

## **АННОТАЦИЯ**

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

**Шакенов Калижан Бахытжанович**

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ЗАКРЫТОГО ТИПА В КОМПЛЕКСЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА**

#### **Актуальность работы.**

В Республике Казахстан имеется закон «О поддержке использования возобновляемых источников энергии», который поддерживает использование возобновляемых источников энергии и выполнение международных обязательств нашей страны по уменьшению загрязняющих отходов. Целью данного закона является инициализация определенных стимулов при генерации электрической энергии с применением возобновляемых источников энергии для сужения воздействия сферы производства электрической энергии на природу и расширения сферы применения возобновляемых источников энергии при генерации электрической энергии. По данному закону для поддержки устройств, применяющих возобновляемые источники энергии малой мощности (ВИЭММ), и обеспечения электрической энергией объектов с менее благоприятными природными или иными условиями для увеличения применения данных устройств устанавливаются специальные тарифы в корреляции с номинальной вырабатываемой энергией устройств.

Перспективы развития ветроэнергетики и солнечной энергетики нашей страны обусловлены высоким потенциалом энергий ветра и солнца, а также стратегией развития нашей страны «Казахстан - 2050», где рассматривается необходимость перехода к третьей индустриальной революции и к «зеленой экономике». Разработка данной стратегии связано с растущей потребностью мировой экономики экологически чистой энергии, с растущим населением, с ограниченностью запасов традиционных ископаемых ресурсов, с обеспечением энергетической безопасности, с защитой окружающей среды от загрязнения отходами органического топлива при его сжигании, сохранением ресурсной базы энергетических запасов для перспективы страны.

Наша республика расположена на девятом месте в мире по имеющейся территории и имеет среднюю плотность населения 6,7 чел./км<sup>2</sup>. В связи с этим для жителей отдаленных районов стоит вопрос обеспечения электрической энергией в связи с повышенной стоимостью транзита традиционного вида энергии и дороговизны строения, а также эксплуатации воздушных линий электропередачи (ЛЭП). Для таких районов необходимы

автономные преобразователи возобновляемых источников энергии, такие как ветроэнергетические установки и фотоэлектрические преобразователи (ФЭП).

Внедрение результатов научных исследований по использованию энергии ветра в основном осуществляется на территориях нашей страны с хорошими ветровыми условиями, где обеспечивается скорости ветра в диапазоне 9-12 м/с, что обеспечивает оптимальную работу данных ветроэнергетических установок. С другой стороны, большинство территории нашей страны обладает среднегодовой скоростью ветра менее 6 м/с. В центральной части страны, в январе среднемесячная скорость ветра находится в районе 4-6 м/с, а в южной части страны находится в районе 2-4 м/с. В таких местностях расположены основные потребители электрической энергии. В связи с этим, необходимы новые технические решения, позволяющие обеспечить эффективное преобразование энергии ветра в электрическую энергию при низких среднегодовых скоростях ветра местности, что делает актуальным разработку и создание ветроэнергетической установки, которая способна удовлетворять вышеперечисленные условия.

#### **Теоретическая и практическая значимость исследования.**

Значимостью исследования является возможность использования научных результатов диссертации при производстве ветроэнергетических установок закрытого типа (ВЭУЗТ) для локального энергообеспечения в комплексе с использованием энергий ветра и солнца. Предложенные технические решения были использованы при изготовлении лабораторного образца ветроэнергетической установки закрытого типа с горизонтальной осью вращения ветровой турбины в лаборатории при кафедре «Энергетика» КазНУ имени К.И. Сатпаева.

Практическая значимость работы подтверждается актом внедрения в учебный процесс кафедры «Энергетика» КазНУ имени К.И. Сатпаева. Результаты работы используются в занятиях дисциплин: «Возобновляемые источники энергии», «Альтернативная энергетика», «Новые и возобновляемые источники энергии», «Возобновляемая энергетика» для специальностей 5В071800, 6М071800 – «Электроэнергетика» (Приложение А).

Получен акт внедрения в учебный процесс Казахского национального университета имени аль-Фараби, на кафедре «Физика плазмы, нанотехнологии и компьютерной физики» физико-технического факультета. Результаты исследований применяются в лекционных и практических занятиях следующих дисциплин: «Альтернативная энергетика», «Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии», «Ветровая энергетика», читаемых для специальности 5В071800 – «Электроэнергетика» (Приложение Б).

**Цель работы** – исследование и совершенствование ветроэнергетической установки закрытого типа с горизонтальной осью

вращения ветровой турбины для локального энергообеспечения в комплексе с использованием энергии солнца.

#### **Объект и предмет исследования.**

В качестве объекта исследования выбрана ветроэнергетическая установка закрытого типа с горизонтальной осью вращения ветровой турбины малой мощности для локального энергообеспечения и это обусловлено следующими показателями:

- потенциальные возможности эксплуатации в будущем ветроэнергетических установок закрытого типа с горизонтальной осью вращения ветровой турбины при различных скоростях ветрового потока, особенно при низких скоростях ветра, которая характерна для большинства территории Казахстана;

- достаточно высокий коэффициент использования энергии ветра сравнительно с ветроэнергетическими установками открытого типа, особенно при низких скоростях ветрового потока;

- доступность для потребителей, такие как туристические зоны отдыха, фермерские хозяйства, насосные станции и т.д., находящиеся далеко от единой электрической сети;

- экологически чистая установка по сравнению с различными энергетическими установками большой мощности, которые требуют отчуждения земельных участков и производят различные загрязняющие вещества.

Предметом исследования является исследование процессов в ветроэнергетической установке закрытого типа при преобразовании энергии ветра в электрическую энергию для дальнейшего улучшения установки.

#### **Связь работы с планом государственных научных программ.**

Научные исследования по теме диссертации проведены в соответствии с планами НИР кафедры «Энергетика» КазННТУ имени К.И. Сатпаева, где автор диссертации обучался в докторантуре и был прикреплен в качестве соискателя. Исследования выполнялись в рамках темы «Унифицированная ветроэнергетическая установка (ВЭУ) для локального энергообеспечения» в 2014-2017 г.г., номер государственной регистрации 0116РК00433.

#### **Задачи исследования.**

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- разработка и исследование компьютерной модели ветроэнергетической установки закрытого типа при разных скоростях ветра;

- разработка эффективной ветроэнергетической установки закрытого типа для преобразования энергии ветра в электрическую энергию;

- разработка эффективной системы слежения за солнцем солнечной панели в комбинированной системе для преобразования энергии ветра и солнца;

- исследование работы опытного образца ветроэнергетической установки при разных нагрузках и скоростях ветрового потока;

- исследование работы опытного образца солнечной энергетической установки с системой слежения за солнцем.

#### **Методы исследования.**

Для решения поставленных задач в диссертации применялись положения теоретических основ аэродинамики и проектирования ветровых установок. Применялись апробированные методы определения параметров ветроэнергетической установки с горизонтальной осью вращения ветровой турбины, которыми пользуются наши и зарубежные ученые. Выполнено моделирование ветроэнергетической установки в программных обеспечениях инженерного анализа COMSOL Multiphysics 5.0, SolidWorks 2016 с компонентом CFD (Calculation Fluid Dynamics). Для построения деталей ветроэнергетической установки использовалось программное обеспечение Autodesk Inventor Professional 2015.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются** публикациями в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (МОН РК); апробацией в отечественных и зарубежных международных научных конференциях и форумах, а также во Всемирном Конгрессе инженеров и ученых «Энергия будущего: Инновационные сценарии и методы их реализации» WSEC-2017, который был проведен в рамках Всемирной выставки «ЭКСПО-2017»; математической обоснованностью, экспериментальными данными полученные при проведении экспериментов, которые подтверждают работоспособность технических решения при их применении в опытных образцах.

**Научная новизна работы.** Научной новизной работы является то, что в работе предложены и обоснованы энергетически эффективные конструктивные элементы ветроэнергетической установки закрытого типа, полученные путем инженерного анализа компьютерной модели и экспериментальных исследований.

#### **Основные положения, выносимые на защиту.**

На защиту выносятся следующие основные положения:

- совершенствованные и обоснованные конструктивные элементы ветроэнергетической установки и кровли здания, увеличивающие эффективность использования энергии ветра;

- подтвержденная экспериментальными исследованиями эффективная ветроэнергетическая установка закрытого типа с горизонтальной осью вращения ветровой турбины с улучшенными аэродинамическими характеристиками;

- комбинированная система комплексного преобразования энергии ветра и солнца с эффективной системой слежения за солнцем, повышающая надежность энергообеспечения автономных потребителей энергии.

#### **Апробация работы.**

Основные результаты работы доложены: на научных семинарах кафедры «Энергетика» КазНУТУ имени К.И. Сатпаева; на Международном

форуме «Инженерное образование и наука в XXI веке: проблемы и перспективы», посвященного 80-летию КазНТУ имени К.И. Сатпаева, 22-24 октября, 2014 г., Алматы, Республика Казахстан; на Международных Сатпаевских чтениях «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана», 12 апреля, 2015 г., Алматы, Республика Казахстан; на VI Международной научно-практической конференции «Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа», 7 сентября, 2015 г., Астрахань, Российская Федерация; на Международных Сатпаевских чтениях «Конкурентоспособность технической науки и образования», 12 апреля, 2016 г., Алматы, Республика Казахстан; на Всемирном Конгрессе инженеров и ученых «Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации» WSEC-2017, 19-20 июня, 2017 г., Астана, Казахстан.

#### **Публикаций.**

По теме диссертации опубликовано 16 печатных работ, из них 3 статьи опубликованы в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 2 статьи – в журналах, входящие в базу данных Scopus, 8 публикации в Международных конференциях и форумах. Имеется 3 патента на полезную модель (Приложения С, Т и У).

#### **Структура и объём диссертации.**

Диссертация состоит из введения, 4 разделов и заключения, содержит 118 страниц машинописного текста, 87 рисунков, 7 таблиц, 16 приложений и список использованной литературы из 122 наименований.

#### **Основное содержание работы**

**Во введении** показана актуальность научной работы и значимость проводимого исследования. Поставлены цель и задачи научных исследований. Приведены научная новизна и положения, выносимые на защиту. Показана практическая значимость полученных результатов и методы проводимых исследований. Освещены публикации, апробация, а также связь работы с планом государственных научных программ.

**Первый раздел** диссертации посвящен обзору современного состояния развития возобновляемых источников энергии в мире, в том числе ветровой энергетики и солнечной энергетики. Проведен анализ разработанных установок и перспективы развития возобновляемой энергетики.

Выработка электрической энергии современными ветроэнергетическими установками зависит от силы и направления ветра, который отличается большим непостоянством. Слабый ветер (до 2 м/с) не обеспечивает вращение ветровой турбины, сильный ветер (более 20 м/с) может разрушить ВЭУ. Дождь со снегом, град вызывают обледенение, затрудняют эксплуатацию и сокращают общий ресурс работы. Сложность монтажа и обслуживания, что связано с огромными габаритами ВЭУ, усложняют эксплуатацию крупных установок. Все эти проблемы усложняют

конструкцию ВЭУ, что приводит к высокой себестоимости вырабатываемой электроэнергии.

В связи с вышеизложенными проблемами, выполняется исследование, разработка и совершенствование установки для эффективного преобразования энергий ветра и солнца в комплексе ВЭУ закрытого типа для локального энергообеспечения.

**Во втором разделе** рассмотрено исследование модели ВЭУ закрытого типа с горизонтальной осью вращения ветровой турбины и анализ ее отдельных элементов, такие как конфузор, диффузор и конус.

Исследование конструкции ВЭУ закрытого типа проводилось в программном обеспечении инженерного анализа COMSOL Multiphysics, которое проводит расчеты с помощью метода конечных элементов. Данный метод широко применяется при моделировании процессов диффузии, теплопроводности, гидродинамики, механики и расширяется его сфера с увеличением возможности вычислительных систем.

Метод конечных элементов с частицами используется для моделирования течений жидкости и газа в областях сложной формы, течений жидкости и газа со свободной поверхностью, процессов брызгообразования, а также решения сопряженных задач гидравлической упругости.

Для моделирования течения широко применяется система дифференциальных уравнений Навье-Стокса. Основные проблемы при решении уравнения Навье-Стокса связаны с дифференциальными уравнениями для законов сохранения массы и количества движения.

Модель конструкции ВЭУ в симуляции программного обеспечения инженерного анализа должна быть приближенной к натурной модели. Для этого модель должна давать одинаковые и сходящиеся результаты в сетках, сетка должна быть достаточно мелкой на важных областях конструкции во избежание ошибок в гидродинамических расчетах, область расчета над моделью ВЭУ должна быть достаточно высокой во избежание сужения воздушного потока.

Модель конструкции ВЭУ закрытого типа состоит из следующих элементов:

1. Направляющий конус, расположенный в середине конструкции на одной оси с корпусом ВЭУ, направляет воздушный поток к зоне расположения лопастей турбины ВЭУ;

2. Корпус ВЭУ, состоящий из передней полости, выполненного в виде усеченного конуса, и расширяющейся задней полости, что способствует к ускорению ветра в зоне расположения лопастей турбины ВЭУ;

Рассматриваемая конструкция способствует увеличению скорости ветрового потока за счет использования конфузора и диффузора, что позволяет увеличить коэффициент использования энергии ветра и снизить нижний порог диапазона работы установки.

По результатам анализа выявлен эффективный вариант конструкции ВЭУ и кровли здания, где достигается наибольшее ускорение набегающего

воздушного потока, а также даны рекомендации по формам и углам атаки различных элементов. Конфузор, диффузор, конус и кровли здания для эффективного преобразования энергии ветра в электрическую энергию имеют следующие параметры: угол атаки конфузора  $\alpha=7,97^{\circ}$ , угол атаки диффузора  $\alpha=32,62^{\circ}$ , толщина корпуса  $L=0,02$  м, угол атаки конуса  $\alpha=26,57^{\circ}$  и угол атаки кровли здания  $30^{\circ}$ .

**В третьем разделе** рассмотрены технические решения ветроэнергетической установки закрытого типа и секционного синхронного генератора с постоянными магнитами. По данным техническим решениям поданы заявки на патент.

Рассмотрены различные системы слежения за солнцем солнечных панелей и выявлена наиболее эффективная система слежения, которая способна работать в комплексной системе преобразования энергий ветра и солнца для надежного энергообеспечения.

**Четвертый раздел** посвящен экспериментальным исследованиям ВЭУ закрытого типа в комплексе с использованием энергии солнца. В данном разделе описан опытный образец ВЭУ закрытого типа и солнечная панель с системой слежения за солнцем, а также соответствующие измерительные приборы для измерения параметров во время испытаний.

Испытания ВЭУ проводились для открытого и закрытого типа при различных скоростях ветра. Как видно из результатов испытаний, разработанная ветроэнергетическая установка закрытого типа заметно эффективнее ВЭУ открытого типа и раньше начинает вырабатывать электрическую энергию. Это свидетельствует о том, что аэродинамические характеристики у опытной установки лучше, а момент инерции устройства ниже. Таким образом, эффективность ВЭУЗТ на 17,5% выше, чем ВЭУ открытого типа.

По результатам испытаний, система слежения за солнцем является эффективным по сравнению со стационарной системой на 41,17%.

**В заключении** отражены основные результаты и выводы по диссертационной работе.