

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И. Сатпаева

УДК 621.311.26

На правах рукописи

ШАКЕНОВ КАЛИЖАН БАХЫТЖАНОВИЧ

**Совершенствование ветроэнергетической установки закрытого типа в
комплексе с использованием энергии солнца**

6D071800 – Электроэнергетика

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научный консультант:
доктор технических наук,
профессор А.Б. Бекбаев

Зарубежный научный
консультант:
доктор технических наук,
профессор В.В. Титков
(РФ)

**Республика Казахстан
Алматы, 2021**

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	10
1.1 Современное состояние развития возобновляемых источников энергии в мире	10
1.1.1 Современное состояние развития ветроэнергетики в мире	12
1.1.2 Современное состояние развития солнечной энергетики в мире	14
1.1.3 Перспективы развития возобновляемых источников энергии в мире	16
1.1.4 Разработанные ветроэнергетические установки в мире для локального энергообеспечения	17
1.2 Современное состояние развития возобновляемых источников энергии в Казахстане	18
1.3 Проблемы развития ветроэнергетических установок и постановка задачи	19
2 ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ВЭУ ЗАКРЫТОГО ТИПА С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ	22
2.1 Анализ элементов ВЭУ закрытого типа для увеличения эффективности преобразования энергии ветра в электрическую энергию	22
2.1.1 Анализ формы корпуса ВЭУ	24
2.1.2 Анализ формы конуса ВЭУ	45
2.2 Анализ кровли здания для эффективного использования энергии ветра	50
2.3 Влияние формы лопастей турбины ветроэнергетической установки на эффективность преобразования энергии ветра	55
Выводы по разделу	60
3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИЙ ВЕТРА И СОЛНЦА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ	61
3.1 Ветроэнергетическая установка закрытого типа	61
3.2 Секционный синхронный генератор с постоянными магнитами	65
3.3 Эффективность работы солнечной панели	67
3.4 Система комплексного преобразования энергий ветра и солнца в электрическую энергию	74
Выводы по разделу	76
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЭУ ЗАКРЫТОГО ТИПА В КОМПЛЕКСЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА	78
4.1 Описание экспериментальной установки	78

4.2	Экспериментальные исследования ВЭУ	83
4.3	Экспериментальные исследования СЭУ	88
	Выводы по разделу	90
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	92
	ПРИЛОЖЕНИЯ	102

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АКБ – аккумуляторная батарея
ВАХ – вольт-амперная характеристика
ВИЭ – возобновляемые источники энергии
ВИЭММ – возобновляемые источники энергии малой мощности
ВЭУ – ветроэнергетическая установка
ВЭУЗТ – ветроэнергетическая установка закрытого типа
ВЭС - ветроэнергетические станций
ГПТ – генератор постоянного тока
КПД – коэффициент полезного действия
КИЭ – коэффициент использования энергии
КИЭВ – коэффициент использования энергии ветра
ЛЭП – линий электропередач
ПС – подстанция
СЭС – солнечные энергетические станций
ФЭП – фотоэлектрический преобразователь
RANS – осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье — Стокса

ВВЕДЕНИЕ

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 [1]. 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» [2]. 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 перспектив страны.

Наша республика расположена на девятом месте в мире по имеющейся территории и имеет среднюю плотность населения 6,7 чел./км² [3]. 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 [4]. 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» КазННТУ имени К.И. Сатпаева.

Практическая значимость работы подтверждается актом внедрения в учебный процесс кафедры «Энергетика» КазННТУ 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» КазНИТУ 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 решений 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» КазННТУ имени К.И. Сатпаева; на Международном форуме «Инженерное образование и наука в XXI веке: проблемы и перспективы», посвященного 80-летию КазННТУ 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.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Современное состояние развития возобновляемых источников энергии в мире

Современная энергетика в мире развивается постоянно наряду с увеличением спроса на нее ввиду роста потребителей в различных сферах энергообеспечения. Увеличение потребления энергии происходит параллельно с неизбежным истощением запасов традиционных источников энергии. Некоторые страны, где быстро развивается производственный сектор и прогрессирует потребление энергии традиционных источников, сталкиваются с экологическими проблемами в связи с выделением загрязнителей в окружающую среду, выделение которых с каждым годом увеличивается в объеме. В связи с этими тенденциями, в мире внедряется в энергетическую систему экологически чистые и неисчерпаемые источники энергии. Возобновляемую энергию получают из ресурсов, которыми являются энергия солнца, потока воды, воздушного потока, приливов и геотермальная энергия, которые восполняются естественным путем [5]. Для получения электроэнергии от данных источников энергий применяются ветроэнергетические станции (ВЭС), солнечные энергетические станции (СЭС) и гидроэлектрические станции (ГЭС).

Несмотря на продолжительный рост спроса на энергию, выбросы углекислого газа не росли в 2019 году, после двух лет роста данной эмиссии. Это было осуществлено за счет снижения выбросов в энергетическом секторе в некоторых странах, которые были связаны в основном с улучшениями по энергетической эффективности, а также увеличению объема возобновляемых источников энергии, а также в определенной степени с переходом с угля на газ [6].

К возобновляемым источникам энергии относилось почти 50% роста мировой энергетике в 2017 году и обеспечило 27% мирового роста первичной энергии [7]. Объем возобновляемых источников энергии в мировой энергетике достигла почти 8,4% в 2017 году. Германия, Испания, Великобритания, Италия, Португалия, Дания, Финляндия, Ирландия и Новая Зеландия являются странами, в которых возобновляемые источники энергии производят более 20% электроэнергии [8].

В 2019 году введенная мощность электростанций, потребляющих ресурсы возобновляемых источников энергии, увеличилась более чем на 200 ГВт и это наиболее высокий рост за год, когда либо. К электростанциям, потребляющих ресурсы возобновляемых источников энергии, относятся гидроэлектростанций, ветроэнергетические станции (ВЭС), биоэнергетические станции, солнечные панели, солнечные энергетические станции (СЭС), геотермальные станции и станции, использующие волны морей и океанов [9]. По данным международного энергетического агентства (МАЭ) в странах организации

экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) доля ветроэнергетики в выработке составила по итогам первого квартала 2018 года 8%, а солнечной энергетики — 2,1%, вместе — 10,1%.

На рисунке 1 приведена динамика добавленных мощностей станций, преобразующие энергии возобновляемых источников в электрическую энергию (по состоянию на 2019 год). На рисунке 2 приведено процентное соотношение применения энергии во всем мире по видам использования первичной энергии (по состоянию на 2018 год).

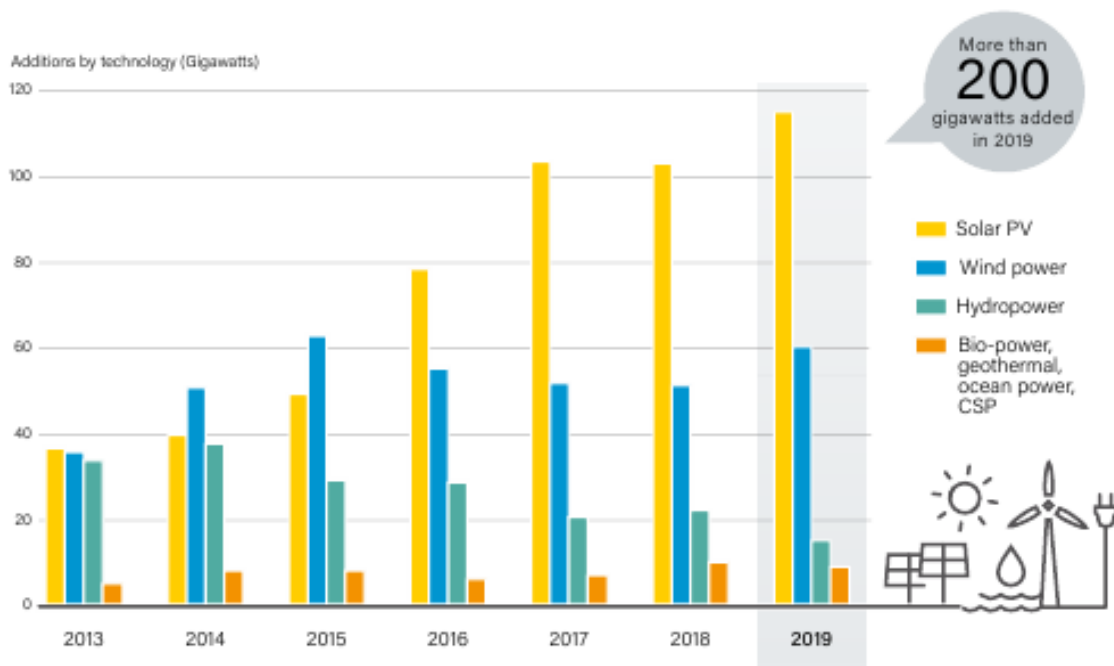


Рисунок 1 - Динамика добавленных мощностей станций, преобразующие энергии возобновляемых источников в электрическую энергию

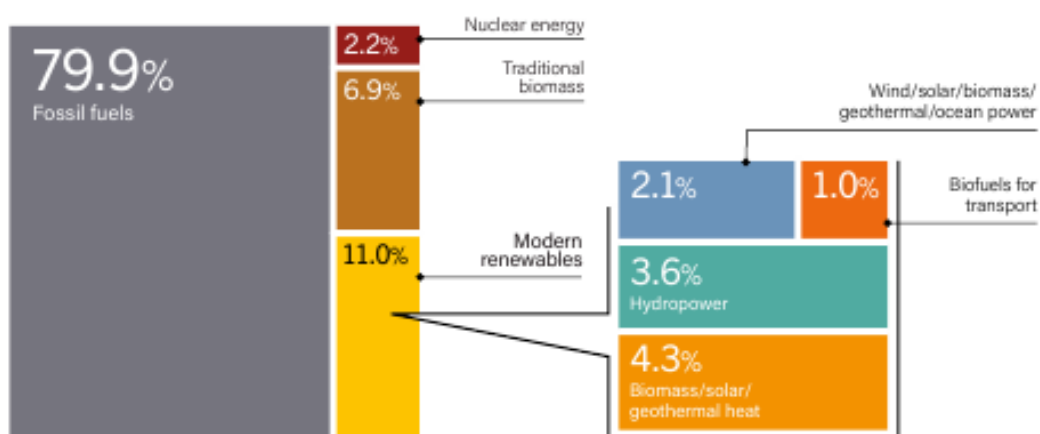


Рисунок 2 – Процентное соотношение применения энергии во всем мире по видам использования первичной энергии

1.1.1 Современное состояние развития ветроэнергетики в мире

В 2019 году рост мощности в ветроэнергетике составило 60 ГВт, в этой связи рост совокупной мощности во всем мире составило 19% [10]. Данный прирост приходится ко второму месту по сравнению с 2015 годом, когда ежегодный прирост достиг 63,8 ГВт [11]. Оффшорная ветроэнергетика играет большую роль, достигая одну десятую долю добавленной мощности в 2019 году [12]. Общая добавленная мощность достигла 651 ГВт [13]. Большой рост установлен в Европейских странах, несмотря на спад экономики в Германии [14, 15]. К концу 2017 года более 90 стран имели коммерческую активность в сфере ветроэнергетики и из них 30 стран, которые представляют каждый регион, имели более 1 ГВт мощности в эксплуатации [16, 17]. Сильный рост в таких странах, как Германия, Индия и Великобритания обусловлено с политикой и нормативными изменениями для поддержки проектов в данной сфере, что подтолкнуло к быстрому внедрению больших мощностей. На рисунке 3 приведена динамика роста добавленных мощностей ветроэнергетических установок во всем мире.

Азия является крупнейшим региональным рынком девятый год подряд по добавленной мощности в ветроэнергетике. Данный рынок охватывает почти 48% добавленной мощности, в общей сложности, превышающей 235 ГВт к концу года. Затем идут Европа с более 30% добавленной мощностью, Северная Америка -14%, Латинская Америка и Карибский бассейн - почти 6% [9]. К концу года, ведущие страны по общей установленной мощности ветроэнергетических установок на душу населения были Дания, Ирландия, Швеция, Германия и Португалия. На рисунке 4 приведена динамика роста мощностей станций, преобразующие энергию ветра в электрическую энергию по странам.

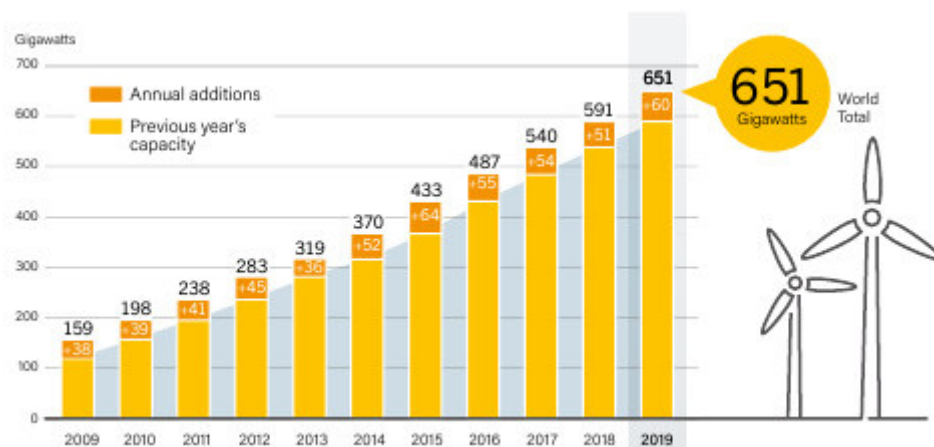


Рисунок 3 - Динамика роста мощностей станций, преобразующие энергию ветра в электрическую энергию в мире

Китай в 2017 году внедрил около 19,7 ГВт новых мощностей в сфере ветроэнергетики и занял первое место по всем установленным мощностям, которые дошли до отметки 188,4 ГВт [9, 16]. Данный рост сравнительно

снизились второй год подряд по сравнению с предыдущими годами, что обусловлено ограничением высокой скорости внедрения новых установок в регионах с высокими темпами строительства и гармонизации с единой энергетической сетью путем равного распределения ветроэнергетических установок в регионах с низкой скоростью ветра. Из 19,7 ГВт новых установленных мощностей около 15 ГВт интегрированы в национальную сеть и начали генерировать электрическую энергию из энергии ветра, передавая ее в единую энергетическую сеть, где находятся в эксплуатации примерно 164 ГВт мощности [17]. Лидирующими провинциями по увеличению мощности в 2017 году были провинции Шаньдун (2,2 ГВт), Хэнань (1,3 ГВт) и Шэньси (1,1 ГВт), все они находятся относительно близко к центрам, где живут больше людей и имеется относительно большое потребление электрической энергии [18].

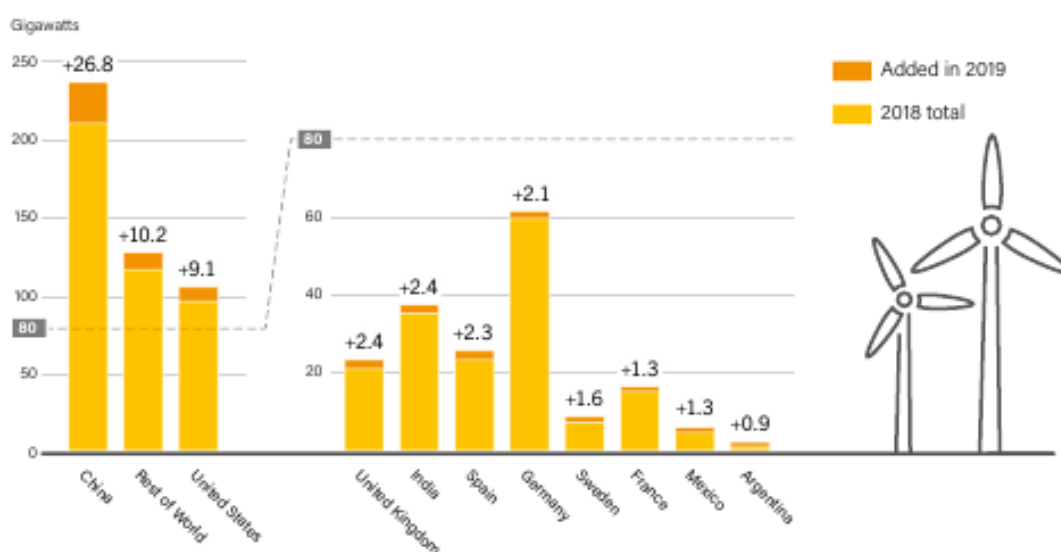


Рисунок 4 - Динамика роста мощностей станций, преобразующие энергию ветра в электрическую энергию по странам

В другой стране Азии, кроме Китая Индия установила рекорд на уровне 4,1 ГВт, заняв пятое место по вновь добавленной мощности, и сохранил свою глобальную позицию по совокупной мощности, заняв четвертое место, при этом достигнув к концу года уровня 32.8 ГВт по общей установленной мощности в стране [19]. Рекордные показатели в начале 2017 года были в основном обусловлены стремлением использовать национальные стимулы до времени окончания срока их применения и к переходу страны на аукционы [20].

Такое развитие ветроэнергетики в мире объясняется достаточным потенциалом энергии ветра; отсутствием токсичных отходов, а также углекислого и парниковых газов; конкурентной стоимостью установленной мощности и электроэнергии, не зависящей от стоимости энергоносителя. Кроме того, во всем мире развивается конкурентоспособная технология ветроэнергетики [21, 22].

1.1.2 Современное состояние развития солнечной энергетики в мире

Наиболее распространёнными преобразователями возобновляемых источников являются преобразователи энергии ветра и солнца, которые имеются во всех уголках земли и применяют различные методы преобразования [23].

Ветер непостоянен и меняет свою скорость и направление, и это сказывается на надёжности энергообеспечения ветроэнергетической установкой. В связи с тем, что ветроэнергетические установки работают с перерывами, для увеличения надёжности энергообеспечения используют аккумуляторные батареи (АКБ), либо дизельные генераторы [24], или другие преобразователи возобновляемых источников энергии, которые работают в другом режиме, такие как солнечные панели.

Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) делятся по видам расположения атомов кремния, такие как монокристаллические, поликристаллические и аморфные. Монокристаллические элементы содержат в себе чистый кремний. Коэффициент полезного действия (КПД) данных элементов находится в районе 14-17%. А поликристаллические солнечные элементы изготавливаются из кремния, который получается путем медленного охлаждения сплава кремния с КПД 10-12%. Последним видом ФЭП являются аморфные элементы и их получают с использованием способа, который имеет название как «техника испарительной фазы». Кремниевая тонкая пленка наносится на несущий материал и покрывается светопроводящим покрытием, и имеет КПД в районе 5-6% [25].

Несмотря на низкий КПД по сравнению с ВЭУ, солнечная энергетика обеспечила 12% прироста установленной мощности электростанций, работающих с применением возобновляемых источников энергии в 2019 году. В сфере солнечных электрических станций было построено больше новых мощностей, чем преобразование на основе ископаемого топлива и в атомной энергетике вместе взятых. Прирост солнечных установок составил 115 ГВт и достиг уровня 627 ГВт [26, 27, 28]. На рисунке 5 приведена динамика роста мощностей станций, преобразующие энергию солнечной радиации в электрическую энергию.

В некоторых странах солнечных панели играют важную роль при генерации электрической энергии. В 2019 году 22 страны имели достаточную мощность солнечных панелей, что обеспечили 3% спроса на электрическую энергию, и 12 стран покрыли 5% спроса [29].

В 2017 году Китай добавил больше остальных стран солнечных панелей, их установленная мощность в данный период составила почти 53,1 ГВт. К примеру, в 2015 году установленная мощность солнечных панелей во всем мире было на уровне 51 ГВт. Впервые в 2017 году солнечная энергетика была лидером в Китае по добавлению новой мощности в энергетике страны [30]. На рисунке 6 приведена динамика роста мощностей станций, преобразующие энергию солнечной радиации в электрическую энергию по странам.

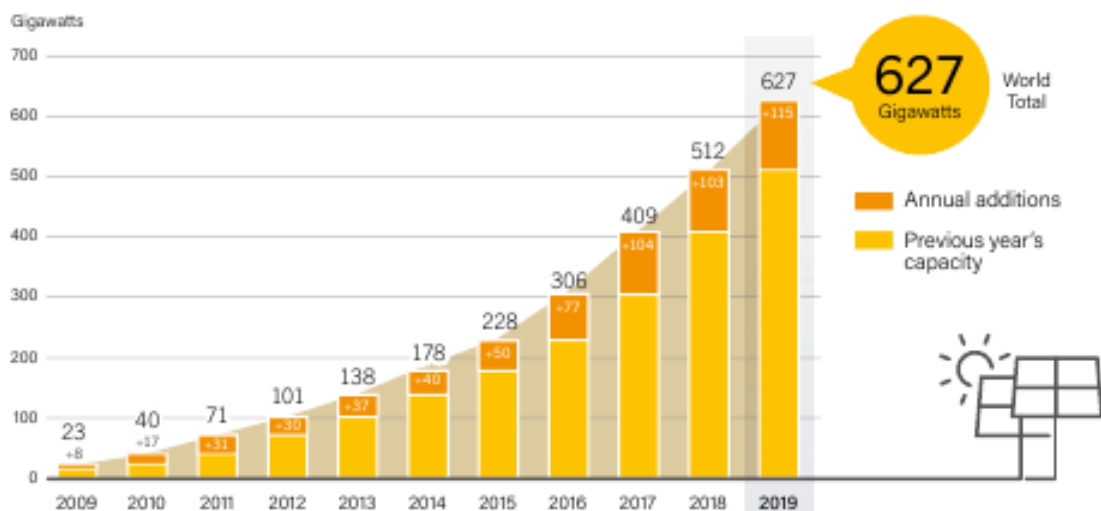


Рисунок 5 - Динамика роста мощностей станций, преобразующие энергию солнечной радиации в электрическую энергию

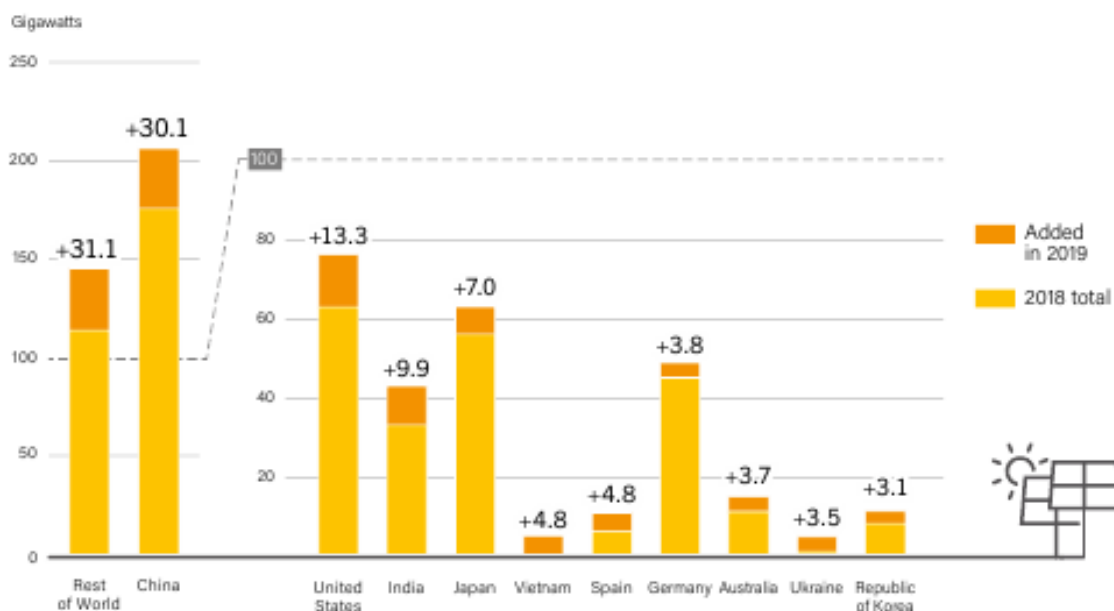


Рисунок 6 - Динамика роста мощностей станций, преобразующие энергию солнечной радиации в электрическую энергию по странам

Соединенные Штаты занимает второе место после Китая по вновь установленной мощности в 2017 году, добавив 10,6 ГВт в данном году, и в сумме доходя до отметки 51 ГВт [31, 32]. Второй год подряд солнечные панели занимают ведущее место в роли источника новой генерируемой мощности, на основе чистой добавленной мощности [33, 34].

Индия заняла третье место по вновь установленной мощности в 2017 году, добавив 9,1 ГВт мощности, удваивая объем добавленной мощности 2016 года, когда было установлены солнечные панели мощностью в 4 ГВт [35, 36]. К концу года Индия имела 18,3 ГВт общей мощности и заняла шестое место в мире по совокупной мощности. Солнечные панели охватывают 45%

добавленных установок в 2017 году, и впервые опережают вновь добавленных мощностей установок, работающих на угле [37].

В Японии установка новых солнечных панелей сокращается второй год подряд, составив прирост 13% в 2017 году, что эквивалентно к 7 ГВт мощности [38]. Но данная страна по-прежнему занимает четвертое место в мире по общей установленной мощности, которая превышает 49 ГВт.

1.1.3 Перспективы развития возобновляемых источников энергии в мире

В настоящее время установился такой курс, что во время сокращения государственной поддержки ВИЭ в развитых странах, в развивающихся странах, такие как Бразилия, Таиланд, Чили, продолжают поддержку данной отрасли экономики. В Бразилии около 80% произведенной электрической энергии в данный момент приходится на ГЭС, и она взяла курс по созданию ветроэнергетических станций, приближаясь к поставленной цели в районе 16 ГВт установленной мощности в стране ВЭУ в 2021 году. Планируется, что новая установленная мощность позволит удовлетворять 9% национального объема энергопотребления. Правительство Таиланда также поддержало увеличение установленной мощности преобразователей возобновляемых источников энергии, которая в 2021 году должна вырабатывать почти 14 ГВт, или составлять 25% общего энергобаланса страны [39]. Это связано с тем, что данные страны сталкиваются с проблемой, связанной с применением ТЭС в энергосистеме страны, которые работают на угле, что загрязняет экологию государства, особенно в крупных городах, где они больше сконцентрированы.

В КНР, как и в развитых странах, для компаний, которые инвестируют в возобновляемую энергетику, предусмотрены льготное налогообложение, и высокие тарифы на энергию возобновляемых источников энергии. К другим видам государственной поддержки относятся низкая арендная ставка на землю под объекты возобновляемой энергетики, упрощенная процедура подключения к общей энергосистеме данных объектов, а также требования отчислять 3% годовых доходов компаний на НИОКР, что хорошо стимулирует развитие данной отрасли энергетики [39].

По результату проведения такой политики общее производство энергии ветроэнергетическими установками страны за счет быстрого роста превысило совокупную выработку энергии на АЭС. Основная доля установленных мощностей ВИЭ находятся в СУАР. По данным Синьцзянской энергетической компании, в 2013 году полная генерированная энергия при помощи ветра составляет 5 млн. кВт, солнца - 2,8 млн. кВт, гидроэнергетики и т. д., составила 12,62 млн. кВт, что является одну третью часть объема генерации электрической энергии СУАР. Кроме того, преобразователи ВИЭ и производство связанного с ним оборудования обеспечили китайской

экономике почти 2 млн. рабочих мест. Объем вложений в данную отрасль в 2012 году составил 25,3% объема мировых инвестиций, что делает КНР лидером в данной сфере [39].

1.1.4 Разработанные ветроэнергетические установки в мире для локального энергообеспечения

В Австралийской компании «Katru Eco-Energy» сделали новый вид ветроэнергетической установки, предназначенный для применения кинетической энергии воздушных потоков, которые имеют место быть на кровлях объектов недвижимости. Данная энергетическая установка, под названием «Imprlux», способна выработать электрическую энергию от ветра со всего направления, не меняя для этого своего направления [40].

В данной установке ротор турбины расположен по вертикали в верхней части этой установки, который находится в середине установки. Лопастей турбины вращаются восходящим ветром с разных сторон установки. Центральная часть турбины разработана так, чтобы работать от воздушного потока с любого направления и направить его наверх для преобразования его энергии в механическую энергию вращения, не давая ветру пролететь через установку горизонтально. В итоге в данной установке имеется турбина, которая является одной движущейся деталью. Это свойство снижает расходы при работе, а также устройство работает тихо. С другой стороны, в отличие от большинства ВЭУ данное устройство является безопасным для птиц, так как размеры направляющих ячеек ветрового потока в корпусе имеют мелкие сечения по сравнению с размерами птиц, что исключает попадание птиц к лопастям турбины [41].

Ученые Российской Федерации в компании «Optiflame Solution» разработали ВЭУ закрытого типа для города. ВЭУ данной компании имеет схожую форму с турбиной, которая используется в самолетах для получения тяги. В нем имеется 32 лопастей вместо трех лопастей в широко распространенных энергетических установках. Данную установку можно относительно легко и по приемлемой цене устанавливать в жилой зоне, в том числе на крышах городских домов. Это означает, что данную установку можно без ограничений установить в местах, где работает или живет человек. По данным разработчиков ветроэнергетическая установка работает в любых климатических условиях в широком диапазоне ветра. Она начинает работать при порывах ветра от 1,8 м/с и преобразовывает кинетическую энергию ветра в электрическую энергию до 25 м/с. Таким образом, ветроэнергетическая установка закрытого типа удобна, эффективна и безопасна [42].

В Российской Федерации имеется ветроэнергетическая установка под названием «AeroGreen», разработанная инновационным предприятием ЗАО «АэроЭнергоТех», которая может в определенной доле решить проблему, с нехваткой энергетических ресурсов в отдаленных местах от энергетических

сетей, а также проблему выбросов углекислых газов при сжигании органического топлива. Данный тип ВЭУ работает в широком диапазоне ветров от 1 до 50 м/с, его турбина находится под корпусом, что позволит избежать нагрузок от штормового ветра, дождя и мокрого снега. Корпус имеет поглощающие шум композитные материалы, а также относительно маленькие габариты дают возможность применять данную установку не только в промышленности, но и в домашних условиях. Данная установка может применяться в частных домах, на электрических автозаправочных станциях для электромобилей. Эффективность достигается за счёт применения отличных решений в данной установке по преобразованию энергии ветра в электрическую энергию [43].

1.2 Современное состояние развития возобновляемых источников энергии в Казахстане

В Республике Казахстан принята концепция развития «зеленой» экономики в стране. При помощи деятельности президента РК в Казахстане проводилась выставка достижений в использовании возобновляемых энергетических ресурсов ЭКСПО-2017. Для решения поставленной цели в программе «зеленая» экономика, имеется необходимость проведения исследования по оптимизации использования энергетических ресурсов и внедрение возобновляемой энергетики на основе применения современных технологий. В связи с этим направление по внедрению в отечественную энергетическую систему возобновляемых источников энергии приобретает большую заинтересованность [44].

По местоположению и климату Казахстан является благоприятной страной по преобразованию энергии ветра и солнца в электрическую энергию [45]. В Казахстане имеются работы по внедрению Жанатасской ветроэнергетической станции (ВЭС) мощностью 100 МВт, солнечных панелей на 24 МВт в Жамбылском районе СКО, а также каскада Меркенских ГЭС, которая имеет общую мощность вырабатываемой электрической энергии 19,8 МВт. Работы в области ВИЭ ведет и АО «НАК «Казатомпром». Одним из данных работ является создание вместе с французскими партнерами дочернего предприятия ТОО «Astana Solar» в 2011 году для расширения солнечных электростанций в стране. К тому еще в Кызылординской области на территории ТОО «СКЗ-U» была сооружена новая СЭС на 0,5 МВт. ТОО «Astana Solar» собирается довести выпуск фотоэлементов до 37 МВт.

По направлению комплексного использования энергии ветра и солнца имеются разработанные ветроэнергетические устройства. К таким устройствам относится виндротор Болотова, который является устройством комплексного преобразования энергии ветра и солнца, имеющий ветровые турбины с противоположным вращением и дополнительного фотоэлектрического устройства. На сегодняшний день в Республике Казахстан, Российской

Федерации и ближнем зарубежье действует свыше 50 электрических станций, которые оснащены данными установками преобразования энергий ветра и солнца в электрическую энергию. Данные электрические станции имеют высокие (до 43%) коэффициенты полезного действия при получении электрической энергии от энергии ветра, но их широкое применение и серийное производство сдерживает достаточно высокая себестоимость. К примеру, один из таких устройств, развивающий мощность до 5 кВт при скорости ветра 12,3 м/с, имеет стартовую скорость 2 м/с и его площадь охвата ветра составляет 8 м² [46].

1.3 Проблемы развития ветроэнергетических установок и постановка задачи

Имеющиеся сложности в электроэнергетике связаны со стоимостью получаемой энергии, структурными сложностями, низким коэффициентом использования энергии (КИЭ) энергоносителя и коэффициентом полезного действия (КПД) преобразователей энергии, а также сложности поставки электроэнергии. К примеру, для отдалённых мест Республики Казахстан строительство линий электропередач (ЛЭП) и подстанций (ПС) не выгодно за счет потерь электроэнергии в электрических сетях при передаче, большого расхода материалов, а также значительных затрат при эксплуатации и обслуживании данных сетей [96].

Ветровая энергетика в мире развивается по следующим трем направлениям:

- ветроэнергетические установки 2-100 кВт, которые являются малыми, для локального питания, и не требуют значительных капиталовложений и просты в эксплуатации;
- энергетические установки 200-800 кВт, которые являются средними, для питания сосредоточенной нагрузки, и требуют больших капитальных вложений и эксплуатационных расходов;
- энергетические установки 1000-5000 кВт, которые являются большими, для выработки энергии в централизованные энергосистемы, и постоянно требуют вложения при эксплуатации [47].

Поэтому, с точки зрения практичности и эффективности эксплуатации, ветроэнергетику необходимо развивать для местного энергообеспечения потребителей [48]. В свою очередь, локальная ветроэнергетическая установка для энергетического обеспечения может быть применена в туристических зонах отдыха, фермерских хозяйствах, нефтеперекачивающих насосных станциях и других подобных организациях, которые расположены в отдалённых районах от единой электрической системы (ЕЭС) [49].

В последние годы широкое распространение получили турбины с горизонтальной осью вращения, имеющие два или три лопасти. На самом деле у быстроходных ветровых турбин наибольшее значение коэффициента

использования энергии ветра (КИЭВ) доходит до 0,45-0,48, а у тихоходных – до 0,36-0,38. Ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения применяются мало в связи с низким коэффициентом использования энергии ветра, который находится на уровне 0,30-0,35 [50].

Современные открытые ветроэнергетические установки, используемые в мире, имеют общие недостатки:

- они не устойчивы к ураганам ветрам, что приводит к запуску системы торможения турбины ВЭУ и генератор перестает вырабатывать электрическую энергию;

- имеют сложные работы при установке и обслуживании, что связано с огромными габаритами ВЭУ, приводящие к значительным проблемам связанные с ремонтом;

- град, дождь, мокрый снег влияют негативно при эксплуатации ВЭУ открытого типа [51].

Генерация электрической энергии ветроэнергетическими установками зависит от силы и направления ветра, который имеет свойство непостоянства. Тихий ветер (до 2 м/с) не приводит во вращение ветровой турбины, штормовой ветер (более 20 м/с) может разрушить ВЭУ. Вышеперечисленные проблемы требуют установки дополнительных элементов защиты ВЭУ, что поднимет себестоимость эксплуатации данных установок [52].

ВЭУ закрытого типа имеет более высокий коэффициент использования энергии ветра за счет увеличения скорости ветра в зоне расположения лопастей турбины и имеет следующие преимущества [53]:

- ВЭУ закрытого типа имеет защищающий корпус, что позволяет упростить и удешевить мероприятия по обслуживанию;

- отсутствует обледенение элементов, что обеспечивает полную работоспособность при эксплуатации в условиях снегопада, мокрого снега, дождя и града [54].

Различные преобразователи энергии возобновляемых источников, разрабатываются в зависимости от интуиции авторов и имеют различные структурные элементы с низким КИЭ энергоносителей [55]. А также, различные изготовители ВЭУ указывают начало выработки электрической энергии с 2 м/с, хотя в действительности на различных установках при ветре от 2,5 до 4 м/с они не могут вырабатывать электрическую энергию [56]. При применении редуктора между ветровой турбиной и генератором для увеличения скорости вращения генератора, работа ВЭУ еще ухудшается при малых скоростях ветра, так как сам редуктор потребляет определенную часть кинетической энергии, что снижает вероятность запуска установки.

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

2 ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ВЭУ ЗАКРЫТОГО ТИПА С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ

Известно, что на земле основная масса возобновляемых источников энергии являются производными энергии солнца. Так как благодаря энергии солнца осуществляется движение воздушных масс и циклическое движение воды в природе. Основная причина появления ветра на поверхности земли лежит на явлении конвекции. Процесс конвективного движения воздушного потока происходит из-за разницы удельной массы разных частей воздушной массы, а эта разница возникает из-за неравномерного нагрева воздуха на разных точках поверхности земли [57]. Изучая данное явление, французский ученый Гей-Люссак определил зависимость объема газа от температуры при постоянном давлении и установил температурный коэффициент объемного расширения газа [58, 59].

В связи с неравномерным нагревом земной поверхности, энергетический потенциал ветра распространен неравномерно, что обуславливает установку ветроэнергетических установок (ВЭУ) в местах с наилучшими ресурсами ветра. В местностях, где скорость ветра не более 2 м/с турбину ВЭУ невозможно сдвинуть с места, что делает не выгодным эксплуатацию ВЭУ в таких местностях [60].

Для увеличения КИЭ энергоносителя в преобразователе необходимо провести исследования по поиску наилучшей конструкции ветроэнергетической установки, позволяющая увеличить скорость потока воздушной массы в зоне расположения ветровой турбины. Даже незначительное увеличение скорости ветра даст большой энергетический эффект, так как кинетическая энергия ветра зависит от его скорости в третьей степени [61].

2.1 Анализ элементов ВЭУ закрытого типа для увеличения эффективности преобразования энергии ветра в электрическую энергию

Исследование конструкции ВЭУ закрытого типа проводилось в программном обеспечении инженерного анализа COMSOL Multiphysics, которое проводит расчеты с применением метода конечных элементов. Метод конечных элементов имеет широкое применение при моделировании процессов диффузии, теплопроводности, гидродинамики и расширяется его сфера с увеличением возможности компьютеров [62].

Обычно для решения уравнений гидродинамики используется задача Эйлера. В данном случае сетка, накладываемая на расчетную область, остается неподвижной во всех этапах решения. Тем не менее, при применении такого подхода возникают трудности при аппроксимации конвективных слагаемых течения [63].

Эти трудности исчезают при использовании среды, описанной по Лагранжу. Идеей такого подхода является то, что узлы сетки движутся вместе со средой, что позволяет рассматривать их как частицы объекта; при этом сама сетка меняет форму либо меняет место на каждом шаге решения. Одним из методов, использующих описание среды по Лагранжу, является PFEM - метод конечных элементов с частицами [64, 65]. Данный метод применяется в программном обеспечении инженерного анализа COMSOL Multiphysics [66].

Метод конечных элементов с частицами используется для моделирования течений жидкости и газа в сложных областях, течений жидкости и газа со свободной поверхностью, процессов брызгообразования, а также решения сопряженных задач гидравлической упругости. Для решения указанных задач методы по Лагранжу различных типов используются повсеместно и достаточно приемлемо: в сопряженных задачах гидравлической упругости - методы вихревых элементов [67, 68], в моделировании течений со свободной поверхностью - метод сглаженных частиц SPH [69, 70]. Преимущества и недостатки использования методов по использованию сетки и методов частиц применительно к решению различных задач подробно рассмотрены в работе [71].

Для математического и компьютерного моделирования течения широко применяется система дифференциальных уравнений Навье-Стокса. Основные проблемы при решении данного уравнения связаны с дифференциальными уравнениями для законов сохранения массы и количества движения. Для решения этих проблем используются способы для определения давления уравнения Пуассона [72], уравнений для поправок [73], штрафные функции [74], дополнением уравнения неразрывности нестационарным членом [75], регуляризацией матрицы коэффициентов при производных по времени [76, 77, 78, 79, 80, 81]. А также, существует проблема существования и гладкости данного уравнения, по решению которого применялись различные методы [82-89].

В векторном виде для жидкости и газа уравнение Навье-Стокса принимает следующий вид [90]:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \vec{f}, \quad (1)$$

где ∇ - оператор набла, Δ - векторный оператор Лапласа, t - время, ν - коэффициент кинематической вязкости, ρ - плотность, p - давление, $\vec{v} = (v^1, \dots, v^n)$ - векторное поле скорости, \vec{f} - векторное поле массовых сил. Неизвестные p и \vec{v} являются функциями времени t и координаты $x \in \Omega$, $\Omega \in R^n$, $n=2,3$ - плоская или трехмерная область, в которой движется жидкость.

С учетом сжимаемости уравнения Навье-Стокса принимают следующий вид:

$$\rho \left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_k} \left\{ \eta \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_k} + \frac{\partial v_k}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ik} \frac{\partial v_l}{\partial x_l} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\zeta \frac{\partial v_l}{\partial x_l} \delta_{ik} \right), \quad (2)$$

где η - коэффициент динамической вязкости (сдвиговая вязкость), ζ - «вторая вязкость» или объемная вязкость, δ_{ik} - дельта Кронекера.

Это уравнение при условии постоянства вязкостей η и ζ сводится к векторному уравнению:

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p + \eta \Delta \vec{v} + \left(\zeta + \frac{\eta}{3} \right) \nabla \operatorname{div} \vec{v}. \quad (3)$$

Уравнение неразрывности для сжимаемой жидкости и газа примет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0. \quad (4)$$

2.1.1 Анализ формы корпуса ВЭУ

Скорость ветра в природе является непостоянной и в большинстве случаев дует с низкой скоростью, то есть вероятность такого ветра увеличивается со снижением его скорости. В связи с этим нужно разработать энергетически эффективные элементы конструкции ВЭУ, которые позволят оптимально преобразовать кинетическую энергию ветра и увеличат диапазон ее работы путем снижения нижнего порога скорости ветра, при которой она начинает генерировать электрическую энергию [91].

Модель конструкции ВЭУ в симуляции программного обеспечения инженерного анализа должна быть приближенной к натурной модели. Для этого модель должна иметь близкие и сходящиеся результаты в сетках, сетка должна быть достаточно мелкой на важных областях элемента 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 способствуют к ускорению ветра в зоне расположения лопастей турбины ВЭУ.

На рисунке 7 представлено поперечное сечение модели корпуса ВЭУ закрытого типа. Так как конструкция ВЭУ является телом вращения, то для упрощения расчета, вычислительных операций и анализа наиболее эффективных областей конструкции взято поперечное сечение модели. Данная модель строится в интерфейсе “Geometry” программного обеспечения инженерного анализа COMSOL Multiphysics. Далее выбирается материал элементов исследуемой модели, в данном случае выбирается воздух в качестве

текущей среды и железо - в качестве материала конструкции ВЭУ, такие как конфузор, диффузор и конус. Затем задаются граничные условия: скорость во входе, давление на выходе, симметричные стены области по проведению исследования. В данном интерфейсе моделируется течение жидкости с различными скоростями на основе решения уравнений Навье — Стокса в различных формулировках. Данный интерфейс программы предназначен для моделирования низкоскоростных потоков, ползущих течений, ламинарных и турбулентных течений жидкости и газа. По описанию турбулентных течений применяются уравнения Навье — Стокса (RANS) осредненные по Рейнольдсу, и имеют дополнения различных моделей турбулентности: стандартная и низкорейнольдсовая $k-\varepsilon$ модели, $k-\omega$ и SST (Ментера) модели и модель Спаларта — Аллмараса [66]. Метод осреднения по Рейнольдсу уравнения Навье — Стокса основано на замене изменяющихся по случаям характеристик потока (скорость, давление, плотность) суммами осреднённых и пульсирующих составляющих. Уравнение Рейнольдса описывает осреднённое по времени течение жидкости или газа, что позволяет получить то, что в них образуются новые неизвестные функции, которые описывают имеющиеся турбулентные напряжения, которые возникают при прохождении течения жидкости или газа через физическое тело, имеющее определенную форму.

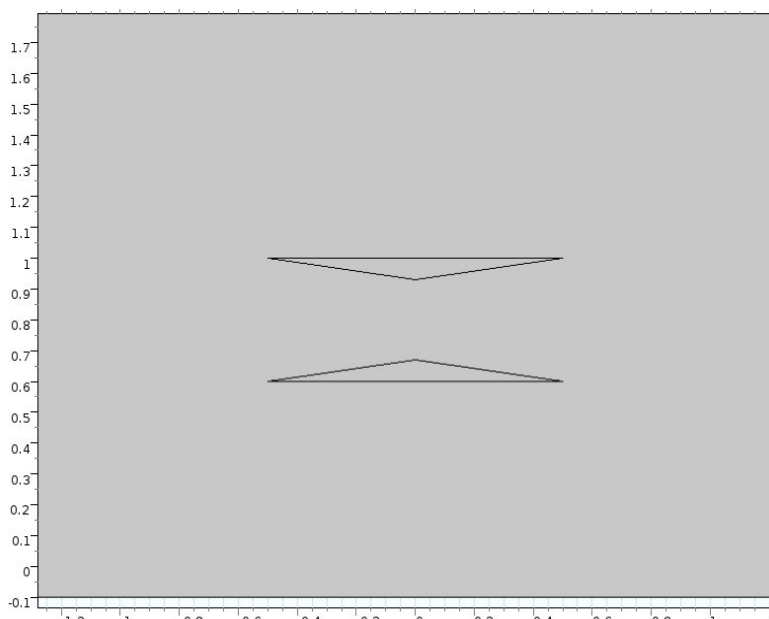


Рисунок 7 – Поперечное сечение модели корпуса ВЭУ закрытого типа

Осредненные уравнения по Рейнольдсу Навье-Стокса для сжимаемого совершенного газа могут быть представлены в виде [92]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0, \\ \rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot (\tau_m + \tau_t), \\ \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v} H) = \nabla \cdot [\vec{v} \cdot (\tau_m + \tau_t) + (\vec{q}_m + \vec{q}_t)], \\ \rho = \frac{pm}{RT}, \end{array} \right. \quad (5)$$

здесь \vec{v} – вектор скорости осредненного течения с компонентами u , v и w ; τ_m и τ_t – молекулярная и турбулентная составляющие тензора вязких напряжений; $E = C_v T + 0.5(u^2 + v^2 + w^2)$ – полная энергия газа; $H = E + p/\rho = C_p T +$

$0.5(u^2 + v^2 + w^2)$ – его полная энтальпия; \vec{q}_m и \vec{q}_t – молекулярная и турбулентная составляющие вектора плотности теплового потока; T – температура; $C_v = (C_p - R/m)$ – удельная теплоёмкость газа при постоянном

объёме; C_p – удельная теплоёмкость газа при постоянном давлении; $R = 8.31434$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная, а m – молярная масса газа.

Для проведения расчета выбрано стандартная k-ε модель для описания турбулентного течения среды, где уравнение движения среды переходит к виду, в котором имеется влияние флуктуации средней скорости (в виде турбулентной кинетической энергии) и процесса уменьшения данной флуктуации из-за вязкости (диссипации). В этой модели выполняется два необходимых уравнения по переносу кинетической энергии турбулентности и переносу диссипации турбулентности. Данный подход очень часто используется при выполнении практических инженерных вычислений гидро- и газодинамики.

В интерфейсе построения сетки выбирается способ разбиения модели из четырех видов калибровки для каждого элемента: “general physics”, “fluid dynamics”, “plasma”, “semiconductor”. Затем задается предопределение по применяемому размеру сетки для различных областей исследования. Для области текущей среды модели выбран второй вид калибровки, т.е. “fluid dynamics”, а для конструкции ВЭУ и кровли здания – первый вид калибровки, т.е. “general physics”. Построенная сетка для одного из вариантов модели корпуса ВЭУ закрытого типа показана на рисунке 8. Из рисунка видно, что сетка вблизи и по краям конструкции измельчается, что позволит учитывать изменения параметров в этих важных зонах для достаточно точного описания процессов течения и получения наиболее точных данных по различным параметрам течения.

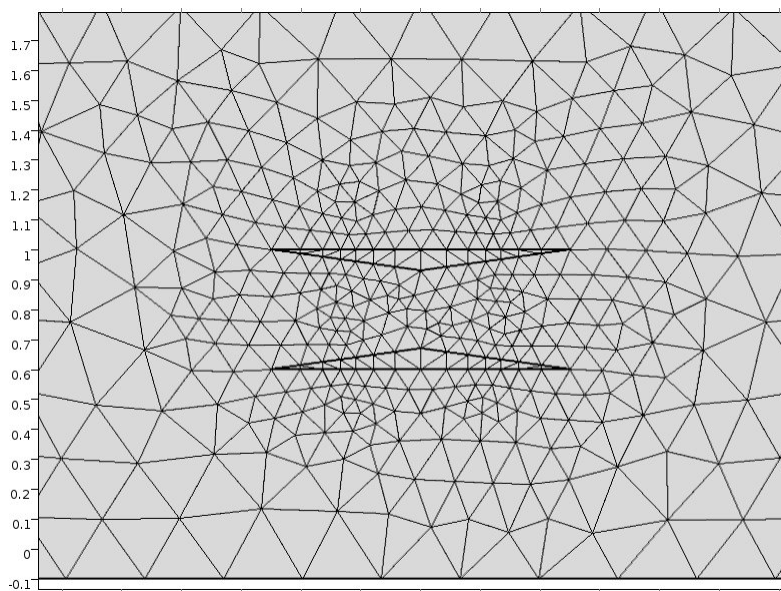


Рисунок 8 – Расчетная сетка одного из вариантов модели корпуса ВЭУ закрытого типа

Результаты проведенных расчетов можно получить в виде различных диаграмм и графиков по нужным параметрам для проведения анализа полученных результатов. На рисунке 9 приведена диаграмма контуров скоростей ветра по корпусу ВЭУ закрытого типа. По ней видно, что в зоне расположения турбины, где идет сужение потока, скорость потока достигает максимального значения, за этой зоной скорость потока начинает снижаться. Незначительное снижение скорости воздушного потока наблюдается по внешним краям корпуса ВЭУ. В данном случае скорость потока достигает 7,45 м/с при ее изначальном значении 5 м/с.

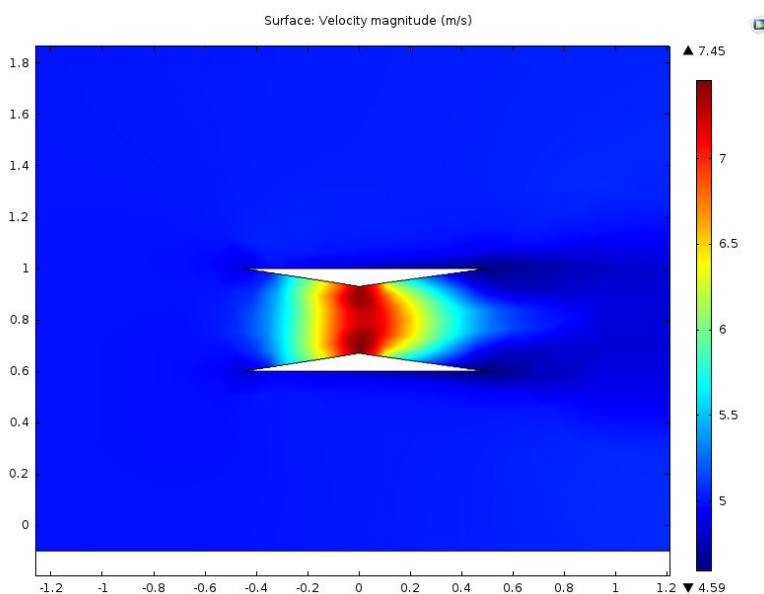


Рисунок 9 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа

А диаграмма контуров давления для этих условий изображена на рисунке 10, где разница давлений в конструкции достигает 24,89 Па. Из данного рисунка видно, что зона низкого давления находится за турбиной ВЭУ, особенно в зоне расположения лопастей турбины ВЭУ, где достигается максимальная скорость воздушного потока.

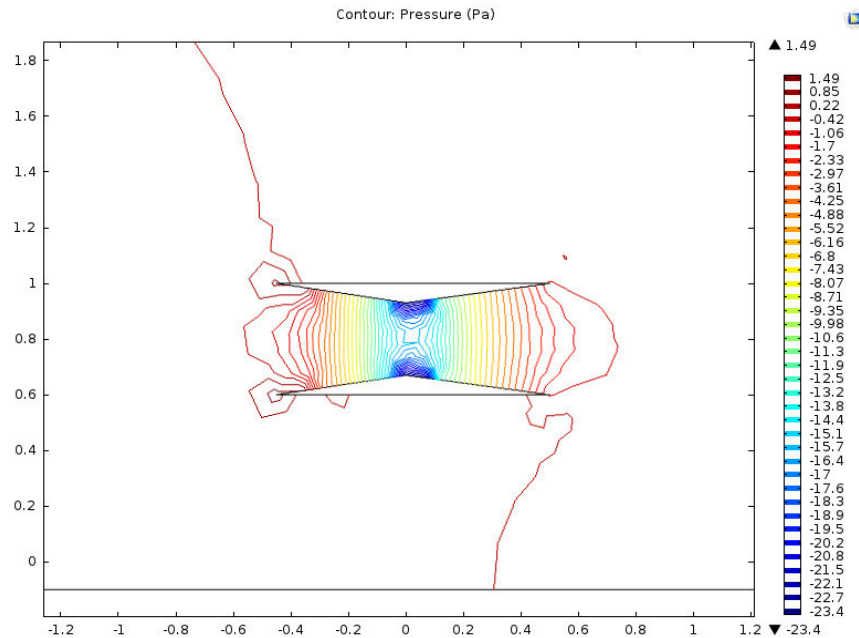


Рисунок 10 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа

Для получения данных о скорости в зоне расположения турбины (вертикально расположенная красная линия на рисунке 11) строится график зависимости скорости воздушного потока от длины этой зоны, который изображен на рисунке 12.

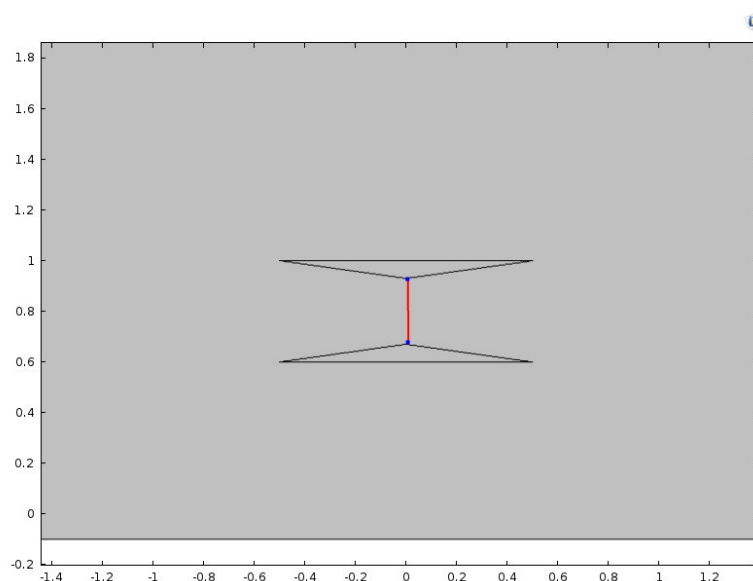


Рисунок 11 – Участок снятия графика скорости воздушного потока

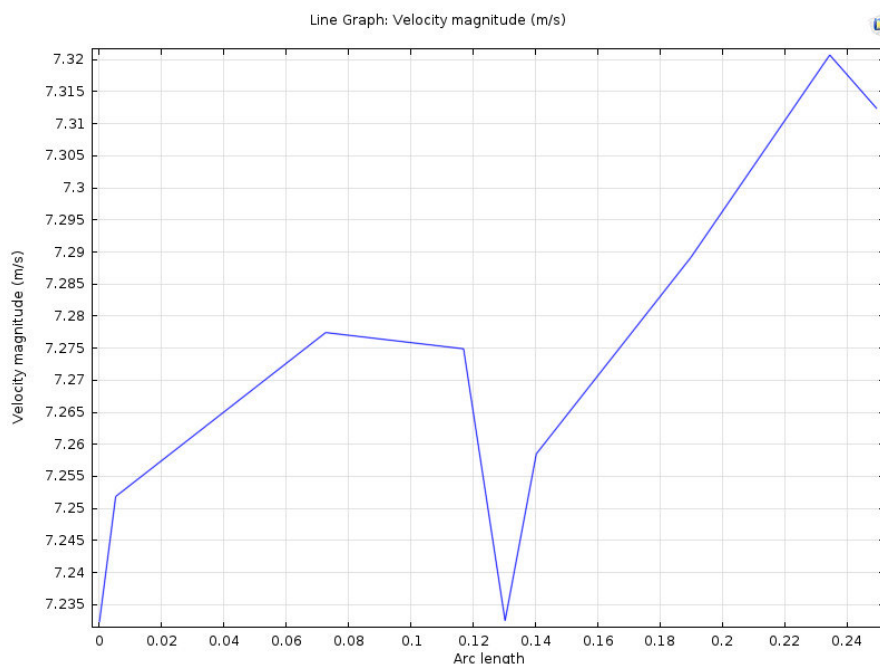


Рисунок 12 – График скорости воздушного потока на месте расположения лопастей турбины ВЭУ закрытого типа

Для выявления самой эффективной формы корпуса ВЭУ закрытого типа сделан инженерный анализ его всевозможных вариантов формы:

- вариация угла атаки конфузора путем изменения длины корпуса;
- вариация угла атаки диффузора путем изменения длины корпуса;
- симметричная вариация углов атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса;
- вариация угла атаки конфузора путем изменения толщины корпуса;
- вариация угла атаки диффузора путем изменения толщины корпуса;
- асимметричная вариация углов атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса;
- вариация толщины корпуса в зоне расположения ветротурбины ВЭУ.

Вариация угла атаки конфузора путем изменения длины корпуса

При вариации угла атаки конфузора путем изменения длины корпуса меняется только длина конфузора, при этом не меняется длина диффузора и зона расположения ветровой турбины ВЭУ.

В приложении В приведены результаты скоростей ветра в зоне турбины при различных углах атаки конфузора путем изменения длины корпуса.

На рисунках 13 и 14 приведены диаграммы контуров скоростей и давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки конфузора $\alpha=13,13^0$ путем изменения длины корпуса.

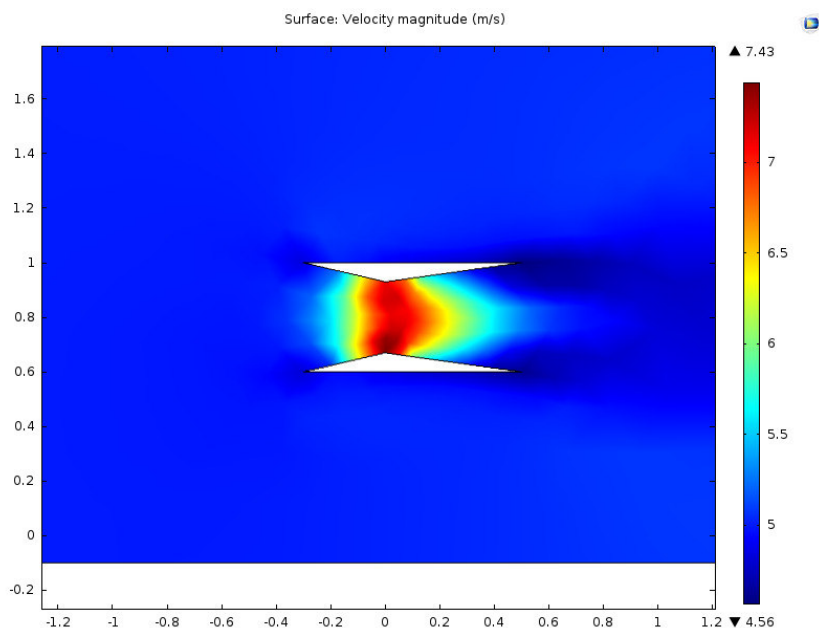


Рисунок 13 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки конфузора $\alpha=13,13^0$ путем изменения длины корпуса

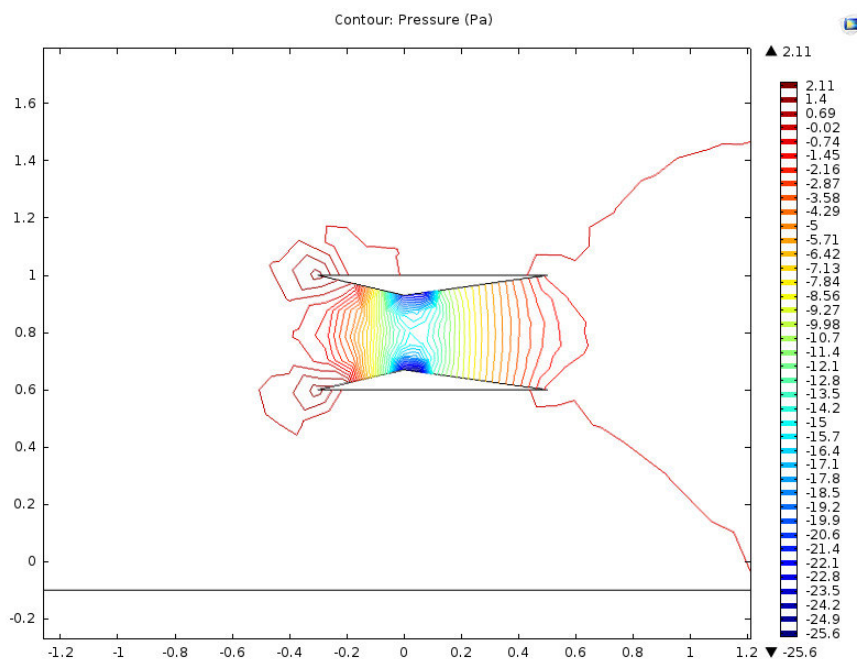


Рисунок 14 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки конфузора $\alpha=13,13^0$ путем изменения длины корпуса

На рисунке 15 приведен график скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки конфузора $\alpha=13,13^0$ путем изменения длины корпуса. Из рисунка видно, что скорость воздушного потока в этой зоне неравномерна.

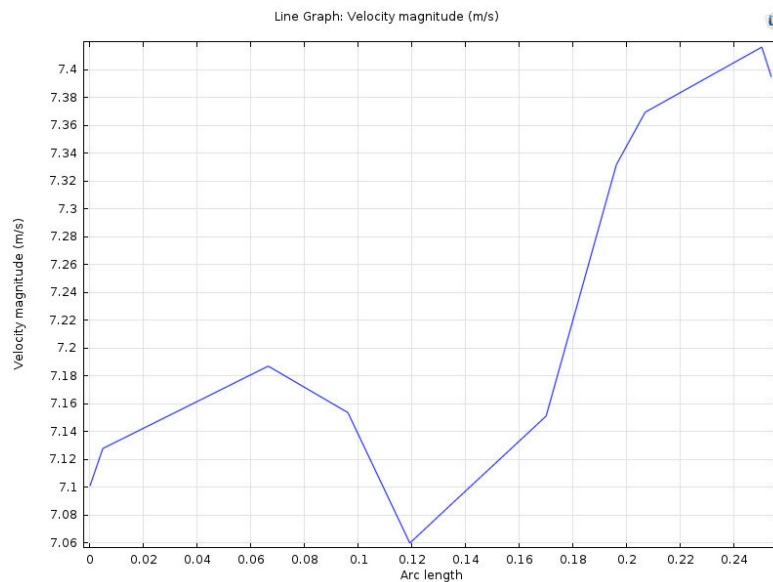


Рисунок 15 – График скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки конфузора $\alpha=13,13^{\circ}$ путем изменения длины корпуса

На рисунке 16 приведен график зависимостей различных углов атаки конфузора путем изменения длины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока. Здесь видно, что при угле атаки конфузора $\alpha=8,84^{\circ}$ достигается максимальная скорость в зоне расположения турбины во всех вариациях начальных скоростей воздушного потока.

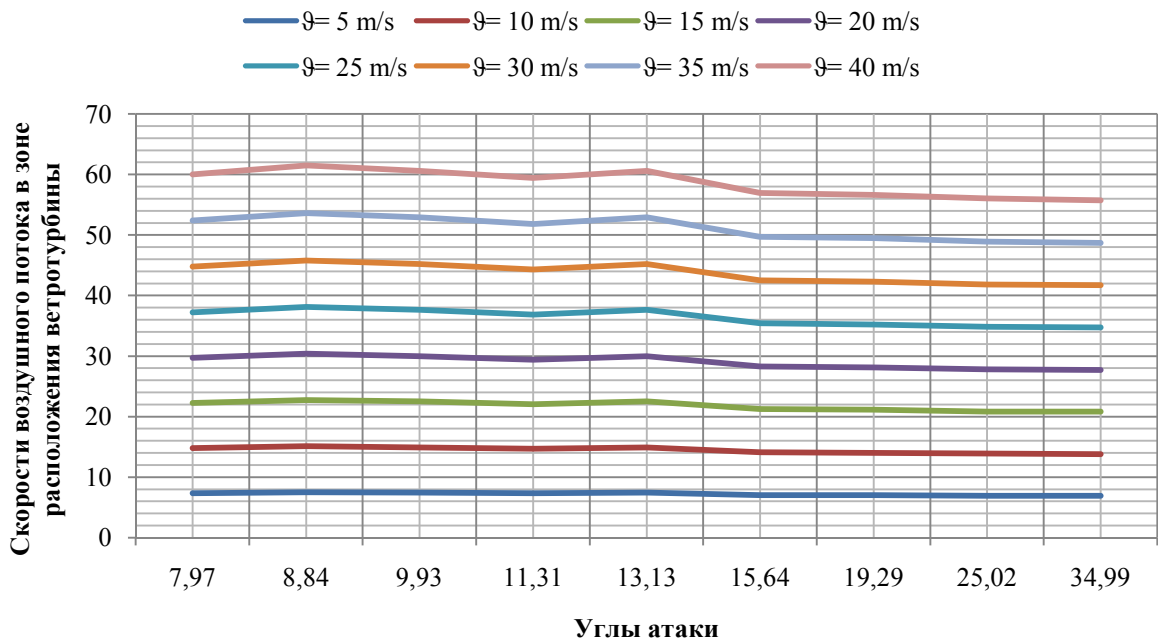


Рисунок 16 – График зависимостей различных углов атаки конфузора путем изменения длины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока

Вариация угла атаки диффузора путем изменения длины корпуса

При вариации угла атаки диффузора путем изменения длины корпуса меняется только длина диффузора, при этом не меняется длина конфузора и зона расположения ветровой турбины ВЭУ.

В приложении Г приведены результаты скоростей ветра в зоне турбины при различных углах атаки диффузора путем изменения длины корпуса

На рисунках 17 и 18 приведены диаграммы контуров скоростей и давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки диффузора $\alpha=9,93^0$ путем изменения длины корпуса.

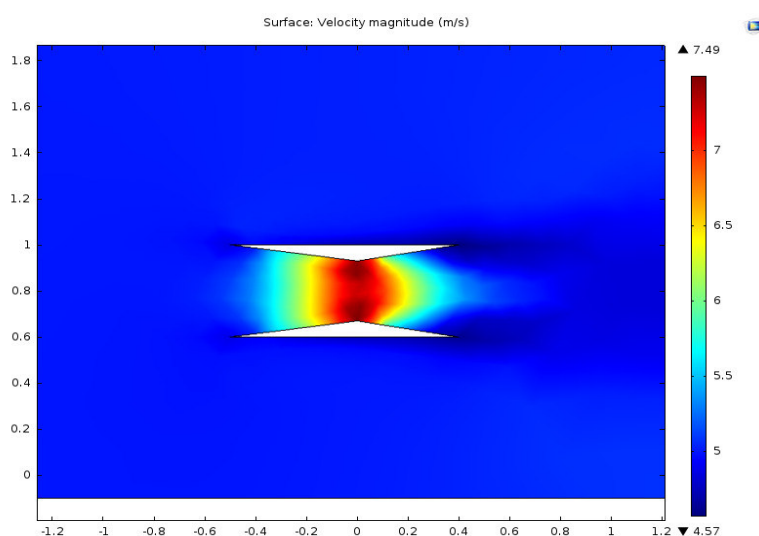


Рисунок 17 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки диффузора $\alpha=9,93^0$ путем изменения длины корпуса

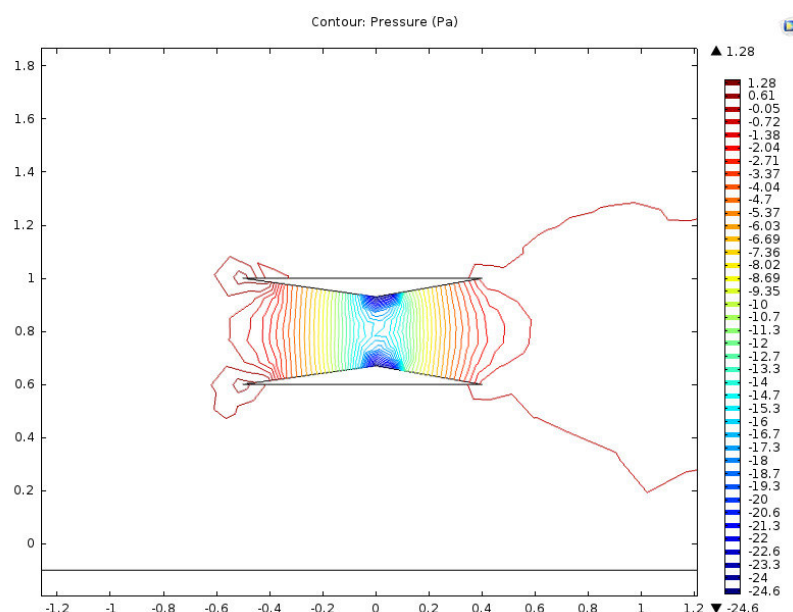


Рисунок 18 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки диффузора $\alpha=9,93^0$ путем изменения длины корпуса

На рисунке 19 приведен график скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки диффузора $\alpha=9,93^{\circ}$ путем изменения длины корпуса.

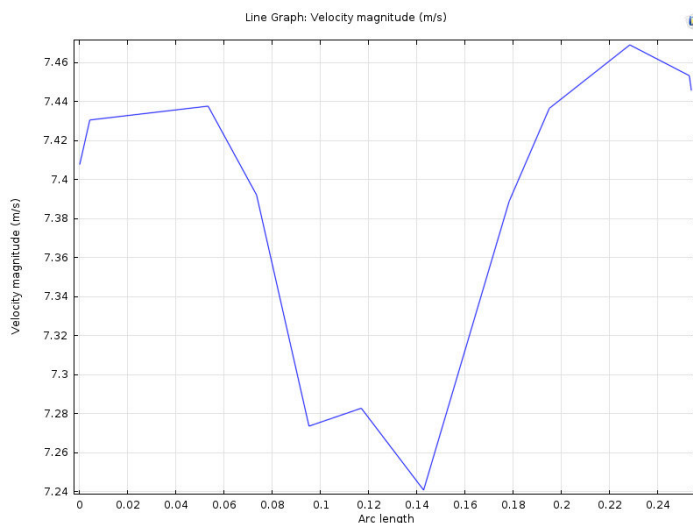


Рисунок 19 – График скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки диффузора $\alpha=9,93^{\circ}$ путем изменения длины корпуса

На рисунке 20 приведен график зависимостей различных углов атаки диффузора путем изменения длины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока. Здесь видно, что при угле атаки диффузора $\alpha=8,84^{\circ}$ достигается максимальная скорость воздушного в зоне расположения турбины во всех вариациях начальных скоростей воздушного потока.

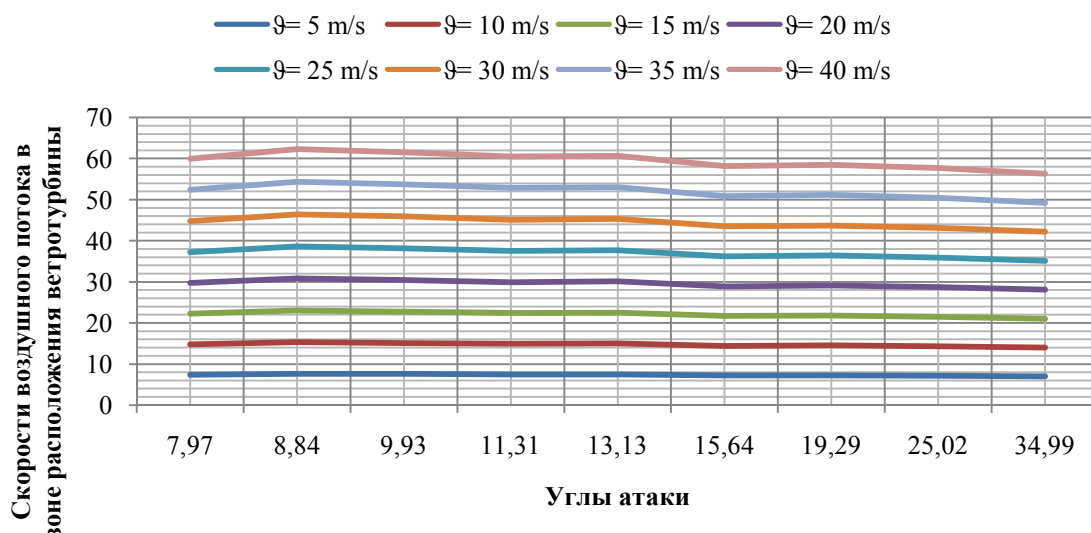


Рисунок 20 – График зависимостей различных углов атаки диффузора путем изменения длины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока

Симметричная вариация углов атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса

При вариации углов атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса меняется длина конфузора и диффузора, при этом не меняется зона расположения ветровой турбины ВЭУ.

В приложении Д приведены результаты скоростей ветра в зоне турбины при симметричных углах атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса

На рисунках 21 и 22 приведены диаграммы контуров скоростей и давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при симметричных углах атаки конфузора и диффузора $\alpha=9,09^0$ путем изменения толщины корпуса.

На рисунке 23 приведен график скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при симметричных углах атаки конфузора и диффузора $\alpha=9,09^0$ путем изменения толщины корпуса.

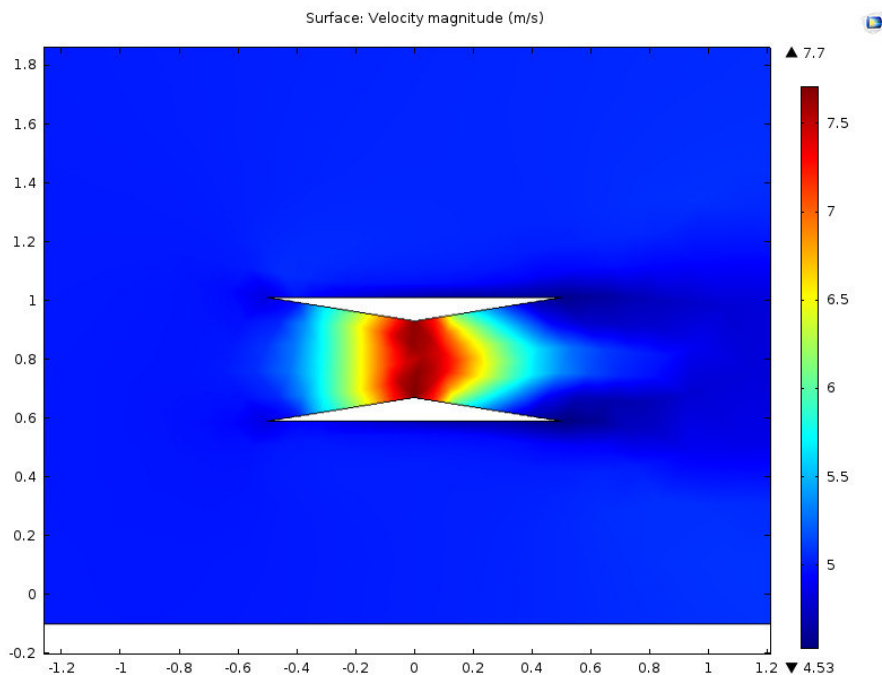


Рисунок 21 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при симметричных углах атаки конфузора и диффузора $\alpha=9,09^0$ путем изменения толщины корпуса

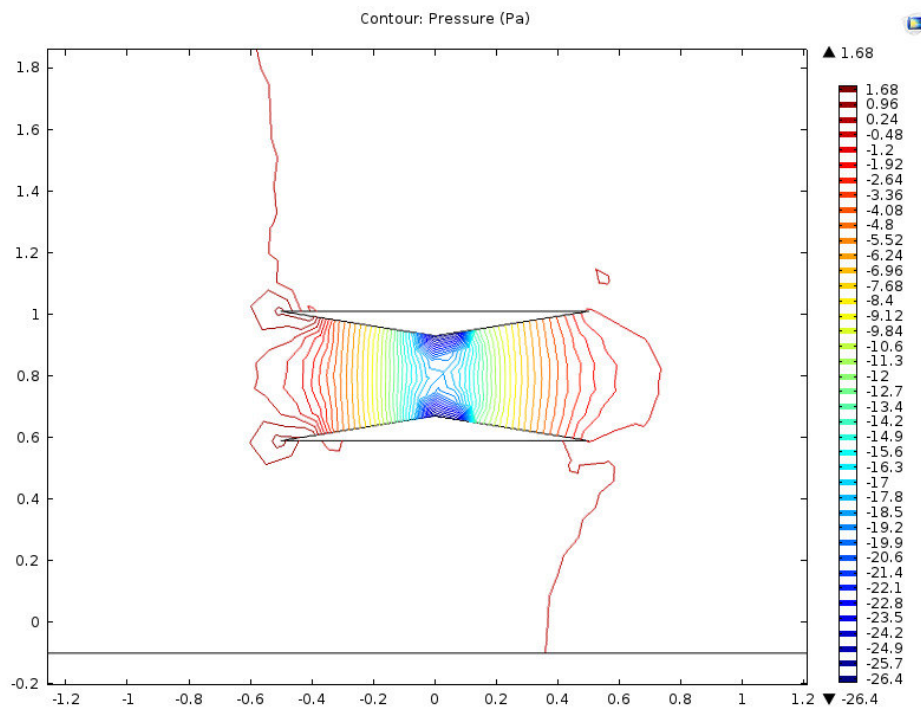


Рисунок 22 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при симметричных углах атаки конфузора и диффузора $\alpha=9,09^0$ путем изменения толщины корпуса

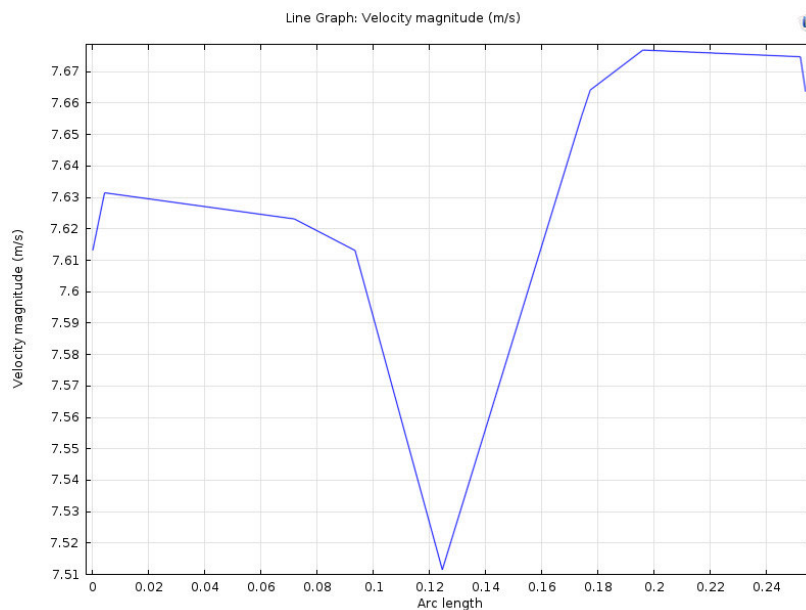


Рисунок 23 – График скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при симметричных углах атаки конфузора и диффузора $\alpha=9,09^0$ путем изменения толщины корпуса

На рисунке 24 приведен график зависимостей различных углов атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока. Здесь видно, что при угле атаки конфузора и диффузора $\alpha=18,78^0$ достигается максимальная скорость воздушного в зоне расположения турбины во всех вариациях начальных скоростей воздушного потока.

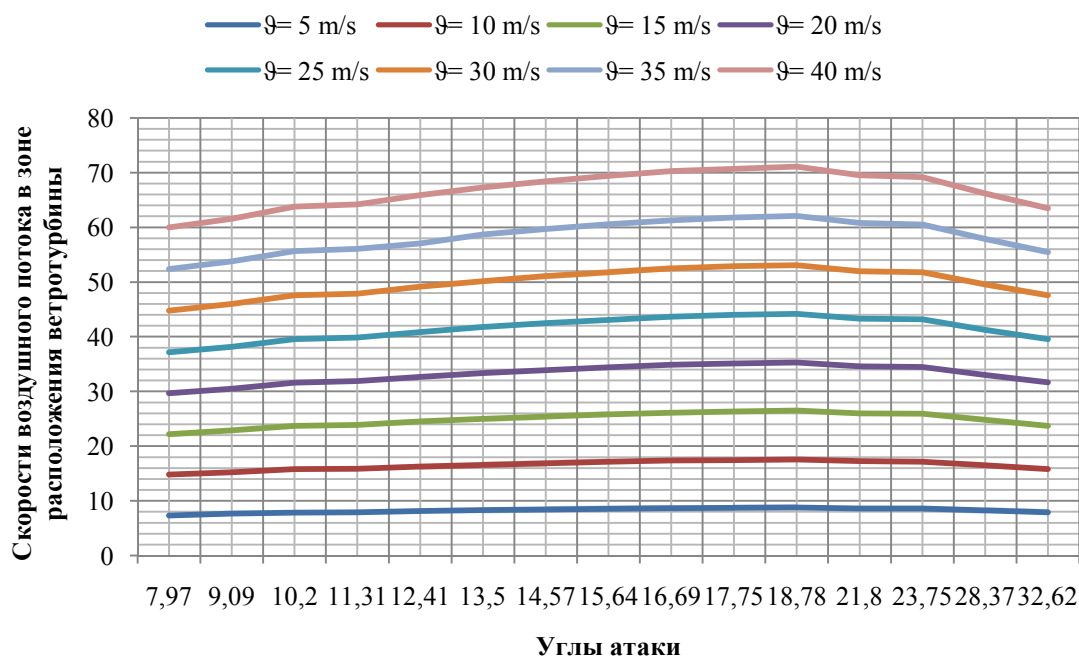


Рисунок 24 – График зависимостей различных углов атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока

Вариация углов атаки конфузора путем изменения толщины корпуса

При вариации углов атаки конфузора путем изменения толщины корпуса меняется толщина конфузора, при этом не меняется диффузор и зона расположения ветровой турбины ВЭУ.

В приложении Ж приведены результаты скоростей ветра в зоне турбины при разных углах атаки конфузора путем изменения толщины корпуса

На рисунках 25 и 26 приведены диаграммы контуров скоростей и давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа угле атаки конфузора $\alpha=9,09^0$ путем изменения толщины корпуса.

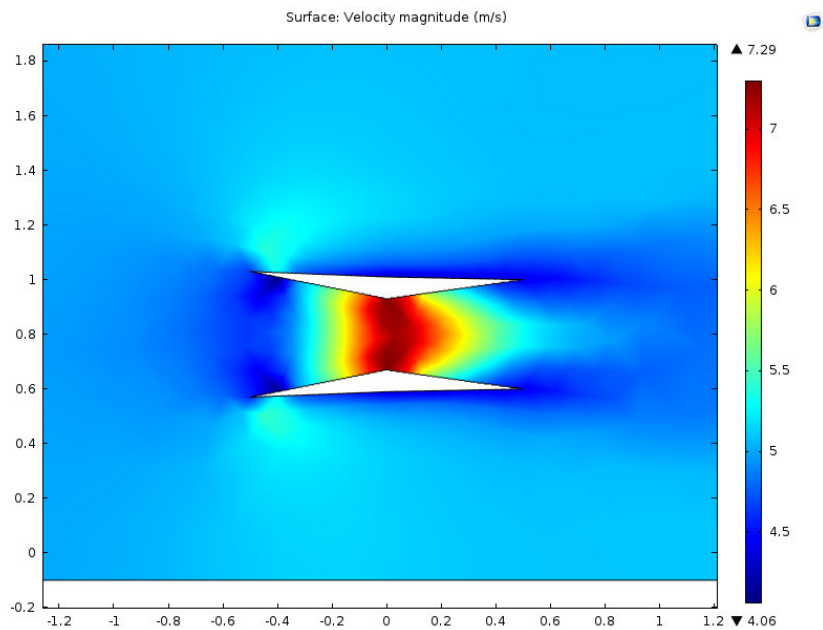


Рисунок 25 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки конфузора $\alpha=9,09^0$ путем изменения толщины корпуса

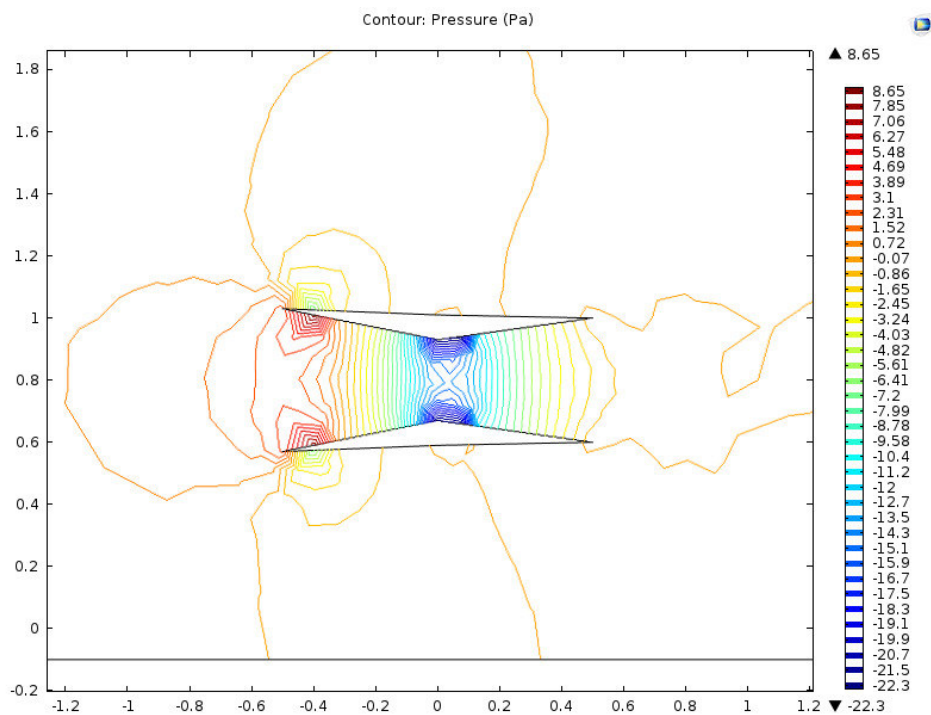


Рисунок 26 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки конфузора $\alpha=9,09^0$ путем изменения толщины корпуса

На рисунке 27 приведен график скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки конфузора $\alpha=9,09^0$ путем изменения толщины корпуса.

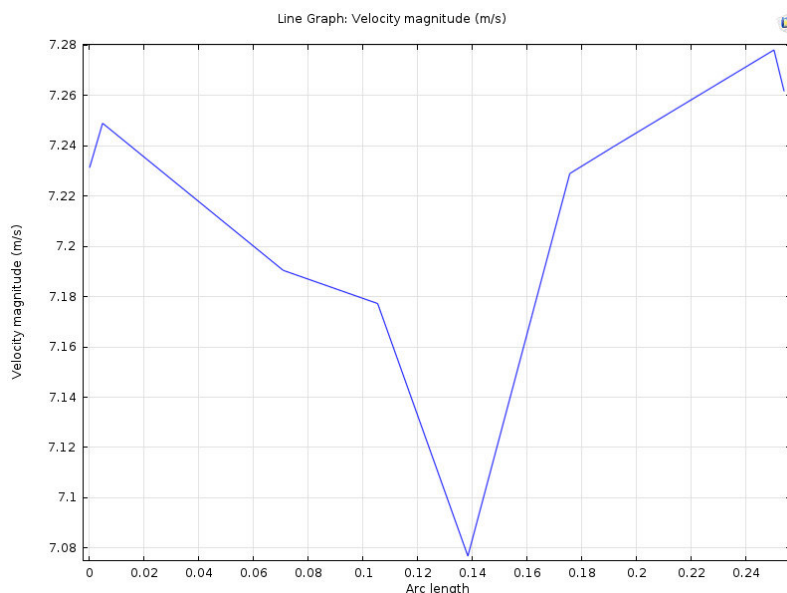


Рисунок 27 – График скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки конфузора $\alpha=9,09^{\circ}$ путем изменения толщины корпуса

На рисунке 28 приведен график зависимостей различных углов атаки конфузора путем изменения толщины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока. Здесь видно, что при угле атаки конфузора $\alpha=7,97^{\circ}$ достигается максимальная скорость воздушного в зоне расположения турбины во всех вариациях начальных скоростей воздушного потока.

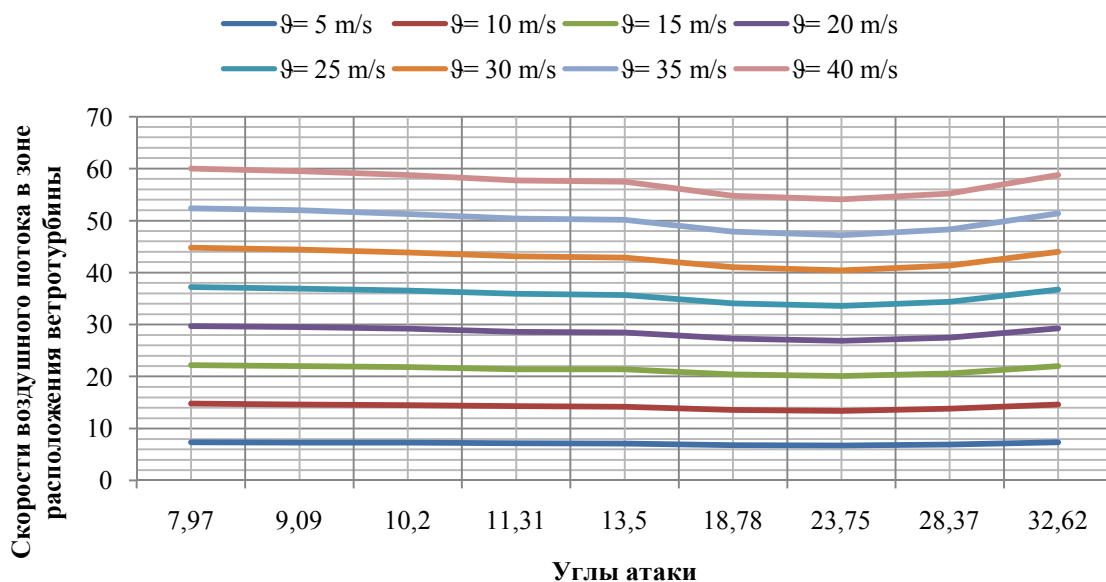


Рисунок 28 – График зависимостей различных углов атаки конфузора путем изменения толщины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока

Вариация углов атаки диффузора путем изменения толщины корпуса

При вариации углов атаки диффузора путем изменения толщины корпуса меняется толщина диффузора, при этом не меняется конфузор и зона расположения ветровой турбины ВЭУ.

В приложении И приведены результаты скоростей ветра в зоне турбины при разных углах атаки диффузора путем изменения толщины корпуса

На рисунках 29 и 30 приведены диаграммы контуров скоростей и давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа угле атаки диффузора $\alpha=36,5^{\circ}$ путем изменения толщины корпуса.

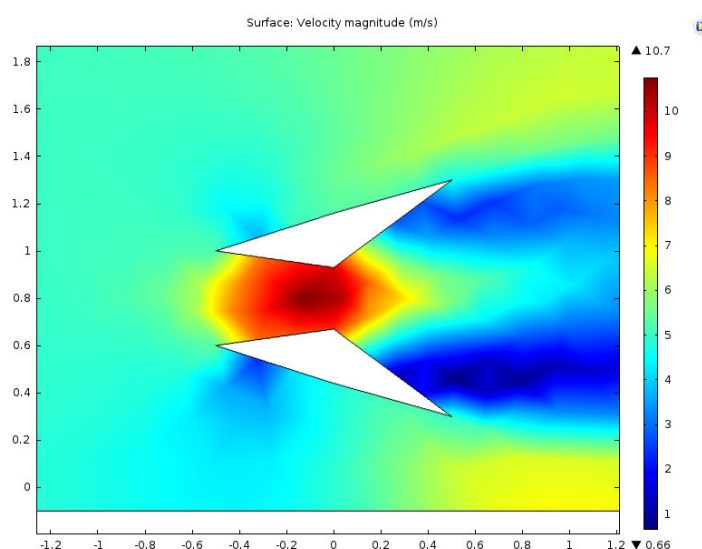


Рисунок 29 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки диффузора $\alpha=36,5^{\circ}$ путем изменения толщины корпуса

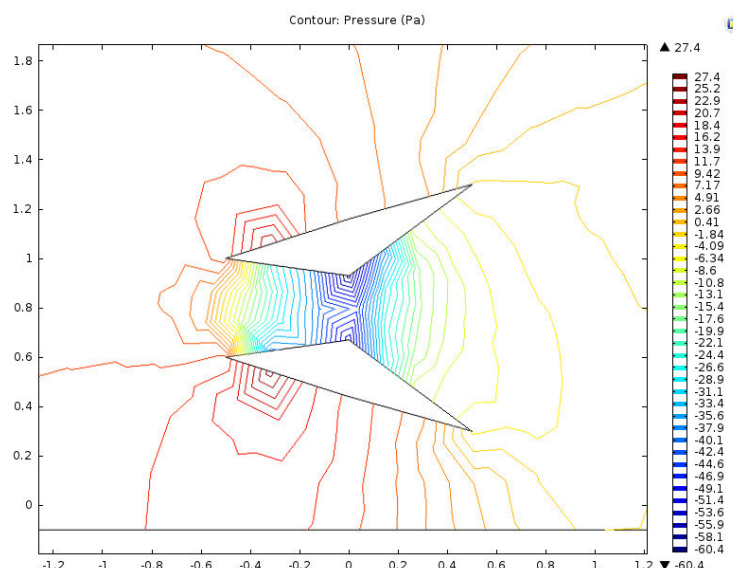


Рисунок 30 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки диффузора $\alpha=36,5^{\circ}$ путем изменения толщины корпуса

На рисунке 31 приведен график скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки диффузора $\alpha=36,5^0$ путем изменения толщины корпуса.

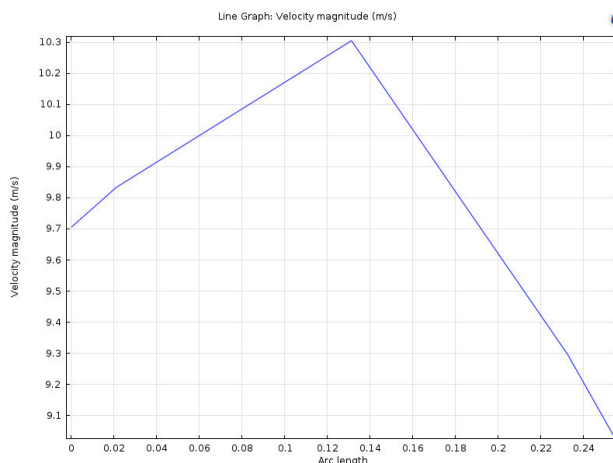


Рисунок 31 – График скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки диффузора $\alpha=36,5^0$ путем изменения толщины корпуса

На рисунке 32 приведен график зависимостей различных углов атаки диффузора путем изменения толщины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока. Здесь видно, что при угле атаки конфузора $\alpha=32,62^0$ достигается максимальная скорость воздушного в зоне расположения турбины во всех вариациях начальных скоростей воздушного потока.

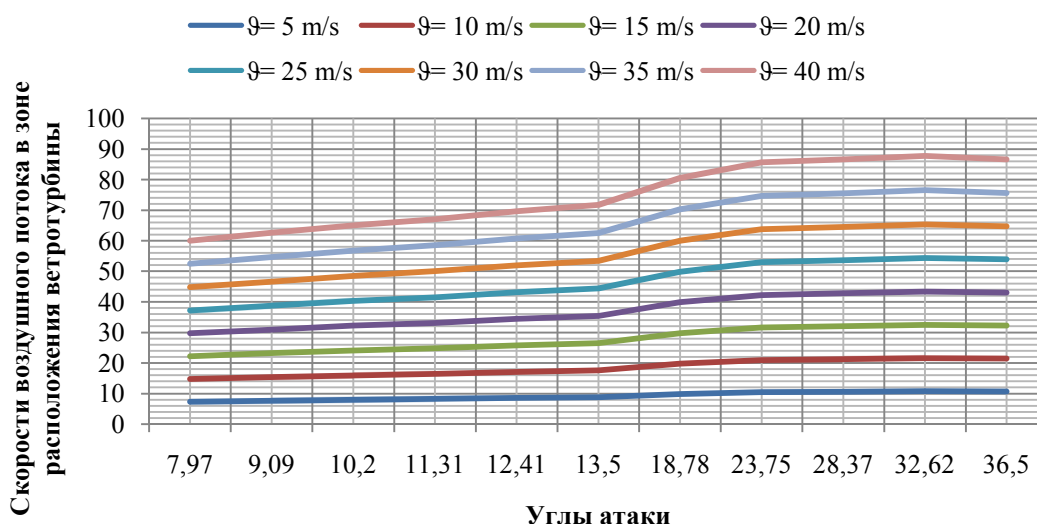


Рисунок 32 – График зависимостей различных углов атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока

Асимметричная вариация углов атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса

При асимметричной вариации углов атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса меняется толщина конфузора и диффузора, при этом не меняется зона расположения ветровой турбины ВЭУ.

В приложении К приведены результаты скоростей ветра в зоне турбины при асимметричных углах атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса

На рисунках 33 и 34 приведены диаграммы контуров скоростей и давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при асимметричных углах атаки конфузора $\alpha=7,97^\circ$ и диффузора $\alpha=32,62^\circ$ путем изменения толщины корпуса.

На рисунке 35 приведен график скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при асимметричных углах атаки конфузора $\alpha=7,97^\circ$ и диффузора $\alpha=32,62^\circ$ путем изменения толщины корпуса.

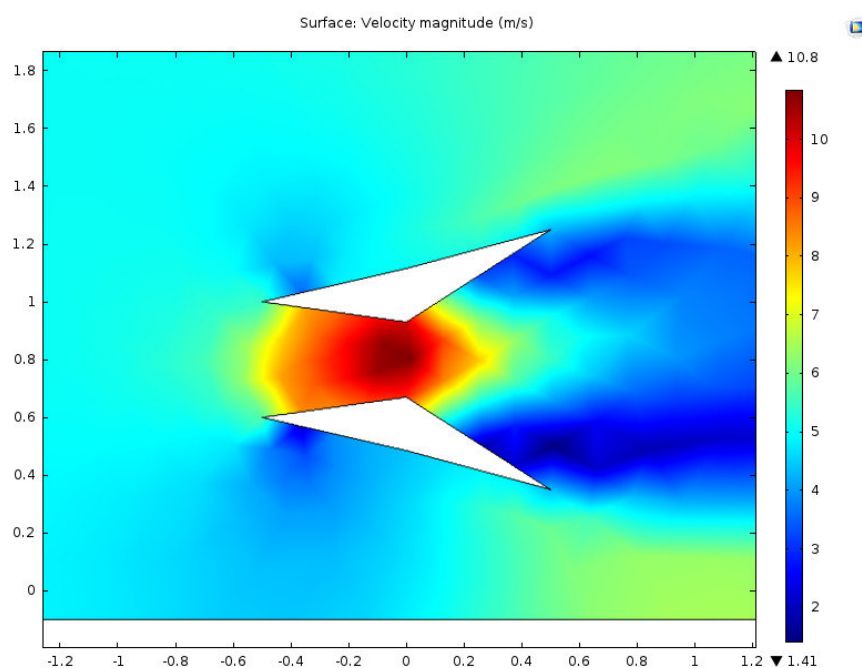


Рисунок 33 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при асимметричных углах атаки конфузора $\alpha=7,97^\circ$ и диффузора $\alpha=32,62^\circ$ путем изменения толщины корпуса

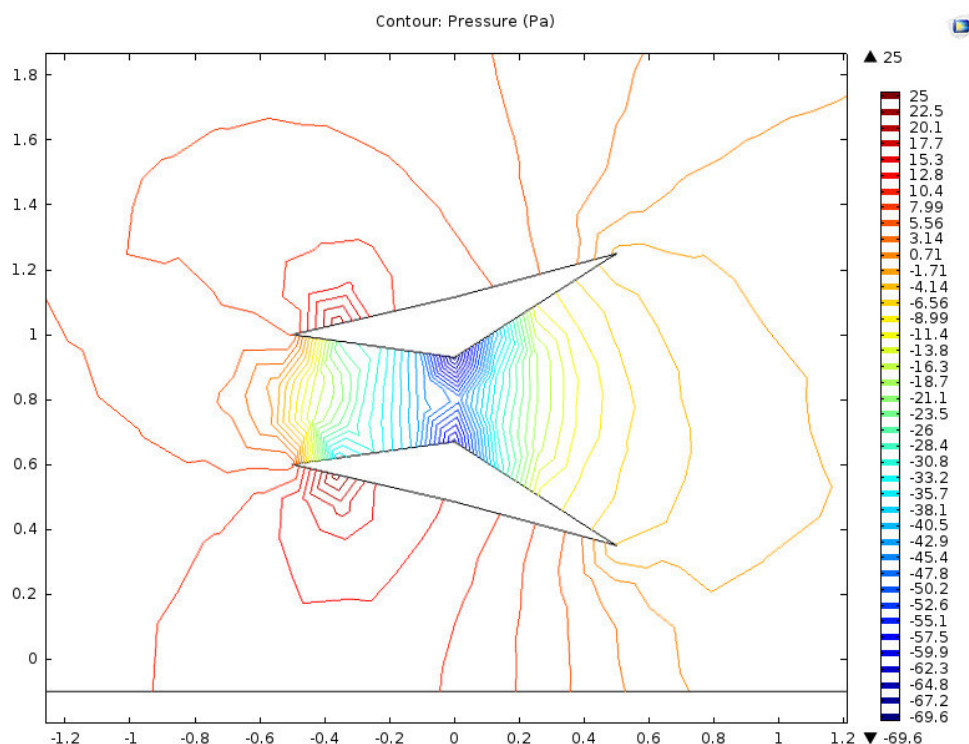


Рисунок 34 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при асимметричных углах атаки конфузора $\alpha=7,97^{\circ}$ и диффузора $\alpha=32,62^{\circ}$ путем изменения толщины корпуса

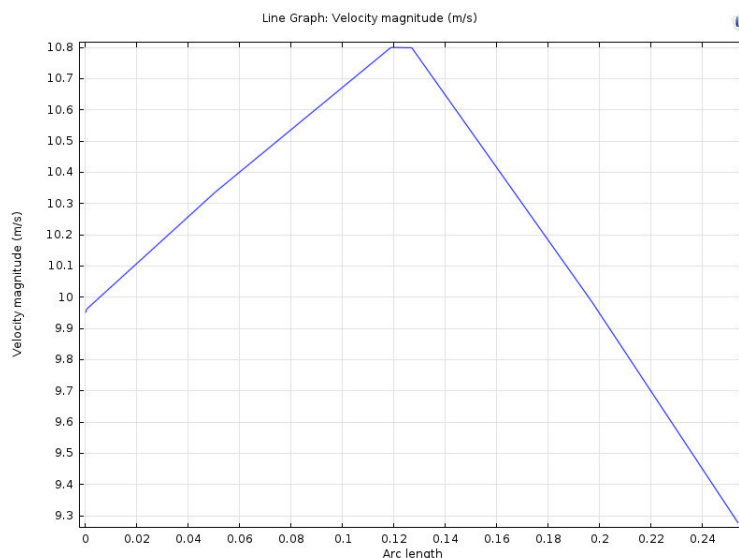


Рисунок 35 – График скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при асимметричных углах атаки конфузора $\alpha=7,97^{\circ}$ и диффузора $\alpha=32,62^{\circ}$ путем изменения толщины корпуса

На рисунке 36 приведен график зависимостей различных углов атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока. Здесь видно, что при угле атаки конфузора $\alpha=7,97^{\circ}$ и диффузора $\alpha=32,62^{\circ}$ достигается максимальная скорость воздушного в зоне расположения турбины во всех вариациях начальных скоростей воздушного потока.

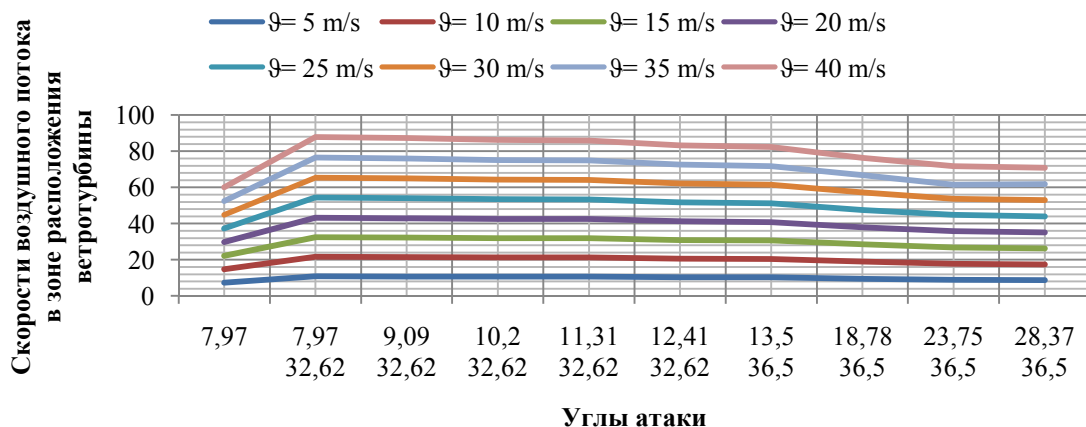


Рисунок 36 – График зависимостей различных углов атаки конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока

Вариация толщины корпуса в зоне расположения ветротурбины ВЭУ

При вариации толщины корпуса в зоне расположения ветротурбины ВЭУ меняется толщина диффузора и конфузора, при этом не меняется зона расположения ветровой турбины ВЭУ.

В приложении Л приведены результаты скоростей ветра в зоне турбины при вариации толщины корпуса в зоне расположения ветротурбины ВЭУ.

На рисунках 37 и 38 приведены диаграммы контуров скоростей и давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при асимметричных углах атаки конфузора $\alpha=7,97^0$, диффузора $\alpha=32,62^0$ и толщины корпуса $L=0,02$ m.

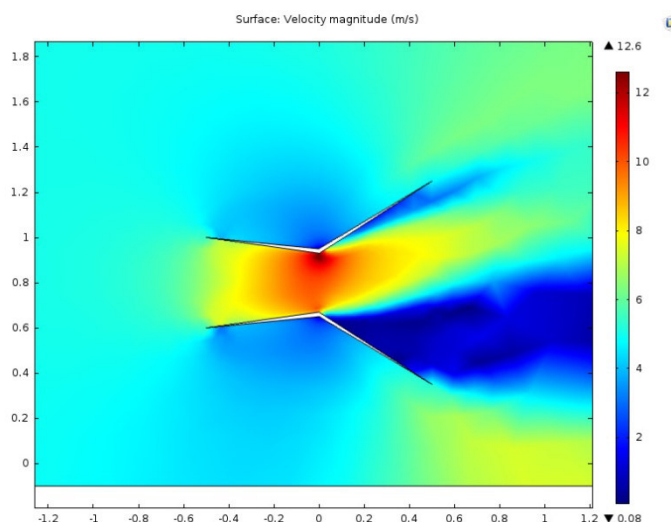


Рисунок 37 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при асимметричных углах атаки конфузора $\alpha=7,97^0$, диффузора $\alpha=32,62^0$ и толщины корпуса $L=0,02$ m

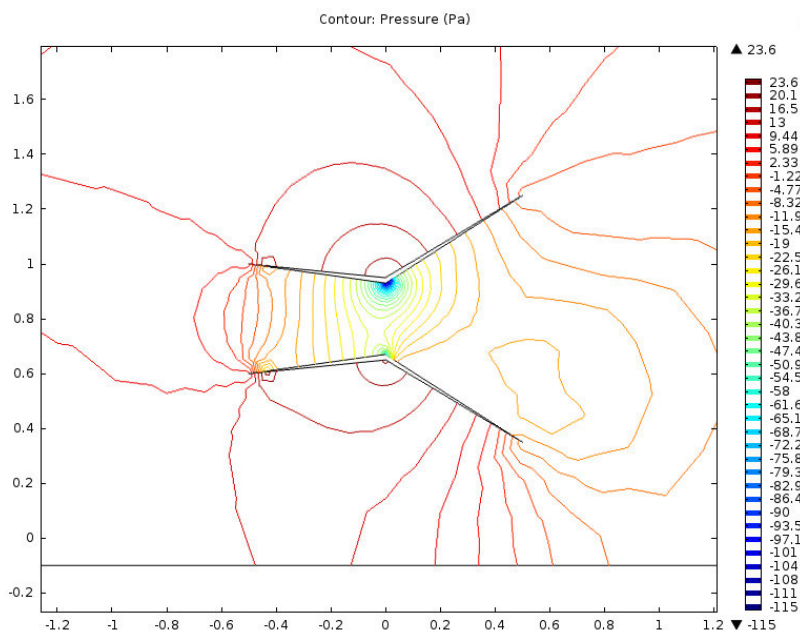


Рисунок 38 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при асимметричных углах атаки конфузора $\alpha=7,97^{\circ}$, диффузора $\alpha=32,62^{\circ}$ и толщины корпуса $L=0,02$ m

На рисунке 39 приведен график скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при асимметричных углах атаки конфузора $\alpha=7,97^{\circ}$, диффузора $\alpha=32,62^{\circ}$ и толщины корпуса $L=0,02$ m.

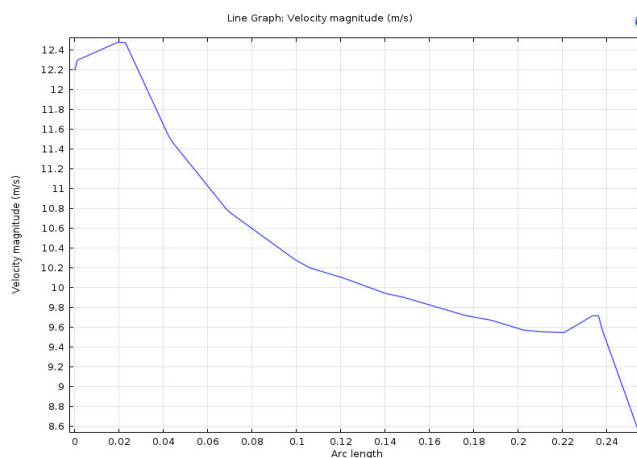


Рисунок 39 – График скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при асимметричных углах атаки конфузора $\alpha=7,97^{\circ}$, диффузора $\alpha=32,62^{\circ}$ и толщины корпуса $L=0,02$ m

На рисунке 40 приведен график зависимостей различных толщин корпуса в зоне расположения турбины и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока. Здесь видно, что при асимметричных углах атаки конфузора $\alpha=7,97^{\circ}$, диффузора $\alpha=32,62^{\circ}$ и толщины корпуса $L=0,02$ m достигается максимальная скорость воздушного в зоне расположения турбины во всех вариациях начальных скоростей воздушного потока.

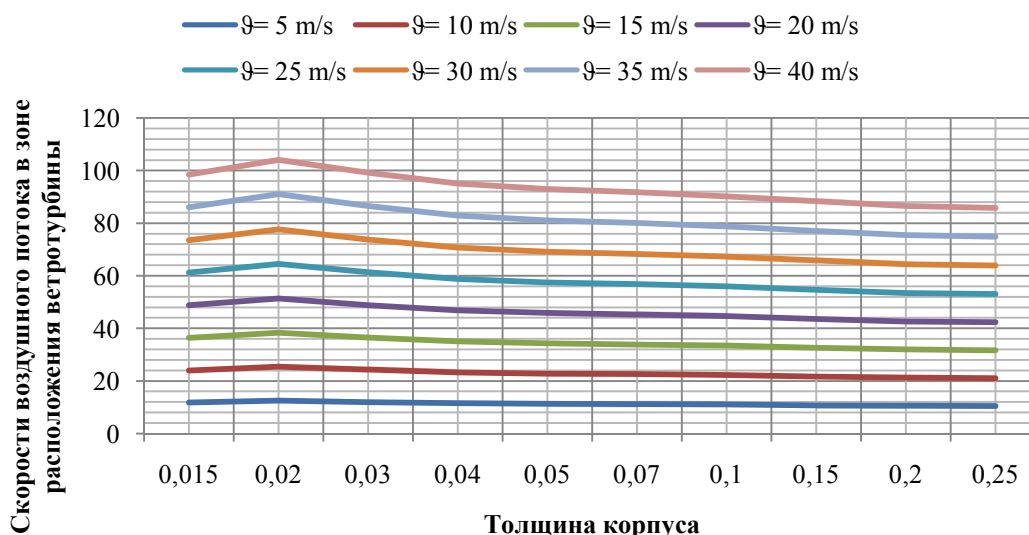


Рисунок 40 – График зависимостей различных толщин корпуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока

В результате анализа различных форм корпуса, путем изменения углов атаки его конфузора, диффузора и толщины у зоны расположения ветротурбины, выявлена наиболее эффективная его форма и размеры: угол атаки конфузора $\alpha=7,97^{\circ}$, угол атаки диффузора $\alpha=32,62^{\circ}$ и толщина корпуса $L=0,02$ м.

2.1.2 Анализ формы конуса ВЭУ

Во всех ветроэнергетических установках корневая часть лопасти практически не вырабатывает энергию при работе установки, так как окружная скорость в данном сечении очень мала для работы всех видов аэродинамического профиля. Поэтому для эффективного преобразования энергии ветрового потока, который протекает через данную часть лопасти ВЭУ, необходимо применить конус, который способен перенаправить данный поток к средней и верхней части лопасти.

Для выявления самой эффективной формы конуса ВЭУ закрытого типа необходимо сделать инженерный анализ ее всевозможных вариантов:

- вариация угла атаки конуса путем изменения его толщины;
- вариация угла атаки конуса путем изменения его длины.

Вариация угла атаки конуса путем изменения его толщины

При вариации угла атаки конуса путем изменения его толщины меняется толщина конуса, при этом не меняется зона расположения ветровой турбины ВЭУ и длина конуса.

В приложении М приведены результаты скоростей ветра в зоне турбины при вариации угла атаки конуса путем изменения его толщины

На рисунках 41 и 42 приведены диаграммы контуров скоростей и давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки конуса $\alpha=2,3^0$.

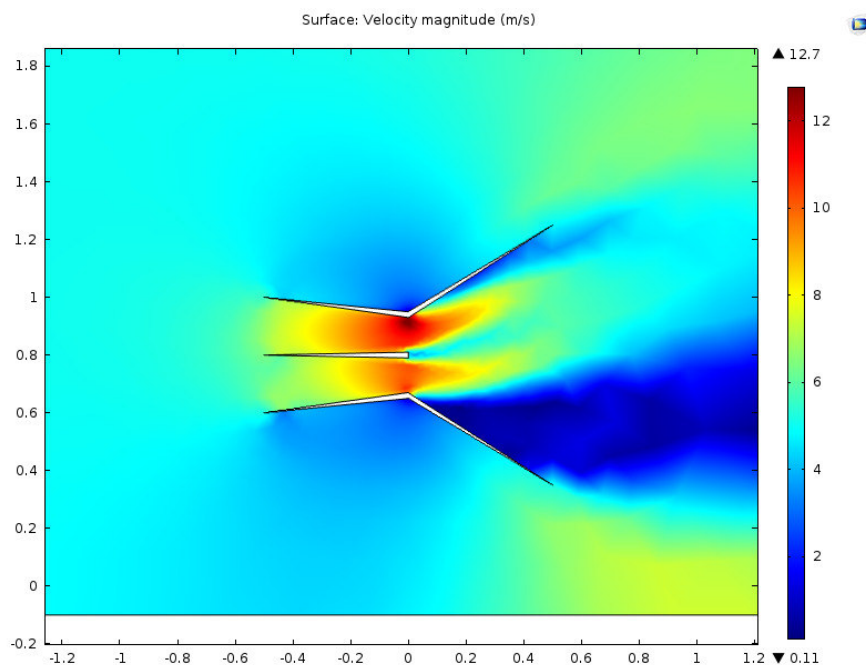


Рисунок 41 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки конуса $\alpha=2,3^0$

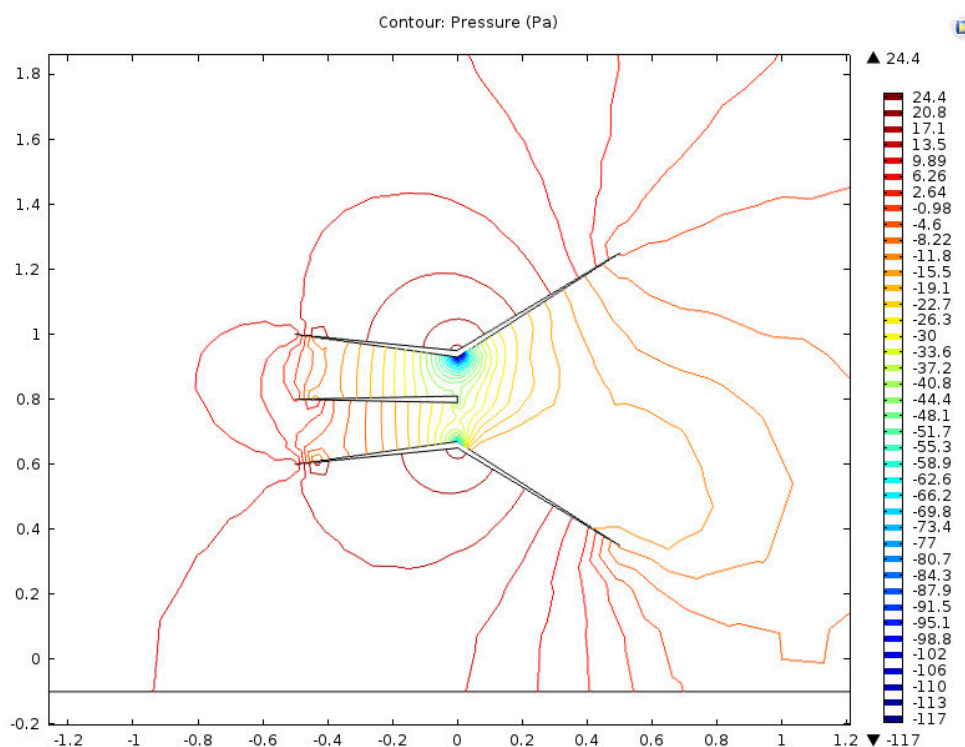


Рисунок 42 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки конуса $\alpha=2,3^0$

На рисунке 43 приведен график скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки конуса $\alpha=2,3^{\circ}$.

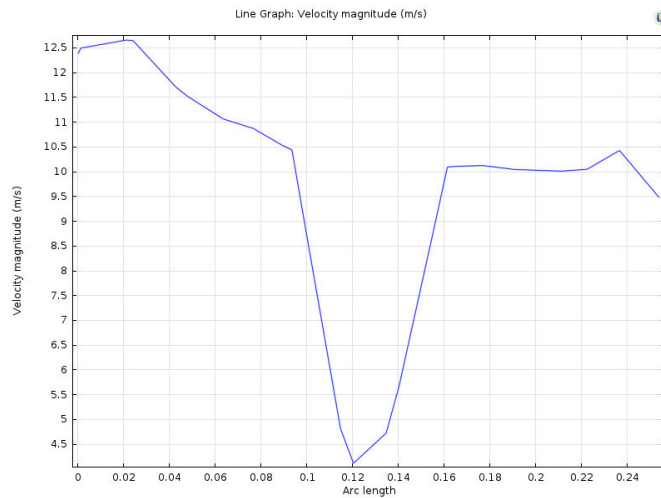


Рисунок 43 – График скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки конуса $\alpha=2,3^{\circ}$

На рисунке 44 приведен график зависимостей различных углов атаки конуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока. Здесь видно, что при угле атаки конуса $\alpha=2,3^{\circ}$ достигается максимальная скорость воздушного в зоне расположения турбины во всех вариациях начальных скоростей воздушного потока.

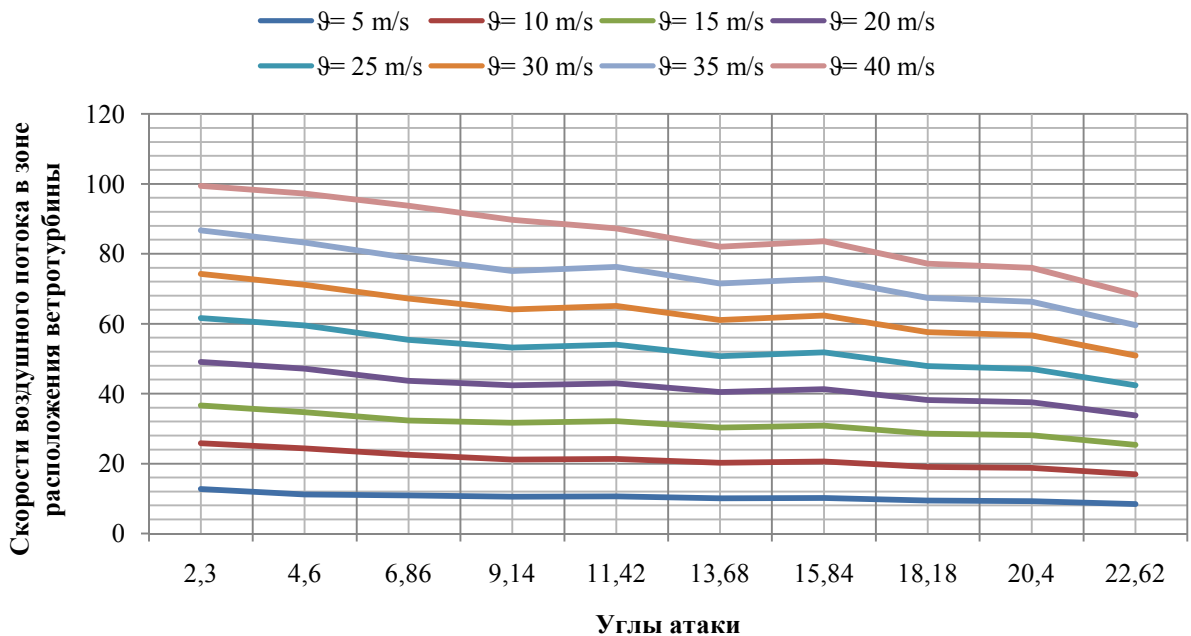


Рисунок 44 – График зависимостей различных углов атаки конуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока

Вариация угла атаки конуса путем изменения его длины

При вариации угла атаки конуса путем изменения его длины меняется длина конуса, при этом не меняется зона расположения ветровой турбины ВЭУ и толщина конуса.

В приложении Н приведены результаты скоростей ветра в зоне турбины при вариации угла атаки конуса путем изменения его длины

На рисунках 45 и 46 приведены диаграммы контуров скоростей и давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки конуса $\alpha=26,57^{\circ}$.

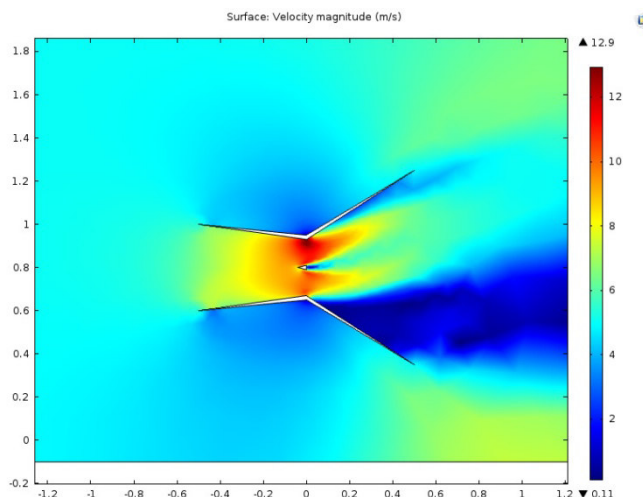


Рисунок 45 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки конуса $\alpha=26,57^{\circ}$

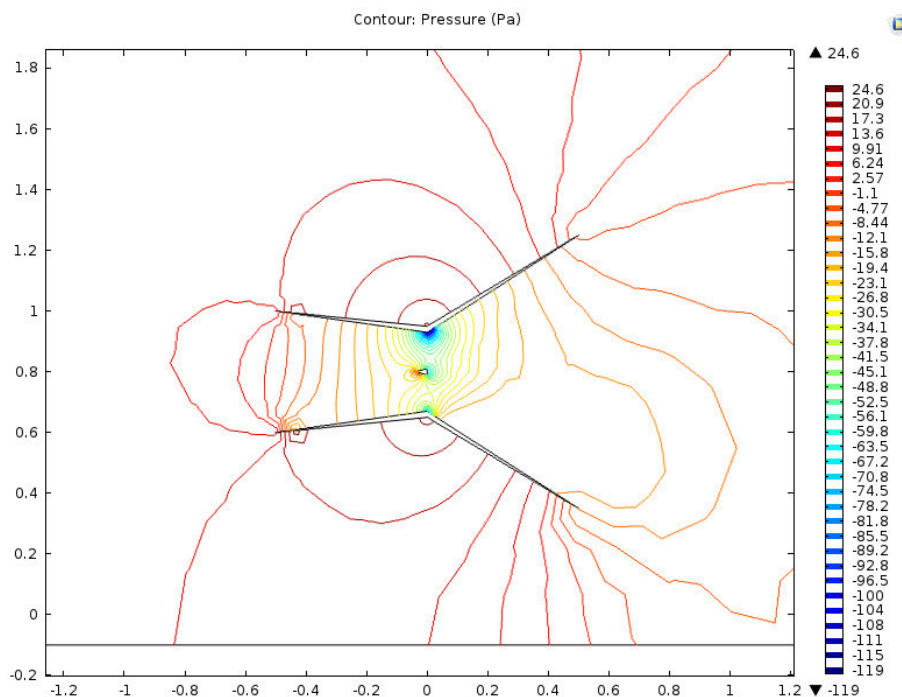


Рисунок 46 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки конуса $\alpha=26,57^{\circ}$

На рисунке 47 приведен график скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки конуса $\alpha=26,57^{\circ}$.

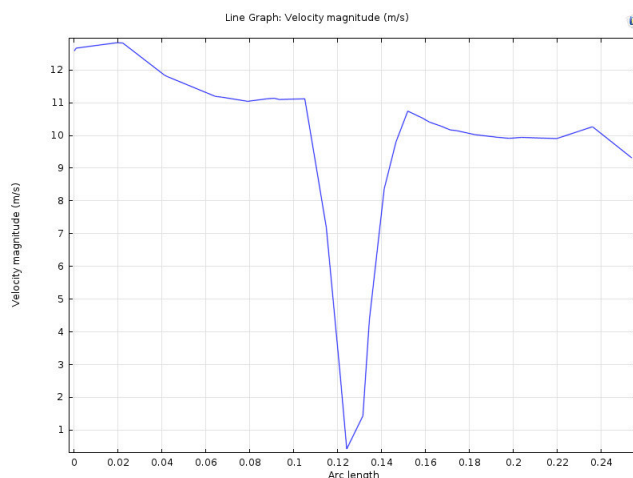


Рисунок 47 – График скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки конуса $\alpha=26,57^{\circ}$

На рисунке 48 приведен график зависимостей различных углов атаки конуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока. Здесь видно, что при угле атаки конуса $\alpha=26,57^{\circ}$ достигается максимальная скорость воздушного в зоне расположения турбины во всех вариациях начальных скоростей воздушного потока.

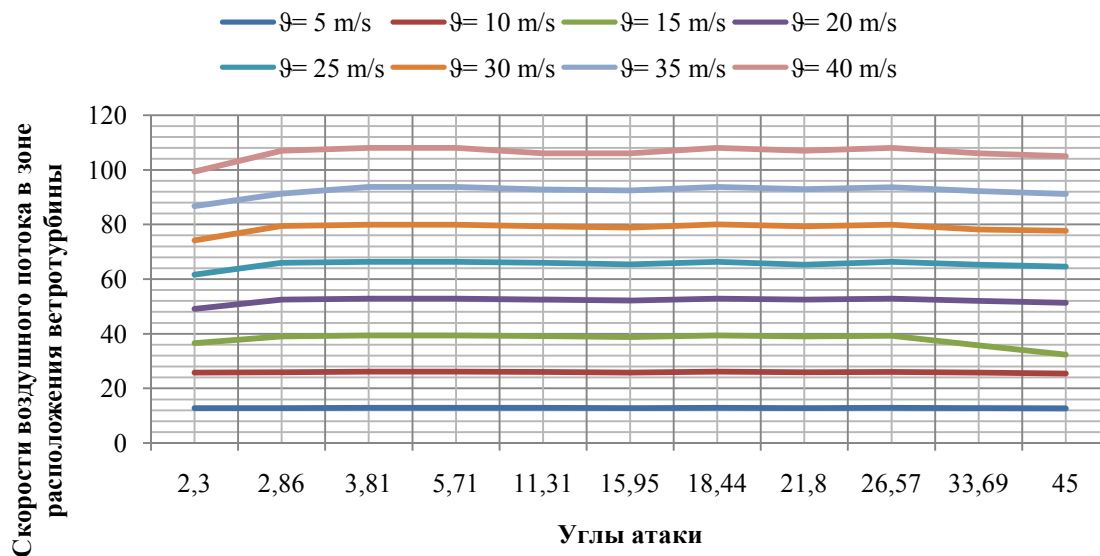


Рисунок 48 – График зависимостей различных углов атаки конуса и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока

Из данного анализа следует, что наибольший эффект получается при использовании конуса с углом атаки $\alpha=26,57^{\circ}$.

2.2 Анализ кровли здания для эффективного использования энергии ветра

Когда конструкция ВЭУ применяет кровлю здания, на котором она расположена, она дополнительно обхватывает набегающий ветер. Таким образом, кровля здания превращается в активный элемент при преобразовании энергии ветра.

В работе [93] рассмотрена архитектура малоэтажных зданий с использованием ветровых энергоустановок и принципы формообразования в архитектуре малоэтажных зданий. Здесь формообразование влияет на увеличение эффективности ветровых генераторов. Предложенные гипотезы по новому формообразованию жилых зданий недостаточно эффективны ввиду отсутствия исследования по нахождению эффективного угла наклона кровли здания. Для этого необходимо провести расчеты при различных условиях для каждого параметра кровли здания:

- вариация угла атаки кровли здания путем изменения ее высоты;
- вариация угла атаки кровли автономного дома путем изменения ее площади основания.

Вариация угла атаки кровли здания путем изменения ее высоты

При вариации угла атаки кровли здания путем изменения ее высоты меняется высота кровли, при этом не меняются параметры ветровой турбины ВЭУ и площадь основания кровли.

В приложении II приведены результаты скоростей ветра в зоне турбины при вариации угла атаки кровли здания путем изменения ее высоты.

На рисунках 49 и 50 приведены диаграммы контуров скоростей и давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки кровли здания $\alpha=21,8^{\circ}$ путем изменения ее высоты.

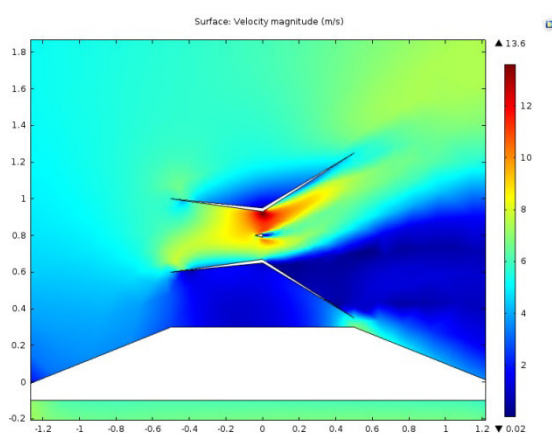


Рисунок 49 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки кровли здания $\alpha=21,8^{\circ}$ путем изменения ее высоты

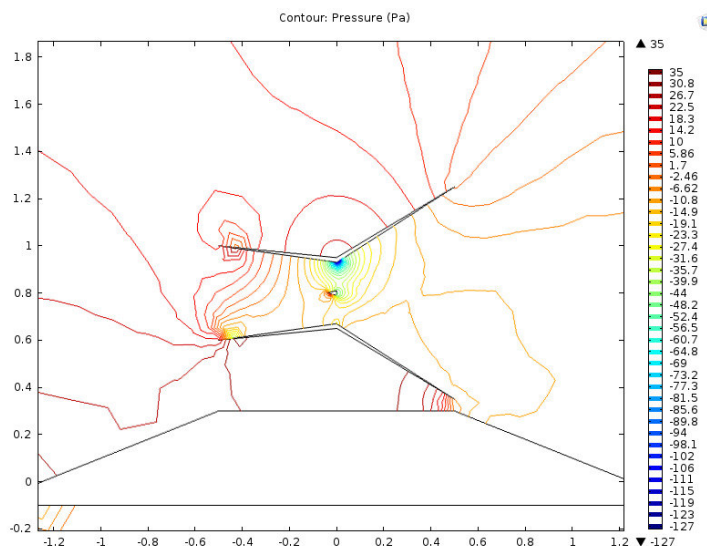


Рисунок 50 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки кровли здания $\alpha=21,8^{\circ}$ путем изменения ее высоты

На рисунке 51 приведен график скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки кровли здания $\alpha=21,8^{\circ}$ путем изменения ее высоты.

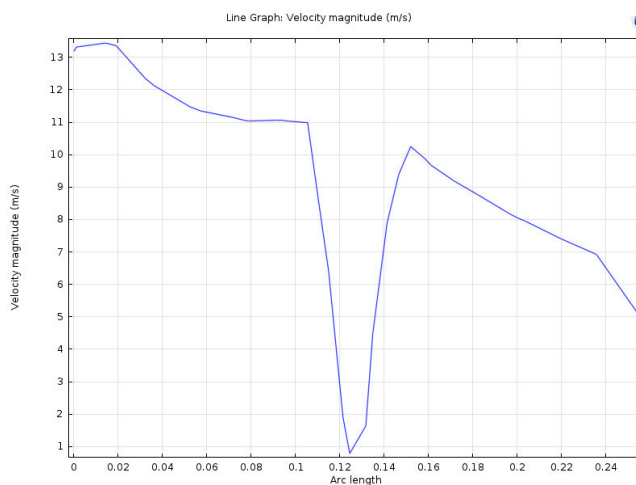


Рисунок 51 – График скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки кровли здания $\alpha=21,8^{\circ}$ путем изменения ее высоты

На рисунке 52 приведен график зависимостей различных углов атаки кровли здания путем изменения ее высоты и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока. Здесь видно, что при угле атаки кровли здания $\alpha=35^{\circ}$ достигается максимальная скорость воздушного в зоне расположения турбины во всех вариациях начальных скоростей воздушного потока.

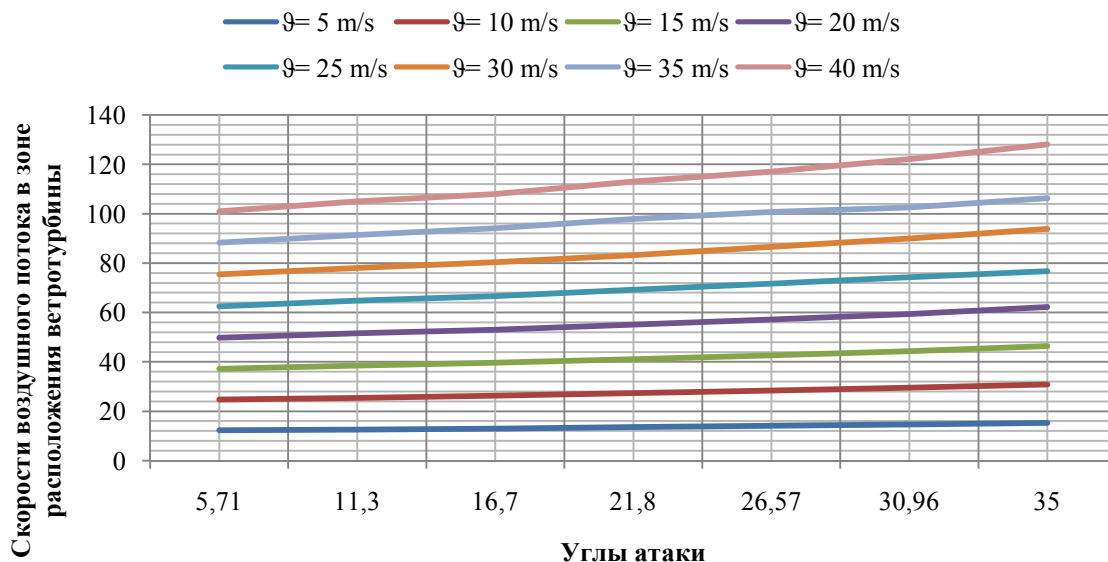


Рисунок 52 – График зависимостей различных углов атаки кровли здания, путем изменения ее высоты, и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока

Вариация угла атаки кровли автономного дома путем изменения ее площади основания

При вариации угла атаки кровли здания путем изменения ее площади основания меняется площадь основания кровли, при этом не меняются параметры ветровой турбины ВЭУ и высота кровли.

В приложении Р приведены результаты скоростей ветра в зоне турбины при вариации угла атаки кровли автономного дома путем изменения ее площади основания.

На рисунках 53 и 54 приведены диаграммы контуров скоростей и давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки кровли здания $\alpha=21,8^{\circ}$ путем изменения ее площади основания.

На рисунке 55 приведен график скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки кровли здания $\alpha=21,8^{\circ}$ путем изменения ее площади основания.

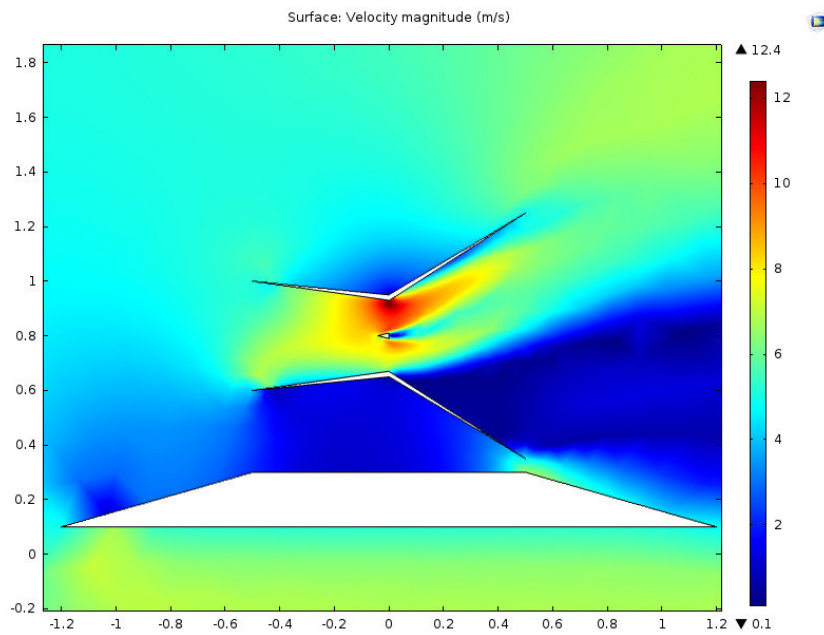


Рисунок 53 – Диаграмма контуров скоростей воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки кровли здания $\alpha=21,8^{\circ}$ путем изменения ее площади основания

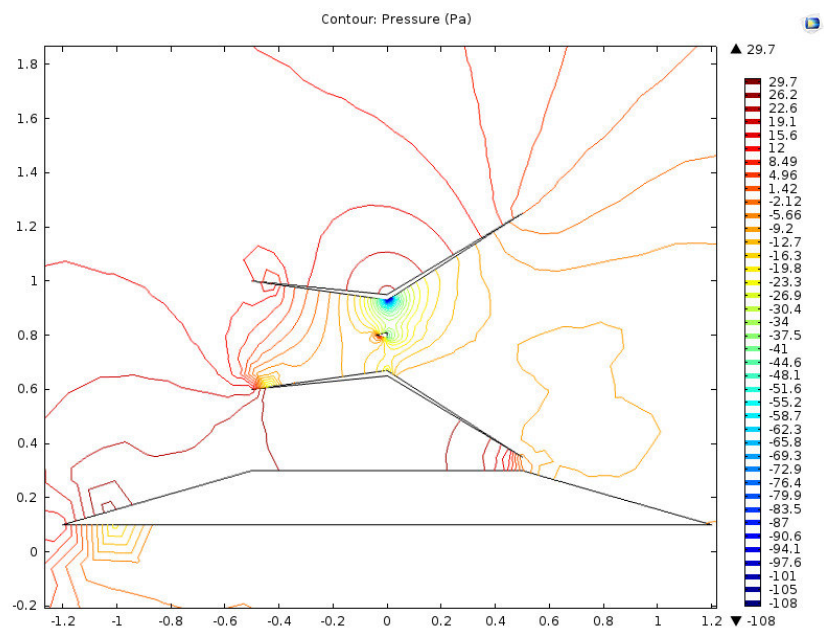


Рисунок 54 – Диаграмма контуров давления воздушного потока по корпусу ВЭУ закрытого типа при угле атаки кровли здания $\alpha=21,8^{\circ}$ путем изменения ее площади основания

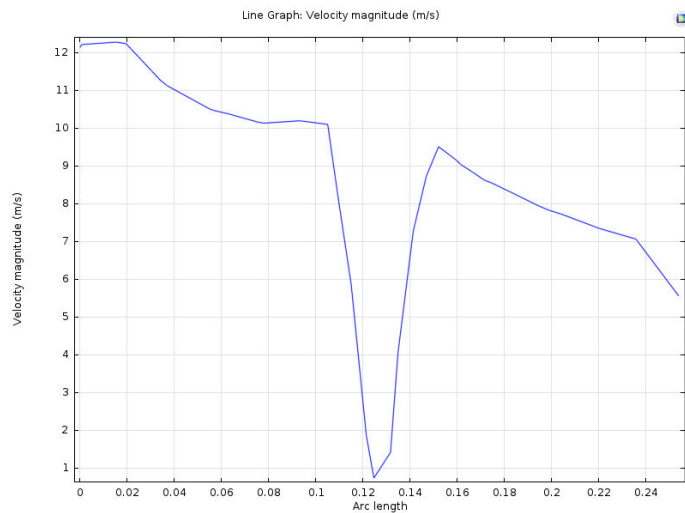


Рисунок 55 – График скорости воздушного потока в зоне расположения ветротурбины ВЭУ закрытого типа при угле атаки кровли здания $\alpha=21,8^{\circ}$

На рисунке 56 приведен график зависимостей для различных углов атаки кровли здания путем изменения ее площади основания и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока. Здесь видно, что при угле атаки кровли здания $\alpha=10,3^{\circ}$ достигается максимальная скорость воздушного в зоне расположения турбины во всех вариациях начальных скоростей воздушного потока.

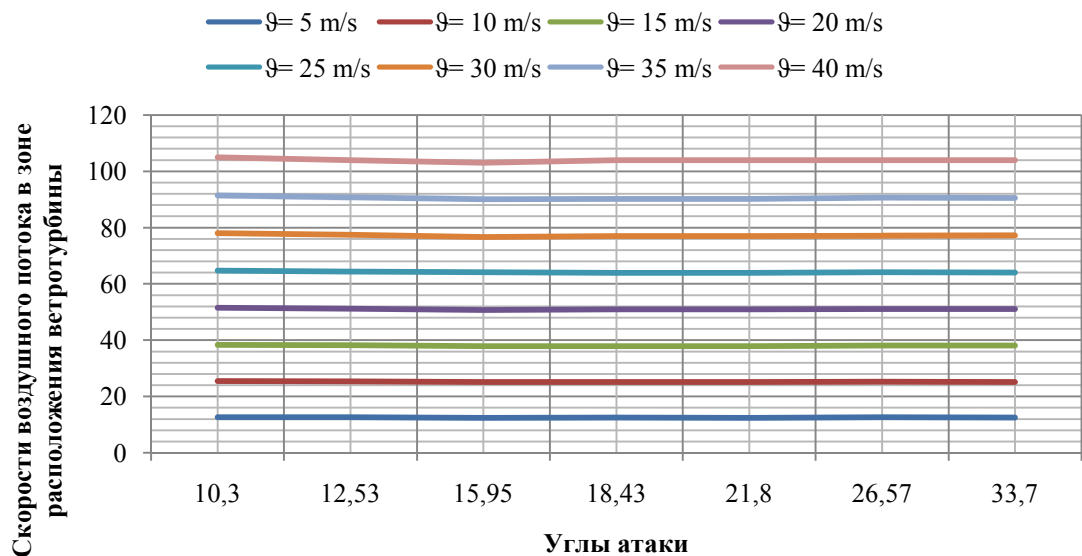


Рисунок 56 – График зависимостей различных углов атаки кровли здания и скоростей в зоне расположения ветротурбины при различных начальных скоростях воздушного потока

Из анализа видно, что при увеличении угла атаки кровли здания путем увеличения ее высоты эффективнее увеличивается скорость ветрового потока по сравнению с путем изменения ее площади основания. Это объясняется тем, что при повышении высоты кровли здания она охватывает больше площади набегающего ветрового потока и направляет к ВЭУ. Но с увеличением высоты

и соответственно угла атаки, увеличивается дисбаланс ветрового потока верхней и нижней частей в зоне расположения ветротурбины, то есть скорость ветрового потока верхней части больше нижней. В связи с этим рекомендуется изменить угол наклона кровли здания путем увеличения ее высоты и принять угол наклона кровли в районе 30° [94].

2.3 Влияние формы лопастей турбины ветроэнергетической установки на эффективность преобразования энергии ветра

Среди производящихся ветроэнергетических установок эффективной является устройство «AeroGreen», которая приведена на рисунке 57. Приведенное устройство имеет следующие габариты: высота 1700 мм, диаметр ветровой турбины 1000 мм (рисунок 58) и ее установленная мощность 1 кВт [95].

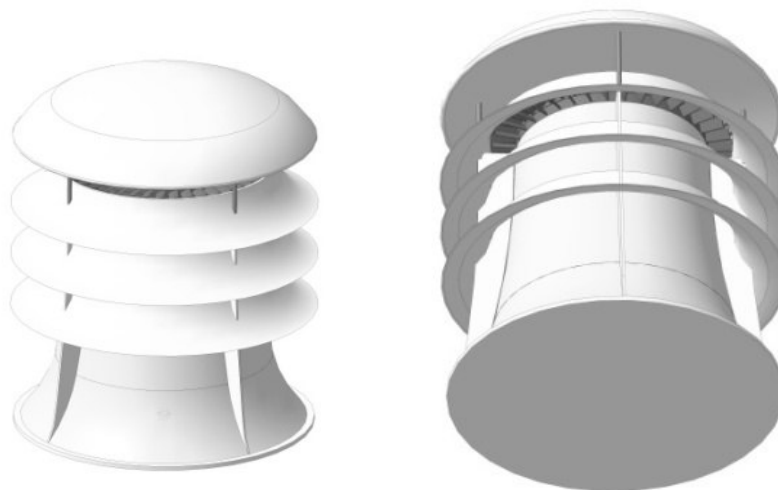


Рисунок 57 – Ветро-солнечная установка «AeroGreen»

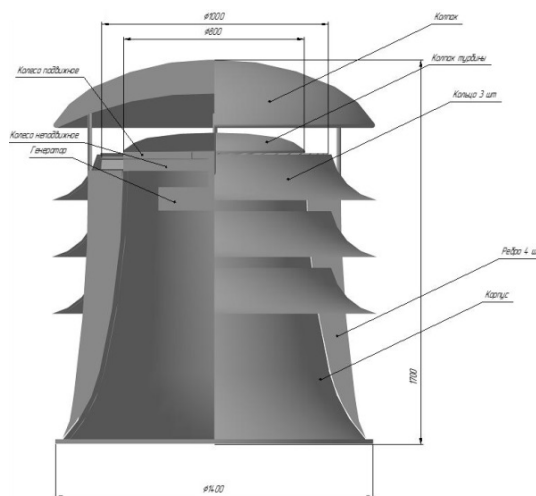


Рисунок 58 – Габаритные размеры ветро-солнечной установки «AeroGreen»

При анализе влияния формы лопастей турбины ветроэнергетической установки на получаемый момент, проведено исследование разных форм лопасти в программном обеспечении инженерного анализа SolidWorks. При анализе использованы лопасти установки «AeroGreen» и новая лопасть, у которой имеется плоская и выпуклая стороны, диаметры ветровых турбин имеют одинаковые размеры (1000 мм) и скорость ветра тоже схожие (10 м/с).

Строение лопасти турбины «AeroGreen» приведены на рисунке 59. Эта лопасть основана по форме турбин для тяги самолетов, что имеет углубленные, и выпуклые стороны.

На задней стороне конфузоров, имеющие одинаковые габаритные размеры, расположена ветровая турбина, которая изображена на рисунке 60, для моделирования близких условий.

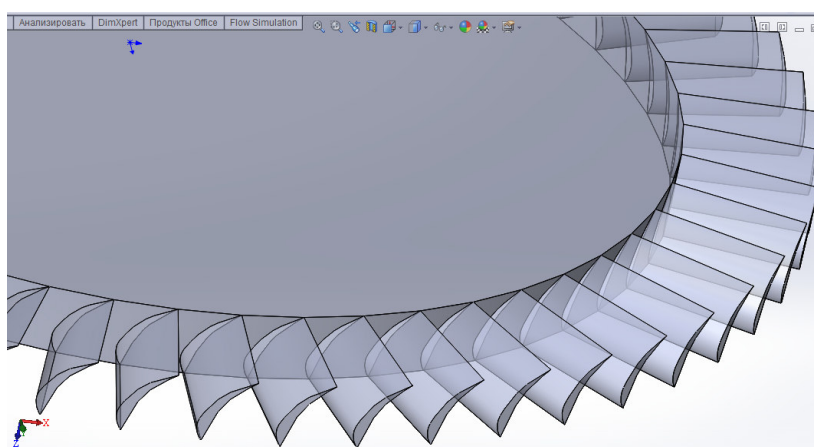


Рисунок 59 – Лопасти установки «AeroGreen»

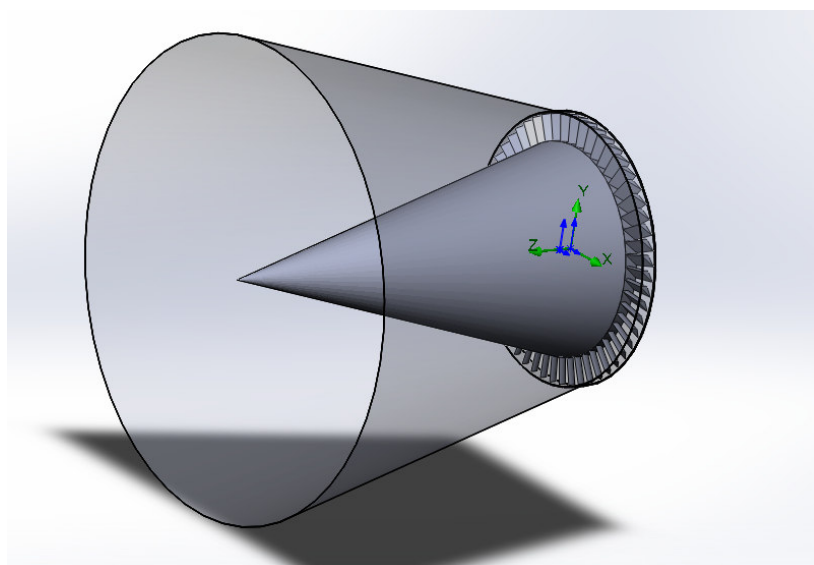


Рисунок 60 – Турбина, расположенная на выходе конфузора

Линий движения ветра через лопасти турбины установки «AeroGreen» и ее динамика скоростей движения на различных участках установки показаны на рисунке 61. Видно, что скорость воздушного потока имеет перед турбиной большее значение, чем за турбиной. Данное явление можно объяснить, что используется некоторая кинетическая энергия потока ветра при прохождении через лопасти ветровой турбины.

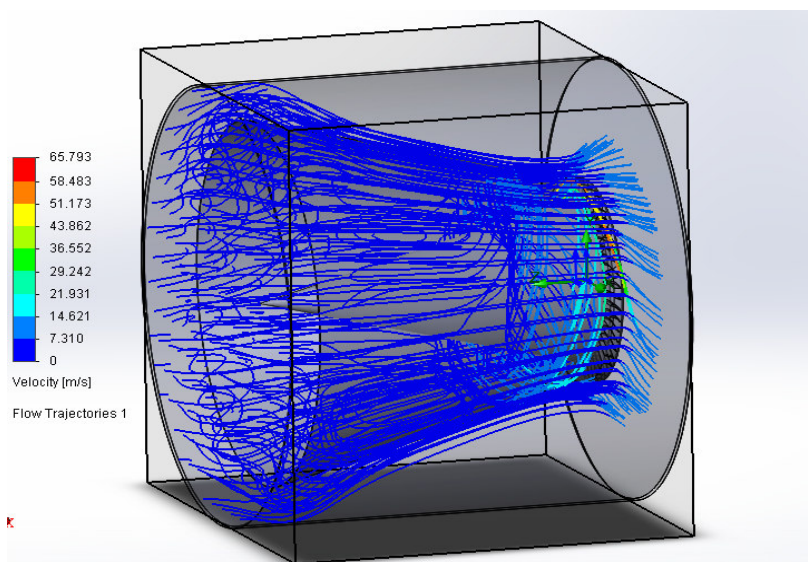


Рисунок 61 – Траектория и скорость движения воздушного потока через ветротурбину установки «AeroGreen»

На рисунке 62 приведены контуры давления ветра. Здесь можно увидеть, что давления на лобовых частях больше чем на теневых частях лопастей. В данных зонах лопастей ветровой турбины приходящая кинетическая энергия, направленная по оси ветровой турбины, вращает ветровую турбину, создавая подъемную силу на лопастях.

Величина момента на оси ветровой турбины установки «AeroGreen» получается $7,090073334 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при скорости вращения ветротурбины 100 рад/с . Отсюда получаем мощность на оси ветровой турбины:

$$P = M \cdot \omega = 7,090073334 \cdot 100 = 709,007 \text{ Вт.} \quad (3)$$

Новая форма лопасти приведена на рисунке 63. Эта лопасть имеет форму крыла, т.е. ее одна часть лопасти ровная, а другая - выпуклая.

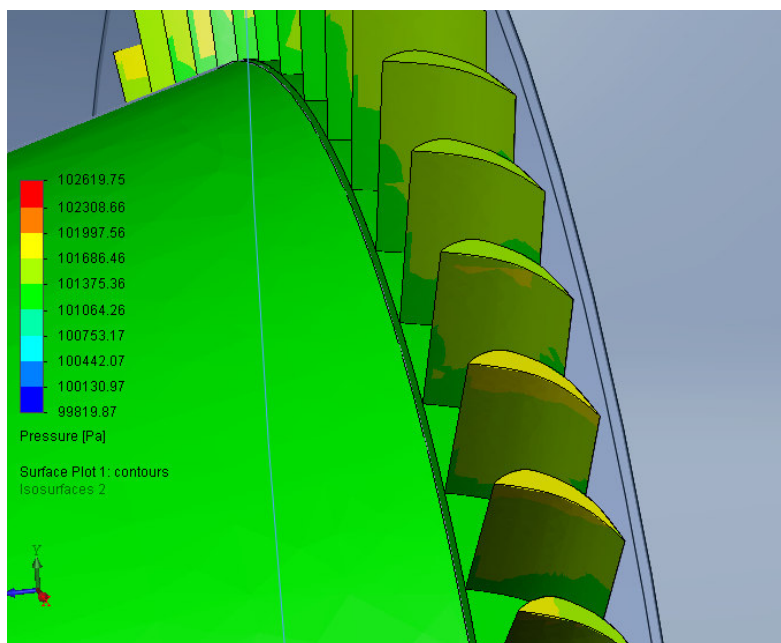


Рисунок 62 – Распределение давлений по поверхностям лопастей ветротурбины первого вида формы

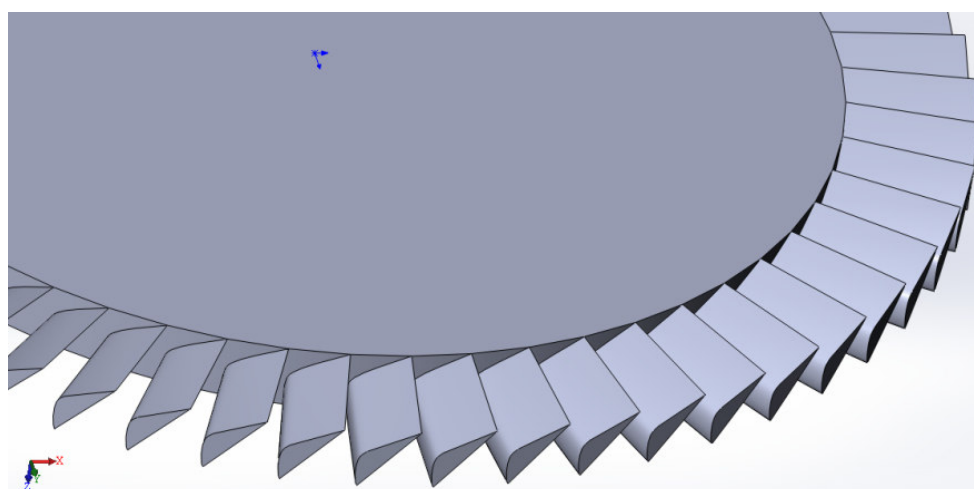


Рисунок 63 – Предлагаемая форма лопасти

На рисунке 64 приведена линия движения воздушной массы через ветровую турбину применяемой формы и ее скорость движения на разных участках.

На рисунке 65 изображены контуры давления на поверхностях лопастей ветровой турбины предлагаемой формы.

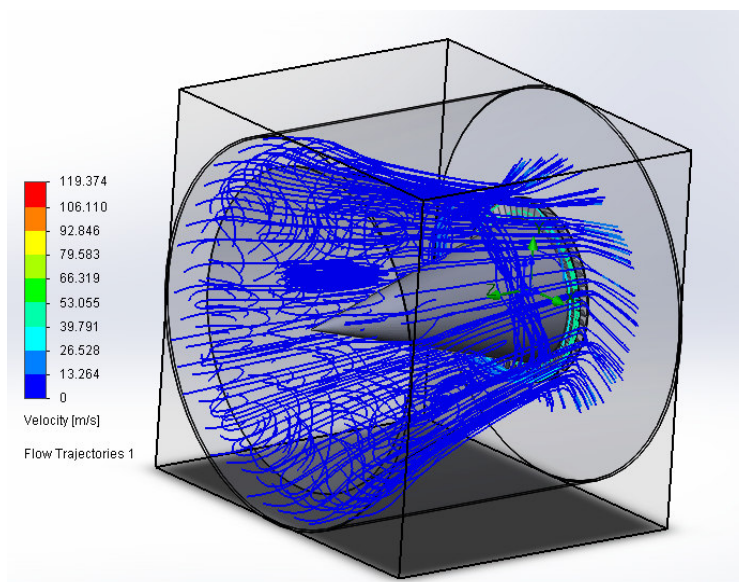


Рисунок 64 – Траектория и скорость движения воздушного потока через ветротурбину предлагаемой формы

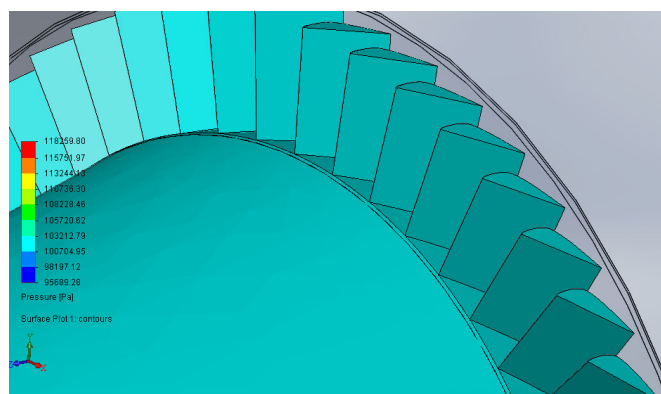


Рисунок 65 – Распределение давлений по поверхностям лопастей ветротурбины предлагаемой формы

Величина момента на оси турбины с последними лопастями составляет $7,511384993 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при угловой скорости ветровой турбины 100 рад/с. Отсюда получаем мощность на оси ветровой турбины:

$$P = M \cdot \omega = 7,511384993 \cdot 100 = 751,138 \text{ Вт.} \quad (4)$$

По проведенным анализам получено, что максимальный момент на оси и соответственно мощность имеет ветровая турбина с предлагаемой формой лопасти. В итоге проведенного анализа разных форм лопастей ветровой турбины лопасть предлагаемой формы имеет наибольший момент на оси ветровой турбины, что увеличивает КИЭ энергоносителя на 5,6%. Эта форма лопасти рекомендуется при проектировании локальной ВЭУ закрытого типа [96].

Выводы по разделу

Таким образом, в данном разделе получены следующие основные выводы:

1. Исследованы формы элементов конструкции ВЭУ для эффективного увеличения скорости набегающего воздушного потока, такие как направляющий конус и корпус установки при помощи компьютерного моделирования устройства в программных средах инженерного анализа;

2. Проведен анализ взаиморасположения элементов конструкции ВЭУ, при отсутствии некоторых элементов, при отсутствии кровли здания и при различных углах атаки данных элементов;

3. По результатам анализа выявлен эффективный вариант конструкции ВЭУ и кровли здания, где достигается наибольшее ускорение набегающего воздушного потока;

4. Даны рекомендации по формам и углам атаки различных элементов, такие как конфузор, диффузор, конус и кровли здания для эффективного преобразования энергии ветра в электрическую энергию: 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° ;

5. Проведен сравнительный анализ и предложена энергоэффективная форма лопасти, которая увеличивает КИЭ энергоносителя на 5,6% по сравнению с лопастями установки «AeroGreen».

3 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИЙ ВЕТРА И СОЛНЦА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ

3.1 Ветроэнергетическая установка закрытого типа

На основе инженерного анализа и выявления эффективных форм конструктивных элементов ветроэнергетической установки закрытого типа разработана модель установки, которая способна эффективно преобразовать кинетическую энергию ветра в электрическую энергию и вырабатывать энергию на широком диапазоне скоростей ветра.

Обычно в районах с низкой скоростью ветра проживают основные потребители электрической энергии, которым не доступны благоприятные условия для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую энергию при применении ВЭУ и транспортировка электрической энергии от источника данной энергии является дорогим ввиду огромного расстояния между ними.

Поэтому с учетом анализа работы большинства распространенных ветроэнергетических установок разработана ветроэнергетическая установка закрытого типа с горизонтальной осью вращения ветротурбины, состоящая из корпуса в виде конфузора и диффузора, конуса, хвостовика, а также других энергетически эффективных элементов и на основе этого подана заявка на полезную модель.

Полезная модель относится к области энергетики, а именно к ветроэнергетике, и может быть применена для обеспечения электрической энергией объектов, удаленных от электрических сетей и систем. К ним относятся, агропромышленные фермерские хозяйства, туристические зоны отдыха, нефтеперекачивающие насосные станции, другие подобные организаций, а также желающие иметь такие преобразователи частные физические и юридические лица [97].

Задачей данной полезной модели является создание высокоэффективного устройства для преобразования энергии ветра в электрическую энергию, работающего на широком диапазоне скоростей ветра.

Технический результат заключается в повышении коэффициента использования энергии ветра при преобразовании энергии ветра в электрическую энергию.

Общий вид ветроэнергетической установки приведен на рисунке 66. Ветроэнергетическая установка закрытого типа содержит в себе генератор 1, опоры 2, конус 3, корпус турбины 4, лопасть турбины 5, корпус 6, хвостовик 7, подвижный диск 8, вал 9, неподвижный диск 10, стакан 11, упорную шайбу 12, токосъемные кольца 13, изолирующие кольца 14 и упорное кольцо 15 (рисунок 67) [98].

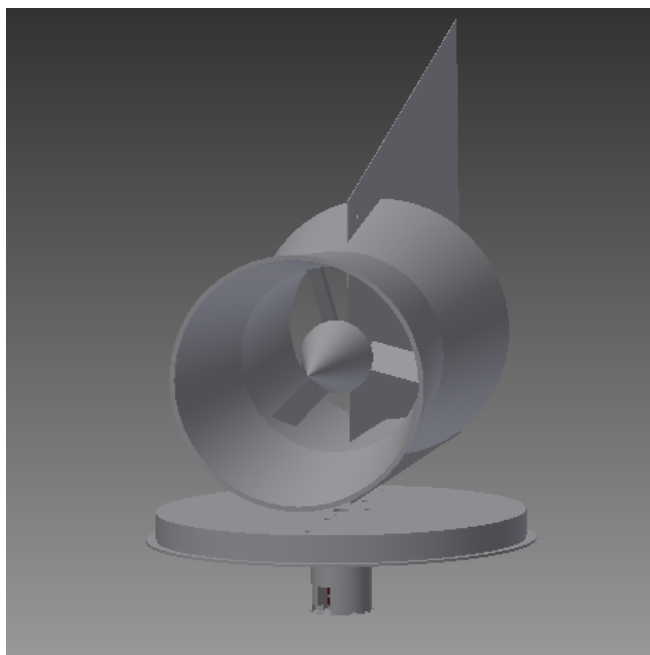


Рисунок 66 – Общий вид ветроэнергетической установки

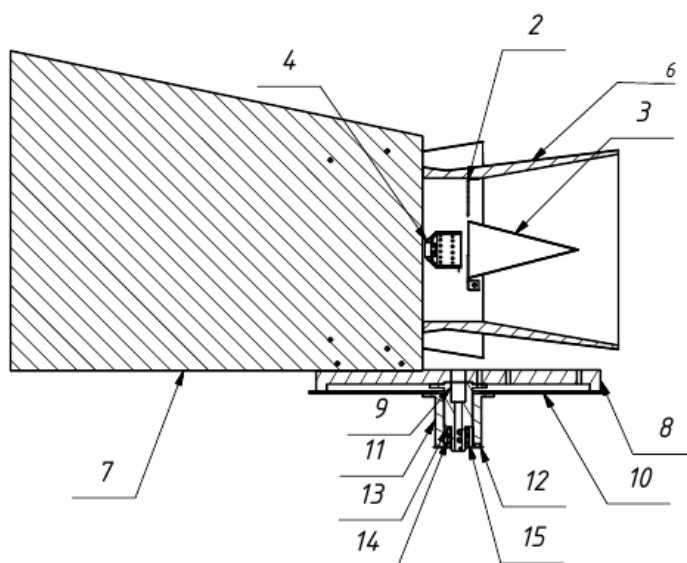


Рисунок 67 – Продольное сечение ветроэнергетической установки закрытого типа:

1-генератор, 2-опоры, 3-конус, 4-корпус турбины, 5-лопасть турбины, 6-корпус, 7-хвостовик, 8-подвижный диск, 9-вал, 10-неподвижный диск, 11-стакан, 12-упорная шайба, 13-токосъемные кольца, 14-изолирующие кольца и 15-упорное кольцо

Генератор 1 преобразует механическую энергию в электрическую энергию, имеет три держателя с болтами крепления, а также вал, к которому крепится ветровая турбина. На три держателя устанавливаются три опоры 2, которые взаимно связывают генератор 1, конус 3 и корпус 6. Опора 2 имеет три отверстия, одно из которых находится на изогнутой плоскости. Отверстие на

изогнутой плоскости опоры 2 служит для болтового соединения с корпусом 6. Внешнее отверстие на неизогнутой плоскости опоры 2 служит для болтового соединения с генератором 1, а среднее отверстие – с конусом 3. Конус 3 расширяется под оптимальным углом атаки в сторону генератора 1 и направляет ветер к лопастям турбины 5 с наименьшими потерями его кинетической энергии. Три держателя конуса 3 расположены симметрично по кругу и имеют отверстия для болтового соединения с опорами 2. Корпус турбины 4 имеет отверстия в середине и по краям. Отверстие, которое расположено в середине корпуса турбины 4, имеет разрез на стопор для фиксации на валу генератора 1 и зажимается гайкой. Отверстия, расположенные по краям корпуса турбины 4, служат для болтового соединения с лопастями турбины 5. Лопасти турбины 5 выполнены с двумя отверстиями для болтового соединения с корпусом турбины 4. Одна сторона лопасти турбины 5 выполнена плоской, а другая выпуклой с целью увеличения подъемной силы лопасти, и лопасти имеют эффективный аэродинамический профиль, что увеличивает крутящий момент на валу генератора 1. Корпус 6 выполнен в виде цилиндра, основания которого открыты. Внутренняя передняя часть корпуса 6, которая является конфузуром, выполнена в виде усеченного конуса под оптимальным и неизменным углом атаки до места расположения лопастей турбины 5 и вместе с конусом направляет поток ветра к лопастям турбины 5, образуя более упорядоченный поток воздуха и ускоряя его. Задняя часть корпуса 6 также выполнена в виде усеченного конуса, образуется направленный поток воздуха в виде струи, который увлекает с собой молекулы отработанного воздуха для снижения давления пространства за лопастями турбины 5. В результате образуются две зоны разного давления: зона высокого давления перед лопастями турбины 5 и зона пониженного давления за лопастями турбины 5, что приводит к увеличению скорости воздушного потока в рабочей зоне лопастей турбины 5, а следовательно, к увеличению его кинетической энергии. Хвостовик 7 необходим для направления установки к ветру, и может быть изготовлен из плоского материала в виде листового металла, пластика и т.д., и вертикально расположен в середине установки. Два нижних отверстия хвостовика 7 предназначены для болтового соединения с подвижным диском 8 при помощи угольников. Подвижный диск 8 имеет фиксированную связь с хвостовиком 7, корпусом 6, валом 9, и они все вместе крутятся в направлении ветра. Отверстие в середине подвижного диска 8 служит для обеспечения доступа проводов тока генератора 1 к токосъемным кольцам 13, а симметрично расположенные вокруг него три отверстия необходимы для болтового соединения с валом 9. Остальные отверстия подвижного диска 8 необходимы для фиксации корпуса 6 и хвостовика 7. Вал 9 крепится к подвижному диску 8 при помощи трех симметрично расположенных болтов с гайками и имеет отверстие в середине для обеспечения доступа проводов генератора 1 к токосъемным кольцам 13, которые устанавливаются в нижней части данного вала. Неподвижный диск 10 имеет отверстие в середине с тремя симметрично расположенными отверстиями вокруг него, куда

устанавливается стакан 11 при помощи трех болтовых соединений с гайками, и он может быть установлен на неподвижный объект, либо может быть закреплен на ножки. Стакан 11 имеет отверстие в середине, куда входит вал 9, и три симметрично расположенные отверстия вокруг него для болтового соединения с неподвижным диском 10. Прорез в нижней части стакана 11 необходим для установки токосъемной щетки. Упорная шайба 12 необходима для фиксации вала 9 в стакане 11. Токосъемные кольца 13 выполнены из меди, устанавливаются на валу 9 и имеют электрические контакты с проводами генератора 1. Изолирующие кольца 14 выполнены из диэлектрического материала и устанавливаются между токосъемными кольцами 13 для обеспечения электрической изоляции между ними. Упорное кольцо 15 служит для фиксации токосъемных колец и крепится к валу 9 с помощью резьбы во внутренней поверхности.

Благодаря усиленной аэродинамике конструкции и лопастей турбины будут получены высокие технико-экономические показатели по преобразованию ветровой энергии в электрическую энергию.

Устройство работает следующим образом.

Ветроэнергетическая установка закрытого типа работает на широком диапазоне скорости ветра, начиная с 2 м/с, так как вход корпуса 6, который является конфузуром, конус 3 ускоряют поток ветра, и лопасти турбины 5 выполнены из композитного материала и расположены по краям корпуса турбины 4, что увеличивает устойчивость к ураганам ветрам.

Конфузор корпуса 6 и конус 3 установки эффективно сжимают и направляют воздушный поток при входе к устройству в сторону лопастей турбины 5, увеличивая его скорость. Конфузор корпуса 6 выполнен в виде усеченного конуса с оптимальным и постоянным углом атаки, что равномерно направляет молекулы воздушного потока к лопастям турбины 5, уменьшая их хаотическое движение. Также конус 3, расширяясь начиная от входа до лопастей турбины 5, выполнен симметрично к конфузору корпуса 6, что увеличивает эффективность работы установки. В этом случае увеличивается скорость воздушного потока, уменьшается хаотическое движение его молекул и увеличивается вращающий момент лопастей турбины 5 за счет направления воздушного потока к краям турбины, так как чем длиннее рычаг давления, тем больше момента при неизменной действующей силе. Кроме того, в конструкции устройства увеличивается действующая сила за счет сжатия и увеличения скорости воздушного потока. Это все увеличивает момент срабатывания при тихом ветре, что увеличивает диапазон работы устройства.

Кроме того, в устройстве предусмотрен диффузор, расположенный на задней части устройства в виде усеченного конуса с постоянным и оптимальным углом атаки в корпусе 6. Данная часть увлекает с собой молекулы отработанного воздуха, которые находятся в пространстве за лопастями турбины 5, разрежая данное пространство. Таким образом, образуется пространство высокого давления перед лопастями турбины 5 и пространство низкого давления за ними. За счет этой разницы давлений увеличивается

скорость воздушного потока через лопасти турбины 5, а следовательно, его кинетическая энергия. Согласно уравнению Бернулли, при разнице давлений в 1 % между двумя пространствами и при очень малой скорости потока в пространстве высокого давления, скорость потока в пространстве низкого давления достигает 40 м/с.

Таким образом, воздушный поток, ускоряясь при помощи конфузора корпуса 6, конуса 3, подается на лопасти турбины 5, которые имеют большую подъемную силу за счет улучшенной аэродинамической формы в виде крыла. Теневая часть лопасти всегда находится под разрежением за счет того, что отраженные молекулы воздуха от передней поверхности выходят параллельно к поверхности теневой части, т.е. исключено возникновение вращающего момента, направленного против вращения лопастей турбины 5, которые снижают эффективность ее работы. Далее вращающий момент лопастями турбины 5 подается на вал генератора 1, где кинетическая энергия вращения преобразуется в электрическую энергию и передается потребителю.

На данное техническое решение получен патент на полезную модель №4903, зарегистрированный в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан от 28.04.2020 г. (Приложение С).

На техническое решение с многолопастной версией ВЭУ закрытого типа получен патент на полезную модель №3942, зарегистрированный в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан от 26.04.2019 г. (Приложение Т).

3.2 Секционный синхронный генератор с постоянными магнитами

В связи с необходимостью в электрической энергии в производстве, хозяйстве и быту стоит вопрос об унификации данных источников энергии, так как себестоимость производства продукции снижается с увеличением ее количества. А для увеличения количества необходимо разработать универсальное устройство, которое можно использовать для различных ситуаций. К такому устройству относится унифицированный генератор электрической энергии, так как в зависимости от ситуации имеются необходимость в постоянном токе, однофазном или трехфазном переменном токе, а также в мощности определенного уровня для удовлетворения потребления.

Полезная модель относится к области энергетики, электротехники, а именно к конструкции электрических машин модульного типа, предназначенных для использования в любых отраслях в качестве генератора постоянного тока, однофазного или трехфазного генератора переменного тока.

Задачей данной полезной модели является создание высокоэффективного генератора, преобразующего кинетическую энергию вращения в электрическую энергию.

Технический результат заключается в увеличении эффективности преобразования кинетической энергии вращения в электрическую энергию.

Секционный синхронный генератор с постоянными магнитами содержит в себе корпус генератора 1, диск с неодимовыми магнитами 2, диск с обмотками 3, вал генератора 4 (рисунок 68) [99].

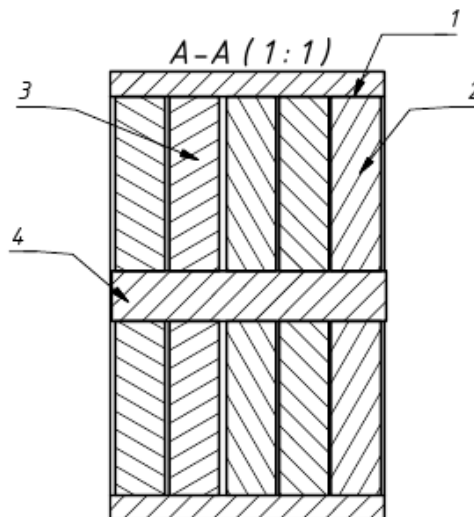


Рисунок 68 – Продольное сечение генератора:

1 – корпус генератора, 2 – диск с неодимовыми магнитами, 3 – диск с обмотками, 4 – вал генератора

Генератор содержит только самые необходимые элементы, применяемые при преобразовании механической энергии вращения ротора в электрическую энергию. Ими являются диск с электрическими обмотками 3 для получения электрической энергии, диск с неодимовыми магнитами 2 для создания полей возбуждения, вал генератора 4 на котором вращаются неодимовые магниты и корпус генератора 1, на которого устанавливаются вышеперечисленные элементы.

На корпус генератора 1 закрепляются диски с обмотками 3, которые в своей основе имеют электрические обмотки, имеющие собственную изоляцию, и намотанные таким образом, чтобы они имели одинаковую высоту по ширине и имели одинаковое число обмоток. Данные обмотки размещаются симметрично друг от друга вокруг оси диска, залитые в диэлектрический материал, и выводы вышеперечисленных обмоток соединяются в зависимости от технического требования по параметрам генератора, а также электрические выводы всех имеющихся дисков с обмотками 3 соединяются в зависимости от данного требования. Для создания возбуждения применяются диски с неодимовыми магнитами 2, в которых применяются одинаковые неодимовые магниты плоской формы, расположенные симметрично вокруг оси диска и неподвижно закрепленные в данном диске. Диски с неодимовыми магнитами 2 жестко запрессовываются на вал генератора 4 и, соответственно, вращаются вместе с данным валом. Вал генератора 4 в свою очередь закрепляется на

корпус генератора 1 через подшипники, а также соединяется напрямую или через муфту к источнику механической энергии вращения в зависимости от технологического исполнения энергетической установки. Таким образом, между дисками с неодимовыми магнитами 2 располагаются диски с обмотками 3.

Функционирует генератор следующим образом.

При вращении диска с неодимовыми магнитами 2 генератора через вал генератора 4 на нем развивается вращательный момент, перемещающий магниты диска с неодимовыми магнитами 2, которые между собой создают магнитное поле в пространстве с расчетным количеством полюсов. В подвижном магнитном поле между данными неодимовыми магнитами располагаются неподвижный диск с обмотками 3, в обмотках которого индуцируются ЭДС, направление которой определяется правилом правой руки. Если вращение диска с неодимовыми магнитами 2 происходит с определенным количеством оборотов в минуту, то в обмотках индуцируется электродвижущая сила. Данная сила при подключении за пределом корпуса генератора 1 в какой-либо потребитель электрической энергии создается электрическая цепь с данным потребителем и обмоткой генератора, и проходит электрический ток, который в обмотках течет в направлении, совпадающий с направлением ЭДС. В результате взаимодействий вышеуказанного тока с магнитным полем между постоянными неодимовыми магнитами генерируется электромагнитный момент, который имеет направление в соответствии с правилом левой руки, и имеет противоположное направление, являясь тормозным моментом. В связи с этим вращающий момент должен превышать тормозной момент для выработки электрической энергии. В данном генераторе обмотки и неодимовые магниты расположены близко к валу генератора 4, и таким образом основная масса и тормозной момент тоже расположены близко к оси вращения на расстоянии 1 мм, что увеличивает энергоэффективность данной установки из-за уменьшения потерь на преодоление вышеуказанного тормозного момента. Кроме того, так как диски с обмотками 3 не вращаются, из-за отсутствия токосъемных механизмов уменьшаются электрические потери, так как токосъемный механизм отбирает часть механической и электрической энергий и увеличивает путь прохождения электрического тока к потребителю электрической энергии.

На данное техническое решение получен патент на полезную модель №4905, зарегистрированный в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан от 28.04.2020 г. (Приложение У).

3.3 Эффективность работы солнечной панели

В области повышения эффективности работы солнечной панели работают отечественные и зарубежные ученые. По данному направлению разработаны и рекомендованы различные методы для повышения коэффициента полезного

действия (КПД), который определятся через вольт-амперную характеристику (ВАХ) установки. Эффективность работы солнечной панели достигало 27-33% при применении различных методов повышения эффективности работы с помощью систем слежения за солнцем во время проведения различных испытательных работ [100, 101, 102].

При применении солнечных концентраторов повышение эффективности работы солнечных панелей достигает примерно 9-28% в зависимости от коэффициента отражения зеркальной поверхности и её формы исполнения [103]. При комбинированном применении системы слежения и солнечных концентраторов эффективность солнечной панели может достичь 40-45% [104].

Системы слежения за солнцем делятся на несколько типов по числу осей приводов и методу движения. Системы слежения с одной осью делятся на горизонтальные, вертикальные и кривые системы слежения, которые имеют свои определенные преимущества [105].

Одноосевая вертикальная система слежения за солнцем двигается по высоте солнца, то есть по альтитуде по направлению север-юг, а одноосевая горизонтальная система слежения за солнцем – по азимуту, т.е. по направлению восток-запад. А двухосевая система слежения за солнцем направляет солнечную панель к солнцу по направлениям восток-запад и север-юг одновременно, состоит из двух не зависимых осей движения и делится на несколько типов по виду исполнения, а также по углу движения относительно земли, а также по методу управления [106, 107].

Из анализа данных систем слежения за солнцем выявлено, что эффективность солнечной панели, имеющая систему слежения за солнцем по направлению азимута, будет больше чем при системе слежения за солнцем по направлению альтитуды, а по сравнению со стационарным режимом средняя эффективность будет больше с применением обеих систем по отдельности [108, 109, 110].

КПД солнечной панели определятся отношением максимальной мощности к общей мощности солнечной радиации, которая падает на поверхность панели под углом 90^0 . КПД определяется из следующих формул:

$$W = A \cdot \lambda \cdot \cos\theta; \quad (6)$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{W \cdot A_c} \cdot 100\% \quad (7)$$

$$A_c = S_{ab}, \quad (8)$$

здесь A – ограничивающий коэффициент КПД при преобразовании солнечной радиации в электрическую энергию, так как солнечная панель не может полностью преобразовать солнечную радиацию.

Одноосевая система слежения за солнцем

В одноосевой системе слежения за солнцем для выявления месторасположения солнца применяются два фотоэлемента, которые меняют сопротивления к электрическому току в зависимости от интенсивности падающей солнечной радиации. Сервопривод собран по схеме Н-моста, где направляется соответствующий ток к сервоприводам. На рисунке 69 приведена схема аналоговой одноосевой системы слежения за солнцем и имеется схема операционного усилителя, транзистор, фоторезистор, диод, резистор, а также резистор для подстройки [111].

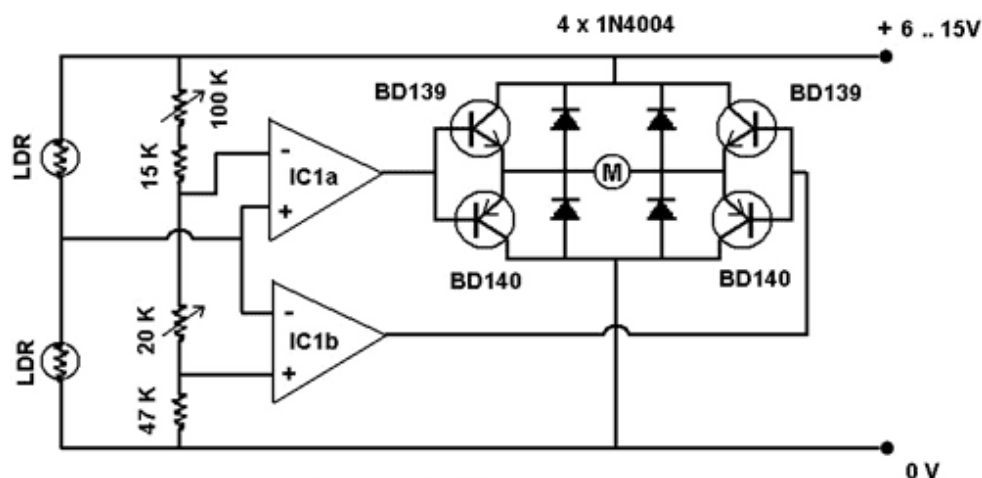


Рисунок 69 – Схема аналоговой одноосевой системы слежения за солнцем

Из схемы можно увидеть, что сервопривод начинает двигаться при различных величинах на выходах операционных усилителей. Транзисторы в схеме работают вместе, по диагонали, подавая положительное напряжение и отрицательное напряжение к сервоприводу, что соответственно, приводя его во вращение в обе стороны в зависимости от того откуда падает солнечная радиация на поверхность солнечной панели, направляя плоскость солнечной панели к солнцу для увеличения эффективности преобразования энергии.

Во время прекращения подачи энергии к сервоприводу, он все еще будет двигаться, т.к. имеется вращающий момент в связи с присутствием инерции установки, так как она имеет определенную собственную массу и скорость движения. Вследствие этого, сервопривод генерирует электрическую энергию до полной своей остановки обратно к подпитывающим транзисторам в ключевом режиме, которая может повредить транзистор. По защите транзисторов от этой генерируемой энергии применяется четыре диода [111].

Двухосевая система слежения за солнцем

Одноосевые обычные системы слежения имеют возможность поворота панели в одной оси слежения. В таких устройствах имеются несколько фоторезисторов и несколько компараторов, управляющие одним сервоприводом, замкнутым в диагональной схеме обычного Н-моста. Данные системы увеличивают эффективность работы солнечных элементов, но недостаточно эффективно, потому что функционируют только по одной оси либо по азимуту, либо по альтитуде.

Солнечная панель, имеющая двухосевую аналоговую систему слежения за солнцем, всегда поворачивается, чтобы ее поверхность всегда была перпендикулярна падающим солнечным радиациям. Система слежения следит за солнцем с утра до вечера и снова поворачивает на восток для работы в следующий день, заранее направляя поверхность солнечной панели в сторону восхода солнца. Структура данного устройства приведена на рисунке 70.

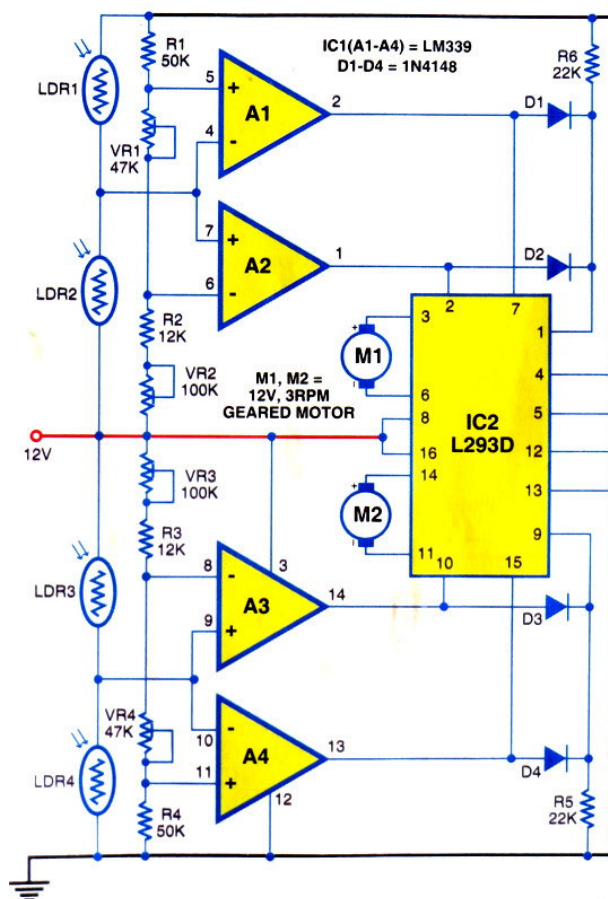


Рисунок 70 – Схема двухосевой аналоговой системы слежения за солнцем

В данной системе при определении интенсивности света применяются четыре фоторезистора. Эти фоторезисторы позволяют определить положение поверхности панели относительно солнечной радиации, меняя свои сопротивления в зависимости от интенсивности солнечных лучей, которые на них падают [112]. К примеру, если фотодатчик LDR2 получает больше

радиации от солнца чем LDR1, то уровень сопротивления фоторезистора LDR2 уменьшается и имеет меньшее значение сопротивления фоторезистора LDR1. Далее на входах компараторов A1 и A2 (4, 7) генерируется разница по уровням напряжения. Это приводит к тому, что на выходе компаратора A2 (1) генерируется высокий уровень напряжения чем на выходе компаратора A1 (2). Motor вращается в одном из направлений, приводя в движение солнечную панель. Если фоторезистор LDR1 получает радиацию больше чем фоторезистор LDR2, то его сопротивление снижается и станет меньше, чем сопротивление фоторезистора LDR2, что уменьшает напряжение на входах компараторов A1 и A2 (4, 7). Далее на выходе (2) компаратора A1 появляется большее напряжения и сервопривод вращается в противоположном направлении к предыдущему случаю. По данному алгоритму работает и сторона слежения по оси Y, что способствует непрерывному слежению за солнцем на осях X и Y [112].

На аналоговых системах слежения за солнцем имеются следующие недостатки:

- дребезжание реле при облачной погоде, что приводит к быстрому сокращению ресурса работы системы слежения и расходу энергии;
- при применении транзисторов, их чрезмерный перегрев при коммутациях сервопривода;
- при применении реле для коммутации сервоприводов их контакты часто сгорают.

Двухосевая система слежения за солнцем с применением микропроцессора

При применении системы слежения за солнцем на солнечной панели необходимо обеспечить точную ориентацию на солнце и уменьшение собственного потребления энергии системы слежения. В качестве такого оборудования может выступать микроконтроллер, с помощью которого можно задавать необходимые параметры и полностью контролировать весь процесс работы [113].

Одним из широко распространенных микропроцессоров является микропроцессор «Arduino». У данного микропроцессора имеется возможность обработки информации от разных цифровых и аналоговых датчиков и устройств, которые необходимы для получения информации и управления различными исполнительными устройствами в установке. На все микроконтроллеры «Arduino» имеется огромное количество дополнительно подключаемых средств (датчиков, дисплеев, сервоприводов и т. п.) что значительно расширяет его область применения [114].

Представленная на рисунке 71 принципиальная схема описывает работу системы слежения за солнцем, основанной на получении данных с фотоэлементов и обрабатываемых в микроконтроллере для управления

соответствующих сервоприводов. По поступившей информации в операционную среду «Arduino» заносятся команды для управления механической системой согласно заданной программе, которая имеет определенный алгоритм действия для различных ситуаций в работе устройства управления. Сама программа управления системой слежение основывается на нескольких этапах:

- 1) Установка начальных параметров, а именно указание диапазонов между приемниками света;
- 2) Указания условий включения и выключения реле для управления каждой осью;
- 3) Условия для возвращения системы слежения за солнцем в начальное положение [115].

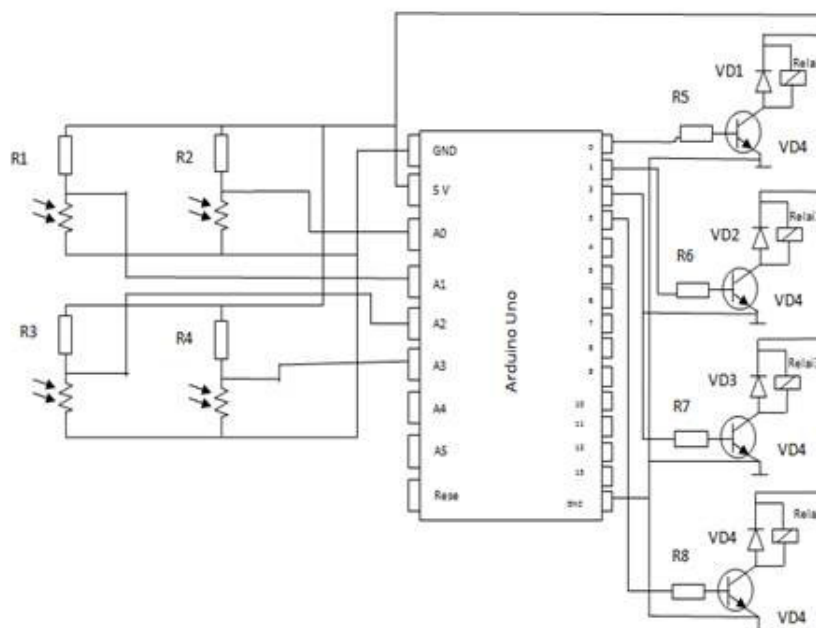


Рисунок 71 – Принципиальная схема управления через «Arduino»

Основные алгоритмы следят, чтобы солнечный панель всегда был всегда освещен максимально, и производят мониторинг текущего положения поверхности солнечной панели относительно солнца, для подачи сигнала на осуществление поворота от начального положения или возвращения к нему. Последнее обеспечиваться двумя способами: программным кодом ограничения и контактными клеммами [116].

При сборке системы слежения необходима сама схема сборки системы слежения за солнцем с применением «Arduino», которая показана на рисунке 72 [117].

Кроме того, необходимы следующие элементы: «Arduino», сервопривод, фоторезистор, кронштейны, резистор выводной, печатная макетная плата, корпус, шнуры для соединения.

После сборки системы слежения ее необходимо регулировать по чувствительности и задержки во избежание непрерывного дребезжания

сервопривода. Схема сборки с потенциометрами для регулирования чувствительности и задержки приведена на рисунке 73 [118].

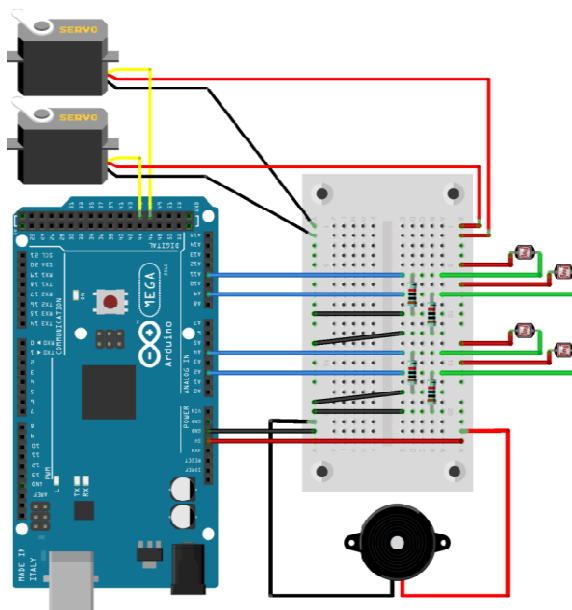


Рисунок 72 – Схема сборки системы слежения за солнцем с применением Ардуино

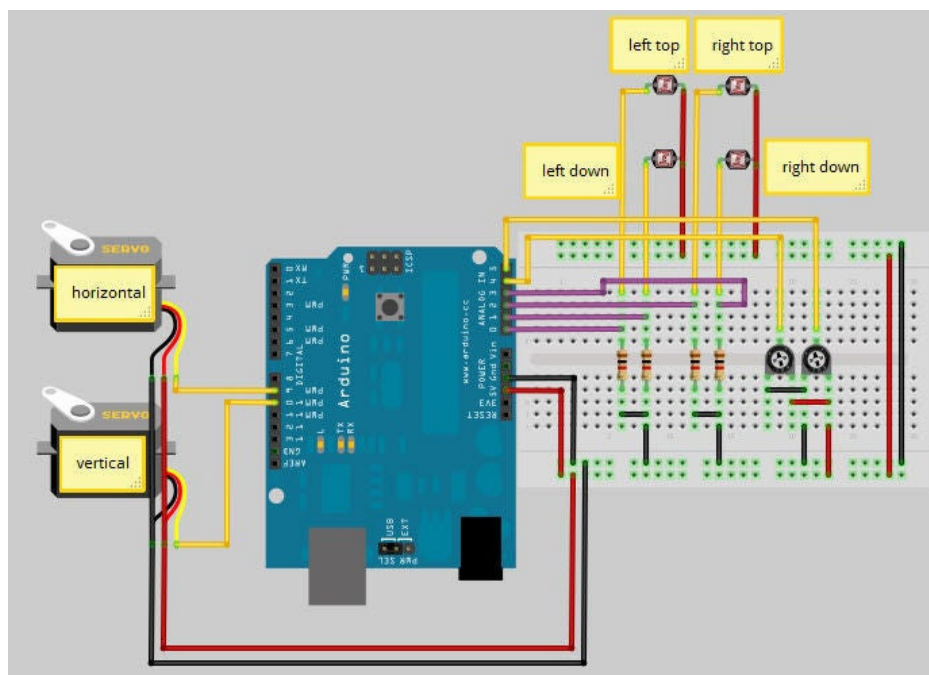


Рисунок 73 – Схема сборки системы слежения за солнцем с потенциометром

Для увеличения точности системы слежения за солнцем применяются направляющие и разделяющие элементы фоторезисторов между собой. Один из вариантов конструкции приведен на рисунке 74 [119].

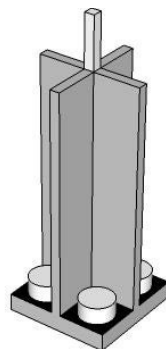


Рисунок 74 – Фоторезисторы с направляющим и разделяющим элементом

Алгоритм управления сервоприводом отвечает за включение и выключение соответствующих сервоприводов. Согласно программе измеряются интенсивность света от фоторезисторов соответствующей оси, сравниваются, чтобы выявить, наибольшую сторону интенсивности света. Если разность больше, чем установленное пороговое значение, то согласно программе микропроцессор подает сигнал на сервопривод, чтобы повернуть панель перпендикулярно в направлении солнца до того положения пока не исчезнет разница интенсивности радиации на фоторезисторах. В том случае, если свет падает ниже определенного уровня обоих датчиков, то она определяется как ночное время и панель поворачивается на восток в ожидании восхода солнца следующего дня. Из-за различий между фоторезисторами, резисторами и сопротивлений, используемых проводящих электрический ток элементов, будет разница между сигналом, полученным от датчиков интенсивности света, даже если они получают свет одинаковой интенсивности. Это учитывается путем введения калибровки смещения в расчет, это число нужно будет скорректировать в коде в соответствии с определенными настройками для каждого случая. Поправочный коэффициент вводится через программный код «int calibration». Фотодатчики очень чувствительны, поэтому система слежения движется только тогда, когда разница между ними больше, чем установленного переходного уровня, в случае отсутствия переходного уровня он будет непрерывно отслеживать падение света, и это приведет к большому расходу энергии [120].

3.4 Система комплексного преобразования энергий ветра и солнца в электрическую энергию

Для увеличения надежности энергообеспечения автономных объектов энергопотребления необходимо разработать систему, которая использует

несколько источников энергии. На рисунке 75 изображена электрическая схема соединения элементов системы комплексного преобразования энергий ветра и солнца в электрическую энергию.

Целью системы комплексного преобразования энергий ветра и солнца в электрическую энергию является повышение коэффициента использования энергии ветра, обеспечение надежности энергетической безопасности. Кроме того, за счет комбинированной работы ветроэнергетической установки, солнечной панели с поворотным механизмом, и аккумуляторных батарей обеспечивается надежность электроснабжения [121, 122].

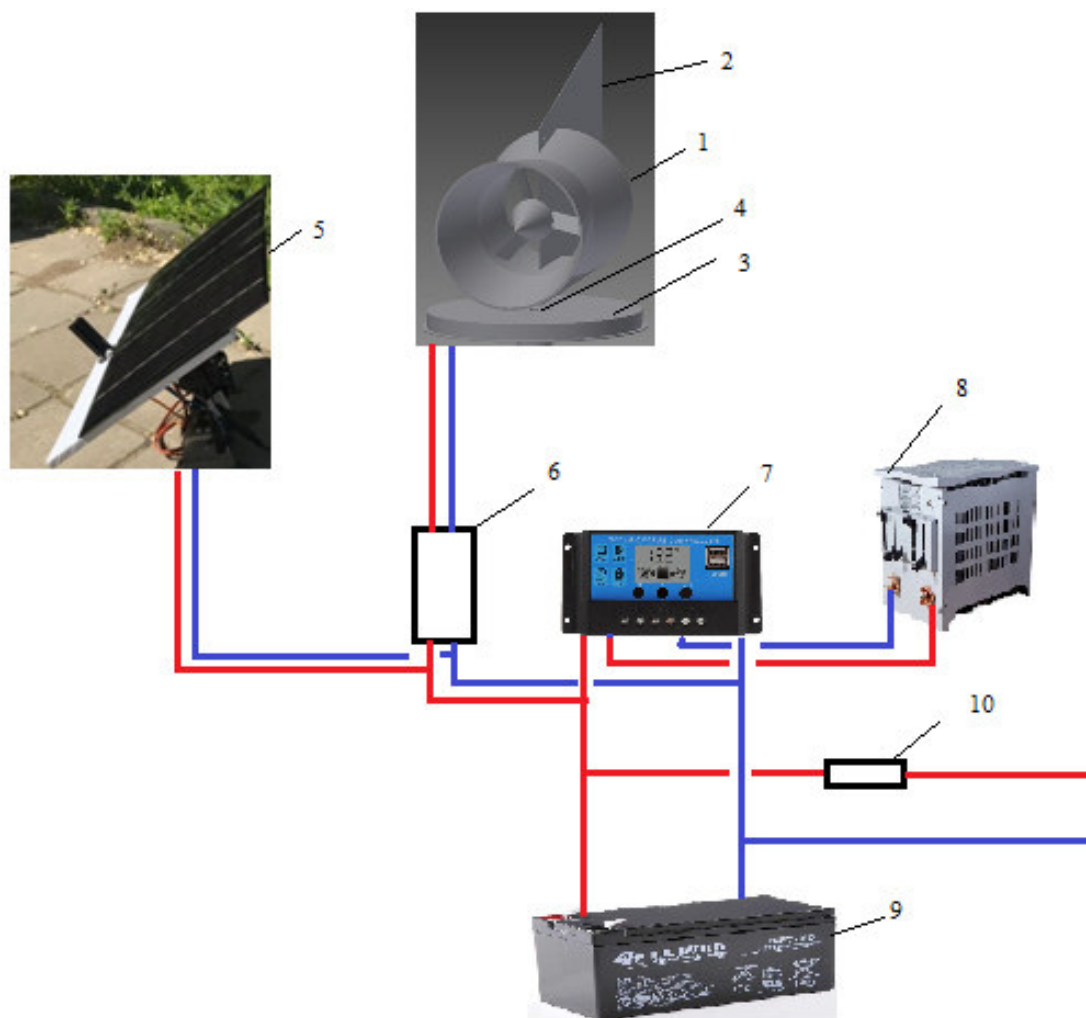


Рисунок 75 – Схема сборки элементов системы комплексного преобразования энергий ветра и солнца в электрическую энергию

Основными элементами системы комплексного преобразования энергий ветра и солнца в электрическую энергию являются ветроэнергетическая установка закрытого типа (ВЭУЗТ) 1 и солнечная панель с системой слежения за солнцем 5, преобразующие энергии ветра и солнца в электрическую энергию. Внутри корпуса расположена ветровая турбина с лопастями, которая устанавливается на вал генератора, и конус перед ветровой турбиной. Поток

ветра, набегая на лопасти ветровой турбины, приводит их во вращение. Ветровая турбина передает механическую энергию вращения генератору, который преобразовывает данную энергию в электрическую энергию. Генератор установлен опоре 4 вместе с корпусом и конусом, к которому крепится направляющее устройство в виде хвостовика 2, служащее для ориентирования лопасти ВЭУЗТ в направлении ветра. Внутри опоры 4 установлен токосъемник с электрическими щётками на пружинах, который предотвращает закрутку кабеля при вращении установки вокруг своей оси. Опора 4 устанавливается на кровлю 3, которая необходима для увеличения эффективности использования энергии ветра и является активным элементом при преобразовании энергии ветра в электрическую энергию. Солнечная панель 5 с системой слежения, увеличивающая эффективность преобразования энергии солнечной радиации в электрическую энергию путем постоянного слежения за солнцем, устанавливается по направлению к солнцу. Электрическая энергия поступает через контроллер заряда 7 на зарядку аккумуляторной батареи (АКБ) 9. При перезарядке аккумуляторной батареи 9, контроллер заряда 7 направляет электрический ток на балластное сопротивление (БС) 8, которое преобразует излишки электрической энергии в тепловую энергию. Для защиты от коротких замыканий и перегрузок в цепи имеются предохранители 10. При возникновении разрушающих ветров для вывода ВЭУ из рабочего режима служит устройство 6, которое переводит в режим торможения и остановки.

Выводы по разделу

Таким образом, в данном разделе получены следующие основные выводы:

1. Разработаны и предложены эффективные конструктивные элементы ВЭУ закрытого типа. При этом, в ВЭУ закрытого типа направляющие элементы, в виде конуса и конфузора, расположены перед турбиной, а за турбиной помещен диффузор, что в совокупности увеличивает коэффициент использования энергии ветра. На данное техническое решение получен патент на полезную модель №4903, зарегистрированный в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан от 28.04.2020 г., также на техническое решение с многолопастной версией ВЭУ закрытого типа получен патент на полезную модель №3942, зарегистрированный в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан от 26.04.2019 г.;

2. Разработан и предложен секционный синхронный генератор с постоянными магнитами, предназначенный для использования в любых отраслях в качестве генератора постоянного тока, однофазного или многофазного генератора переменного тока. На данное техническое решение получен патент на полезную модель №4905, зарегистрированный в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан от 28.04.2020 г.;

3. Предложены методы для эффективной работы солнечной панели с использованием систем слежения за солнцем;

4. Предложена система комплексного преобразования энергий ветра и солнца в электрическую энергию, которая обеспечит надежность электроснабжения с учетом возможности безветренности.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЭУ ЗАКРЫТОГО ТИПА В КОМПЛЕКСЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА

4.1 Описание экспериментальной установки

Опытный образец ветроэнергетической установки закрытого типа состоит из ветровой турбины с тремя лопастями, закрепленных непосредственно на вал генератора, корпуса с конфузуром и диффузором, конуса перед ветровой турбиной с соединительными элементами для генератора, корпуса и конуса устройства, соединительных кабелей, светодиодных ламп, служащие как элементы нагрузки. Кроме того, для испытания солнечной панели применялся сам солнечный панель, сервопривод, работающий совместно с фоторезистором и микропроцессором для управления сервоприводами системы слежения за солнцем, потенциометр в виде нагрузки и измерительные устройства электрических величин на выходе солнечной панели.

Для измерения различных выходных параметров опытного образца применялись анемометр для измерения скорости воздушного потока, тахометр для измерения угловой скорости вращения вала генератора постоянного тока (ГПТ) и блок мультиметров для измерения выходных электрических параметров, такие как напряжение и ток в цепи генератора с электрической нагрузкой.

На рисунках 76 и 77 изображены процесс изготовления лопасти ВЭУ при помощи 3D принтера и готовые детали ВЭУ, распечатанные в 3D принтере.

Ветровая турбина опытного образца ВЭУ закрытого типа имеет диаметр 0,29 м, а сами лопасти имеют высоты в 0,14 м, и соответственно место посадки данных лопастей имеет диаметр в 0,01 м. Данная ветровая турбина напрямую, без применения редуктора, посажена на вал генератора электрической энергии. Генератор вместе с ветровой турбиной закреплены к трем опорам, которые в свою очередь связывают генератор, конус и корпус ВЭУ закрытого типа. Перед ветровой турбиной и генератором расположен конус, также закрепленный к трем опорам, и имеет угол атаки к потоку воздуха $\alpha=26,57^{\circ}$. Данные опоры закрепляются к самому узкому участку корпуса установки, и имеет диаметр в 0,3 м. С середины корпуса начинаются основания конфузора и диффузора в противоположные друг от друга стороны. При этом конфузор имеет угол атаки $\alpha=7,97^{\circ}$, а диффузор – $\alpha=32,62^{\circ}$, в соответствии с полученными данными по анализу различных форм корпуса, путем изменения углов атаки его конфузора и диффузора для выявления наиболее эффективной его формы и размеров, приведенные во втором разделе данной работы. Данная конструкция закреплена на штатив и направлена в сторону вентилятора, который симулирует различную скорость ветра. Электрические выводы генератора соединяются при помощи электрических проводов к нагрузке и измерительным приборам электрического тока и напряжения. Для измерения скорости вращения генератора применялся тахометр, также для измерения скорости ветра использовался анемометр Testo 410-1.



Рисунок 76 – Процесс изготовления лопасти ВЭУ при помощи 3D принтера



Рисунок 77 – Готовые детали ВЭУ, распечатанные в 3D принтере

Общий вид опытного образца при испытаниях приведен на рисунке 78.



Рисунок 78 – Испытания опытного образца

На рисунке 79 изображен анемометр Testo 410-1 для измерения скорости ветра, который был применен при измерениях скорости ветра при проведении лабораторных испытаний для различных ситуаций. Данный анемометр производит измерения скорости ветра и температуры окружающей среды. Он измеряет в диапазоне скоростей ветра от 0,4 до 20 м/с с шагом измерения 0,1 м/с, а температуру окружающей среды от -10 до 50 °С с шагом измерения 0,1 °С. Точность измерения скорости ветра находится в пределах +/- 0,2 м/с, а температуры – +/- 0,5 °С.

Кроме того, применялся блок мультиметров для измерения электрического напряжения и тока. Данный блок выполняет измерения в диапазоне напряжения 0...1000 В, тока 0...10 А и сопротивления 0...20 МОм, которые необходимы для проведения лабораторных испытаний.



Рисунок 79 – Анемометр Testo 410-1

На рисунке 80 приведены лабораторные испытания солнечной панели для определения потребляемой энергии сервопривода системы слежения за солнцем в различных ситуациях, что необходимо для определения расхода энергии на собственные нужды системы слежения за солнцем и ее эффективности в установке.

На рисунке 81 приведены полевые испытания солнечной панели для сравнения энергетической эффективности системы со слежением за солнцем и стационарной системы. Для полевого испытания кроме солнечной панели и системы слежения с применением фоторезисторов и микроконтроллера «Arduino» были применены аккумуляторные батареи, реостат для изменения сопротивления и соответственно мощности электрической нагрузки, автономный электронный мультиметр, питающийся от электрических батарей, для измерения электрических параметров установки.

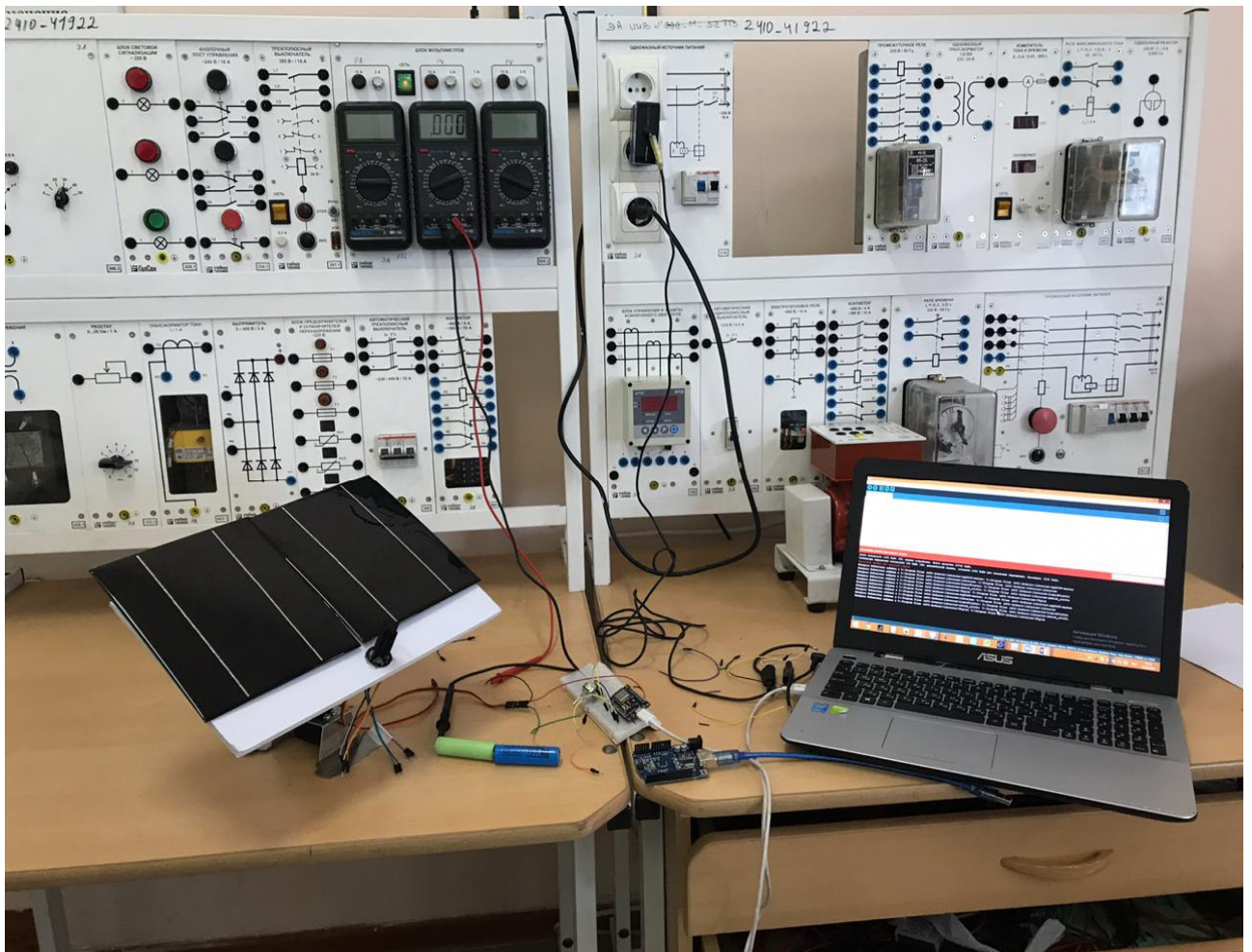


Рисунок 80 – Лабораторные испытания солнечной панели



Рисунок 81 – Полевые испытания солнечной панели

4.2 Экспериментальные исследования ВЭУ

Для проведения лабораторных испытаний работоспособности элементов ВЭУ, создан лабораторный стенд, на котором был создан ветровой поток различных скоростей для измерения динамики изменении основных параметров установки, применяя электрический вентилятор.

Для выявления эффективности работы корпуса ветроэнергетической установки в виде конфузора и диффузора проведены эксперименты при отсутствии ветровой турбины, генератора и конуса. Экспериментальные данные скоростей воздушного потока перед установкой и в зоне расположения лопастей турбины, которые были получены испытанием корпуса ВЭУ без лопастей, приведены в таблице 1. График зависимостей начальной скорости ветрового потока V_0 и скорости V_1 в зоне расположения лопастей ВЭУ закрытого типа приведен на рисунке 82.

Таблица 1 – Результаты эксперимента по испытаниям корпуса ВЭУ без лопастей

V_0 , м/с	0	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
V_1 , м/с	0	1	1,8	2,5	3,1	3,8	4,7	5,5	6,1	6,7	7,3	8,2	8,8	9,7

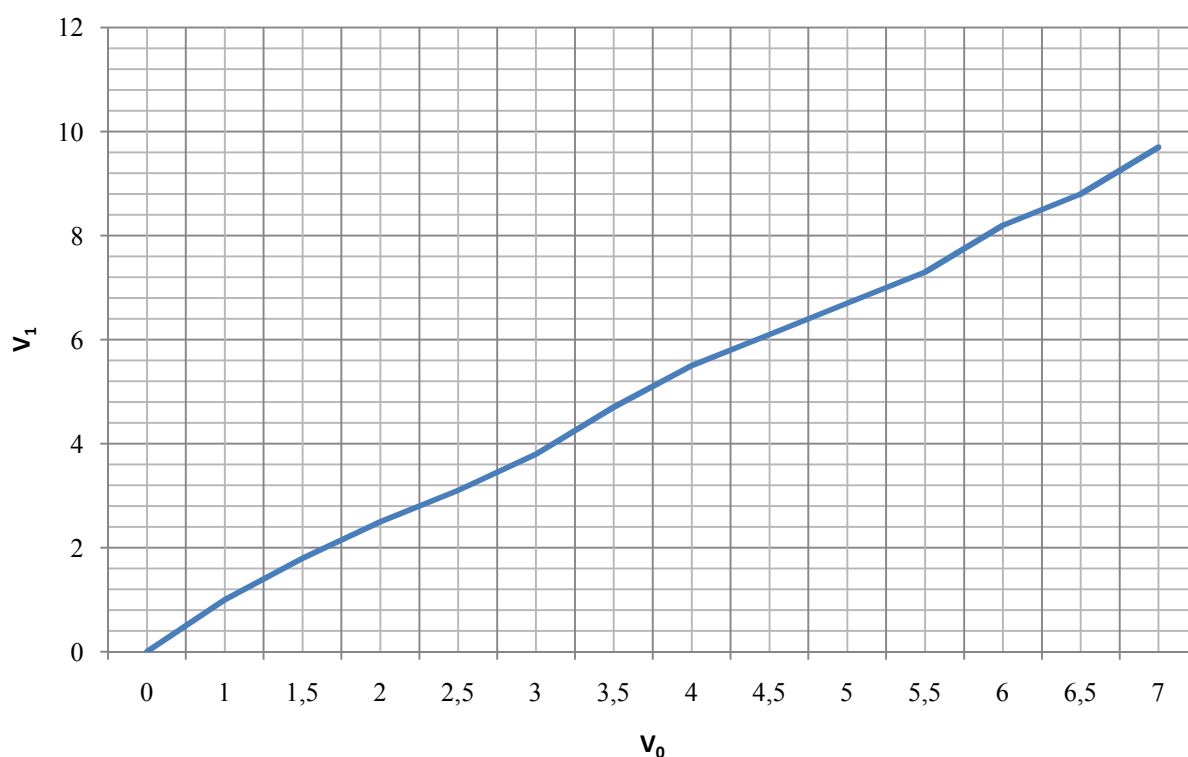


Рисунок 82 – График зависимостей начальной скорости ветрового потока V_0 и скорости V_1 в зоне расположения лопастей ВЭУ закрытого типа

Из рисунка 83 видно, что разница скоростей между начальной скорости ветрового потока V_0 и скорости V_1 в зоне расположения лопастей ВЭУ закрытого типа начинает ощутимо увеличиться с увеличением начальной скорости и достигает значения 2,7 м/с при скорости ветра перед установкой на уровне значении 7 м/с.

Для выявления эффективности работы корпуса ВЭУ закрытого типа необходимо проводить экспериментальные испытания установки без корпуса и с корпусом в виде конфузора и диффузора. В таблице 2 приведены результаты экспериментальных исследований ВЭУ без корпуса, а в таблице 3 приведены результаты экспериментальных исследований ВЭУ с корпусом в виде конфузора и диффузора.

Кроме того, для того чтобы определить энергетическую эффективность работы конуса при направлении потока воздуха с центральной части установки к лопастям ветровой турбины проведены экспериментальные исследования при его установке перед ветровой турбиной, так как в центре ветровой турбины отсутствуют лопасти и корневые части лопастей практически не совершают полезную работу. Это связано с тем, что окружная скорость в данном сечении очень мала для работы всех видов аэродинамического профиля. Длина этой части для трехлопастной ветроэнергетической установки составляет 30-35% радиуса ветровой турбины. Это соответствует 10-12% площади лопастей ветровой турбины, где не происходит преобразование кинетической энергии ветра в механическую энергию вращения на валу ветровой турбины. В таблице 4 приведены результаты экспериментальных исследований ВЭУ с корпусом совместно с конусом.

Таблица 2 – Результаты экспериментальных исследований ВЭУ без корпуса

V_0 , м/с	n, об/мин	U, В	I, А	P, Вт
1	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0
2	0	0	0	0
2,5	0	0	0	0
3	220	2,6	0,004	0,0104
3,5	360	2,9	0,03	0,087
4	400	3,1	0,06	0,186
4,5	410	3,5	0,08	0,28
5	420	3,7	0,15	0,555
5,5	420	4	0,3	1,2
6	420	4,2	0,5	2,1
6,5	430	4,5	0,8	3,6
7	430	4,53	0,89	4,03

Таблица 3 – Результаты экспериментальных исследований ВЭУ с корпусом

V_0 , м/с	n, об/мин	U, В	I, А	P, Вт
1	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0
2	0	0	0	0
2,5	350	3	0,04	0,12
3	380	3	0,07	0,21
3,5	410	3,1	0,08	0,248
4	430	3,2	0,18	0,576
4,5	440	3,5	0,25	0,875
5	450	3,7	0,4	1,48
5,5	450	3,9	0,57	2,223
6	450	4,5	0,75	3,375
6,5	460	4,8	0,85	4,08
7	460	4,9	0,95	4,66

Таблица 4 – Результаты экспериментальных исследований ВЭУ с корпусом совместно с конусом

V_0 , м/с	n, об/мин	U, В	I, А	P, Вт
1	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0
2	0	0	0	0
2,5	360	3	0,06	0,18
3	390	3	0,1	0,3
3,5	430	3,1	0,15	0,465
4	440	3,2	0,21	0,672
4,5	450	3,5	0,37	1,295
5	460	3,8	0,55	2,09
5,5	460	4	0,6	2,4
6	460	4,5	0,75	3,38
6,5	470	4,8	0,9	4,32
7	470	5	0,98	4,9

Согласно результатам таблиц показаны различные графики выходных параметров ВЭУ без корпуса, с корпусом и совместно с конусом на рисунках 83, 84, 85 и 86.

Частота вращения

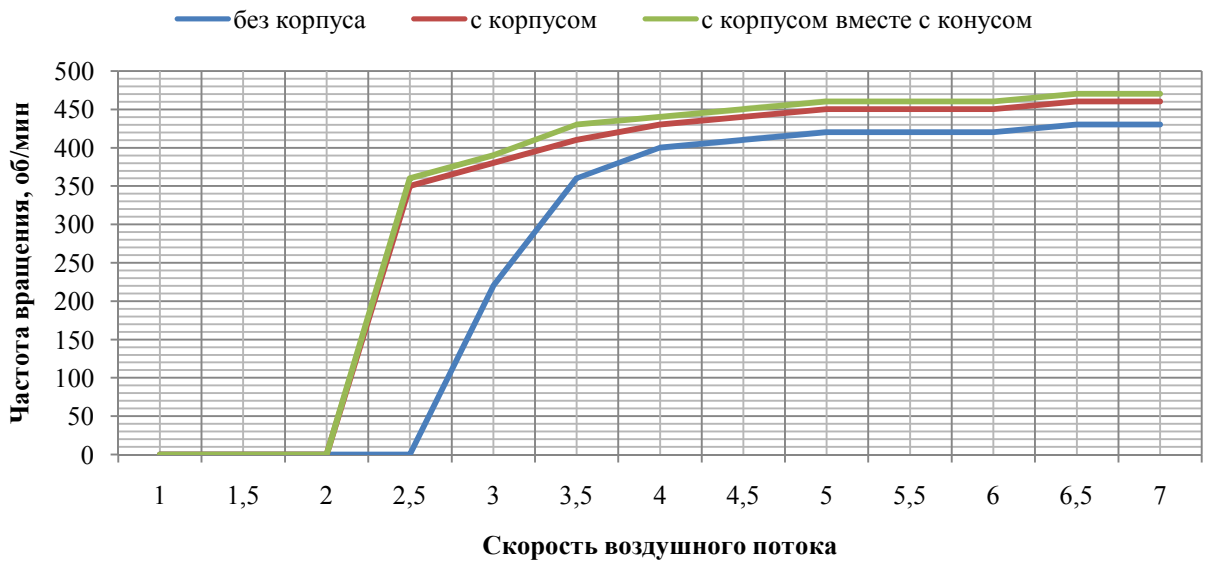


Рисунок 83 – График зависимостей начальной скорости воздушного потока V_0 и частот вращения ВЭУ без корпуса, с корпусом и совместно с конусом

Напряжение

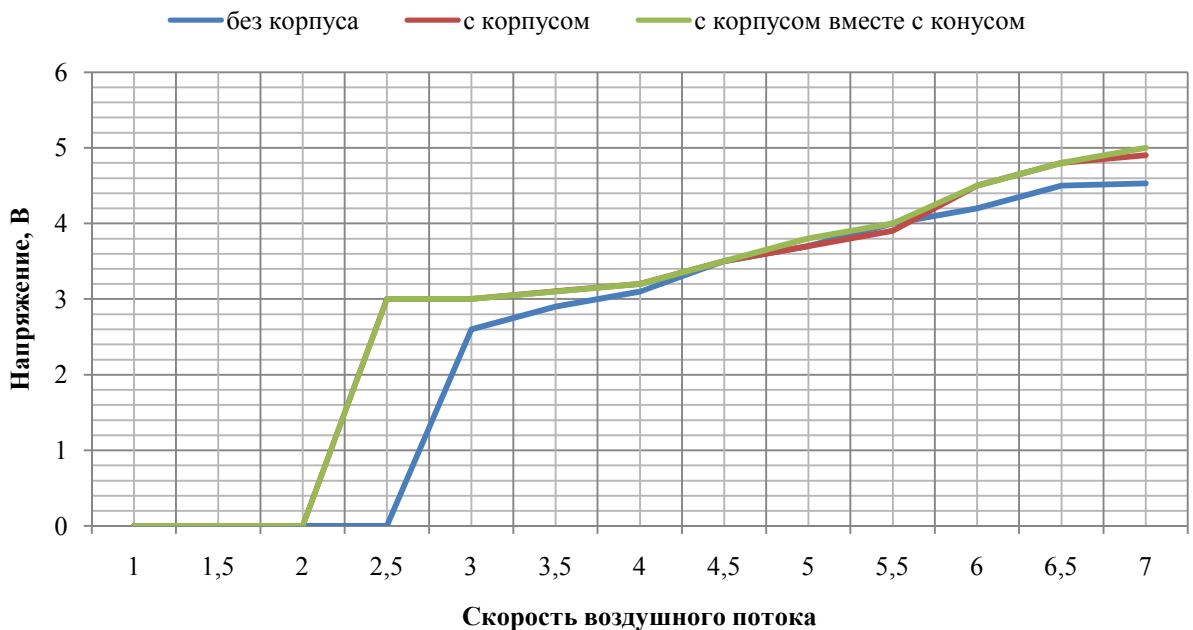


Рисунок 84 – График зависимостей начальной скорости воздушного потока V_0 и напряжения ВЭУ без корпуса, с корпусом и совместно с конусом

Сила тока

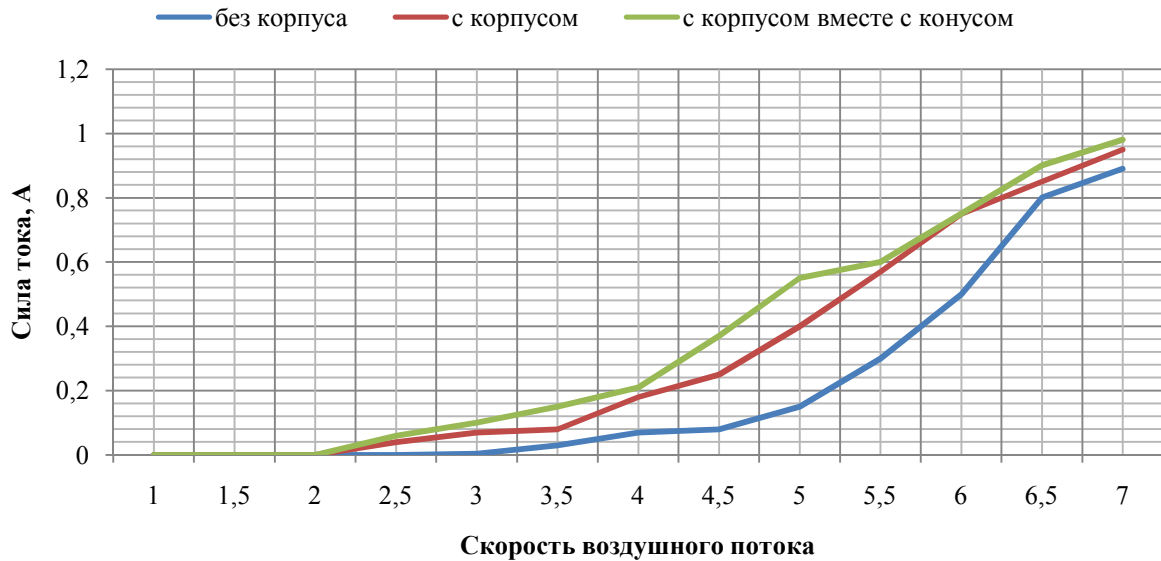


Рисунок 85 – График зависимостей начальной скорости воздушного потока V_0 и силы тока ВЭУ без корпуса, с корпусом и совместно с конусом

Мощность

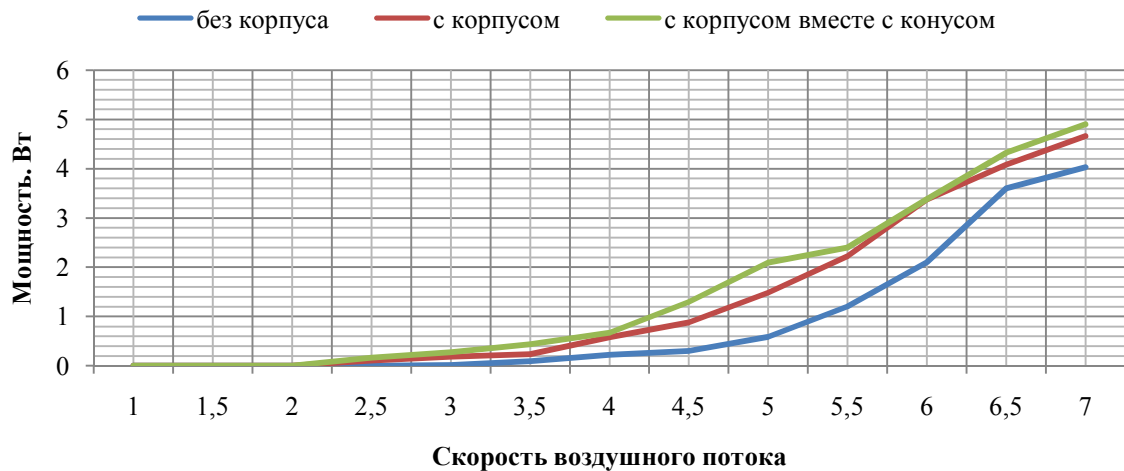


Рисунок 86 – График зависимостей начальной скорости воздушного потока V_0 и мощности ВЭУ без корпуса, с корпусом и совместно с конусом

Как видно из сравнительных графиков, характеризующих выходные параметры, 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 выше, а момент инерции устройства ниже. Таким образом, эффективность ВЭУЗТ на 17,5% выше, чем ВЭУ открытого типа.

4.3 Экспериментальные исследования СЭУ

Для выявления наиболее эффективного варианта исполнения солнечной энергетической установки необходимо проводить испытания различных способов преобразования солнечной энергии в электрическую энергию. В первую очередь была проведена испытания солнечной панели при холостом ходе под различным углом относительно солнца и в тени, где напряжение выходе составляет – 10,1 В. Данные этих испытаний приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты эксперимента по испытаниям солнечной панели при холостом ходе

$\alpha, ^\circ$	90	80	70	60	45	30	20	10	0
$U_{xx}, В$	14,7	14,5	14	13,7	13,3	13	12,8	12,5	12,14

Для сравнения энергетической эффективности системы со слежением за солнцем и стационарной системы были проведены полевые испытания данных систем на солнечной панели. Результаты полевых испытаний приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты полевых испытаний солнечной панели

Время	Система со слежением			Стационарная система			Разница мощностей $\Delta P, \%$
	U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт	
7.00	6,4	0.02	0,13	6.2	0.015	0,09	44,44
7.30	7.4	0.03	0,22	7.1	0.02	0,14	57,14
8.00	11.2	0.15	1,68	10.1	0.1	1,01	66,34
8.30	12.5	0.17	2,13	11.5	0.12	1,38	54,35
9.00	13	0.2	2,6	12.8	0.15	1,92	35,42
9.30	13.2	0.23	3,04	13	0.18	2,34	29,91
10.00	13.4	0.25	3,35	13.1	0.2	2,62	27,86
10.30	13.5	0.27	3,65	13.4	0.25	3,35	8,06
11.00	13.5	0.28	3,78	13.5	0.27	3,65	3,56
11.30	13.6	0.29	3,94	13.6	0.29	3,94	0
12.00	13.6	0.29	3,94	13.6	0.29	3,94	0
12.30	13.6	0.29	3,94	13.6	0.29	3,94	0
13.00	13.5	0.28	3,78	13.5	0.27	3,65	3,56
13.30	13.5	0.28	3,78	13.5	0.27	3,65	3,56
14.00	13.5	0.28	3,78	13.4	0.24	3,22	17,39
14.30	13.5	0.27	3,65	13.2	0.21	2,77	31,77
15.00	13.5	0.26	3,51	13.1	0.2	2,62	33,97
15.30	13.3	0.24	3,2	13	0.15	1,95	64,1
16.00	13.2	0.22	2,9	12.5	0.12	1,5	93,33
16.30	12.7	0.19	2,41	12,2	0.1	1,22	97,54
17.00	11.3	0.17	1,92	10,8	0.09	0,97	97,94
17.30	7	0.03	0,21	5,6	0.02	0,11	90,9
18.00	6,3	0.02	0,13	5,5	0.012	0,07	85,71
Среднее значение							41,17

На рисунке 87 построен сравнительный график по результатам полевых испытаний, которые приведены в таблице 6.

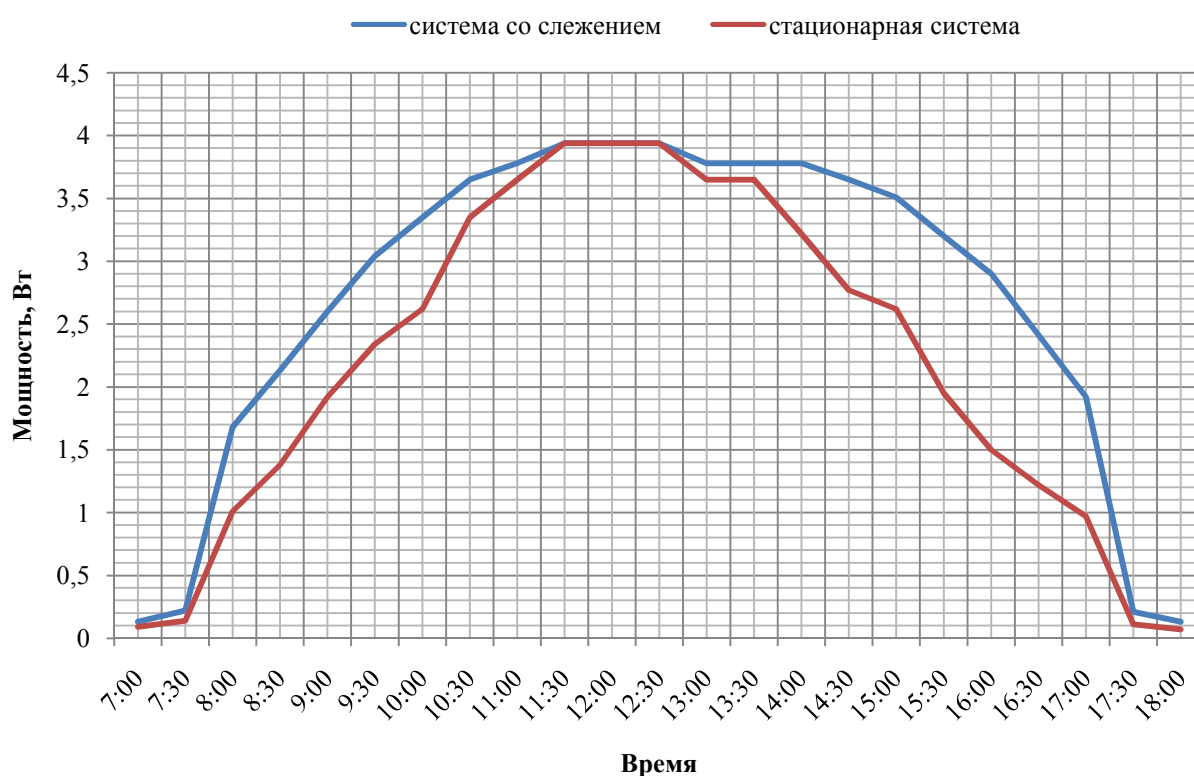


Рисунок 87 – График зависимостей мощностей на выходе солнечной панели при стационарной системе и системе со слежением

На рисунке 88 видно, что при применении системы со слежением за солнцем на солнечной панели полученная энергия будет больше чем при стационарной системе. С другой стороны, сервопривод системы слежения за солнцем потребляет электрическую энергию при вращении солнечной панели в направлении солнца. Поэтому было проведено отдельное испытание для определения собственного потребления энергии системы слежения за солнцем. Результаты испытания приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты испытания системы слежения за солнцем

При запуске			При продолжительной работе		
U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт
6	0.5	3	6	0.2	1.2

Из таблицы 8 видно, что при непрерывном слежении потребляемая мощность системы слежения отбирает значительную часть энергии, получаемой из солнечной панели. Поэтому имеется необходимость отправления системы слежения за солнцем в спящий режим и включения ее каждый час для направления к солнцу на 15 градусов, задав данную функцию в программе управления микроконтроллера. Таким образом, значительно уменьшается расход энергии на систему слежения за солнцем, включая ее на

несколько секунд раз в один час, и при этом солнце успевает перемещаться на 15 градусов, что незначительно влияет на энергетическую эффективность установки. При длительности светового дня в 12 часов система включается в среднем двенадцать раз примерно на 5 секунд вращения панели к солнцу. Таким образом, сервопривод потребляет около 0,2% выработанной энергии при помощи солнечной панели. Таким образом, система слежения за солнцем является эффективным по сравнению со стационарной системой на 41,17%.

Выводы по разделу

По результатам проведенных экспериментальных испытаний пришли к следующим выводам:

1. Разработанная ветроэнергетическая установка закрытого типа заметно эффективнее ВЭУ открытого типа и раньше начинает вырабатывать электрическую энергию;

2. Разработанная установка соответствует критериям мобильности и автономности и не требует специальной подготовки потребителя для обслуживания и эксплуатации, что облегчает процесс установки и подъема на большую высоту электромеханической системы ВЭУ без применения специальных подъемных механизмов.

3. Во время проведения экспериментальных исследований выявлено увеличение энергетической эффективности устройства на 17,5% по сравнению с традиционными ВЭУ.

4. Экспериментальные исследования солнечной панели показали, что применение системы слежения эффективнее стационарной системы на 41,17%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Исследованы формы элементов конструкции ВЭУ для эффективного увеличения скорости набегающего воздушного потока, такие как направляющий конус и корпус установки при помощи компьютерного моделирования устройства в программной среде инженерного анализа COMSOL Multiphysics 5.0;
2. По результатам анализа выявлены эффективные формы и углы атаки конструкции ВЭУ и кровли здания, где достигается наибольшее ускорение набегающего воздушного потока;
3. Даны рекомендации по формам и углам атаки различных элементов, такие как конфузор, диффузор, конус и кровли здания для эффективного преобразования энергии ветра в электрическую энергию;
4. Проведен сравнительный анализ, который проведен в программной среде инженерного анализа SolidWorks 2016 с компонентом CFD (Calculation Fluid Dynamics), и предложена энергоэффективная форма лопасти, которая увеличивает КИЭ энергоносителя на 5,6% по сравнению с лопастями установки «AeroGreen»;
5. На уровне изобретений выполнен ряд конструкторских разработок энергетически эффективной ветроэнергетической установки закрытого типа с горизонтальной осью вращения ветровой турбины и секционного синхронного генератора с постоянными магнитами;
6. Предложены методы для эффективной работы солнечной панели с использованием систем слежения за солнцем;
7. Предложена система комплексного преобразования энергий ветра и солнца в электрическую энергию, которая обеспечит надежность электроснабжения с учетом возможности безветренности;
8. Исследован и испытан опытный образец ВЭУ закрытого типа в лабораторных условиях и на основе результатов испытаний выявлена заметная эффективность по сравнению с ВЭУ открытого типа, которая начинает вырабатывать электрическую энергию на более высоких скоростях воздушного потока;
9. По результатам экспериментальных исследований ВЭУ закрытого типа достигнуто увеличение энергоэффективности установки на 17,5% по сравнению с ВЭУ открытого типа;
10. Экспериментальные исследования солнечной панели показали, что применение системы слежения эффективнее стационарной системы на 41,17%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Закон Республики Казахстан «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» № 165-IV ЗРК от 4 июля 2009 г.
2. Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства, Послание Президента Республики Казахстан – Лидера Нации Н.А. Назарбаева народу Казахстана, г. Астана, 14.12.2012 г.
3. Население Казахстана. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://countrymeters.info/ru/Kazakhstan> . (дата обращения: 08.07.2018 г.).
4. Ветры Казахстана. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://moxnpr.ru/kazakhstan/52-vetry-kazakhstana.html> . (дата обращения: 08.07.2018 г.).
5. Возобновляемая энергия. Электронный ресурс. – В режиме доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F . (дата обращения: 08.07.2018 г.).
6. IEA, “Global CO2 emissions in 2019”, 11 February 2020. Электронный ресурс. – В режиме доступа <https://www.iea.org/articles/global-co2-emissions-in-2019> . (дата обращения: 28.10.2020 г.).
7. Renewable power. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/renewable-energy/renewable-power.html> . (дата обращения: 02.08.2018 г.).
8. Leila Mead, “Subnational governments and corporations take charge of the renewable energy transition”, International Institute for Sustainable Development, 21 September 2017. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://sdg.iisd.org/news/subnational-governments-and-corporations-take-charge-of-the-renewable-energy-transition/> . (дата обращения: 02.08.2018 г.).
9. Renewables 2020 Global Status Report. Электронный ресурс. – В режиме доступа: https://www.ren21.net/gsr-2020/chapters/chapter_01/chapter_01/ . (дата обращения: 28.10.2020 г.).
10. Global Wind Energy Council (GWEC), Global Wind Report 2019, p. 13. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://gwec.net/global-wind-report-2019> . (дата обращения: 28.10.2020 г.).
11. World Wind Energy Association (WWEA), “Global wind installations. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://library.wwindea.org/global-statistics> . (дата обращения: 28.10.2020 г.).
12. International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable Capacity Statistics 2020. Электронный ресурс. – В режиме доступа: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2020.pdf . (дата обращения: 28.10.2020 г.).

13. GWEC, Global Wind Report 2019, op. cit. note 1, p. 43. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://gwec.net/global-wind-report-2019> . (дата обращения: 28.10.2020 г.).
14. GWEC. “Preliminary turbine OEM rankings for 2017”, 26 February 2018. Электронный ресурс. – В режиме доступа: https://ftiintelligencestore.com/index.php?route=download/main&download_id=15. (дата обращения: 02.08.2018 г.).
15. “Vestas keeps lead in onshore wind, Siemens Gamesa narrows gap”, Bloomberg New Energy Finance (BNEF), 26 February 2018. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://about.bnef.com/blog/vestas-keeps-lead-in-onshore-wind-siemens-gamesa-narrows-gap/>. (дата обращения: 02.08.2018 г.).
16. China Electricity Council (CEC), “CEC releases 2016-2018 annual electricity supply and demand situation analysis and forecast report”, 1 February 2018. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/gongzuodongtai/2018-02-01/177584.htm>. (дата обращения: 02.08.2018 г.).
17. China National Energy Board. China National Energy Administration (NEA), “Wind grid operation in 2017”, 1 February 2018. Электронный ресурс. – В режиме доступа: http://www.nea.gov.cn/2018-02/01/c_136942234.htm . (дата обращения: 02.08.2018 г.).
18. Top provinces from China Energy Portal. China’s Renewables Curtailment and Coal Assets Risk Map (London: BNEF, 25 October 2017), p. 10. Электронный ресурс. – В режиме доступа: https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/10/Chinas-Renewable-Curtailment-and-Coal-Assets-Risk-Map-FINAL_2.pdf. (дата обращения: 02.08.2018 г.).
19. Government of India, Ministry of Power, Central Electricity Authority (CEA), All India Installed Capacity, Monthly Report January 2018 (New Delhi: 2018). Электронный ресурс. – В режиме доступа: http://www.cea.nic.in/reports/monthly/installedcapacity/2018/installed_capacity-01.pdf. (дата обращения: 02.08.2018 г.).
20. India wind power market report 2017 – research and markets, Business Wire, 12 December 2017. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://www.businesswire.com/news/home/20171212006200/en/India-Wind-Power-Market-Report-2017-->. (дата обращения: 02.08.2018 г.).
21. Vestas, “Annual Report 2017 – Summary”. Электронный ресурс. – В режиме доступа: https://www.vestas.com/en/investor/financial_reports/2017/q4#!intro. (дата обращения: 02.08.2018 г.).
22. Frankfurt School-UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance (FS-UNEP) and BNEF, Global Trends in Renewable Energy Investment 2018 (Frankfurt: April 2018), p. 18. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/gtr2018v2.pdf>. (дата обращения: 02.08.2018 г.).

23. Бекбаев А.Б., Мунсызбай Т.М., Шакенов К.Б. Комплексное использование энергии возобновляемых источников. Труды Международных Сатпаевских чтений «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана» / гл. ред. Ж.М. Адилов. – Алматы: КазНТУ, 2015, Том I, 57-62 с.
24. Polina, P., Vatin, N., Murgul, V. The method to determine sites and facilities for wind-diesel power plants construction. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Pp. 510-516. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.680.510
25. Виды и типы солнечных батарей. Режим доступа: <http://batsol.ru/vidy-i-tipy-solnechnyx-batarej.html> (дата обращения: 05.03.2015 г.).
26. International Energy Agency (IEA) Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS), Trends in Photovoltaic Applications 2019 (Paris: 2019), p. 97. Электронный ресурс. – В режиме доступа: https://iea-pvps.org/trends_reports/2019-edition. (дата обращения: 28.10.2020 г.).
27. Snapshot of Global PV Markets 2020 (Paris: April 2020). Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://iea-pvps.org/snapshot-reports/snapshot-2020/>. (дата обращения: 28.10.2020 г.).
28. EurObserv'ER, Photovoltaic Barometer (Paris: April 2020), p. 2. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://www.eurobserv-er.org/category/all-photovoltaic-barometers>. (дата обращения: 28.10.2020 г.).
29. IEA PVPS, Snapshot of Global PV Markets 2020, op. cit. note 1, p. 14. Электронный ресурс. – В режиме доступа: https://iea-pvps.org/trends_reports/2019-edition. (дата обращения: 28.10.2020 г.).
30. NEA, cited in “Energy Bureau conference informed of 2017 renewable energy grid operation”, 24 January 2018. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://shupeidian.bjx.com.cn/news/20180124/876448.shtml>. (дата обращения: 05.08.2018 г.).
31. US Solar Energy Industries Association (SEIA), “After back-to-back years of double-digit growth, U.S. solar passes 50 GW milestone”, 15 March 2018. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://www.seia.org/blog/after-back-back-years-double-digit-growth-us-solar-passes-50-gw-milestone>. (дата обращения: 05.08.2018 г.).
32. GTM Research and SEIA, U.S. Solar Market Insight: 2017 Year in Review, Executive Summary (Boston: March 2018). Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://www.greentechmedia.com/research/subscription/u-s-solar-market-insight>. (дата обращения: 05.08.2018 г.).
33. Mark Bolinger et al., Utility-scale Solar 2016: An Empirical Analysis of Project Cost, Performance, and Pricing Trends in the United States (Berkeley, CA: LBNL, September 2017). Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://emp.lbl.gov/sites/default/files/utility-scale-solar-2016-report.pdf>. (дата обращения: 05.08.2018 г.).
34. EIA. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://www.eia.gov/electricity/monthly/archive/february2018.pdf>. (дата обращения: 05.08.2018 г.).

35. Priya Sanjay, "Indian solar installations grew by 123% to reach a record 9.6 GW in 2017", Mercom India, 22 February 2018. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://mercomindia.com/indian-solar-installations-market-update/>. (дата обращения: 05.08.2018 г.).
36. Government of India, Ministry of New and Renewable Energy (MNRE), "Physical progress (achievements)". Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://mnre.gov.in/physical-progress-achievements>. (дата обращения: 05.08.2018 г.).
37. Wendy Prabhu, "Solar was the top source of new power capacity addition in 2017 for the first time in India", Mercom India, 16 January 2018. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://mercomindia.com/solar-top-renewable-source-india-2017/>. (дата обращения: 05.08.2018 г.).
38. Brian Publicover, "Japan to install up to 7 GW in 2018 despite cancellation of 14.6 GW of approved capacity – report", PV Magazine, 15 February 2018. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://www.pv-magazine.com/2018/02/15/japan-to-install-up-to-7-gw-in-2018-despite-cancellation-of-14-6-gw-of-approved-capacity-report/>. (дата обращения: 05.08.2018 г.).
39. Зеленая энергетика: за и против. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://www.investkz.com/journals/97/1253.html>. (дата обращения: 05.04.2016 г.).
40. "Всенаправленная" турбина IMPLUX "приручит" городские ветра. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://www.facepla.net/www/the-news/energy-news-mnu/1347-implux.html>. (дата обращения: 05.03.2015 г.).
41. Возобновляемые источники энергии. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://www.ecoseed.org/>. (дата обращения: 05.03.2015 г.).
42. Ветрогенератор закрытого типа. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://alternativenergy.ru/vetroenergetika/815-vetrogenerator-zakrytogo-tipa.html>. (дата обращения: 05.03.2015 г.).
43. Ветро-солнечная установка «Aerogreen». Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://aerogreen.info>. (дата обращения: 05.03.2015 г.).
44. Зеленая экономика. Электронный ресурс. – В режиме доступа: http://egov.kz/wps/portal/Content?contentPath=/egovcontent/bus_nat_eco/ecologiya/article/green_ekonomika&lang=ru. (дата обращения: 08.07.2018 г.).
45. Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии: Учебное пособие А.В.Болотов АУЭС. Алматы, 2011.-79с.
46. Комплексная энергетическая система ВРТБ мощностью 5 кВт. Режим доступа: <http://wrtb.kz/?p=172>. (дата обращения: 05.03.2015 г.).
47. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Конспект лекций для студентов всех форм обучения специальности 050718 – Электроэнергетика. А.В.Болотов, К.А.Бакенов, Алматы: АИЭС, 2007. – 40 с.
48. Титков В.В., Бекбаев А.Б., Мунсызбай Т.М., Шакенов К.Б. Пути развития электроэнергетики в казахстане. Труды Международного форума «Инженерное образование и наука в XXI веке: проблемы и перспективы»,

посвящение 80-летию КазНТУ имени К.И. Сатпаева – Алматы: КазНТУ, 2014, Том III, 754 с.

49. Бекбаев А.Б., Мунсызбай Т.М., Шакенов К.Б., Жаксылыков К.А. Комплексное использование возобновляемых энергоносителей и попутных газов на нефтеперекачивающих насосных агрегатах. Материалы VI Международной научно-практической конференции «Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа», 7 сентября 2015 года / АГТУ – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2015, 204-206 с.

50. Типы ветроэнергетических установок. Электронный ресурс. – В режиме доступа: http://www.bellona.ru/reports/Energy_Kola_Peninsula/1189769993.43 (дата обращения: 05.03.2015 г.).

51. Ветро-солнечная установка «Aerogreen». Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://www.aerogreen.info/products.ru.html>. (дата обращения: 02.03.2017 г.).

52. Инноваций в энергетике. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://www.i.irk.ru/innovation/318>. (дата обращения: 02.05.2017 г.).

53. AeroGreen — новый тип ветроэнергетической установки. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://greentrends.ru/aerogreen-noviy-tip-vetroenergeticheskoy-ustanovki/>. (дата обращения: 02.05.2017 г.).

54. Новости промышленности. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://www.abercade.ru/research/industrynews/9845.html>. (дата обращения: 02.03.2017 г.).

55. Бекбаев А.Б., Мунсызбай Т.М., Шакенов К.Б. Гибридная ветроэнергетическая установка с вертикальной осью вращения ветротурбины. Вестник КазНТУ имени К.И. Сатпаева. – Алматы, 2016. - № 4(116). - С. 313-315.

56. Безруких П.П., Безруких П.П. (младший). Ветроэнергетика вымыслы и факты. Ответы на 100 вопросов. – М.: Институт устойчивого развития Общественной палаты РФ/ Центр экологической политики России, 2011. – 74 с.

57. Бекбаев А.Б., Мунсызбай Т.М., Шакенов К.Б. Эзиева Г.Ж. Жел энергетикасының даму жолдары. Труды Международных Сатпаевских чтений «Конкурентоспособность технической науки и образования». – Алматы: КазНТУ, 2016, Том I, 9-12 с.

58. Мякишев Г. Я., Синяков А. З. М99 Физика: Молекулярная физика. Термодинамика. 10 кл.: Учеб. для углубленного изучения физики. — 4-е изд., стереотип. — М.: Дрофа, 2001. — 352 с.

59. Бекбаев А.Б., Мунсызбай Т.М., Шакенов К.Б. Использование явления конвективного движения воздуха в ветроэнергетических установках закрытого типа. Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева. № 1 (96) – Алматы: Ред.-издат. центр КазАТК им. М. Тынышпаева, 2016, 87-90 с.

60. Ветроэнергетика — общая информация. Электронный ресурс. В режиме доступа: <http://www.solarhome.ru/basics/wind/>. (дата обращения: 10.04.2017 г.).

61. Munsyzbai T.M. Mathematical model of windmill. Fifth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation. November 25-27, 2008/ Tashkent, Uzbekistan. 279-284 (481).

62. Метод конечных элементов. Электронный ресурс. В режиме доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2 (дата обращения: 12.06.2017 г.).

63. Давыдова Е. В., Корчагова В. Н., Марчевский И. К. Использование метода конечных элементов частицами для решения задач гидродинамики. Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 6. С. 329-345.

64. Idelsohn S.R., Onate E., Del Pin F. A Lagrangian meshless finite element method applied to fluid-structure interaction problems // Computer and Structures. 2003. Vol. 81, no. 8-11. P. 655-671. DOI: 10.1016/S0045-7949(02)00477-7 .

65. Idelsohn S.R., Onate E., Del Pin F. The particle finite element method: a powerful tool to solve incompressible flows with free-surfaces and breaking waves // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2004. Vol. 61, no. 7. P. 964-989. DOI: 10.1002/nme.1096 .

66. Моделирование течений жидкостей и газов с помощью модуля «Вычислительная гидродинамика». Электронный ресурс. В режиме доступа: https://www.comsol.ru/cfdmodule?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_term=%2B%D0%B3%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%2Bcomsol&utm_campaign=search&utm_content=.1t1&gclid=CjwKEAjwvYPKBRCYr5GLgNCJ_jsSJA_Vqfwf7oDFap6iGoRBpjWSimbAPYy_JcPojdtTPAM8sdGEIChoCiyvw_wcB. (дата обращения: 12.06.2017 г.).

67. Ермаков А.В., Щеглов Г.А. Моделирование методом вихревых элементов динамики цилиндрической оболочки в пространственном потоке жидкости // Известия ВУЗов. Машиностроение. 2014. № 3. С. 35-41.

68. Кузьмина К.С., Марчевский И.К. Об ускорении вычислений при решении двумерных сопряженных задач гидроупругости вихревыми методами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Сер. Аэрокосмическая техника. 2014. № 39. С. 145-163.

69. Monaghan J.J. Smoothed Particle Hydrodynamics // Reports on Progress in Physics. 2005. Vol. 68. P. 1703-1759. DOI: 10.1088/0034-4885/68/8/R01

70. Li Shaofan, Kam Wing Liu. Meshfree Particle Methods. Springer Berlin Heidelberg, 2004. 502 p. DOI: 10.1007/978-3-540-71471-2

71. Idelsohn S.R., Onate E. To mesh or not to mesh. That is the question... // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2006. Vol. 195, iss. 37-40. P. 4681-4696. DOI:10.1016/j.cma.2005.11.006
72. Белов И.А. Задачи и методы решения отрывных течений несжимаемой жидкости / И.А. Белов, С.А. Исаев, В.А. Коробков. – Л.: Судостроение, 1989. – 256 с.
73. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С.В. Патанкар. – М.: Энергоатомиздат, 1984, 152 с.
74. Темам Р. Уравнение Навье-Стокса. Теория и численный анализ / Р. Темам. – М.: Мир, 1981, - 408 с.
75. Chorin A.J. A numerical method for solving incompressible viscous flow problems // *Journal of Computation Physics*. – 1967. – 2. – P.12-26.
76. Блинова Л.А., Шур М.Л. Метод “масштабирования сжимаемости” для расчета нестационарных течений вязкого газа в широком диапазоне изменения характерных чисел Маха / Конструирование алгоритмов и решение задач математической физики / Л.А. Блинова. – М.: ИПМ, 1991. – с. 34-39.
77. Гончаров В.А., Кривцов В.М., Чарахчян А.А. Численная схема моделирования дозвуковых течений вязкого сжимаемого // *ЖВМ и МФ*. – 1988. – 28;12. – с. 1858-1866.
78. Лапин Ю.В. Внутренние течения газовых смесей / Ю.В. Лапин, М.Х. Стрелец. – М.: Наука, 1989. – 368 с.
79. Стрелец М.Х., Шур М.Л. Метод масштабирования сжимаемости для расчета стационарных течений вязкого газа при произвольных числах Маха // *ЖВМ и МФ*. – 1988. – 28;2. – с.254-266.
80. Briley W.R., McDonald H. Solution of the multidimensional Navier-Stokes equations by a generalized implicit method // *Journal of Computation Physics*. – 1977. – 24;4. – P.372-397.
81. Briley W.R., McDonald H., Shamreth S.J. A low Mach number Euler formulation and application to time-iterative LBI schemes / *AIAA Journal*. – 1983. – 21;10. – P.1464-1469.
82. Asset A. Durmagambetov, Leyla S. Fazilova. Navier-Stokes Equations—Millennium Prize Problems / *Natural Science*. – 2015. 7 - P.88-99
83. Ладыженская О.А. Шестая проблема тысячелетия: уравнения Навье–Стокса, существование и гладкость// *Успехи математических наук*. – 2003. – том 58, выпуск 2(350). с.45–78.
84. Cao Chongsheng, Titi E.S. Regularity criteria for the three-dimensional Navier-Stokes equations // *Indiana Univ. Math. J.*, 57:6 (2008), 2643–2661
85. Шеретов Ю.В., “О свойствах решений квазигидродинамических уравнений в баротропном приближении”, *Вестн. Тверского гос. ун-та. Сер.: Прикладная математика*, 2009, № 14, 5–19
86. А. Е. Мамонтов, “Глобальная разрешимость многомерных уравнений сжимаемой неньютоновской жидкости, транспортное уравнение и пространства Орлича”, *Сиб. электрон. матем. изв.*, 6 (2009), 120–165

87. Cao Chongsheng, “Sufficient conditions for the regularity to the 3D Navier-Stokes equations”, *Discrete Contin. Dyn. Syst.*, 26:4 (2010), 1141–1151
88. Aristov S.N., Prosviryakov E.Yu., “Nonuniform convective Couette flow”, *Fluid Dyn.*, 51:5 (2016), 581–587
89. Aristov S.N., Prosviryakov E.Yu., “A new class of exact solutions for three-dimensional thermal diffusion equations”, *Theor. Found. Chem. Eng.*, 50:3 (2016), 286–293.
90. Уравнения Навье-Стокса. Электронный ресурс. В режиме доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D1%8C%D0%B5_%E2%80%94%D0%A1%D1%82%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B0. (дата обращения: 17.09.2017 г.).
91. Титков В.В., Бекбаев А.Б., Мунсызбай Т.М., Шакенов К.Б. Повышение эффективности работы ветроэнергетической установки при низких скоростях ветра. Материалы Всемирного Конгресса инженеров и ученых «Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации» WSEC-2017 (19-20 июня, 2017, Астана, Казахстан). – Т. 1. – Алматы, 2017. – С. 369-369.
92. Гарбарук А.В. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений: учебное пособие / А.В. Гарбарук, М.Х. Стрелец, М.Л. Шур – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 88 с.
93. Груничев И.А. Архитектура малоэтажных жилых зданий с использованием ветровых энергоустановок // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – 3 (56). – с. 19-28.
94. Titkov V.V., Bekbayev A.B., Munsyzbai T.M., Shakenov K.B. Construction of autonomous buildings with wind power plants. Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 04. Pp. 171–180. doi: 10.18720/MCE.80.15.
95. Ветро-солнечная установка «Aerogreen». Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://www.aerogreen.info/#services/>. (дата обращения: 12.05.2017 г.).
96. Бекбаев А.Б., Мунсызбай Т.М., Шакенов К.Б. О влиянии формы лопастей турбины ветроэнергетической установки на эффективность преобразования энергии. Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – Алматы, 2016. - № 3(34). - С. 12-19.
97. Бекбаев А.Б., Шакенов К.Б. Комплексное использование возобновляемых источников энергии и попутных газов на нефтеперекачивающих насосных агрегатах. Материалы IX Международной научно-практической конференции «Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа», 7 сентября 2018 года / АГТУ – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2018, 277-279 с.
98. Патент на полезную модель РК №4903. Эффективная ветроэнергетическая установка закрытого типа / Бекбаев А.Б., Шакенов К.Б., Төлеміс М.Т.; дата регистрации 28.04.2020 г.

99. Патент на полезную модель РК №4905. Эффективная ветроэнергетическая установка закрытого типа / Бекбаев А.Б., Шакенов К.Б., Төлеміс М.Т.; дата регистрации 28.04.2020 г.
100. NurMohammad and Tarequl Karim, 2012. The design and implementation of hybrid automatic solar tracking system. International journal of electrical and power engineering (IJEPE), 6(3): 111-117.
101. J. Wen and T.F. Smith. Absorption of solar energy in a room. *Sol Energy*, vol. 72, no. 4, pp. 283-297, 2002.
102. J. Rizk and Y. Chaiko. Solar Tracking System: More efficient Use of Solar Panels. World Academy of Science, Engineering and Technology. Vol. 17, 2008. pp. 315.
103. G. S. Kinsey, R. A. Sherif, P. Pien, P. Hebert, R.R. King and D. Aldrich. Towards commercialization of concentrator multifunction photovoltaic modules. Photovoltaic Specialists, IEEE Conference, 2008. pp. 1-3.
104. J. Mroczka, K. Plachta. Modelling and simulation of A-ridge concentrator system using commercial PV modules. International conference on renewable energies and power quality (ICREPQ' 14), 2014. pp. 265-267.
105. A. Catarius. Azimuth-Altitude Dual-Axis Solar Tracker. Degree of bachelor of science:10.12.2010. USA: Worcester Polytechnic Institute, 2010, pp. 5-6.
106. Krachong S., J. Natwichai, L. Inchaiwong, S. Wattana Sirichaigoon and S. Noimanee. High efficiency solar tracking system for cardiac care unit. The 3rd International Symposium on Biomedical Engineering (ASBME 2008), November 11-12, 2008, Bangkok, Thailand. pp. 466-469.
107. Phang J.C.H., D.S.H. Chan and J.R. Philip. Accurate analytical method for the extraction of solar cell model parameters. *Electron. Lett.*, 1984, 20, pp. 406-408.
108. M. Mahendran, H.L. Ong, G.C. Lee and K. Thanikaikumar. An experimental comparison study between Single-Axis Tracking and Fixed Photovoltaic Solar Panel Efficiency and power output: Case study in East Coast Malaysia. Sustainable Development Conference 2013, 21-23 June 2013, Bangkok, Thailand.
109. Abdallah S. The effect of using sun tracking systems on the voltage-current characteristics and power generation of flat plate photovoltaic. *Energy Conversion and Management*. 2004. 45: 1671-1679.
110. M. Mehrtash, G. Quesada, Y. Dutil, D. Rouse. Performance evaluation of sun tracking photovoltaic systems in Canada. 20th Annual International Conference on Mechanical Engineering – ICME 2012, 16-18 May, 2012. School of Mechanical Eng., Shiraz University, Shiraz, Iran. pp. 2.
111. Устройство слежения за солнцем. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <http://cxem.net/greentech/greentech16.php>. (дата обращения: 12.09.2018 г.).
112. Устройство слежения за солнцем по двум осям. Электронный ресурс. – В режиме доступа: https://musbench.com/e_differ/solar_track.html. (дата обращения: 12.09.2018 г.).

113. Белов А.В. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах AVR. – СПб.: Наука и техника, 2008. – 544 с.
114. Официальный сайт производителя Arduino. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. (дата обращения: 12.09.2018 г.).
115. Система слежения за солнцем на Ардуино. Электронный ресурс. – В режиме доступа: http://digitrode.ru/computing-devices/mcu_cpu/194-sistema-slezheniya-za-solncem-na-arduino.html. (дата обращения: 12.09.2018 г.).
116. Кашкаров А. П. Электронные самоделки – СПб.: БХВ – Петербург, 2007 г. – 304с.: ил. – ISBN 978-5-94157-726-2
117. Двухосевой солнечный трекер на Arduino. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://habr.com/ru/post/357900/>. (дата обращения: 12.09.2018 г.).
118. Arduino solar tracker. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://www.instructables.com/id/Arduino-Solar-Tracker/>. (дата обращения: 15.02.2019 г.).
119. Dual Axis solar tracker with online energy monitor. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://www.instructables.com/id/Dual-Axis-300W-IOT-Solar-Tracker/>. (дата обращения: 15.02.2019 г.).
120. Солнечный трекер (система слежения за солнцем) на Arduino. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://ngin.pro/arduino/226-colnechnyy-treker-sistema-slezheniya-za-solncem-na-arduino.html>. (дата обращения: 15.02.2019 г.).
121. Шакенов К.Б., Токпеисова Г.Ш., Ерекенов Ж.К., Шахмурат Д. Энерготиімді және ресурс үнемдеуші жүйелер мен технологиялар. Труды Международных Сатпаевских чтений «Инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК». – Алматы: КазННТУ, 2019, Том II, 1031-1034 с.
122. Шакенов К.Б., Еркінов Ғ.Е., Сагымбаев Ж.А., Бекбаев А.Б. Использование энергосберегающих технологий для отдельных потребителей рудников. Труды Международных Сатпаевских чтений «Инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК». – Алматы: КазННТУ, 2019, Том II, 1042-1045 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс НАО «КазНТУ имени К.И. Сатпаева»



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
НАО «КазНТУ имени К.И.
Сатпаева»

Кенжалиев Б.К.

2018 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Основные положения и технические решения в области ветроэнергетических установок закрытого типа для локального энергообеспечения автономных домов, изложенные в диссертационной работе докторанта кафедры «Энергетика» НАО «КазНТУ имени К.И. Сатпаева» Шакенова Калижана Бахытжановича, представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика», внедрены в учебном процессе Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева, на кафедре «Энергетика» института архитектуры, строительства и энергетики имени Т. Басенова. Результаты исследований используются в лекционных курсах и практических занятиях следующих дисциплин:

- Возобновляемые источники энергии;
- Альтернативная энергетика;
- Новые и возобновляемые источники энергии;
- Возобновляемая энергетика,

читааемых для специальностей 5B071800, 6M071800 – «Электроэнергетика».

Директор института
Архитектуры, строительства и
энергетики имени Т.Басенова

Б.У. Куспанғалиев

И.о. заведующего кафедрой
«Энергетика»,
PhD, ассистент профессор

Е.А. Сарсенбаев

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акт внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс КазНУ имени аль-Фараби



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научно-
инновационной деятельности
КазНУ имени аль-Фараби

Рамазанов Т.С.

2018 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Основные положения и технические решения в области ветроэнергетических установок закрытого типа для локального энергообеспечения автономных домов, изложенные в диссертационной работе докторанта кафедры «Энергетика» НАО «КазНИТУ имени К.И. Сатпаева» Шакенова Калижана Бахытжановича, представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика», внедрены в учебном процессе Казахского национального университета имени аль-Фараби, на кафедре «Физика плазмы, нанотехнологии и компьютерной физики» физико-технического факультета. Результаты исследований используются в лекционных курсах и практических занятиях следующих дисциплин:

- Альтернативная энергетика;
- Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии;
- Ветровая энергетика,

читаемых для специальности 5B071800 – «Электроэнергетика».

Декан физико-технического факультета
д.ф-м.н., профессор

Давлетов А.Е.

Заведующая кафедрой
«Физика плазмы, нанотехнологии
и компьютерной физики»,
к.ф-м.н., профессор

Коданова С.К.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Результаты скоростей ветра в зоне турбины при различных углах атаки
конфузора путем изменения длины корпуса

ϑ_i , m/s	α , °	ϑ_{max} , m/s	ϑ_i , m/s	α , °	ϑ_{max} , m/s
5	7,97	7,33	25	7,97	37,2
	8,84	7,49		8,84	38,1
	9,93	7,43		9,93	37,6
	11,31	7,31		11,31	36,8
	13,13	7,43		13,13	37,6
	15,64	7,04		15,64	35,4
	19,29	7,01		19,29	35,2
	25,02	6,92		25,02	34,8
	34,99	6,91		34,99	34,7
10	7,97	14,8	30	7,97	44,8
	8,84	15,1		8,84	45,8
	9,93	14,9		9,93	45,2
	11,31	14,7		11,31	44,3
	13,13	14,9		13,13	45,2
	15,64	14,1		15,64	42,5
	19,29	14		19,29	42,3
	25,02	13,9		25,02	41,8
	34,99	13,8		34,99	41,7
15	7,97	22,2	35	7,97	52,4
	8,84	22,7		8,84	53,6
	9,93	22,5		9,93	52,9
	11,31	22		11,31	51,8
	13,13	22,5		13,13	52,9
	15,64	21,2		15,64	49,7
	19,29	21,1		19,29	49,5
	25,02	20,8		25,02	48,9
	34,99	20,8		34,99	48,7
20	7,97	29,7	40	7,97	60
	8,84	30,4		8,84	61,5
	9,93	30		9,93	60,6
	11,31	29,4		11,31	59,4
	13,13	30		13,13	60,6
	15,64	28,3		15,64	56,9
	19,29	28,1		19,29	56,6
	25,02	27,8		25,02	56
	34,99	27,7		34,99	55,7

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Результаты скоростей ветра в зоне турбины при различных углах атаки
диффузора путем изменения длины корпуса

ϑ_i , m/s	α , °	ϑ_{max} , m/s	ϑ_i , m/s	α , °	ϑ_{max} , m/s
5	7,97	7,33	25	7,97	37,2
	8,84	7,57		8,84	38,6
	9,93	7,49		9,93	38,1
	11,31	7,4		11,31	37,5
	13,13	7,46		13,13	37,7
	15,64	7,2		15,64	36,2
	19,29	7,24		19,29	36,4
	25,02	7,14		25,02	35,9
	34,99	6,99		34,99	35,1
10	7,97	14,8	30	7,97	44,8
	8,84	15,3		8,84	46,4
	9,93	15,1		9,93	45,9
	11,31	14,9		11,31	45,1
	13,13	15		13,13	45,3
	15,64	14,4		15,64	43,5
	19,29	14,5		19,29	43,7
	25,02	14,3		25,02	43,1
	34,99	14		34,99	42,2
15	7,97	22,2	35	7,97	52,4
	8,84	23		8,84	54,3
	9,93	22,7		9,93	53,7
	11,31	22,4		11,31	52,8
	13,13	22,5		13,13	53
	15,64	21,7		15,64	50,8
	19,29	21,8		19,29	51,1
	25,02	21,5		25,02	50,4
	34,99	21		34,99	49,2
20	7,97	29,7	40	7,97	60
	8,84	30,8		8,84	62,3
	9,93	30,4		9,93	61,5
	11,31	29,9		11,31	60,5
	13,13	30,1		13,13	60,7
	15,64	28,9		15,64	58,2
	19,29	29,1		19,29	58,5
	25,02	28,7		25,02	57,7
	34,99	28,1		34,99	56,3

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результаты скоростей ветра в зоне турбины при симметричных углах атаки
конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса

ϑ_i , m/s	α , °	ϑ_{max} , m/s	ϑ_i , m/s	α , °	ϑ_{max} , m/s
5	7,97	7,33	25	7,97	37,2
	9,09	7,7		9,09	38,2
	10,2	7,86		10,2	39,6
	11,31	7,92		11,31	39,9
	12,41	8,12		12,41	40,9
	13,5	8,3		13,5	41,8
	14,57	8,44		14,57	42,5
	15,64	8,57		15,64	43,1
	16,69	8,68		16,69	43,7
	17,75	8,75		17,75	44
	18,78	8,79		18,78	44,2
	21,8	8,63		21,8	43,3
	23,75	8,6		23,75	43,2
	28,37	8,25		28,37	41,3
	32,62	7,91		32,62	39,6
36,5	7,5	36,5	37,6		
10	7,97	14,8	30	7,97	44,8
	9,09	15,2		9,09	46
	10,2	15,8		10,2	47,6
	11,31	15,9		11,31	47,9
	12,41	16,3		12,41	49,2
	13,5	16,6		13,5	50,2
	14,57	16,9		14,57	51,1
	15,64	17,2		15,64	51,8
	16,69	17,4		16,69	52,5
	17,75	17,5		17,75	52,9
	18,78	17,6		18,78	53,1
	21,8	17,3		21,8	52
	23,75	17,2		23,75	51,8
	28,37	16,5		28,37	49,6
	32,62	15,8		32,62	47,6
36,5	15	36,5	45,2		
15	7,97	22,2	35	7,97	52,4
	9,09	22,9		9,09	53,8
	10,2	23,7		10,2	55,7
	11,31	23,9		11,31	56,1
	12,41	24,5		12,41	57,1
	13,5	25		13,5	58,7
	14,57	25,4		14,57	59,7
	15,64	25,8		15,64	60,6
	16,69	26,1		16,69	61,3
	17,75	26,3		17,75	61,8
	18,78	26,5		18,78	62,1
	21,8	26		21,8	60,8

	23,75	25,9		23,75	60,5
	28,37	24,8		28,37	57,9
	32,62	23,7		32,62	55,5
	36,5	22,5		36,5	52,8
20	7,97	29,7	40	7,97	60
	9,09	30,5		9,09	61,6
	10,2	31,6		10,2	63,8
	11,31	31,9		11,31	64,2
	12,41	32,7		12,41	65,9
	13,5	33,4		13,5	67,3
	14,57	33,9		14,57	68,4
	15,64	34,4		15,64	69,4
	16,69	34,9		16,69	70,3
	17,75	35,1		17,75	70,7
	18,78	35,3		18,78	71,1
	21,8	34,6		21,8	69,5
	23,75	34,5		23,75	69,2
	28,37	33		28,37	66,2
	32,62	31,7		32,62	63,5
	36,5	30,1		36,5	60,5

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Результаты скоростей ветра в зоне турбины при разных углах атаки конфузора
путем изменения толщины корпуса

ϑ_i , m/s	α , °	ϑ_{max} , m/s	ϑ_i , m/s	α , °	ϑ_{max} , m/s
5	7,97	7,33	25	7,97	37,2
	9,09	7,29		9,09	36,9
	10,2	7,25		10,2	36,5
	11,31	7,13		11,31	35,9
	13,5	7,11		13,5	35,7
	18,78	6,8		18,78	34,1
	23,75	6,71		23,75	33,6
	28,37	6,87		28,37	34,4
	32,62	7,32		32,62	36,7
10	7,97	14,8	30	7,97	44,8
	9,09	14,6		9,09	44,4
	10,2	14,5		10,2	43,9
	11,31	14,3		11,31	43,1
	13,5	14,2		13,5	42,9
	18,78	13,6		18,78	41
	23,75	13,4		23,75	40,4
	28,37	13,8		28,37	41,3
	32,62	14,6		32,62	44
15	7,97	22,2	35	7,97	52,4
	9,09	22		9,09	52
	10,2	21,8		10,2	51,3
	11,31	21,4		11,31	50,4
	13,5	21,4		13,5	50,2
	18,78	20,4		18,78	47,9
	23,75	20,1		23,75	47,2
	28,37	20,6		28,37	48,3
	32,62	22		32,62	51,4
20	7,97	29,7	40	7,97	60
	9,09	29,5		9,09	59,5
	10,2	29,2		10,2	58,8
	11,31	28,6		11,31	57,7
	13,5	28,5		13,5	57,5
	18,78	27,3		18,78	54,8
	23,75	26,9		23,75	54,1
	28,37	27,5		28,37	55,2
	32,62	29,3		32,62	58,8

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Результаты скоростей ветра в зоне турбины при разных углах атаки диффузора
путем изменения толщины корпуса

$\vartheta_i, \text{ m/s}$	$\alpha, ^\circ$	$\vartheta_{\text{max}}, \text{ m/s}$	$\vartheta_i, \text{ m/s}$	$\alpha, ^\circ$	$\vartheta_{\text{max}}, \text{ m/s}$
5	7,97	7,33	25	7,97	37,2
	9,09	7,68		9,09	38,8
	10,2	7,99		10,2	40,3
	11,31	8,23		11,31	41,5
	12,41	8,54		12,41	43,1
	13,5	8,78		13,5	44,4
	18,78	9,86		18,78	49,8
	23,75	10,5		23,75	52,9
	28,37	10,6		28,37	53,6
	32,62	10,8		32,62	54,3
	36,5	10,7		36,5	53,9
	10	7,97		14,8	30
9,09		15,4	9,09	46,6	
10,2		16	10,2	48,5	
11,31		16,5	11,31	50	
12,41		17,1	12,41	51,9	
13,5		17,6	13,5	53,4	
18,78		19,8	18,78	60	
23,75		21	23,75	63,7	
28,37		21,3	28,37	64,5	
32,62		21,6	32,62	65,3	
36,5		21,5	36,5	64,7	
15		7,97	22,2	35	
	9,09	23,2	9,09		54,6
	10,2	24,1	10,2		56,7
	11,31	24,8	11,31		58,5
	12,41	25,7	12,41		60,7
	13,5	26,5	13,5		62,5
	18,78	29,7	18,78		70,2
	23,75	31,6	23,75		74,6
	28,37	32	28,37		75,5
	32,62	32,4	32,62		76,5
	36,5	32,2	36,5		75,6
	20	7,97	29,7		40
9,09		30,9	9,09	62,6	
10,2		32,2	10,2	65	
11,31		33,1	11,31	67	
12,41		34,4	12,41	69,6	
13,5		35,4	13,5	71,7	
18,78		39,8	18,78	80,5	
23,75		42,2	23,75	85,6	
28,37		42,8	28,37	86,6	
32,62		43,3	32,62	87,7	
36,5		43	36,5	86,6	

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Результаты скоростей ветра в зоне турбины при асимметричных углах атаки
конфузора и диффузора путем изменения толщины корпуса

ϑ_i , m/s	$\alpha_{к,}^0$	$\alpha_{д,}^0$	ϑ_{max} , m/s	ϑ_i , m/s	$\alpha_{к,}^0$	$\alpha_{д,}^0$	ϑ_{max} , m/s
5	7,97	7,97	7,33	25	7,97	7,97	37,2
	7,97	32,62	10,8		7,97	32,62	54,3
	9,09	32,62	10,7		9,09	32,62	53,9
	10,2	32,62	10,6		10,2	32,62	53,4
	11,31	32,62	10,6		11,31	32,62	53,2
	12,41	32,62	10,3		12,41	32,62	51,7
	13,5	36,5	10,2		13,5	36,5	51,1
	18,78	36,5	9,47		18,78	36,5	47,5
	23,75	36,5	8,91		23,75	36,5	44,7
28,37	36,5	8,74	28,37	36,5	43,9		
10	7,97	7,97	14,8	30	7,97	7,97	44,8
	7,97	32,62	21,6		7,97	32,62	65,3
	9,09	32,62	21,4		9,09	32,62	64,9
	10,2	32,62	21,2		10,2	32,62	64,2
	11,31	32,62	21,2		11,31	32,62	64
	12,41	32,62	20,6		12,41	32,62	62,1
	13,5	36,5	20,4		13,5	36,5	61,5
	18,78	36,5	19		18,78	36,5	57,1
	23,75	36,5	17,8		23,75	36,5	53,7
28,37	36,5	17,5	28,37	36,5	52,9		
15	7,97	7,97	22,2	35	7,97	7,97	52,4
	7,97	32,62	32,4		7,97	32,62	76,5
	9,09	32,62	32,2		9,09	32,62	75,9
	10,2	32,62	31,9		10,2	32,62	75,1
	11,31	32,62	31,8		11,31	32,62	74,9
	12,41	32,62	30,9		12,41	32,62	72,6
	13,5	36,5	30,6		13,5	36,5	71,8
	18,78	36,5	28,5		18,78	36,5	66,7
	23,75	36,5	26,8		23,75	36,5	61,5
28,37	36,5	26,3	28,37	36,5	61,8		
20	7,97	7,97	29,7	40	7,97	7,97	60
	7,97	32,62	43,3		7,97	32,62	87,7
	9,09	32,62	43		9,09	32,62	87,1
	10,2	32,62	42,6		10,2	32,62	86,1
	11,31	32,62	42,5		11,31	32,62	85,8
	12,41	32,62	41,3		12,41	32,62	83,1
	13,5	36,5	40,8		13,5	36,5	82,3
	18,78	36,5	38		18,78	36,5	76,3
	23,75	36,5	35,7		23,75	36,5	71,7
28,37	36,5	35,1	28,37	36,5	70,8		

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Результаты скоростей ветра в зоне турбины при вариации толщины корпуса в
зоне расположения ветротурбины ВЭУ

ϑ_i , m/s	$\alpha_{к,}^0$	$\alpha_{д,}^0$	L, m	ϑ_{max} , m/s	ϑ_i , m/s	$\alpha_{к,}^0$	$\alpha_{д,}^0$	L, m	ϑ_{max} , m/s
5	7,97	32,62	0.015	11,8	25	7,97	32,62	0.015	61,2
	7,97	32,62	0.02	12,6		7,97	32,62	0.02	64,5
	7,97	32,62	0.03	12		7,97	32,62	0.03	61,3
	7,97	32,62	0.04	11,6		7,97	32,62	0.04	58,8
	7,97	32,62	0.05	11,4		7,97	32,62	0.05	57,5
	7,97	32,62	0.07	11,2		7,97	32,62	0.07	56,8
	7,97	32,62	0.1	11,1		7,97	32,62	0.1	56
	7,97	32,62	0.15	10,8		7,97	32,62	0.15	54,7
	7,97	32,62	0.2	10,6		7,97	32,62	0.2	53,5
	7,97	32,62	0.25	10,5		7,97	32,62	0.25	53,1
10	7,97	32,62	0.015	24	30	7,97	32,62	0.015	73,6
	7,97	32,62	0.02	25,4		7,97	32,62	0.02	77,7
	7,97	32,62	0.03	24,3		7,97	32,62	0.03	73,8
	7,97	32,62	0.04	23,3		7,97	32,62	0.04	70,7
	7,97	32,62	0.05	22,8		7,97	32,62	0.05	69,2
	7,97	32,62	0.07	22,6		7,97	32,62	0.07	68,3
	7,97	32,62	0.1	22,3		7,97	32,62	0.1	67,3
	7,97	32,62	0.15	21,7		7,97	32,62	0.15	65,8
	7,97	32,62	0.2	21,3		7,97	32,62	0.2	64,4
	7,97	32,62	0.25	21,1		7,97	32,62	0.25	63,9
15	7,97	32,62	0.015	36,4	35	7,97	32,62	0.015	86
	7,97	32,62	0.02	38,3		7,97	32,62	0.02	91
	7,97	32,62	0.03	36,5		7,97	32,62	0.03	86,5
	7,97	32,62	0.04	35,1		7,97	32,62	0.04	82,8
	7,97	32,62	0.05	34,3		7,97	32,62	0.05	81
	7,97	32,62	0.07	33,9		7,97	32,62	0.07	80
	7,97	32,62	0.1	33,5		7,97	32,62	0.1	78,7
	7,97	32,62	0.15	32,7		7,97	32,62	0.15	77
	7,97	32,62	0.2	32		7,97	32,62	0.2	75,4
	7,97	32,62	0.25	31,7		7,97	32,62	0.25	74,8
20	7,97	32,62	0.015	48,8	40	7,97	32,62	0.015	98,4
	7,97	32,62	0.02	51,4		7,97	32,62	0.02	104
	7,97	32,62	0.03	48,9		7,97	32,62	0.03	99,2
	7,97	32,62	0.04	46,9		7,97	32,62	0.04	95
	7,97	32,62	0.05	45,9		7,97	32,62	0.05	93
	7,97	32,62	0.07	45,3		7,97	32,62	0.07	91,7
	7,97	32,62	0.1	44,7		7,97	32,62	0.1	90,2
	7,97	32,62	0.15	43,6		7,97	32,62	0.15	88,3
	7,97	32,62	0.2	42,7		7,97	32,62	0.2	86,5
	7,97	32,62	0.25	42,4		7,97	32,62	0.25	85,8

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Результаты скоростей ветра в зоне турбины при вариации угла атаки конуса
путем изменения его толщины

ϑ_i , m/s	α , ⁰	L, m	ϑ_{max} , m/s	ϑ_i , m/s	α , ⁰	L, m	ϑ_{max} , m/s
5	2,3	0,02	12,7	25	2,3	0,02	61,6
	4,6	0,04	11,2		4,6	0,04	59,5
	6,86	0,06	10,9		6,86	0,06	55,4
	9,14	0,08	10,5		9,14	0,08	53,2
	11,42	0,1	10,6		11,42	0,1	54
	13,68	0,12	10,1		13,68	0,12	50,7
	15,84	0,14	10,2		15,84	0,14	51,8
	18,18	0,16	9,43		18,18	0,16	47,9
	20,4	0,18	9,3		20,4	0,18	47,1
	22,62	0,2	8,44		22,62	0,2	42,4
10	2,3	0,02	25,8	30	2,3	0,02	74,2
	4,6	0,04	24,3		4,6	0,04	71,1
	6,86	0,06	22,5		6,86	0,06	67,2
	9,14	0,08	21,1		9,14	0,08	64,1
	11,42	0,1	21,3		11,42	0,1	65,1
	13,68	0,12	20,2		13,68	0,12	61
	15,84	0,14	20,6		15,84	0,14	62,3
	18,18	0,16	19		18,18	0,16	57,6
	20,4	0,18	18,7		20,4	0,18	56,7
	22,62	0,2	16,9		22,62	0,2	50,9
15	2,3	0,02	36,6	35	2,3	0,02	86,7
	4,6	0,04	34,7		4,6	0,04	83,2
	6,86	0,06	32,3		6,86	0,06	78,8
	9,14	0,08	31,7		9,14	0,08	75,1
	11,42	0,1	32,1		11,42	0,1	76,3
	13,68	0,12	30,3		13,68	0,12	71,5
	15,84	0,14	30,9		15,84	0,14	72,9
	18,18	0,16	28,6		18,18	0,16	67,4
	20,4	0,18	28,1		20,4	0,18	66,3
	22,62	0,2	25,4		22,62	0,2	59,6
20	2,3	0,02	49,1	40	2,3	0,02	99,4
	4,6	0,04	47,2		4,6	0,04	97,2
	6,86	0,06	43,7		6,86	0,06	93,7
	9,14	0,08	42,4		9,14	0,08	89,7
	11,42	0,1	43		11,42	0,1	87,2
	13,68	0,12	40,5		13,68	0,12	82
	15,84	0,14	41,3		15,84	0,14	83,6
	18,18	0,16	38,2		18,18	0,16	77,2
	20,4	0,18	37,6		20,4	0,18	76
	22,62	0,2	33,8		22,62	0,2	68,3

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Результаты скоростей ветра в зоне турбины при вариации угла атаки конуса
путем изменения его длины

ϑ_i , m/s	α , °	ϑ_{max} , m/s	ϑ_i , m/s	α , °	ϑ_{max} , m/s
5	2,3	12,7	25	2,3	61,6
	2,86	12,8		2,86	65,9
	3,81	12,9		3,81	66,3
	5,71	12,9		5,71	66,3
	11,31	12,9		11,31	65,9
	15,95	12,8		15,95	65,4
	18,44	12,9		18,44	66,3
	21,8	12,8		21,8	65,2
	26,57	12,9		26,57	66,3
	33,69	12,7		33,69	65,3
	45	12,6		45	64,5
10	2,3	25,8	30	2,3	74,2
	2,86	25,9		2,86	79,4
	3,81	26,1		3,81	79,9
	5,71	26,1		5,71	79,9
	11,31	26		11,31	79,3
	15,95	25,7		15,95	78,8
	18,44	26,1		18,44	80
	21,8	25,9		21,8	79,3
	26,57	26		26,57	79,9
	33,69	25,7		33,69	78,2
	45	25,4		45	77,7
15	2,3	36,6	35	2,3	86,7
	2,86	39,1		2,86	91,3
	3,81	39,4		3,81	93,7
	5,71	39,4		5,71	93,7
	11,31	39,2		11,31	92,8
	15,95	38,8		15,95	92,4
	18,44	39,4		18,44	93,7
	21,8	39,1		21,8	92,9
	26,57	39,3		26,57	93,6
	33,69	35,7		33,69	92,2
	45	32,3		45	91,1
20	2,3	49,1	40	2,3	99,4
	2,86	52,5		2,86	107
	3,81	52,8		3,81	108
	5,71	52,8		5,71	108
	11,31	52,5		11,31	106
	15,95	52,1		15,95	106
	18,44	52,8		18,44	108
	21,8	52,4		21,8	107
	26,57	52,8		26,57	108
	33,69	52		33,69	106
	45	51,3		45	105

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Результаты скоростей ветра в зоне турбины при вариации угла атаки кровли здания путем изменения ее высоты

ϑ_i , m/s	α , ⁰	ϑ_{max} , m/s	ϑ_i , m/s	α , ⁰	ϑ_{max} , m/s
5	5,71	12,3	25	5,71	62,5
	11,3	12,6		11,3	64,8
	16,7	13		16,7	66,6
	21,8	13,6		21,8	69,2
	26,57	14,1		26,57	71,7
	30,96	14,6		30,96	74,2
	35	15,3		35	76,7
10	5,71	24,7	30	5,71	75,4
	11,3	25,3		11,3	78
	16,7	26,2		16,7	80,3
	21,8	27,3		21,8	83,2
	26,57	28,3		26,57	86,6
	30,96	29,5		30,96	89,9
	35	30,8		35	93,8
15	5,71	37,2	35	5,71	88,3
	11,3	38,5		11,3	91,4
	16,7	39,6		16,7	94,1
	21,8	41,1		21,8	97,9
	26,57	42,7		26,57	100,7
	30,96	44,3		30,96	102,5
	35	46,4		35	106,3
20	5,71	49,8	40	5,71	101
	11,3	51,6		11,3	105
	16,7	53		16,7	108
	21,8	55,1		21,8	113
	26,57	57,1		26,57	117
	30,96	59,3		30,96	122
	35	62,2		35	128

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

Результаты скоростей ветра в зоне турбины при вариации угла атаки кровли автономного дома путем изменения ее площади основания

ϑ_i , m/s	α , ⁰	ϑ_{\max} , m/s	ϑ_i , m/s	α , ⁰	ϑ_{\max} , m/s
5	10,3	12,6	25	10,3	64,7
	12,53	12,6		12,53	64,3
	15,95	12,4		15,95	64,1
	18,43	12,5		18,43	63,9
	21,8	12,4		21,8	63,9
	26,57	12,6		26,57	64,1
	33,7	12,5		33,7	64
10	10,3	25,5	30	10,3	78
	12,53	25,4		12,53	77,5
	15,95	25,1		15,95	76,7
	18,43	25,1		18,43	77
	21,8	25,1		21,8	77
	26,57	25,3		26,57	77,1
	33,7	25,1		33,7	77,2
15	10,3	38,3	35	10,3	91,4
	12,53	38,2		12,53	90,8
	15,95	37,9		15,95	90,1
	18,43	37,9		18,43	90,2
	21,8	37,9		21,8	90,2
	26,57	38,1		26,57	90,6
	33,7	38,1		33,7	90,5
20	10,3	51,5	40	10,3	105
	12,53	51,2		12,53	104
	15,95	50,7		15,95	103
	18,43	50,9		18,43	104
	21,8	50,9		21,8	104
	26,57	51,1		26,57	104
	33,7	51		33,7	104

ПРИЛОЖЕНИЕ С

Патент на полезную модель «Эффективная ветроэнергетическая установка закрытого типа»

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ **РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН**

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ
PATENT

№ 4903

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL

 (21) 2019/1110.2

(22) 18.12.2019

Қазақстан Республикасы Пайдалы модельдер мемлекеттік тізілімінде тіркеу күні / Дата регистрации в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан / Date of the registration in the State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan: 28.04.2020

(54) Жабық түрдегі тиімді жел энергетикалық қондырғы
Эффективная ветроэнергетическая установка закрытого типа
Efficient closed-type wind power plant

(73) Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрінің "әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті" шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорны (KZ)
Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Казахский национальный университет имени аль-Фараби" Министерства образования и науки Республики Казахстан (KZ)
"Al-Farabi Kazakh National University" Republican State Enterprise on the Right of Economic Management of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (KZ)

(72) Бекбаев Амангельды (KZ) Бекбаев Амангельды (KZ)
Шахенов Калижан Бахытжанович (KZ) Shakenov Kalizhan Bakhytzhonovich (KZ)
Төлеміс Мәрлен Төлемісұлы (KZ) Tolemis Marlen Tolemisuly (KZ)

 ЭЦҚ қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed by EDS

Е. Қуантыров
Е. Қуантыров
Y. Kuantirov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ директоры
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

Патент на полезную модель «Ветроэнергетическая установка закрытого типа»

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ПАТЕНТ
PATENT**

№ 3942

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL



(21) 2018/0653.2

(22) 11.09.2018

Қазақстан Республикасы пайдалы модельдер мемлекеттік тізілімінде тіркеу күні
/ Дата регистрации в Государственном реестре полезных моделей Республики
Казахстан / Date of the registration in the State Register of Utility Models of the
Republic of Kazakhstan: 26.04.2019

(54) Жабьқ түрдегі жел энергетикалық кондырғы
Ветроэнергетическая установка закрытого типа
Closed type wind turbine

(73) Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің "әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті" шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорны (KZ)
Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Казахский национальный университет имени аль-Фараби" Министерства образования и науки Республики Казахстан (KZ)
"Al-Farabi Kazakh National University" Republican State Enterprise on the Right of Economic Management of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (KZ)

(72) Бекбаев Амангельды Бекбаевич (KZ)
Шакенов Калижан Бахытжанович (KZ)
Төлеміс Мәрлен Төлемісұлы (KZ)

Bekbayev Amangeldi Bekbayevich (KZ)
Shakenov Kalizhan Bakhytzhonovich (KZ)
Tolemis Marlen Tolemisuly (KZ)



Ж. Оманов

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директорының м.а.
И.о. директора РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Executive director of RSE «National institute of intellectual property»

ПРИЛОЖЕНИЕ У

Патент на полезную модель «Секционный генератор с постоянными магнитами»

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ПАТЕНТ
PATENT**

№ 4905

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL

 (21) 2019/1111.2
(22) 18.12.2019

Қазақстан Республикасы Пайдалы модельдер мемлекеттік тізілімінде тіркеу күні / Дата регистрации в Государственном реестре полезных моделей Республики Казахстан / Date of the registration in the State Register of Utility Models of the Republic of Kazakhstan: 28.04.2020

(54) Тұрақты магнитті секциялы синхронды генератор
Секционный синхронный генератор с постоянными магнитами
Sectional permanent magnet synchronous generator

(73) Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің "ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті" шаруашылық жүргізу құқығындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорыны (KZ)
Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Казахский национальный университет имени аль-Фараби" Министерства образования и науки Республики Казахстан (KZ)
"Al-Farabi Kazakh National University" Republican State Enterprise on the Right of Economic Management of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (KZ)

(72) Бекбаев Амангельды (KZ) Bekbayev Amageldy (KZ)
Шахенов Калижан Бахытжанович (KZ) Shakenov Kalizhan Bakhytzhonovich (KZ)
Төлеміс Мәрлен Төлемісұлы (KZ) Tolemis Marlen Tolemisuly (KZ)

 ЭЦҚ қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed by EDS

Е. Қуантыров
Е. Қуантыров
Y. Kuantyrov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ директоры
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE