи применение ТВЭС неэффективно на обширных территориях с населением и производственными мощностями, в которых средняя скорость ветра равна 3-6 м/с.

Ведется поиск оптимальных ветровых преобразователей и предлагаются новые решения, к которым можно отнести парусные ветроэлектростанции (ПВЭС). К настоящему дню в мировой практике не в полной мере исследованы разработки, направленные на интегрированное и комплексное решение проблемы создания ветрового источника малой возобновляемой энергетики способного удовлетворить производственные мощности и потребности населения территорий с малой скоростью ветра (от 2,5 м/с), при

непредсказуемо изменяющейся направлении и величины скорости ветра вплоть до ураганного.

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

**Цель работы** заключается в модернизации путем исследования параметров и разработка конструкций основных модулей ветроэлектростанции с качающимся парусом.

**Идея работы** заключается в том, что предлагается совершенствовать возобновляемый ветровой источник электрической энергии с пространственно-качающимся парусом на базе параллельного манипулятора. Решается проблема расширения территории использования ветровых источников возобновляемой энергетики за счет того, что парусная ВЭС вырабатывает электрическую энергию требуемой мощности при скоростях ветра от 2,5 м/с и выше.

**Обоснование новизны и важности полученных результатов:**

- Разработка модернизированной ВЭС с зонтовым парусом и с актуаторами, содержащими генераторы электрического тока.

- Система генерирования ПВЭС, построенная на базе параллельного соединения шести синхронных генераторов.

- Методом энергетического анализа впервые проведена сравнительная оценка КПД и выбор параметров при проектировании ПВЭС.

Работа предлагает новую технологию и технические средства эффективного преобразования энергии ветра в электрическую энергию путем применения: пространственно-движущегося зонтового паруса, с регулируемой парусностью, воспринимающего как подъёмную силу, так и силу сопротивления ветра; применением параллельного манипулятора с усовершенствованной конструкцией актуаторов для использования в качестве демпфера и для преобразования пространственного движения паруса в электрическую энергию. Эта технология позволит: во-первых, развивать в мире новое направление по преобразованию энергии ветра в электрическую энергию; во-вторых, позволит создать более эффективные и надёжные в эксплуатации автономные ветроэлектростанции, вырабатывающие электрическую энергию по доступной для потребителей цене.

**Задачи исследования:**

- Проанализировать известные за рубежом и в Казахстане исследования по ветровой энергетике, способов и установок преобразования ветровой энергии в электрическую.

- Исследовать характер изменения воздушных потоков и их влияние на зонтовой парус.

- Разработать имитационные модели модулей: зонтового паруса, демпфирующего устройства (ДУ), системы обора мощности (СОМ), генерирования и преобразования электрической энергии.

- Разработать автоматические системы управления модулями и всей парусной ВЭС.

- Проанализировать эффективность преобразования энергии модифицированной парусной ВЭС.

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

- Аэродинамические характеристики зонтового паруса для ВЭС с качающимся рабочим органом на основе экспериментальных данных ветра с применением ПП SolidWorks FlowSimulation.

- Метод исследования и выбора параметров полуактивной системы подвески актуатора со встроенным генератором.

- Синтез системы генерирования ПВЭС.

- Формирование логики управления модулями: зонтового паруса, демпфирования и генерирования электрической энергии ПВЭС.

- Анализ эффективности модифицированной ПВЭС на основе уравнений энергетического баланса.

**Методы исследования.**

При теоретических и прикладных исследованиях в диссертационной работе применялись математический аппарат теории нелинейных систем автоматического управления и уравнения энергетического баланса, метод изготовления демонстрационного и опытного образца актуатора и ВЭС в целом; компьютерное моделирование с применением программы Solidworks и библиотеки FlowSimulation; расчеты с применением ППП MatLab и Mathcad; проектирование САУ с применением TIA Portal.

**Практическая значимость.**

Полученные результаты исследования используются в разработке автономной парусной ВЭС с качающимся зонтовым парусом, вырабатывающей электрическую энергию при малых ветрах (от 2,5 м/с) независимо от направления и скорости ветра.

**Соответствие направлениям развития науки или государственным программам.**

Соответствует национальным и регламентированным программам и стратегии развития Возобновляемой энергетики, чтобы создать предпосылки для устойчивого развития РК.

Диссертация выполнена в рамках проекта грантового финансирования ИРН АР09562116 «Разработка конструкций узлов опытного образца малой ветровой электростанции с качающимся парусным рабочим органом» (2021 г.) и ИРН АР14869386, «Исследование, разработка совокупности конструкций и создание экспериментального образца автоматически управляемой парусной ветровой электростанции с качающимся рабочим органом». 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.**

Полученные результаты исследований теоретически обоснованы и подтверждены компьютерным моделированием и экспериментальными исследованиями, а также расчетами с применением пакетов прикладных программ. Основные положения и выводы опубликованы в научной литературе и обсуждались зарубежными рецензентами при публикации в международном журнале и на международных конференциях.

### **Объем и структура работы.**

Диссертация состоит из введения, основной части из четырех глав, заключения. Объем диссертации составляет 152 страницы машинописного текста, содержит 84 рисунка, 11 таблиц, списка использованных источников, включающих 149 наименований, 7 приложений.

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

-Проведен литературный обзор в области ветровой энергетики, в частности, недостатки современных ТВЭС, ранние исследования в области парусных ВЭС.

-Экспериментальный анализ динамических характеристики ветра по мгновенным показаниям скорости и направления, иллюстрирующие низкую среднюю скорость ветра в 2,358 м/с с резкими порывами, достигающими 20 м/с.

-Обоснована структура модуля зонтового паруса и его профиля благодаря аэродинамическим исследованиям зонтового паруса.

-Расчет и обоснование параметров модулей демпфирования и отбора мощности ПВЭС путем модернизации конструкции актуаторов, с целью повышения эффективности преобразования энергии ветра в электрическую энергию.

-Сравнительный анализ процесса преобразования кинетической энергии ветра, действующего на зонтовый парус и винт турбины, в электрическую энергию и определения КПД равной 0.5 вычисленного на основе уравнения энергетического баланса.

-Сравнительный анализ существующих систем генерации, доказывающий актуальность и обоснованность выбора силовых преобразователей AC/DC и DC/AC, с параллельным подключением шести PMSG генераторов между ними на общую DC шину для автономной ПВЭС.

-Для модулей парусности, демпфирования, генерации ПВЭС в целом разработаны алгоритмы управления и выполнена программная реализация автоматического управления.

-На основе полученных исследований получен патент и свидетельство об интеллектуальной собственности.

-Изготовлен опытный образец актуатора в результате выполнения в 2021 г. проекта грантового финансирования.

-В настоящее время производятся работы по созданию полноценного опытного образца ПВЭС в рамках грантового финансирования научного проекта на 2022-2024 гг.

**Область применения.** Возобновляемая энергетика, создание новых видов малых ветровых электростанций.

Результаты работ направлены на создание в дальнейшем опытной конструкции, автономной малой парусной ветровой электростанции, использующей технологию и технические средства более эффективного преобразовании энергии ветра в электрическую энергию при большом диапазоне изменения скорости ветра.

#### **Вклад докторанта в подготовку каждой публикации**

В ходе апробации и публикации результатов диссертации были опубликованы следующие статьи:

На международных конференциях 4 тезиса:

1. Омаров А.С. Выбор параметров паруса и параллельного манипулятора для ветровой электростанции // Тр. междунар. науч.-практ. online конф. «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №13). – Караганда: КарГТУ, 2021. – Ч. 5. – С. 658-659

2. Омаров А.С. Статическая линеаризация математической модели качающейся парусной ветровой электростанции // Тр. междунар. науч.-практ. online конф. «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №13). – Караганда: КарГТУ, 2021. – Ч. 5. – С. 660-661

На этой конференции докторант выступил с тезисами, относящимися к моделированию зонтового паруса в программной среде Solidworks и аэродинамическому анализу различных типов и размеров профилей с помощью библиотеки FlowSimulation. Также с помощью ППП Matlab была продемонстрирован алгоритм решения обратной задачи кинематики для манипуляторного преобразователя (МП) Sholkor с целью дальнейшего определения габаритных размеров МП и его актуаторов и управления демпфирующей системой.

3. Sholanov, K., Omarov A. Description of the structure and technology of wind energy conversion by an umbrella sail power plant // 2nd International Cappadocia Scientific Research Congress. – Cappadocia-Nevsehir. – 2022. – P. 1153.

В докладе докторантом определена структура ПВЭС с зонтовым парусом и принципы преобразования и генерации электрической энергии.

4. Sholanov, K., Omarov A. Modification of Wind Power Plant with an Umbrella Sail // Reviews of Modern Science. Proceedings of the 1st International Scientific Conference. Technical Science section. – Zurich, Switzerland. – 2022. – P. 204-207.

Докторант представил и обосновал модернизацию ПВЭС введением зонтового паруса, систем демпфирования и отбора мощности.

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

1. Шоланов Қ.С., Омаров А.С., Қуанышқызы Н. Исследование параметров ветровой электростанции с зонтовым парусом // Труды университета. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2020. – №2(79). – С. 139-142.

В статье проведен обзор в области ветроэнергетики и ранних исследований ПВЭС

2. Шоланов К.С., Омаров А.С. Описание конструкции и технологии преобразования энергии ветра электростанцией с зонтовым парусом // Вестник Торайгыров университета. Энергетическая серия. – Павлодар: Изд-во Торайгыров университет, 2022. – №3. – С.211-223.

Описана технология преобразования ветра в электрическую энергию с помощью модернизированного паруса в виде зонта.

3. Шоланов К.С., Омаров А.С. Исследование и выбор параметров модифицированной ветровой электростанции с зонтовым парусом // Вестник Торайгыров университета. Энергетическая серия. – Павлодар: Изд-во Торайгыров университет, 2022. – №4. – С.351-364.

В статье проводится анализ и выбор параметров пружинно-демпферной подвески актуаторов, синтез структуры системы управления, расчет энергетического баланса модифицированной ПВЭС

1 патент на изобретение РК:

1. Шоланов К.С., Омаров А.С. Ветровая электростанция с зонтовым парусом // Патент №35684 РК на изобретение. 27.05.2021. Бюл. №21.

В патенте описывается ПВЭС с качающимся рабочим органом в виде зонта, конструкция зонта и новый метод управления парусностью.

1 свидетельство об интеллектуальной собственности:

1. Омаров А.С. Измерение мгновенных показаний скорости и направления ветра в г. Караганда // Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права №21420, 5.11.2021 г.

Проведено измерение ежесекундных показаний скорости и направления ветра и сформирована база данных.

1 статья, входящая в информационную базу Scopus, имеющая процентиль 46:

1. Sholanov, K., Omarov, A., Ceccarelli, M. Improving efficiency of converting wind energy in modified sail wind power station // International Journal of Mechanics and Control. – Torino: Publ. Levrotto&Bella, 2022. – Vol. 23, №02. – P. 101-110.

Обобщив информацию, полученную из теоретических и экспериментальных исследований, опубликованных работ и полученных результатов сформирована статья для высокорейтингового журнала, входящего в базу Scopus.