

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Отделение машиностроения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование коэффициента полезного действия ветрогенератора с вертикальной осью вращения

УДК 621.548.4.011

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Рюмин Егор Евгеньевич		04.06.22

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ	Коротков В.С.	К.Т.Н.		04.06.22

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Гасанов М.А.	Д.Э.Н., профессор		01.06.22

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ИШНКБ ТПУ	Антоневич О.А.	Д.Т.Н., профессор		04.06.22

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении	Мартюшев Н.В.	К.Т.Н.		04.06.22

Результаты обучения по ООП Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа
УК(У)-3	Способность организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия (-ий), анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-5	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения
УК(У)-6	Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, а также использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способность организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов

ОПК(У)-6	Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способность разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-4	Способность подготавливать заявки на изобретения и промышленные образцы, организовывать работы по осуществлению авторского надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и с даче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения
ПК(У)-5	Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности

	и координировать работу персонала при комплексном решении инновационных проблем в машиностроении
ПК(У)-6	Способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов машиностроительного производства
ПК(У)-7	Способность организовать развитие творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрение достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использование передового опыта, обеспечивающих эффективную работу подразделения, предприятия
ПК(У)-8	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
ПК(У)-11	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-12	Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности
ПК(У)-13	Способность применять новые современные методы разработки технологических процессов изготовления изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности с определением рациональных технологических режимов работы специального оборудования в машиностроении

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
Отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Мартюшев Н.В.
«__» _____ 2022 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ01	Рюмину Егору Евгеньевичу

Тема работы:

Исследование коэффициента полезного действия ветрогенератора с вертикальной осью вращения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№55-45/с от 24.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	— Ветрогенераторная установка вертикального типа; — Электродвигатель RS-380SH-16120, U=7.2 В; — Режим работы периодический; — Скорость ветра – 12 м/с. — Плотность воздуха 1,225 кг/м³
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обоснование результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	— Литературный обзор; — Совершенствование геометрии лопастей ротора Савониуса; — Проектирование испытательного стенда; — Экспериментальное определение факторов, влияющих на КПД ветрогенераторной установки с вертикальной осью вращения;

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint 24 слайда)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Исследовательский	Коротков В.С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А.
Социальная ответственность	Антоневич А.О.
Обязательное приложение на английском языке	Сыскина А.А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Introduction, literary review, basic wind turbine designs	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.12.2020
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ	Коротков В.С.	к.т.н.		25.12.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Рюмин Егор Евгеньевич		25.12.2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 105 страниц, 30 рисунков, 4 таблицы, 17 источников.

Ключевые слова: ветрогенератор, вертикальная ось, лопасти, ветроэнергетика, ротор, генератор, КПД ветрогенераторной установки.

Актуальность исследовательской работы обусловлена тем, что благодаря ветрогенераторам, происходит выработка «чистой» энергии. Энергия ветра является возобновляемым природным ресурсом. Выработка энергии таким способом, помогает сохранить атмосферу Земли от загрязнений. Ветрогенераторы находят широкое применение на объектах, удаленных от электросетей.

Объектом исследования является ветрогенераторная установка вертикального типа.

Целью работы является повышение КПД ветрогенераторной установки вертикального типа.

Методы исследования: анализ, эксперимент, измерение, сравнение.

В процессе работы исследовано влияние геометрии лопастей и заслонки на КПД ветрогенераторной установки вертикального типа. Проведены стендовые испытания, экспериментально подтверждены факторы, влияющие на КПД ветрогенераторной установки.

Область применения: ветрогенераторы с вертикальной осью вращения – удаленные производственные объекты, оживленные автомагистрали, фермерские хозяйства и пр.

Практическая новизна заключается в получении экспериментальных данных, влияющих на КПД ветрогенераторов с разными видами лопастей, с заслонкой и без нее. В ходе исследований усовершенствована конструкция ротора для ветрогенераторной установки с повышенным КПД.

Практическая значимость: может применяться в сельском хозяйстве, на производственных объектах в удаленных участках местности, в частных домах, оживленных автомобильных магистралях.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	12
1.1. Литературный обзор.....	12
1.2. Общие сведения о ветрогенераторах.....	13
1.3. Основные конструкции ветрогенераторных установок	14
1.4. Особенности конструкции исследуемого варианта ветрогенераторной установки	21
1.5. Определение КПД ветрогенераторной установки	22
2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ.....	29
2.1. Проектирование лопастей для экспериментальной установки	29
2.1. Проектирование лабораторного стенда	32
ВЫВОДЫ.....	35
3 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	38
3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности... 39	
3.2. Производственная безопасность	41
3.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	42
Заключение по разделу социальная ответственность	53
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	58
4.1. Предпроектный анализ.....	58
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования	58
4.1.2. Анализ конкурентных решений.....	59
4.1.3. SWOT-анализ.....	64
4.2. Планирование научно-исследовательских работ	68
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	68
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	70
4.3. Бюджет научного исследования.....	75
4.3.1. Расчет материальных затрат научного исследования.....	76
4.3.2. Расчет амортизации специального оборудования	76
4.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы	77

4.3.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала	80
4.3.5. Отчисления на социальные нужды.....	80
4.3.6. Накладные расходы.....	81
4.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	81
4.4. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	82
4.4.1. Интегральный показатель финансовой эффективности.....	82
4.4.2. Интегральный показатель ресурсоэффективности	83
4.4.3. Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки.....	84
Вывод по разделу финансовый менеджмент.....	85
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	87
Приложение 1	89

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследовательской работы обусловлена тем, что благодаря ветрогенераторам, происходит выработка «чистой» энергии. Выработка энергии подобным способом, помогает сохранить атмосферу Земли от загрязнений.

Ветрогенераторы находят широкое применение на объектах, удаленных от электросетей. Это значит, что конструкция ветрогенератора должна быть максимально проста и надежна, исключая частое техническое обслуживание. По данному критерию идеально подходит ветрогенератор на основе ротора Савониуса. Существенным недостатком данного ротора является его низкий КПД.

Данная исследовательская работа посвящена исследованию влияния геометрии лопастей и заслонки на КПД ветрогенераторной установки вертикального типа.

Объект исследования: ветрогенераторная установка вертикального типа.

Предметом исследования: Факторы, влияющие на КПД ветрогенераторной установки вертикального типа.

Цель исследования: повышение КПД ветрогенераторной установки вертикального типа.

Задачи исследования:

- разработать несколько вариантов конструкций лопастей ветрогенератора;
- разработать конструкцию испытательного стенда;
- произвести экспериментальное исследование факторов, влияющих на КПД ветрогенераторной установки с различными типами лопастей с использованием заслонки и без нее.

Практическая новизна заключается в установлении влияния геометрии лопастей и наличия ветровой заслонки на КПД ветрогенераторной установки.

Практическая значимость: может применяться в сельском хозяйстве, на производственных объектах в удаленных участках местности, в частных домах, оживленных автомобильных магистралях.

1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Литературный обзор

Первым упоминанием устройств, использующих силу ветра на благо человечества, датировались примерно IX веком. Это были мельницы, функция которых – подача вода и помол зерна [1].

Первую ветроэнергетическую установку построил в 1887 году шотландский профессор Джеймс Блайт [2].

В 1931 году был создан первый ветрогенератор с вертикальной осью вращения. Создателем является французский изобретатель Жорж Дарье [3]. Благодаря новой конструкции, ветряк мог работать при любом направлении ветра, а вертикальная компоновка позволяла размещать редуктор и генератор на земле. Это позволяло экономить на материалах и обслуживании станции.

В 1925 году была разработана теория быстроходного ветродвигателя. Авто трудов российский профессор Жуковский Н.Е. Под его руководством, был заложен научный фундамент по изучению и созданию высокопроизводительных ветрогенераторных установок. Фатеев Е.М., Сабинин Г.Х., Секторов Р.В., Красовский Н.В. – это имена советских ученых и инженеров, которые также внесли большой вклад в развитие советской ветроэнергетики. Ими были обоснованы новые схемы и конструкции установок, способные вырабатывать до 100 кВт мощности [3].

В 1938 году была создана ветрогенераторная установка, способная вырабатывать 5 МВт мощности. В то время, это самая большая вырабатываемая мощность от энергии ветра. Уже к 1950 годам отечественное производство выпускало до десяти тысяч ветрогенераторных установок мощностью в 30 кВт [4].

1.2. Общие сведения о ветрогенераторах

Принцип работ ветряных электрогенераторных установок прост – они используют энергию ветра для выработки электричества. Ветер вращает турбину, которая вращает вал генератора, вырабатывающий электричество.

Ветряная турбина превращает энергию ветра в электричество, используя аэродинамическую силу лопастей ротора, которые работают как крыло самолета или лопасти винта вертолета. Когда ветер обдувает лопасть, давление воздуха на одной стороне лопасти уменьшается. Разница в давлении воздуха по обеим сторонам лопасти создает как подъемную силу, так и сопротивление. Подъемная сила больше, чем сопротивление, и это заставляет ротор вращаться. Ротор соединяется с генератором либо напрямую (если это турбина с прямым приводом), либо через вал и ряд шестерен (редуктор), которые ускоряют вращение и позволяют физически уменьшить генератор. Это и создает электричество [5].

В основном есть две большие группы ветряных турбин, которые классифицируются в соответствии с ориентацией вала турбины. Это турбины с вертикальной осью и турбины с горизонтальной осью [6]. Турбины с горизонтальной осью, которые можно найти на большинстве ветряных электростанций, состоят из: фундамента, башни, гондолы с силовой передачей, ротора и лопастей.

Согласно руководству по мини-ветряным технологиям [7], в случае ветряных турбин с горизонтальной осью ротор может быть наветренным или подветренным. Ротор большинства ветряных турбин расположен с наветренной стороны от башни, а это означает, что им требуется какая-либо система управления. В случае подветренного ротора ротор является самоориентирующимся, что упрощает его конструкцию.

Турбины с горизонтальной осью более эффективны, чем турбины с вертикальной осью, более проверены, дешевле, и есть из чего выбирать.

Однако им трудно поддерживать непрерывную ориентацию, и их эффективность снижается при работе в турбулентном режиме.

Турбины с вертикальной осью ориентированы в преобладающем направлении ветра из-за их симметрии, менее чувствительны к условиям высокой турбулентности и производят меньшую вибрацию, что делает их идеальными для интеграции на городских зданиях. С другой стороны, их эффективность ниже по сравнению с горизонтальной осью. Существует два типа вертикальных турбин: основанные на сопротивлении и на подъемной силе. Первый менее эффективен, но обычно менее надежен [8].

В 2021 году ветер дал более 1800 ТВт/ч электроэнергии, что составило более 6% мировой электроэнергии и около 2% мировой энергии. С добавлением около 100 ГВт в течение 2021 года, в основном в Китае и США, глобальная установленная мощность ветровой энергии превысила 800 ГВт [9].

1.3. Основные конструкции ветрогенераторных установок

В настоящее время развитие получили два основных вида ветрогенераторных установок (ВГУ) – с вертикальной осью вращения и с горизонтальной осью вращения.

ВГУ с горизонтальной осью вращения имеет следующую конструкцию: лопасти ротора направлены по ветру, а редуктор, генератор и вал ротора расположены в верхней части установки – на мачте (рис. 1).

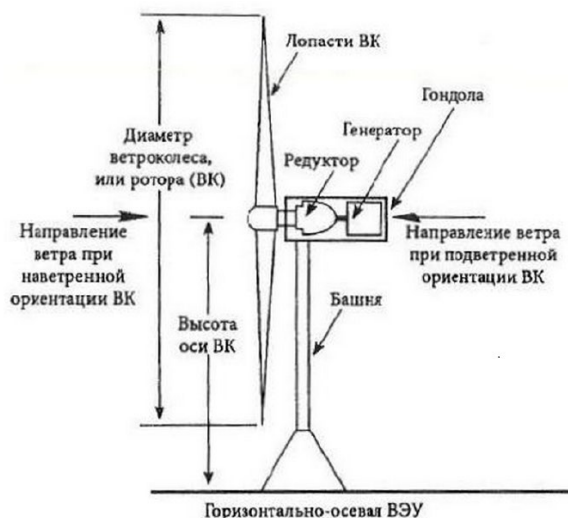


Рисунок 1. Горизонтально-осевая ВЭУ

Ориентация лопастей осуществляется флюгерной системой. На более массивных установках ориентация осуществляется при помощи электронных систем.

Пропеллерный ротор для ветрогенераторов является классическим. Роторы бывают одного, двух, трех или много лепестковые (рис. 2).

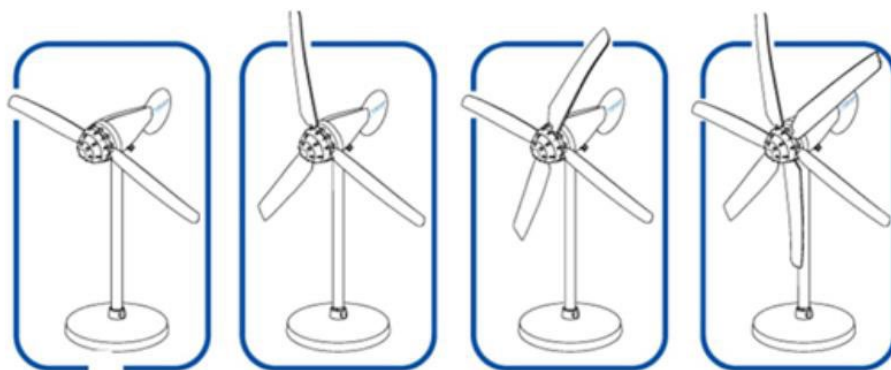


Рисунок 2. Виды горизонтальных роторов пропеллерного типа

Главным достоинством ветрогенераторов данного типа является их высокий КПД, за счет небольших разбросов углов атаки в рабочем режиме. Стоит добавить, что существует возможность изменения направления лопасти при помощи электроники. Благодаря этому определяются оптимальные углы поворота пропеллера, что положительно сказывается на КПД установки [10].

Главным недостатком таких ветрогенераторов являются высокие знакопеременные нагрузки, а также вибрация и высокий шум, исходящий от установки. Кроме этого, ветрогенераторы горизонтального типа требуют тщательной проработки устройств ориентирования лопастей относительно потоков воздуха, что напрямую влияет на КПД установки. Ветрогенераторы с вертикальной осью вращения лишены данных недостатков.

Вертикальный ветрогенератор – это устройство, с вертикальной осью вращения, которая направлена перпендикулярно относительно потока воздуха. Для ветрогенератора с вертикальной осью вращения выделяются следующие преимущества:

- Простота конструкции;
- Низкая скорость страгивания;
- Возможность установки приводного оборудования на землю;

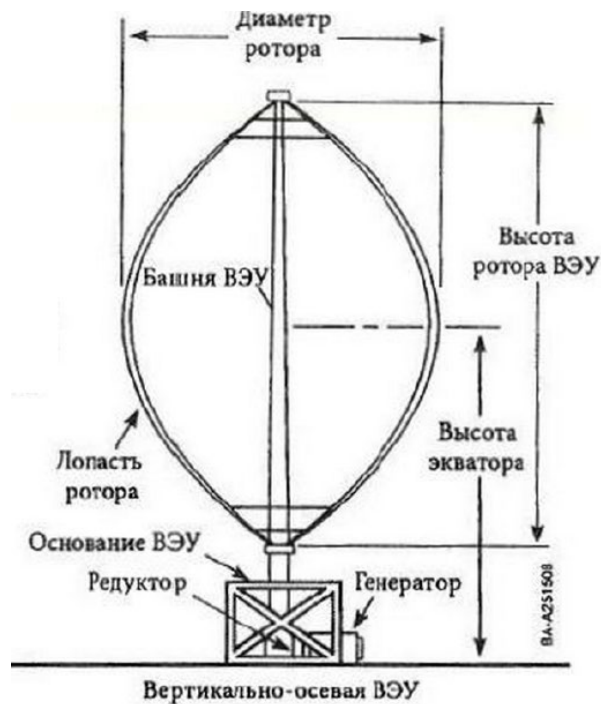


Рисунок 3. Вертикально-осевая ВЭУ

Выделяют пять основных видов лопастей для ветрогенераторов с вертикальной осью вращения:

- Савониуса
- Дарье
- геликоидный
- ортогональный
- многолопастной

Лопастей ротора Савониуса выполнены в виде двух тонкостенных полуцилиндров. Разность сопротивлений, создаваемая воздушными потоками при обдувании лопастей ротора, заставляет его крутиться. Не стоит забывать и о форме лопастей, благодаря которым ротор Савониуса является одним из самых эффективных роторов для вертикальных ветрогенераторов [11]. Особенности конструкции данного ротора в том, что эффективность его

работы не зависит от направления воздушного потока, поскольку он всегда направлен по ветру.

Данный ротор является самым тихоходным. Коэффициент использования энергии ветра составляет всего 17-18%.

Достоинствами ротора являются низкий уровень шума и вибраций, простота конструкции, отсутствие зависимости от направления ветра, а также низкая скорость страгивания. Это значит, что ротор отлично работает на низких скоростях ветра [12].

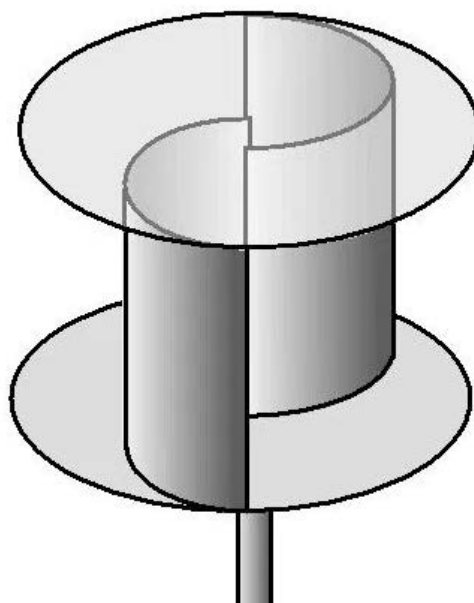


Рисунок 4. Ротор Савониуса

Конструкция ротора Дарье представляет собой три лопасти, закрепленные на радиальных балках. Существуют три типа роторов Дарье:

- Классический. Форма лопастей - полумесяц. Размеры ротора сопоставимы с общей высотой ВЭУ.
- Н-образный. Форма лопастей – прямая. Количество лопастей – три. Три крыла, имеющие прямую форму и расположенные относительно горизонтальных опор под прямым углом, находятся в верхней части конструкции. Опоры крепятся к несущей оси. Достоинства этой конструкции — быстроходность, высокая эффективность, полное отсутствие инфразвука. Ротор Н-образного типа прост в сборке и ремонте,

надежней классической ветровой турбины Дарье, дешевле — и поэтому распространен в применении.

- Винтообразный тип. Лопасти изготовлены в виде изогнутых спиралей. Они также расположены на верхнем отсеке несущей оси вращения. Благодаря закрученной форме крыльев, вращение ротора происходит равномернее. Благодаря этому нагрузка на несущие узлы снижается, а срок службы механизма увеличивается.

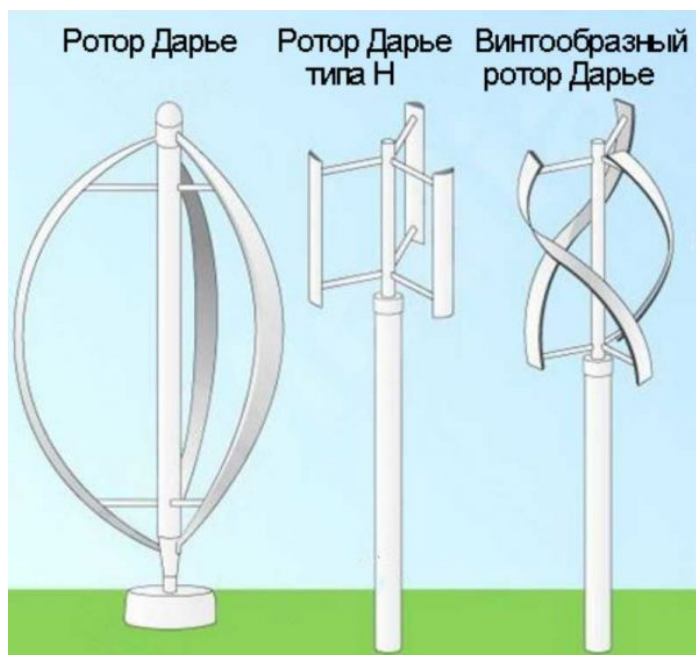


Рисунок 5. Разновидности роторов Дарье

Каждый из трех типов имеет свои недостатки. Классическая ветровая установка обладает меньшей эффективностью. Установке с ротором Дарье необходимы генераторы. Самостоятельно она запускаться и раскручиваться не может. При сильных, ураганных порывах ветра механизм может начать функционировать самостоятельно, при этом процесс трудно поддается контролю [13].

Устройство Н-образного типа легкое в эксплуатации, но быстро изнашивается из-за больших аэродинамических нагрузок. Спиральный ветрогенератор за счет своей конструкции надежней, но технология его изготовления сложна, поэтому он стоит дорого.

Неоспоримое достоинство ротора всех видов — отсутствие зависимости от силы и направления ветрового потока. Допустимо расположение на прилегающей территории иных сооружений, что облегчает проведение ремонтных работ.

В конструкции геликоидного ротора используются лопасти с закрученной формой. Как правило, они располагаются вдоль всей вертикальной оси ветрогенератора (рис. 6).

Достоинством геликоидного ротора является равномерность вращения, которой способствует форма лопастей и надежность. К недостаткам можно отнести повышенный фоновый шум, а также высокую стоимость ротора. Лопасти подобной формы дороги в изготовлении [14].



Рисунок 6. Геликоидный ротор

Достоинствами ортогональных ветрогенераторов являются высокая ремонтпригодность и простота эксплуатации.

Ввиду нестандартного расположения лопастей, возникают высокие динамические нагрузки, что отрицательно сказывается на сроке службы узлов ветрогенератора. Сравнивая аналогичные установки эквивалентной мощности, ВЭУ с ортогональным ротором является более массивной, а эффективность работы является ниже, чем у горизонтальных ВЭУ т.к. в процессе одного оборота ротора, углы атаки потока ветра на лопасть меняются

в широких диапазонах, в то время как в горизонтальных ветрогенераторах их можно выставлять близкими к оптимальным [15].



Рисунок 7. Ортогональный ротор

Многолопастной ротор считают модернизацией ортогонального. В конструкции ортогонального ротора используется два ряда лопастей. Первый ряд является направляющим, помогающий уловить ветряной поток и правильно его ориентировать на второй ряд лопастей. Он располагается внутри ротора. Наружный ряд является статичным, а внутренний – динамичным.

Преимуществом многолопастного ротора считают высокий коэффициент использования ветра и способность работать на малых скоростях ветра.

Недостатками являются сложность и дороговизна изготовления, высокий уровень создаваемого шума.



Рисунок 8. Многолопастной ветрогенератор

1.4. Особенности конструкции исследуемого варианта ветрогенераторной установки

За основу выбрана ветрогенераторная установка вертикального типа с ротором Савониуса.

Данная установка состоит из вертикального вала, в верхней части которого установлены лопасти, а в нижней – все необходимые электронные компоненты.

При всей его простоте, у роторов данного типа существует один главный недостаток – низкий КПД.

Обычная турбина Савониуса имеет полукруглую лопатку. Она работает на основе разницы силы сопротивления между этими двумя лопастями. Из-за профиля лопасти по отношению к набегающему потоку продвигающаяся лопасть испытывает большую силу сопротивления, чем возвращающаяся лопасть, как показано на рисунке 9. Чистый крутящий момент, приводящий в движение турбину, создается из-за этой разницы сил сопротивления. Сила сопротивления на возвращающейся лопасти создает отрицательный крутящий момент, который противодействует вращательному движению турбины, а это означает, что энергия теряется для преодоления этого крутящего момента.

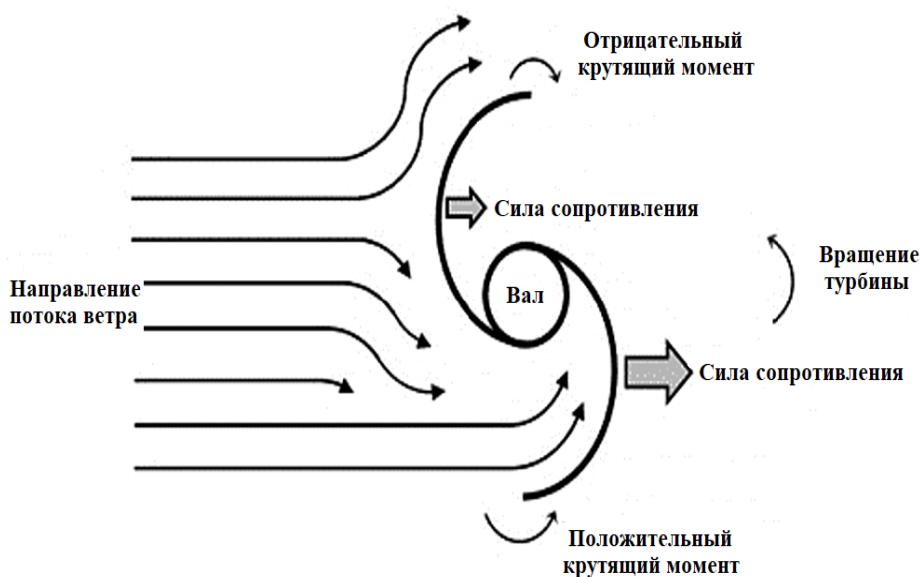


Рисунок 9. Принцип работы ротора Савониуса

Устанавливая на пути движения воздушного потока заслонку, предполагаем, что отрицательный момент уменьшится до незначительных пределов за счет отражения части воздушного потока, чем обеспечим увеличение скорости вращения лопасти, а значит и увеличение КПД.

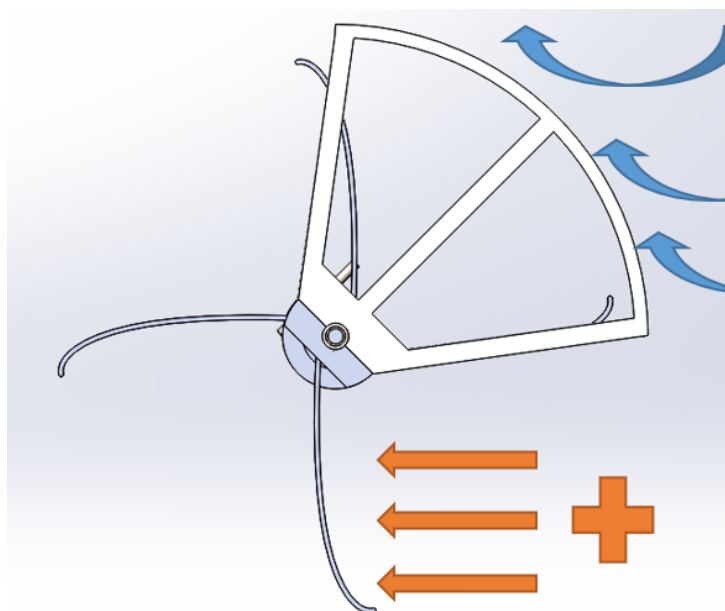


Рисунок 10. Схема воздействия воздушного потока на лопасть с заслонкой

Прогнозируемые преимущества использования ветровой заслонки:

- увеличение КПД установки до 20-40% за счет отсекаания отрицательных потоков воздуха;
- возможность работы установки при относительно небольшой скорости ветра;
- уменьшение нагрузки на ось и подшипники ветрогенератора.

1.5. Определение КПД ветрогенераторной установки

Определение коэффициента полезного действия происходит по следующей формуле:

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{ВХ}}$ – максимально возможная мощность на роторе, Вт;

$P_{\text{ВЫХ}}$ – вырабатываемая мощность генератора, Вт.

Вырабатываемая мощность $P_{\text{ВХ}}$ находится по следующей формуле:

$$P_{\text{ВХ}} = \frac{\zeta \cdot \rho \cdot V^3 \cdot S}{2}, \quad (2)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

V – скорость ветра м/с;

S – площадь ометания, м²;

ζ – коэффициента ветроиспользования.

Площадь ометания определим как произведение высоты ротора на его диаметр:

$$S = D \cdot H = 0,150 \cdot 0,195 = 0,029 \text{ м}^2,$$

где D – диаметр ротора, м;

H – высота ротора, м.

Плотность воздуха примем $\rho = 1,225$ [кг/м³], как для стандартных условий. Коэффициент ветроиспользования примем $\zeta = 0,08$.

Таким образом, максимально возможная мощность на роторе будет равна:

$$P_{\text{ВХ}} = \frac{0,08 \cdot 1,225 \cdot 10^3 \cdot 0,029}{2} = 2,45 \text{ Вт}$$

Вырабатываемая мощность генератора $P_{\text{ВЫХ}}$ зависит от силы тока и напряжения:

$$P_{\text{ВЫХ}} = IU, \quad (3)$$

где I – сила тока, А;

U – напряжение, В.

Для испытаний разработаны различные формы лопастей (см. п. 2.1.), которые имеют различные аэродинамические характеристики, влияющие на эффективность работы ветроустановки. Лопастей изготовлены из ABS пластика при помощи технологии 3Д печати. Список лопастей с присвоенным порядковым номером, представлен ниже:

- с тремя прямыми сегментами - I;
- с четырьмя прямыми сегментами - II;
- с первым типом скругления (два сегмента) - III;
- с первым типом скругления (три сегмента) - IV;
- со вторым типом скругления (два сегмента) - V;
- со вторым типом скругления (три сегмента) - VI;
- с третьим типом скругления (два сегмента) - VII;
- с третьим типом скругления (два сегмента) - VIII;
- с дополнительной площадкой (два сегмента) - IX;
- с дополнительной площадкой (четыре сегмента) - X;



Рисунок 11. Лопастей, используемые в ходе эксперимента

Подготовка к испытаниям осуществлялась в два этапа:

- Сборка стойки для образцов

- Выставление стойки на нужном расстоянии от турбины. Главным критерием, при выборе расстояние служит скорость ветра, создаваемая турбиной, непосредственно перед лопастью.

Последовательность испытаний:

- Установка образца лопасти на стойку;
- Подключение измерительных приборов;
- Запуск аэродинамической трубы;
- Контроль скорости ветра;
- Фиксирование показаний выдаваемого напряжения (В), силы тока (мА) и количества оборотов (об/мин);
- Установка заслонки перед образцом лопасти;
- Фиксирование показаний выдаваемого напряжения (В), силы тока (мА) и количества оборотов (об/мин);

Показания, полученные в ходе испытаний, внесем в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты измерений

Тип лопасти	Частота вращения, об/мин	Частота вращения с экраном, об/мин	Напряжение, В	Напряжение с экраном, В	Сила тока, мА	Сила тока с экраном, мА
I	0	640	0	0,9	0	61
II	0	822	0,03	1,12	0	86
III	642	812	0,8	1,09	55	75
IV	668	900	0,91	1,12	61	86
V	598	993	0,81	1,31	55	90
VI	720	1070	1,03	1,44	73	92
VII	770	1350	1,12	1,81	86	130
VIII	826	1084	1,04	1,4	73	91
IX	807	1260	1,13	1,72	86	123
X	624	1100	0,86	1,5	60	116

Анализируя полученные данные, видим, что частота вращения ротора с экраном больше, чем без нее (рис.12).



Рисунок 12. Диаграмма сравнения частот вращения

Из диаграммы видно, что увеличение частоты вращения происходит для каждого типа лопасти. На основании чего можно сделать вывод – ветровая заслонка эффективна. Она отводит часть ветрового потока, уменьшая значение противодействующего момента. Увеличение частоты вращения составляет от 20 до 70 процентов.

На основании полученных данных из таблицы 1, используя формулу (4), определим КПД для каждого типа лопастей, с использованием заслонки и без нее. Полученные данные внесем в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты расчетов

	Мощность $P_{вх}, Вт$	Мощность $P_{вых}, Вт$		$\eta, \%$	
		Без заслонки	С заслонкой	Без заслонки	С заслонкой
I	2,45	0	0,05	0	2,04
II		0	0,096	0	3,91
III		0,044	0,081	1,79	3,30
IV		0,055	0,096	2,24	3,91
V		0,044	0,117	1,79	4,77
VI		0,075	0,132	3,06	5,38
VII		0,096	0,235	3,96	9,59
VIII		0,076	0,127	3,10	5,18
IX		0,097	0,211	3,95	8,61
X		0,051	0,174	2,08	7,10

На основании полученных данных из таблицы 2, построим сравнительную гистограмму (рис. 13).

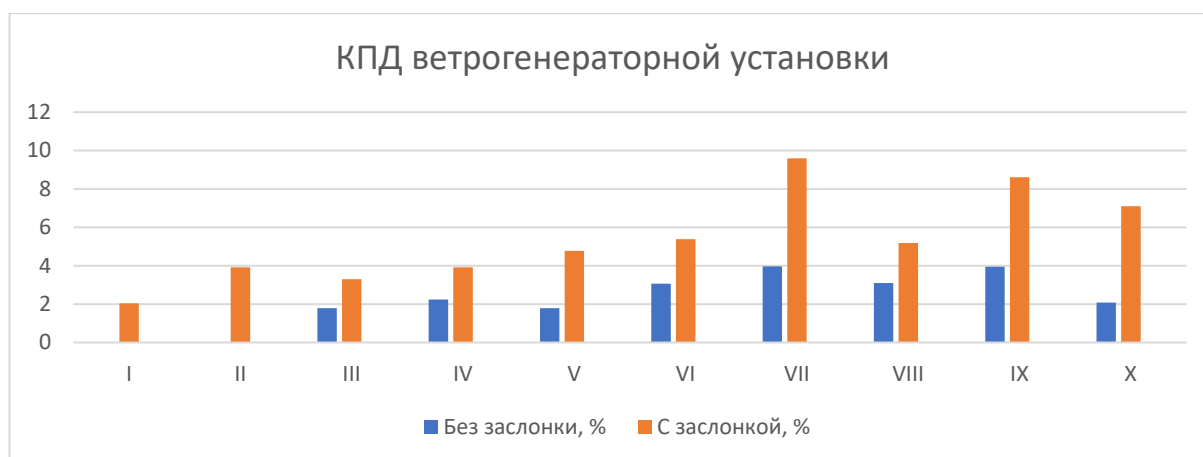


Рисунок 13. Сравнительная гистограмма КПД ветрогенераторной установки

Данные из таблицы 1 и таблицы 2 подтверждают влияние геометрии лопастей на КПД ветрогенераторной установки. Лопасть под порядковым номером VII является самой энергоэффективной. В рамках исследовательской работы, ветрогенератор с данной лопастью показал наибольшее значение КПД, равное 9,59%, тогда как наименьшее значение КПД составляет 2,04%. Средним значением КПД для ВГУ с вертикальной осью вращения является 35-38% [17].

Основываясь на расчетах из таблицы 1, определим прирост эффективности ветровой заслонки для каждого типа лопастей по формуле ($ПР_n$):

$$ПР_n = \frac{(\eta_{nз.} - \eta_{nб.з.})}{\eta_{nб.з.}} \cdot 100\%,$$

где $\eta_{nз.}$ – КПД n-ой лопасти с заслонкой;

$\eta_{nб.з.}$ – КПД n-ой лопасти без заслонки;

Полученные значения указаны в таблице 3.

Таблица 3. Значения прироста эффективности заслонки

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$\Delta_n, \%$	-	-	84,3	74,5	166,5	75,8	142,2	67,0	117,9	153,6

На основании полученных данных, очевидно, что наличие ветровой заслонки значительно повышает КПД ветрогенераторной установки, что также подтверждает влияние ветровой заслонки на численные показания КПД.

2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Проектирование лопастей для экспериментальной установки

В лабораториях NASA, где исследуют аэродинамические показатели летательных аппаратов, используют универсальное уравнение, которое помогает построить геометрию профиля сегмента лопасти, отличающимся отличными характеристиками

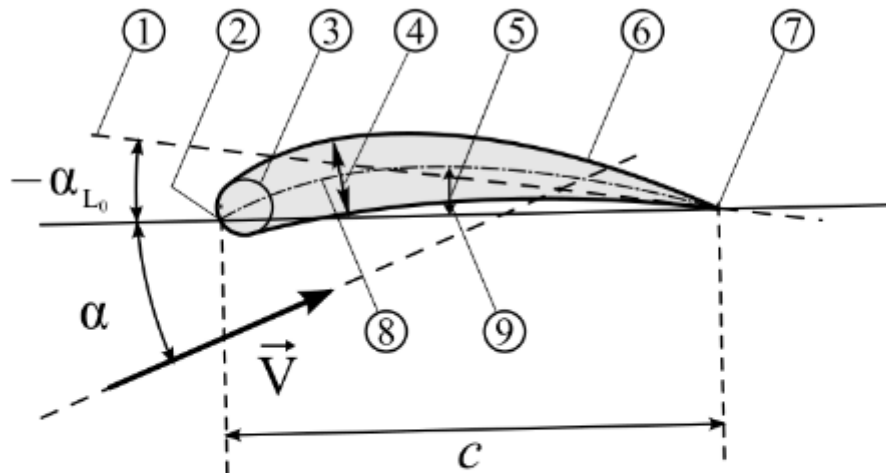
Уравнение для симметричного четырехзначного профиля NASA выглядит следующим образом:

$$y_t = 5t \left[0.2969\sqrt{x} - 0.1260x - 0.3516x^2 + 0.2843x^3 - 0.1015x^4 \right] \quad (4), \text{ где}$$

X – положение по хорде от 0 до 1,00 (от 0 до 100%),

$Y(t)$ – половина толщины при заданном значении x (от оси до поверхности),

T – максимальная толщина в долях хорды.



Геометрия профиля - 1: Линия нулевого подъема; 2: передняя кромка; 3: носовой круг; 4: Макс. толщина; 5: развал; 6: верхняя поверхность; 7: задний край; 8: средняя линия развала; 9: Нижняя поверхность

Рисунок 14. Геометрия профиля по формуле NASA

Создание 3д моделей лопастей с использованием параметрического моделирования в CAD системе SolidWorks

Для правильно проведенного эксперимента, нам требуются лопасти с различными конфигурациями. Для их быстрого моделирования, воспользуемся встроенной функцией «Параметрическое моделирование» в программе SolidWorks.

Создаем эскиз лопасти согласно рисунку 14. В эскизе к каждому размеру по координатам X и Y присваиваем имя «X» и «Y».

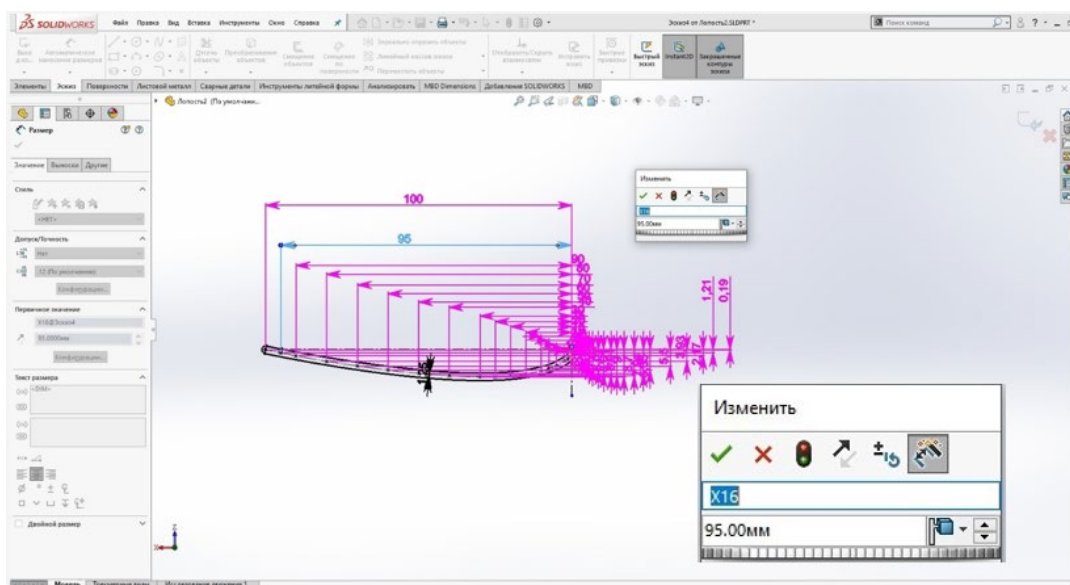


Рисунок 15. Эскиз сегмента лопасти в программе SolidWorks

В Excel создаем таблицу для ввода параметров X, Y(t) и t. Y(t) - задает траекторию лопасти. Далее выбираем диапазон значений, в нашем случае это 18, которые будут соответствовать значению X1. Используя формулу (4), получаем актуальные значение X и Y для большого числа конфигураций.

1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2	x	1	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,075	0,05	0,025	0,0125	0
3	y	0,00189	0,0121	0,02172	0,03935	0,05496	0,06845	0,07941	0,08705	0,09003	0,08912	0,08606	0,08018	0,07024	0,063	0,05332	0,03922	0,02841	0
4	t	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
5																			
6																			
7																			
8	x	0	0,0125	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
9	y	0	0,02841	0,03922	0,05332	0,063	0,07024	0,08018	0,08606	0,08912	0,09003	0,08705	0,07941	0,06845	0,05496	0,03935	0,02172	0,0121	0,00189
10	t	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
11																			
12	x	0	0,0125	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
13	y	0	0,02999	0,0414	0,05628	0,0665	0,07414	0,08463	0,09084	0,09407	0,09503	0,09188	0,08382	0,07225	0,05801	0,04153	0,02292	0,01277	0,00199
14	t	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
15																			
16																			
17	x	0	0,0125	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
18	y	0	0,03157	0,04358	0,05924	0,07	0,07805	0,08909	0,09563	0,09902	0,10003	0,09672	0,08823	0,07606	0,06107	0,04372	0,02413	0,01344	0,0021
19	t	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
20																			
21	x	0	0,0125	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
22	y	0	0,03314	0,04576	0,06221	0,0735	0,08195	0,09354	0,10041	0,10397	0,10503	0,10155	0,09265	0,07986	0,06412	0,0459	0,02534	0,01411	0,0022
23	t	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
24																			
25	x	0	0,0125	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
26	y	0	0,03472	0,04794	0,06517	0,077	0,08585	0,09799	0,10519	0,10892	0,11003	0,10639	0,09706	0,08366	0,06717	0,04809	0,02654	0,01479	0,00231
27	t	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
28																			
29	x	0	0,0125	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
30	y	0	0,0363	0,05012	0,06813	0,0805	0,08975	0,10245	0,10997	0,11387	0,11503	0,11122	0,10147	0,08746	0,07022	0,05028	0,02775	0,01546	0,00241
31	t	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
32																			
33	x	0	0,0125	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1

Рисунок 16. Параметрическая таблица в программе Excel

После сохранения таблицы, в дереве конфигураций SolidWorks появляется нужное количество лопастей с определенной кривизной, посчитанной по формуле (4).

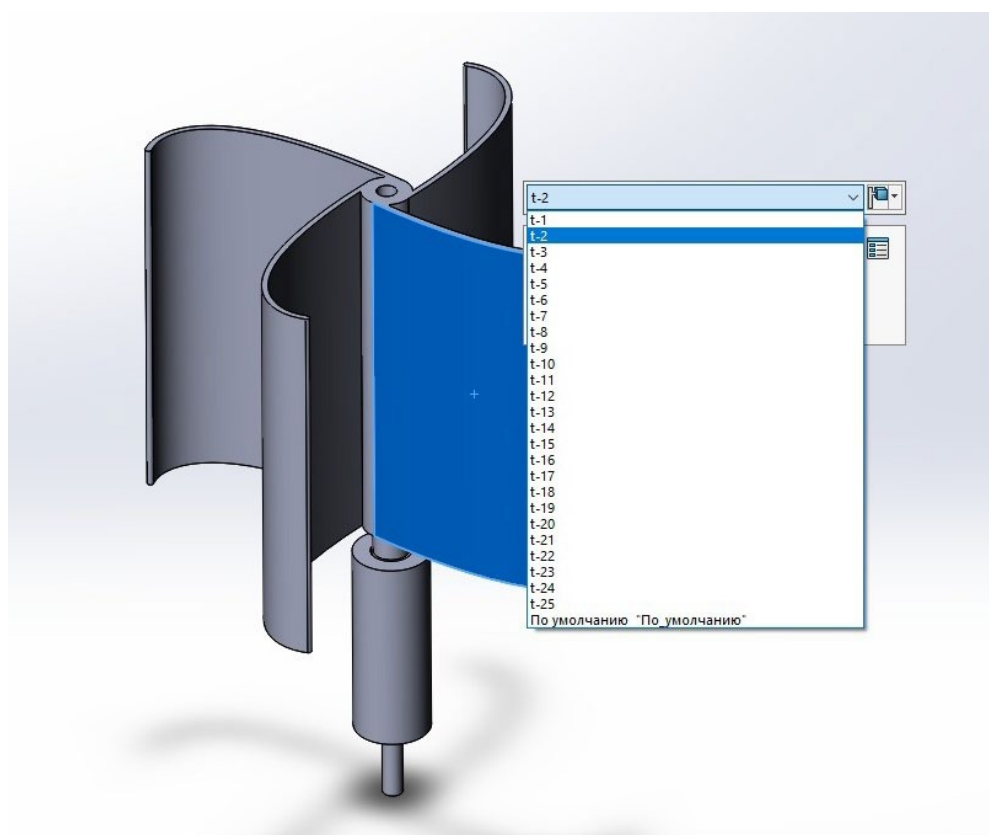


Рисунок 17. Множество конфигураций лопастей в программе SolidWorks

2.1. Проектирование лабораторного стенда

Для осуществления замеров, был спроектирован и изготовлен лабораторный стенд, а также был осуществлен поиск аэродинамическая трубы на основании технических расчетов. Стенд позволяет установить лопасть на нужной высоте, а также служит платформой для подключения электродвигателя, необходимого для снятия вырабатываемого напряжения. Аэродинамическая труба необходима для создания направленного потока воздуха определенной скорости.

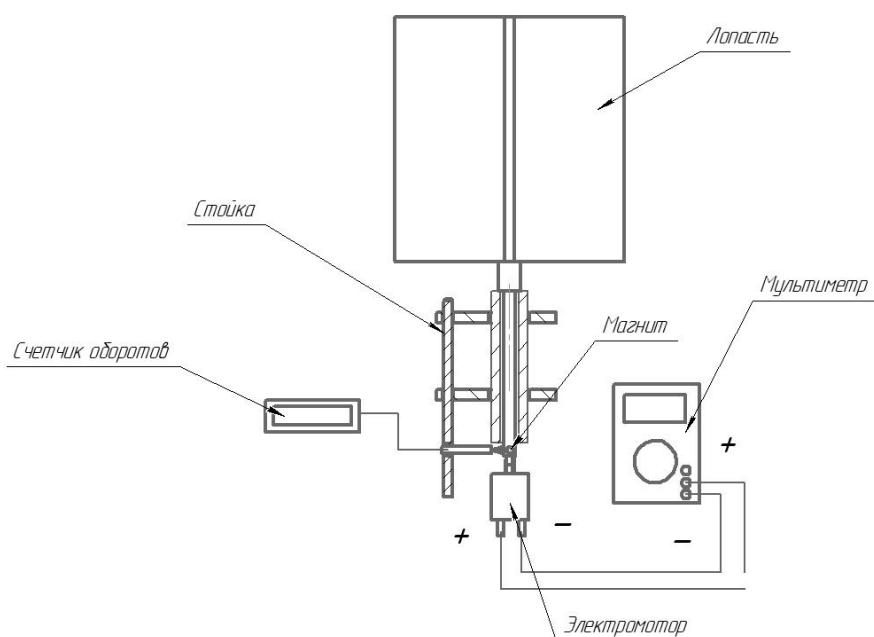
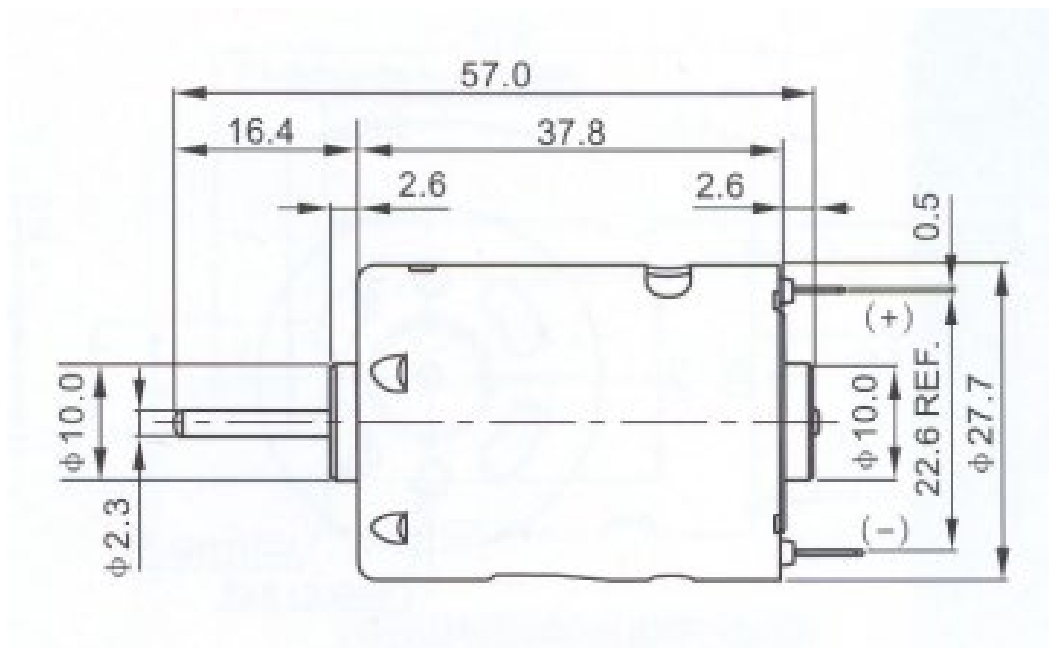


Рисунок 18. Схема лабораторного стенда

Лабораторный стенд (рис. 18) представляет из себя металлическую стойку, к которой жестко крепится статор. В корпусе статора запрессованы два шариковых подшипника, в которые вставляется ось лопастей. На нижнем конце оси выполнена проточка под переходную муфту. Данная муфта служит для соединения оси лопастей и вала электрогенератора. На нижней части стойки предусмотрено отверстия для крепления датчика счетчика оборотов. Для получения показаний создаваемого напряжения, воспользуемся

A photograph of a custom-built robotic arm in a workshop. The arm features a prominent red upper housing and a silver cylindrical gripper mechanism. It is mounted on a dark base and positioned over a workbench. The background is filled with various workshop items, including a ladder, boxes, and tools, suggesting a functional manufacturing or prototyping environment.

В качестве электрогенератора используется электромотор RS-380SH-16120 (рис. 20).



Укажем все основные характеристики данного электромотора в таблице 3.

Таблица 3. Параметры электромотора

Электромотор RS-380SH- 16120	Номинальное напряжение, В	Без нагрузки		С максимальной нагрузкой	
		Частота вращения, об/мин	Сила тока, А	Частота вращения, об/мин	Сила тока, А
	7,2	16200	0,5	14060	3,29

Измерительные приборы, необходимые для снятия показаний:

- Анемометр;
- Мультиметр (подключается к электрогенератору);
- Тахометр

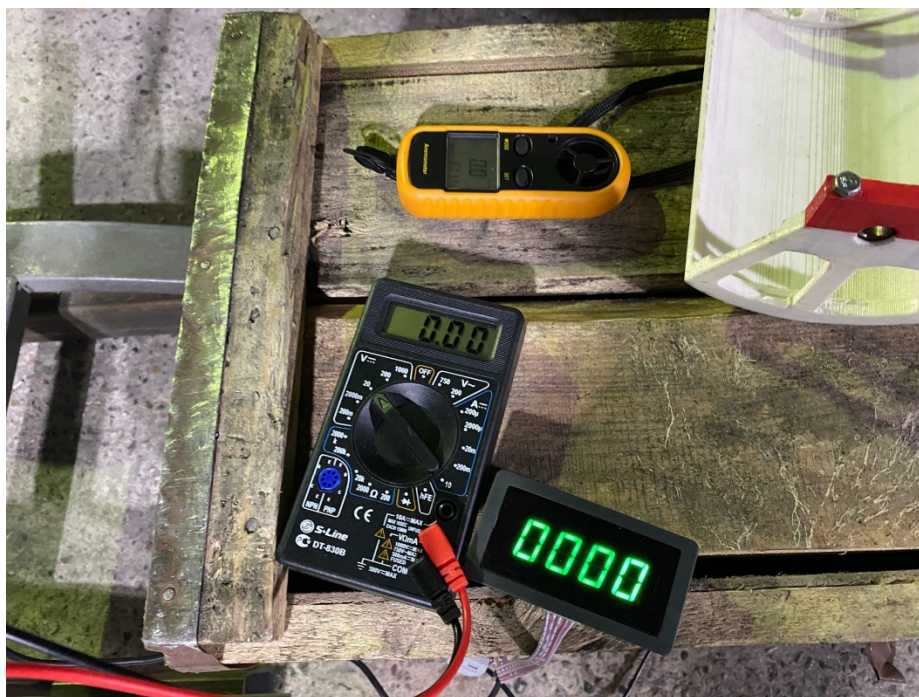


Рисунок 21. Фото измерительных приборов

ВЫВОДЫ

В ходе исследования установлено:

1. Скорость ветра и степень закругленности ротора Савониуса влияют на КПД ветрогенераторной установки.
2. КПД ветрогенераторной установки с лопастями с третьим типом скругления, состоящие из двух сегментов, имеют наибольшее значение.
3. Ветровая заслонка повышает КПД ветрогенератора в 1.2-1.5 раза.
4. Для каждого исполнения ветрогенератора требуется подбор электрогенератора для заряда аккумулятора.
5. На следующем этапе исследования необходимо изучить влияние угла поворота ветровой заслонки на КПД ветрогенераторной установки.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 4АМ01		ФИО Рюмин Егор Евгеньевич	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	ОМШ
Уровень образования	магистратура	Направление/ специальность	Машиностроение 15.04.01

Тема ВКР:

Исследование коэффициента полезного действия ветрогенератора с вертикальной осью вращения	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	<i>Объект исследования:</i> <u>ветрогенераторная установка вертикального типа</u> <i>Область применения:</i> <u>ветроэнергетика</u> <i>Рабочая зона:</i> <u>производственное помещение</u> <i>Размеры помещения:</i> <u>5х5 метров</u> <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> <u>Аэродинамическая труба – 1шт; металлическая стойка – 1шт; мультиметр – 1шт; анемометр – 1шт, счетчик оборотов.</u> <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> <u>замеры параметров ветрогенераторной установки</u>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<u>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022);</u> <u>ГОСТ 12.1.003-83 – Шум. Общие требования безопасности</u> <u>ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты</u> <u>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</u> <u>ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования;</u> <u>ГОСТ Р 54433-2011 Возобновляемая энергетика. Ветроэлектростанции. Требования по безопасности при эксплуатации.</u> <u>ГОСТ 15150-69 Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды</u> <u>СТО 70238424.27.100.063-2009 Ветроэлектростанции (ВЭС). Охрана труда (правила безопасности) при эксплуатации и техническом обслуживании. Нормы и требования</u> <u>ГОСТ 12.2.003-91 Оборудование производственное. Общие требования безопасности</u>

2. Производственная безопасность при разработке технического решения – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора	Опасные факторы: – Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего; – Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий – Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции); Вредные факторы: – Повышенный уровень локальной вибрации; – Повышенный уровень шума; – Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: использование защитных кожухов, использование защитных костюмов, виброизолирующие рукавицы и обувь, беруши, защитные очки, наушники.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации:	Воздействие на селитебную зону: Нарушение миграции птиц, отчуждение земель, ультразвук, вибрация. Воздействие на литосферу: утилизация лопастей ветрогенератора, утилизация зарядных батарей Воздействие на гидросферу: не оказывает Воздействие на атмосферу: не оказывает
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Возможные ЧС: <u>пожар, землетрясение</u> Наиболее типичная ЧС: <u>пожар</u>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
14.03.2022	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	К.т.н.		14.03.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Рюмин Егор Евгеньевич		14.03.2022

3 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В рамках дипломной работы был спроектирован вертикальный ветрогенератор.

Для производства ветрогенераторов, монтажа и дальнейшей эксплуатации необходимо участие человека. Ветрогенераторы, как и прочие установки оказывают влияние на окружающую среду.

Область применения разрабатываемого решения – удаленные производственные объекты, автодороги, частные дома, фермерские хозяйства.

Решение, разрабатываемое в данной исследовательской работе, будут полезны для добывающих компаний, владельцам земельным угодий, государственным дорожным службам.

Работы выполнялись на территории города Томска. В процессе проводимых исследований, применялся лабораторный стенд. Для замеров необходимых показаний использовалось измерительное оборудование.

На территория Томской области расположены множество добывающих и производственных объектов. Большинство мест являются труднодоступными для обычного транспорта, а среднегодовая скорость ветра на этой территории составляет от 3 до 5 м/с. Это дает огромные преимущества для ветрогенераторов вертикального типа. Результаты проведенных исследований можно применять на подобных предприятиях, тем самым, увеличивая вырабатываемый объем электроэнергии без существенных временных, трудовых и материальных затрат.

3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Продолжительность рабочего времени, а именно начало и его окончание определена по соглашению сторон работодателя и работника в соответствии с главой 16 ст. 102 ТК РФ «Работа в режиме гибкого рабочего времени» [2].

Выполнение работ связано с воздействием вредных и (или) опасных факторов производственной среды, в связи с чем, работникам бесплатно выдаются средства индивидуальной защиты в соответствии с главой 36 ст. 221 ТК РФ «Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты» Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [2].

При эксплуатации ВЭУ должны быть обеспечены:

- безопасный, надежный и экономичный режим работы оборудования электростанции с учетом климатических условий эксплуатации в соответствии с ГОСТ 15150
- бесперебойная работа оборудования в допустимых режимах, надежное действие устройств контроля, защиты и автоматики (постоянный местный, а при необходимости, дистанционный мониторинг и текущая диагностика состояния оборудования).

Режим работы оператора ВЭУ 40-часовая рабочая неделя при пятидневном режиме работы. Обеденный перерыв составляет с 13:00-14:00. Оплата труда повременная. Компенсации за вредные условия труда отсутствуют. Социальное страхование в размере 5%, пенсионное обеспечение в размере 22% от месячной заработной платы.

В соответствии с ГОСТ 12.2.049-8, для обеспечения комфортности, эффективности и безопасности рабочего процесса необходимо, чтобы рабочее место соответствовало требованиям эргономики.

Работе ВЭУ вертикального типа происходит стоя. Основная доля работ будет производиться без наклона оператора, за пультом управления установкой. Высота рабочей поверхности должна быть 920 мм как для тяжелой работы. Для обслуживания установки необходим доступ к ней со всех сторон. (ГОСТ 12.2.033-78)

В соответствии с ГОСТ Р 54433-2011 и СТО70238424.27.100.063-2009, работы по эксплуатации и техническому обслуживанию ВЭУ, ВЭС, ВДЭС должны осуществляться строго в соответствии с местной инструкцией по эксплуатации, разработанной на основе инструкций по эксплуатации, предоставленных поставщиками оборудования и должностными инструкциями.

Защита персонала от поражения электрическим током осуществляется (по ГОСТ Р 12.1.019-2009):

- изоляцией токоведущих частей;
- безопасным сверхнизким напряжением в электрических цепях;
- защитным заземлением металлических нетокведущих частей изделия;
- использованием устройств, отключающих изделие от сети, когда доступные прикосновению части изделия оказываются под напряжением;
- использованием оболочек;
- применением блокировок;
- установкой экранов;
- применением элементов, контролирующих состояние изоляции и сигнализирующих о ее повреждении;
- специальной одеждой и обувью по 4.4.11;
- использованием предупредительных надписей, а также использованием средств защиты в соответствии с инструкцией СТО.

При проведении осмотра турбины с земли запрещается находиться в плоскости вращения лопастей ветроколеса и с подветренной стороны ВЭУ.

Для горизонтально-осевых ВЭУ наблюдать за ветроколесом разрешается с наветренной стороны (ГОСТ Р 54433-2011).

Оборудование ВЭУ, ВЭС, ВДЭС должно обеспечивать защиту обслуживающего персонала от поражения электрическим током в соответствии с ГОСТ 12.1.019;

3.2. Производственная безопасность

При анализе процесса экспериментов выявлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении и эксплуатации детали, приведенные в Таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора ВЭУ

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Нормативные документы
Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
Повышенный уровень локальной вибрации	СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»
Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции);	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги	ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
--	---

3.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

Основными причинами отклонений показателей микроклимата от нормы являются станки. А именно, работающие приводы подач и шпинделя.

Также на отклонение параметров микроклимата влияет выделение тепла в процессе резания заготовки.

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года применяются средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения, в частности используются жалюзи. В теплый период года предусмотрена защита от попадания прямых солнечных лучей. Также в помещении имеются кондиционеры, для поддержания необходимых условий.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Сложность работ операторов станков относится к категории средних. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в Таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работы	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С
Холодный	средняя	15-75	≤ 0,1	19-24
Теплый	средняя	15-75	≤ 0,1	20-28

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Крайне важно иметь адекватные условия труда во время работы, и поэтому освещение рабочей зоны является важнейшим аспектом обеспечения того, чтобы человек чувствовал себя комфортно на работе. Освещение – один из самых важных факторов, который должен учитывать работодатель, поскольку плохое освещение может привести к усталости и повысить психологическое и физическое напряжение.

Естественный свет получается от солнца, а также относится к любому свету, который рассеивается естественным образом. Обычно он варьируется в зависимости от времени суток, месяца года, местоположения и региона, в котором он излучается. Искусственное освещение получают от электрических источников. Когда естественного освещения недостаточно, используется искусственное освещение. Использование как естественного, так и искусственного, света приводит к комбинированному источнику света.

Согласно СП 52.13330.2016 освещенность в помещении должна быть не менее 300 Лк. Размер рабочего помещения составляет 5х5х3,5м. Помещение с малым запылением, коэффициент запаса 1,5.

Для помещения выбрана система общего освещения с люминесцентными светильниками ОД. В светильнике установлено 2 лампы мощностью каждая. Габаритные размеры светильника составляют 93x20x16 см.

Расчеты искусственного освещения рабочей зоны работника будут даны далее в соответствии с методическими указаниями «Расчет искусственного освещения».

При размещении светильников учитывались следующие параметры. Высота помещения (Н), которая составляет 3,5м. Расстояние светильников от перекрытия(свес), h_c , принимается 0,2м. Высота рабочей поверхности над полом, h_{rp} , принимается 1м.

Формула (1.1) определяет расчетную высоту размещения светильников над рабочей поверхностью (h):

$$h = H - h_{rp} - h_c = 3,5 - 1 - 0,2 = 2,3 \text{ м}, \quad (1.1)$$

где:

H – высота помещения;

h_{rp} – расстояние между рабочей поверхностью стола и полом;

h_c – расстояние между источником света и потолком.

Расстояние L между светильниками определяется по формуле (1.2):

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,3 = 3,2 \text{ м}, \quad (1.2)$$

Где λ - интегральный критерий расположения светильников, который равен 1,4 для светильников типа ОД.

Количество рядов:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{B - \frac{2}{3}L}{L} + 1 = \frac{5 - \frac{2}{3}3,2}{3,2} + 1 = 0,9 = 1,$$

Количество светильников:

$$n_{\text{св}} = \frac{A - \frac{2}{3}L}{(l_{\text{св}} + 0,5)} + 1 = \frac{5 - \frac{2}{3}3,2}{(0,933 + 0,5)} + 1 = 3,05 = 3,$$

Где:

A – длина комнаты;

B – ширина комнаты;

$l_{\text{св}}$ – длина светильника;

Общее количество светильников:

$$n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} = 1 \cdot 3 = 3$$

Светильники размещают в 1 ряд. Следует установить 3 светильника типа ОД мощность 40Вт и длиной 933 мм. Расстояние между светильниками 500мм.

Формула (1.3) определяет индекс помещения (i):

$$i = \frac{S}{h (A + B)} = \frac{25}{2,3 (5 + 5)} = 1,08, \quad (1.3)$$

где:

S – площадь помещения;

h – высота размещения светильников;

A – длина комнаты;

B – ширина комнаты.

Коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,61$$

Потребный световой поток:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_s \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{60 \cdot 0,61} = 338$$

Выбираем лампу ЛД 40Вт 340лм. Проверка выполнения условия освещенности:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \leq +20\%$$

$$-10\% \leq \frac{340 - 338}{340} \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 0,005\% \leq +20\%$$

Общая мощность освещения:

$$P = 6 \cdot 40 = 240 \text{ Вт}$$

Превышение уровня шума

К числу, наиболее опасных факторов, негативно влияющих на здоровье человека, относят шумовой эффект. Источником шума являются механические колебания упругих тел. В основе шума, исходящего от ветрогенератора лежит: шум от работы механических и электрических компонентов (в современном оборудовании практически отсутствует), а также шум возникающий при взаимодействии лопастей с ветровым потоком.

В соответствии с ГОСТ12.1.003-83, допустимый уровень шума зависит от вида трудовой деятельности. В случае с настоящей научно-исследовательской работой, подходящий вид деятельности: *«высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории»*, уровень шума не должен превышать 50 дБ.

Просмотрев предлагаемые вертикальные ветроустановки на рынке, было выявлено что, средний шумовой эффект, который они способны выдать составляет 30-40 дБ, при габаритах лопастей до 2 м в длину и таким же диаметральной расстоянием. Лопасти же спроектированной установки не превышают 30 см в длину и 30 см в диаметральной расстоянии между лопастями. Отсюда можно утверждать, что шумовой эффект, создаваемый маленькой вертикальной ветряной установкой, значительно меньше 30-40 дБ, так как аэродинамический шумовой эффект минимален.

В качестве средств коллективной защиты, используются небольшая звукопоглощающая стенка, для изоляции источника шума (ВЭУ).

В качестве средств индивидуальной защиты, используются наушники или беруши.

Движущиеся части твердых объектов

Во время работы ВУЭ, существенную опасность представляет ее движущаяся часть – ротор. На роторе расположены лопасти с острыми краями. По результатам опытов, ротор разрабатываемого ветрогенератора, в условиях проведения исследовательской работы, может разогнаться до 1500 оборотов в минуту.

Халатное отношение с оборудованием и неправильное использование техники безопасности, может повлечь серьезные увечья и травмы. Оборудование такого типа должно иметь защиту от внезапного или случайного включения.

Оборудование должно обеспечивать безопасность людей, которые работают при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией.

Требования к безопасности оборудования регламентированы в ГОСТ 12.2.003-91. В нашем случае безопасность обеспечивается следующим образом:

- 1) В конструкции лабораторного стенда ВЭУ присутствует элемент Заслонка, основная функция которой – ограничение воздушного потока, с целью уменьшения отрицательного момента на лопастях. Поскольку перекрытие составляет до 25% лопасти, она частично защищает от прямого контакта с ротором;
- 2) Установки таблички «Осторожно! Вращающийся объект»
- 3) лопасти покрашены в яркий красный цвет.

- 4) выбором технологических процессов изготовления;
- 5) ограждением рабочей зоны ВЭУ;

В целях обеспечения безопасности работников на рабочих местах применяют СИЗ: защитные перчатки, очки, спец. одежда.

Производственные факторы, связанные с электрическим током

Во время использования лабораторного стенда ВЭУ, для питания турбины и измерительной аппаратуры, используется электрическая сеть с напряжением 220 Вольт. Вероятность быть пораженным электрическим током очень мала, однако нельзя исключать возможные чрезвычайные ситуации. Это ситуации, когда происходят случайные электрические соединения частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями.

Ситуации, когда возможно поражение человека электрическим током:

- При возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания;
- При прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- При однофазном (однополюсном) прикосновении неизолированного от земли человека к неизолированным токоведущим частям электроустановки, находящихся под напряжением;
- При прикосновении к нетоковедущим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает на него сложное воздействие, являющееся совокупностью термического, электролитического, биологического и механического воздействий, что приводит к различным нарушениям в организме, вызывая как местные повреждения тканей и органов, так и общее его поражение. Любое из указанных воздействий может привести к электрической травме, т.е. к

повреждению организма, вызванному воздействием электрического тока или электрической дуги.

Мероприятия, проведенные для обеспечения электробезопасности (согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009):

- Все провода были изолированы с помощью термоусадочных трубок;
- Произведена установка защитного заземления;
- При работе используется общий рубильник;

Для увеличения надежности защиты от поражения электрически током предусмотрено использование средств защиты в сочетании друг с другом.

Для защиты от термических ожогов в случае поражения электрическим током при работах на электроустановках, рекомендуется применять дополнительные средства защиты в виде термостойких комплектов одежды.

Категория помещения по электробезопасности: помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность;

Группа персонала по электробезопасности: 1 группа;

Повышенный уровень локальной вибрации

Для снижения и предотвращения уровня вибрации на установке предусмотрен жесткий крепёж частей и деталей установки. Так же в данной конструкции предусмотрена платформа, на которую она будет устанавливаться. Одной из функций платформа является снижение уровня вибрации.

Так же стоит отметить, что вибрация, создаваемая установкой, может оказывать воздействие на человека, в случае, когда человек будет находиться в состоянии прямого контакта с установкой. Чтобы избежать данной ситуации не стоит касаться ветрогенератора, находящегося в рабочем состоянии.

Различают два типа вибрации: общая вибрация и локальная.

При общем воздействии вибрации, вибрация влияет на весь организм, в целом. Эти нарушения обычно вызывают головные боли, снижение работоспособности, головокружения, нарушения сна, ухудшение самочувствия, нарушения сердечной деятельности и другие.

При локальном воздействии вибрации, вибрация действует на определённые части тела человека. Верхние конечности наиболее подвержены её воздействию, что приводит к возникновению страшных заболеваний таких, как: запястный туннельный синдром, патогенез и другие.

Наиболее опасна вибрация, которая по своей частоте совпадает с собственной частотой организма.

Согласно ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность», амплитуда вибрации в помещении не должна превышать $0,0072 \times 10^{-3} \text{ м}$ при частотах от 31,5 Гц до 63 Гц.

Для защиты людей от повышенного уровня вибрации, рекомендуется:

1. Уменьшить время работы в зоне с повышенной вибрацией.

3.3 Экологическая безопасность

Данная установка является средством добычи электрической энергии наиболее экологичным и безотходным, для окружающей среды, методом. Проектируемую конструкцию нужно устанавливать в открытую зону, на селитебную территорию, так как для работы установки необходимо активное взаимодействие с ветровыми потоками.

Расчетный срок службы современных ВЭС составляет 25 лет [3]. В процессе эксплуатации ВЭС оказывают воздействие на человека, флору и фауну, землепользование в виде шумов, вибраций, электромагнитного излучения, оптических эффектов, механического воздействия и отходов эксплуатации.

Наибольшее количество вопросов вызывает воздействие ветропарков на орнитофауну. В качестве основных факторов их воздействия можно выделить

физическое воздействие при столкновении с турбинами, лопастями и башнями; нарушение среды обитания: нарушение маршрута миграции птиц.

Смертность птиц в результате столкновения с ВЭС незначительна по сравнению со смертностью от другой деятельности человека. Более того, были получены удельные показатели смертности птиц на ГВт ч произведенной электроэнергии с использованием разных видов топлива (рассматривался весь жизненный цикл продукции от добычи топлива до транспортировки электроэнергии). Этот показатель составляет 0,3 для ВЭС, 0,4 для АЭС и 5,2 смертельных случаев для ТЭЦ на ископаемом топливе [4].

Возможные способы защиты - перекраска лопастей ветрогенераторов в черный цвет. Это резко уменьшает количество случаев гибели птиц.

Ветровые генераторы не могут находиться близко друг к другу, так как вследствие интерференции их мощность будет пониженной. Поэтому их размещение требует значительного отчуждения земель. Ветровые электростанции требуют приблизительно 0,1 км² свободного пространства на 1 мегаватт номинальной мощности. Соответственно, электростанции мощностью 200 мегаватт понадобится около 20 км² [5].

Возможные способы предотвращения – в настоящее время, современные ВЭУ не оказывают значительного влияния на растительность и животноводство. Поэтому землю вокруг установки можно использовать в сельском хозяйстве.

Шум, производимый 10-ю ветрогенераторами на расстоянии 350 м можно оценить, как незначительный, не отличимый от других шумов в обычной жизни. Рассчитанный уровень шума в пределах жилой зоны застройки будет находится в интервале 35-44 дБА, что отвечает требованиям санитарных норм «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». В соответствии с нормами, уровень шума для территорий, непосредственно прилегающих у жилых домов, не должен превышать 45 дБА и 55 дБА с 23 до 7 часов и с 7 до 23 часов соответственно [6].

В настоящее время распространены два основных метода утилизации. Первый – механический метод переработки лопастей. Он довольно прост и включает в себя три этапа: демонтаж и разделение на части для более легкой транспортировки; механическое измельчение с извлечением смолы; отделение более крупных волокон от более мелких волокон и гранул. Второй сценарий – термический способ переработки лопастей. Самая простая разновидность – сжигание. Но после сжигания образуется большое количество золы. «Перспективным методом является пиролиз (нагревание без доступа кислорода при 500 градусах Цельсия), в результате которого волокна лопастей можно повторно использовать, а образующийся газ сжигать для получения электроэнергии. Процессы утилизации должны соответствовать всем нормам по ГОСТ Р 53692-2009.[7]

3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Данная установка оснащена электрической проводкой, которая находится под напряжением 220В. Проводка турбину и вычислительные приборы. Поэтому нельзя исключать ситуации, когда возможно возгорание оборудования. Наиболее вероятная ЧС – пожар, возгорание. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования.

В следующих документах приведены основные положения по безопасности при ЧС:

- ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.
- ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
- Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ.

Для увеличения уровня безопасности установка оснащена:

- датчик, реагирующий на возгорание, вызванное КЗ, неправильной экспликацией оборудования.

- быстродействующие коммутационные аппараты с функцией ограничения тока короткого замыкания.

Для исключения возможности возникновения пожара, рекомендуется проводить пожарно-профилактические мероприятия:

Организационные мероприятия:

1. Размещение инструкций по предотвращению и борьбе с пожаром.

Эксплуатационные мероприятия:

1. Соблюдение техники безопасности при работе оборудования;

2. Соблюдение норм эксплуатации оборудования;

3. Обеспечение свободного прохода;

4. Содержание оборудования в исправном состоянии.

Заключение по разделу социальная ответственность

В процессе исследования места проведения экспериментов было выявлено соответствие нормам следующих факторов: микроклимат, уровень шума, уровень вибраций, уровень освещения, движущиеся твердые объекты, производственные факторы, связанные с электрическим током.

Параметры микроклимата соответствуют нормативным документам и создают комфортные условия в производственном помещении (см. таблица 1.2.)

Шум на рабочем месте соответствует нормам, 60 дБ А.

Амплитуда вибрации в помещении не превышает $0,0072 \times 10^{-3} \text{ м}$, а частота вибрации находится в пределах от 31,5 Гц до 63 Гц.

Достаточная освещенность цеха реализуется преимущественно за счет искусственного освещения и составляет 300лк.

Для уменьшения вероятности травмирования оператора при работе с движущимися частями ВЭУ были проведены ряд мероприятий: покраска в яркий цвет движущихся частей, предупредительная табличка, ограждение рабочей зоны, проектирование конструкции с учетом безопасности.

Категория помещения по электробезопасности: помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность;

Группа персонала по электробезопасности: 1 группа;

Категория тяжести труда: Ib (Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением);

Категория помещений по взрывопожарной и пожарной опасности: B2 – пожароопасное;

Категория объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду: объект IV категории (объект, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду).

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ01	Рюмину Егору Евгеньевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Потенциальные потребители результатов исследования. Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ. Оценка готовности проекта к коммерциализации.
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.

3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение структуры выполнения НИ. Определение бюджета НТИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение финансового и научно -технического эффекта.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. «Портрет» потребителя результатов НТИ 2. Сегментирование рынка 3. Оценка конкурентоспособности технических решений 4. Матрица SWOT 5. График проведения и бюджет НТИ 6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ 7. Потенциальные риски	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.2022
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д-р экон. наук		14.03.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Рюмин Е.Е.		14.03.2022

Тема: «Определение КПД ветрогенераторной установки вертикального типа»

Краткое описание

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических

характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью НИР является определение КПД ветрогенераторной установки вертикального типа.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1. Предпроектный анализ

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. [29]

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

У ветроэнергетики очень большое будущее, о чем говорит показатель ежегодного прироста установленных мощностей в мире, который составляет 25%. Ветроэнергетика в перспективе сможет конкурировать с основными источниками энергии, такие как нефть и газ, поэтому с каждым годом рынок ветроэнергетических установок расширяется. Это связано с тем, что внедряются новейшие технологии позволяющие использовать энергию ветра максимально эффективно. Страны Европейского союза, которые испытывают нехватку собственных запасов органического топлива, давно сделали уклон на развитие ветроэнергетики. Поэтому спрос с их стороны с каждым годом растет, в особенности на ВЭУ большой и средней мощности. Отечественная энергетика в этом плане сильно отстает (имеет лишь 0,8% мощности, вырабатываемой ветрогенераторами, по сравнению с Европой – 16%) и в основном перспективно использование ветрогенераторов малой мощности.

Система управления, разработанная в ходе исследований, имеет направленность на ветроустановки большой и средней мощности. Создание таких ВЭУ требует огромных капитальных затрат (порядка

1000-2000 долларов за 1 кВт установленной мощности), от которых стоимость системы управления составляет всего 3-5% [30]. Заказчиком на подобные станции выступают в основном госкорпорации.

Таким образом, сегментировать будущий рынок услуг можно по одному основному критерию: размер компании-заказчика.

Размер компании-заказчика: крупные, средние и мелкие. От размера компании зависит бюджет, выделяемый на капитальные затраты. Поскольку при внедрении системы управления необходимо учитывать сроки окупаемости капитальных затрат, то для мелких и средних компаний данная разработка будет менее предпочтительна. Для крупных компаний заказчиков данная разработка может составить интерес по отношению к традиционным аналогам, поэтому именно на них должен быть ориентирован будущий рынок.

4.1.2. Анализ конкурентных решений

На данный момент в России достаточно мало предприятий, которые занимаются производством ветрогенераторов. Еще меньше предприятий, которые выпускают ветрогенераторы с вертикальной осью вращения. Однако они все же есть, и уже успели занять некоторую нишу на рынке.

В таблице представлена характеристика сильных и слабых сторон компаний конкурентов, а также конструкции, представленной в рамках данной работы.

Таблица 1. Преимущества и недостатки выбранных компаний

Наименование	Преимущества	Недостатки
ООО «ГРЦ-Вертикаль»	– Наличие уникальных разработок. – Наличие опыта работы в сфере ветроэнергетики. – Поставка, монтаж и обслуживание осуществляется производителем. – Наличие собственного производства.	– Дороговизна. – Высокая скорость страгивания. – Отсутствует производство ветрогенераторов малых мощностей. – Большая масса.
ООО «EDS Group»	– Большая номенклатура предлагаемых товаров. – Наличие опыта работы в сфере ветроэнергетики. – Поставка, монтаж и обслуживание осуществляется производителем. – Низкий уровень шума.	– Отсутствует собственное производство. – Производство ветрогенераторов ведется за рубежом. – Высокая скорость страгивания. – Отсутствует производство ветрогенераторов малых мощностей.

Продолжение таблицы 1.

ООО «Сальма- баш»	– Наличие собственного производства. – Надежность. – Высокая прочность. – Простота эксплуатации. – Низкий уровень шума при работе.	– Производство находится в европейской части России. – Высокая скорость страгивания. – Отсутствует производство ветрогенераторов малых мощностей.
Проектный ветрогенера- тор	– Уникальный товар; – Низкая скорость страгивания; – Относительно низкая стоимость; – Простота изготовления; – Встраиваемость ротора в различные конструкции; – Малый вес; – Малая шумность в работе;	– Отсутствие собственного производства компонентов; – Отсутствие опыта работы в данной сфере; – Отсутствие технической поддержки;

Если обобщить все собранные данные о компаниях-конкурентах, то можно констатировать, что все разработки, представленные ими рассчитаны на последующую их эксплуатацию в районах с сильными

ветрами.

Наименьшая скорость страгивания ветрогенераторов компании ООО «Саль-мабаш» составляет 3-5 м/с, компании ООО «EDS Group» 2,5 м/с, в то время как на номинальную мощность ветрогенератор выходит при скорости 8 м/с, а у компании ООО «ГРЦ-Вертикаль» скорость страгивания составляет 1,5 м/с.

Также все компаний выпускают ветрогенераторы больших мощностей. Мощность, самого маломощного ветрогенератора, который выпускает компания ООО «ГРЦ-Вертикаль», составляет 100 Вт, ветрогенератора компании ООО «EDS Group» 500 Вт, а ветрогенератора компании ООО «Сальмабаш» 300 Вт.

Специфика же нашего продукта сосредоточена на создании ветрогенератора, работающего при малой скорости ветра, т. к. средняя скорость ветра в Томской области составляет 2 м/с.

Однако, есть и преимущества фирм конкурентов, которые необходимо взять на вооружение и в дальнейшем проработать, например, такие как: монтаж и техническое обслуживание ветрогенераторов в условиях их эксплуатации.

Для того, чтобы лучше понять, как увеличить конкурентоспособность продукта на рынке, проведем анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 2.

Таблица 2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентно способность			
		Бф	Бк 1	Бк 2	Бк 3	Кф	Кк1	Кк2	Кк3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Скорость страгивания	0,5	5	4	3	2	2,5	2	1,5	1
2. Скорость ветра	0,1	5	4	2	3	0,5	0,4	0,2	0,3
3. Надежность	0,02	4	4	5	5	0,08	0,08	0,1	0,1
4. Безопасность	0,04	5	4	5	5	0,2	0,16	0,2	0,2
5. Удобство эксплуатации	0,03	5	5	5	3	0,15	0,15	0,15	0,09
6. Ремонтопригодность	0,04	3	5	4	4	0,12	0,2	0,16	0,16
7. Уровень шума	0,03	5	5	5	4	0,15	0,15	0,15	0,12
8. Простота изготовления	0,04	4	5	5	4	0,16	0,2	0,2	0,16
9. Универсальность	0,01	4	3	3	3	0,04	0,03	0,03	0,03
10. Вес	0,02	5	3	2	3	0,1	0,06	0,04	0,06
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Уровень проникновения на рынок	0,01	3	3	5	4	0,03	0,03	0,05	0,04
2. Цена	0,1	5	3	4	4	0,5	0,3	0,4	0,4
3. Предполагаемый срок экс-плуатации	0,03	5	4	5	4	0,15	0,12	0,15	0,12

4. Послепродажное обслуживание	0,01	2	5	5	5	0,02	0,05	0,05	0,05
5. Финансирование научной разработки	0,01	1	5	5	5	0,01	0,05	0,05	0,05
6. Срок выхода на рынок	0,01	5	5	5	5	0,05	0,05	0,05	0,05
Итого	1	Суммарная оценка				4,68	4,03	3,53	3,21

Бф – разработанная конструкция ветрогенератора; Бк1 – ветряная установка ком- пании ООО «ГРЦ-Вертикаль»; Бк2 – ветряная установка компании ООО «EDS Group»; Бк3 – ветряная установка компании ООО «Сальмабаш».

Анализ конкурентных технических решений определяем по формуле:

$$K = \sum B_i * Б_i,$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

В_i – вес показателя (в долях единицы);

Б_i – балл i-го показателя.

Преимущество перед конкурентами: ветрогенератор имеет малую скорость страгивания, номинальную мощность, удобен в эксплуатации, безопасен, имеет низкий уровень шума.

Из таблицы можно увидеть, что для увеличения конкурентоспособности на рынке следует: увеличить ремонтпригодность, уровень послепродажного обслуживания, уровень проникновения на рынок, а также финансирование научной разработки.

4.1.3. SWOT-анализ

SWOT – анализ предназначен для выявления сильных, слабых сторон проекта, а также возможностей создаваемого проекта и его угроз. Анализ проводится в два этапа: на первом этапе описываются сильные и слабые стороны разрабатываемой технологии, выявляются возможности и

угрозы при реализации проекта; на втором этапе анализа строятся интерактивные матрицы для оценки вариантов стратегического выбора.

Сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы реализации представлены в таблице 3. При составлении таблицы использованы следующие обозначения:

С – сильные стороны
проекта;

Сл – слабые стороны
проекта;

В – возможности;

У – угрозы.

Таблица 3 - Матрица SWOT системы управления

Возможности (В), угрозы (У)	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	С1. Высокая экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Повышение безопасности производства. С4. Уменьшение затрат на ремонт оборудования. С5. Надежность в эксплуатации.	Сл1. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ. Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца. Сл3. Отсутствие прототипа научной разработки.
1	2	3
В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Снижение затрат на таможенные пошлины за счет малого количества иностранных компонентов.		

У1. Отсутствие спроса на технологии производства. У2. Ограничения на экспорт технологии. У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции. У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства.		
--	--	--

После составления матрицы необходимо составить интерактивные матрицы, для выявления сильных и слабых сторон разработанной системы.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие;

«0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности проекта	Сильные стороны проекта					
		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	-	+	-
	В2	+	+	+	-	0
	В3	-	-	-	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	В1	+	+	-		
	В2	-	-	-		
	В3	-	-	-		

Таблица 5 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	0	-	-
	У3	+	-	0	-	+
	У4	-	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1		Сл2		Сл3
	У1	+		-		0
	У2	+		-		-
	У3	-		-		-
	У4	+		+		+

По интерактивным матрицам, представленным в таблицах 4 и 5 видно, что наиболее коррелирующими сильными сторонами и возможностями являются: В1С1С2С4, В2С1С2С3.

Наиболее часто коррелирующие слабые стороны и возможности: В2Сл1Сл2, Сл2Сл3.

Сильно коррелирующие сильные стороны и угрозы: У4С3С5.

Сильно коррелирующие слабые стороны и угрозы: У4Сл1Сл2Сл3.

Полученные результаты анализа заносятся в таблицу 6, для наглядной демонстрации возможных корреляционных вариантов.

Таблица 6 – Итоговая матрица SWOT-анализа АСР

Возможности (В), угрозы (У)	Сильные стороны проекта:	Слабые стороны проекта:
	С1. Высокая экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Повышение безопасности производства. С4. Уменьшение затрат на ремонт оборудования. С5. Надежность в эксплуатации.	Сл1. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ. Сл2. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца. Сл3. Отсутствие прототипа научной разработки.

В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.	В1С1С2С4; В2С1С2С3; В3С5; В4С1.	В1Сл1 Сл2; В4Сл2Сл3.
В3. Снижение затрат на таможенные пошлины за счет малого количества иностранных компонентов.		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологии производства. У2. Ограничения на экспорт технологий. У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции. У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны гос-ва	У3С1С5; У4С3С5.	У1Сл1; У2Сл1; У4Сл1Сл2Сл3.

По полученным результатам можно сделать вывод, что разрабатываемая автоматическая система регулирования является перспективным проектом, о чем свидетельствует большое количество сильных сторон и маловероятные угрозы.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение работ в рамках магистерской диссертации;

- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения магистерской диссертации.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения магистерской диссертации, провести распределение исполнителей по видам работ (таблица 7).

Таблица 7 – Перечень работ и распределение исполнителей

Наименование работ	Исполнители	
	Должность	Количество
1. Выбор и утверждение темы диссертации	Руководитель	1
	Студент	
2. Создание обзорной главы диссертации	Студент	1
3. Аналитический обзор существующих ВГУ	Студент	1
4. Разработка лабораторного стенда ВГУ вертикального типа	Студент	1
5. Моделирование лопастей ВГУ вертикального типа	Студент	1
6. Изготовление лабораторного стенда ВГУ вертикального типа	Студент	1
7. Изготовление лопастей ВГУ вертикального типа	Студент	1
8. Проведение опытов с использованием лабораторного стенда	Студент	1
9. Определение КПД ВГУ для каждого вида лопастей	Студент	1
10. Подготовка текста диссертации. Подготовка демонстрационных материалов и докладов для защиты	Студент	1
11. Проверка составленной документации и разработанных схем	Руководитель	1
12. Защита проекта	Студент	1

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения магистерской диссертации оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\text{и}}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\text{и}} = \frac{3t_{\min i}}{5} + \frac{2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ож\text{и } i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистичная оценка: в предположении более благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

Результаты расчетов ожидаемой трудоемкости представлены в таблице 7.6.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\text{и}}}{i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\text{и}}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Рассчитанные показатели продолжительности в таблице 8

Таблица 8 – Календарная продолжительность работ

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож},$ чел-дни			
1. Выбор и утверждение темы диссертации	5	8	6,2	Руководитель Студент	3,1	4,5
2. Создание обзорной главы диссертации	10	15	12	Студент	12	17,8
3. Аналитический обзор существующих ВГУ	10	15	12	Студент	12	17,8
4. Разработка лабораторного стенда ВГУ вертикального типа	15	18	16,2	Студент	34	24
5. Моделирование лопастей ВГУ вертикального типа	15	18	16,2	Студент	34	24
6. Изготовление лабораторного стенда ВГУ вертикального типа	15	25	19	Студент	19	28
7. Изготовление лопастей ВГУ вертикального типа	10	15	12	Студент	12	17,8
8. Проведение опытов с использованием лабораторного стенда	1	5	2,6	Студент	2,6	3,8
9. Определение КПД ВГУ для каждого вида лопастей	1	5	2,6	Студент	2,6	3,8

Продолжение таблицы 8.

10. Подготовка текста диссертации. Подготовка демонстрационных материалов и докладов для защиты	1	5	2,6	Студент	2,6	3,8
11. Проверка составленной документации и разработанных схем	1	5	2,6	Руководитель	2,6	3,8
12. Защита проекта	1	3	1,8	Студент	1,8	2,6

Удобным и наглядным является ленточный график проведения технических работ в форме диаграммы Ганта [31].

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,478,$$

Где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году;

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках магистерской диссертации проекта на основе таблицы с разбивкой по месяцам. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Ленточный график для данной магистерской диссертации представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Вид работ	Исполнители	Т _{к.} , ден ь	Продолжительность выполнения работ											
				Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь						
1	Выбор и утверждение темы диссертации	Руководитель	4,5												
		Студент													
2	Создание обзорной главы диссертации	Студент	17,8												
3	Аналитический обзор существующих ВГУ	Студент	17,8												

4	Разработка лабораторного стенда ВГУ вертикального типа	Студент	24															
5	Моделирование лопастей ВГУ вертикального типа	Студент	24															
6	Изготовление лабораторного стенда ВГУ вертикального типа	Студент	28															
7	Изготовление лопастей ВГУ вертикального типа	Студент	17,8															
8	Проведение опытов с использованием лабораторного стенда	Студент	3,8															
9	Определение КПД ВГУ для каждого вида лопастей	Студент	3,8															

10	Подготовка текста диссертации. Подготовка демонстрационных материалов и докладов для защиты	Студент	3,8																
11	Проверка составленной документации и разработанных схем	Руководитель	3,8																
		Студент																	
12	Защита проекта	Студент	2,6																



– Научный руководитель



– Студент

4.3. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.1. Расчет материальных затрат научного исследования

Данная часть включает затраты на специальное оборудование и расходные материалы: тахометр, анемометр, пластик для 3д принтера, ветровая турбина, мультиметр.

Результаты расчета затрат представлены в таблице 10

Таблица 10 – Материальные затраты.

№ п/п	Наименование оборудования	Ед. изм	Количество	Цена за единицу, руб.	Итого затраты, руб.
1.	Тахометр RunLeader	шт.	1	3 400,00	3 400,00
2.	Анемометр ручной Ada Aerotemp	шт.	1	2 300,00	2 300,00
3.	Катушка пластика для 3Д принтера	кг.	2	1 900,00	3 800,00
5.	Мультиметр DT 890 B+	шт.	1	900,00	900,00
Итого:					10 400,00

4.3.2. Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и

эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни, в которые оно эксплуатировалось.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (1,5)$$

Где: n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times t \quad (1,6)$$

Где:

I – итоговая сумма, тыс. руб.; t – время использования, мес.

Таблица 11 – Затраты на оборудование.

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования,	Время использования,	H_A	Цена оборудования, руб.	Амортизация, руб
1	Ветровая турбина ВР 86-77	1	4	2	0,25	50000	1 460,00
	Итого:						1460,00

4.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из

трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

В текущем научном исследовании были задействованы: Научный руководитель и Студент.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (1.7)$$

где $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (таблица 1.10);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}} \quad (1.8)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях) (табл.1.16);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дней $M=11,2$ месяца, 5 - дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6 - дневная рабочая неделя;

Тогда,

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{51285 \cdot 10,4}{223} = 2391,8 \text{ рублей}$$

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя студента):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{119} = 3120 \text{ рублей}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104/14	104/14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	24/0	48/0
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	119

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$З_m = З_{мс} * (1 + k_{пр} + k_d)k_p = 26300 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 51285 \text{ рублей}$$

Для студента:

$$З_m = З_{мс} * (1 + k_{пр} + k_d)k_p = 17000 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 33150 \text{ рублей,}$$

где: $З_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 12 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З _{мс} , руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	З _м , руб	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2391,8	30,2	72232,36
Студент	17000	0,3	0,2	1,3	33150	3120	61,6	192192
Итого по статье З _{осн} :								264424,36

4.3.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{доп} = k_{доп} * З_{осн} \quad (1.13)$$

где $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{доп} = 0,15$);

$З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$З_{доп} = 72232,36 * 0,15 = 10834,85 \text{ рублей}$$

Для студента:

$$З_{доп} = 192192 * 0,15 = 28828,8 \text{ рублей}$$

4.3.5. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

Для руководителя:

$$С_{внеб} = k_{внеб} * (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 * (72232,36 + 10834,85) = 24920,16 \text{ руб.} \quad (1.14)$$

Для студента:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (192192 + 28828,8) = 66306,24 \text{ руб.} \quad (1.15)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.3.6. Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др, т.е. те затраты, которые не учитывались в предыдущих статьях.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} (З_{\text{р}} + З_{\text{о}} + З_{\text{св}} + З_{\text{эл}} + З_{\text{кл}}) \quad (1.16)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов. Величина коэффициента принимается равной 0,16;

$З_{\text{р}}$ – затраты на ремонт;

$З_{\text{о}}$ – затраты на отопление;

$З_{\text{св}}$ – затраты на связь;

$З_{\text{эл}}$ – затраты на электричество;

$З_{\text{кл}}$ – затраты на клининг;

$$З_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (3000 + 28000 + 300 + 5000 + 6000) = 6768 \text{ руб.}$$

4.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 13 – Бюджет затрат НТИ

Затраты по статьям, руб.							
Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Амортизация	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
10 400,00	1 460,00	264424,36	39663,65	91226,4	407174,41	6768	413942,41

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ в таблице 13 мы видим, что самые крупные расходы по проекту связаны с выплатой заработной платы и социальных фондов.

4.4. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.4.1. Интегральный показатель финансовой эффективности

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной исследовательской работы рассмотрены:

- 1) Исследование аэродинамических процессов с использованием двухлопастных роторов;
- 2) Исследование аэродинамических процессов с использованием пятилопастных роторов;

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (1.17)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$\Phi_{\text{исп.1}} = 413942,41 \text{ руб.}; \Phi_{\text{исп.2}} = 423546,41 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{413942,41}{423546,41} = 0,97;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{423546,41}{423546,41} = 1;$$

4.4.2. Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (1.18)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (табл. 5.12).

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Производительность	0,3	4	5
2. Долговечность в использовании	0,3	3	4
3. Удобство при эксплуатации	0,1	4	3
4. Безопасность при производстве	0,15	4	4
5. Надежность	0,15	3	4
ИТОГО	1	3,55	4,20

$$I_{p1} = 4*0,3+3*0,3+4*0,1+4*0,15+3*0,15 = 3,55$$

$$I_{p2} = 5*0,3+4*0,3+3*0,1+4*0,15+4*0,15 = 4,20$$

4.4.3. Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{эф.i} = \frac{I_p^{исп.i}}{I_{финр}^{исп.i}}, \quad (1.19)$$

где:

$I_{эф.i}$ – интегральный показатель эффективности i-ого варианта разработки;

$I_p^{исп.i}$ – интегральный показатель ресурсной эффективности i-ого варианта разработки;

$I_{финр}^{исп.i}$ - интегральный финансовый показатель i-ого варианта разработки.

$$I_{эф.исп.1} = \frac{3,55}{0,99} = 3,59$$

$$I_{эф.исп.2} = \frac{4,20}{1} = 4,20$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 1.20).

Таблица 15 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,97	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,55	4,20
3	Интегральный показатель эффективности	3,59	4,20
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,2

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является Исп.2.

Вывод по разделу финансовый менеджмент

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. По результатам проведенного анализа конкурентных технических решений можно отметить, что является наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и студента, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 152 дня, общее количество рабочих дней, в течение которых работал студент – 152 дня и общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель – 10 дней;

3. Составлен бюджет исследования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляет 413942,41 руб.;

4. По интегральным финансовым показателям можно отметить, что данное научное исследование является эффективным, и в этой связи поддержка научного исследования может являться грантом на выполнение проектов фундаментальных научных исследований. Данный способ является самым быстрым и простым для реализации данного научного исследования.

Все, вышеперечисленные технико-экономические показатели проекта, позволяют сделать вывод о том, что данное исследование является выгодным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветроэнергетика сегодня — взгляд сверху и со стороны журнал «НАУКА И ЖИЗНЬ» Выпуск №7, 2013г. (<https://www.nkj.ru/archive/895/22730/>)
2. Понятов А. Вступив в эпоху электричества // Наука и жизнь. — 2020. — № 1. — С. 16.
3. Безруких П.П. Ветроэнергетика. Справочно-методическое издание. — М.: Теплоэнергетик, 2014. — 300 с.
4. Райтер, Роберт В. (1996). Энергия ветра в Америке: история. Университет Оклахомы Пресс. п. 44. ISBN 9780806128122
5. Юдасин Л.С. Энергетика: проблемы и надежды. — М.: Просвещение, 1990. — 207 с.
6. Твайделл Дж., Уэйр А. Ветроэнергетика // Возобновляемые источники энергии. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 393 с
7. Ортогональный ротор — один из наиболее популярных типов вертикально-осевых ветроустановок, <https://lektsii.org/6-91150.html>, Дата обращения 15.05.22
8. Владимир Сидорович. Мировая энергетическая революция: как возобновляемые источники энергии изменят наш мир. — М.: Альпина Паблишер, 2015. — 208 с.
9. <http://www.hyotyтуuli.fi/index.php?page=617d54bf53ca71f7983067d430c49b7> Архивная копия от 29 января 2018 на Wayback Machine Параметры
10. Wind energy in Europe in 2019 (англ.) // WindEurope. — 2020. — С. 18—19.
11. Энергия природы, <https://ru.alternative-energy.com.ua/vocabulary/ротор-саво-ниуса/>, Дата обращения 15.05.2022
12. Energo|house, <https://energo.house/veter/vetrogenerator-savoniusa.html>, Дата обра2щения 15.05.2022
13. <https://altenergiya.ru/veter/rotor-darie.html>

- 14.Альтернативная энергия, <https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/339-vertikalnyy-vetrogenerator-foto.html>, дата обращения: 15.05.2022
- 15.Ветроэнергетика, <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>, дата обращения: 16.05.2022
16. E. H Lysen, “Introduction to wind energy,” Wind energy. Consultancy services wind energy developing countries. 2nd ed. Netherlands: 1983, 311p
17. "Global Electricity Review 2022". Ember. 29 March 2022. Retrieved 2 April 2022.

Приложение 1

(справочное)

Research efficiency of wind turbine generator with vertical axis of rotation

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Рюмин Егор Евгеньевич		04.06.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков В.С.	к.т.н.		04.06.2022

Консультант – лингвист кафедры

Должнос ть	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сыскина А.А.	к.ф.н		04.06.2022

Introduction

Electricity plays important roles in the socio-economic development of a country. Renewable energy resources i.e. solar, wind, hydro, biomass and geothermal offer sustainable and environmentally friendly power generation and are getting more attention worldwide [1]. Among those resources, hydropower from the conventional and nonconventional technologies contributes the highest share in term of global electrical output capacity in total [2]. While conventional hydropower technology is expensive and controversial due to the dam construction that can damage the surrounding environment [3], nonconventional technology provides a practical alternative with minimal impact on the environment and nearby communities [4].

The hydrokinetic turbine (HKT) is one of the latter technologies that generates electricity by converting kinetic energy directly from free-flowing rivers; hence, it does not require the construction of a dam. Therefore, it can be practically used to power electrical loads in areas with a close proximity to a river but with limited or no access to electrical grid, such as in rural and remote areas. Having a similar working principle to that of a wind turbine, the HKT can generate more electrical power under the same flow rate input, as water is denser than air. HKTs can be categorized into horizontal axis turbines and vertical axis turbines. Both have unique advantages and disadvantages. The former, which are lift-driven turbines, have higher coefficient of power (around 0.4–0.5) and are more suitable for a tidal current and ocean current, but have inherent high noise level and vibration [5]. The latter can be divided into lift-driven Darrie turbines and drag-driven Savonius turbines and both turbines have an omni-directional feature where the turbines can receive an incoming flow from any direction. Darrie turbines have better power performance than Savonius turbines but poor self-starting capability and periodic variation of the aerodynamic forces during every rotation are the drawbacks of these turbines. Savonius turbines have the lowest coefficient of power (usually not more than 0.2) as compared to Darrie and horizontal axis turbines. However, the turbines have the advantages of being structurally simple, operable under limited water flow rate with a good self-starting

capability and emit less noise. Therefore, the Savonius HKT is considered to be the most practical power generation system, particularly the remote areas with close access to a river.

Wind energy is a branch of power engineering that specialises in converting the kinetic energy of air masses in the atmosphere into electrical, mechanical, thermal or any other form of energy that is suitable for use in the national economy. Such conversion can be carried out by such units as a wind turbine (for electric power generation), a windmill (for conversion into mechanical energy), a sail (for use in transportation) and others.

A wind turbine is a device for converting the kinetic energy of a wind flow into the mechanical energy of the rotor rotation and then converting it into electrical energy.

As the blade rotates, it is logical to assume that the air currents simultaneously create both positive and negative momentum. Thus, slowing it down (and in some cases stopping it rotating altogether), lowering the overall efficiency of the unit.

By installing a damper in the air flow path, we assume that the negative momentum will be reduced to insignificant limits by reflecting part of the air flow, thus ensuring an increase in blade speed and hence an increase in efficiency.

The following benefits have been identified when using the flap:

- Increase plant efficiency by up to 20% by cutting off negative airflows;
- The ability to operate the unit at relatively low wind speeds;
- Reduces the load on the axle and bearings of the wind turbine.

This research work focuses on finding the optimum wind turbine blade shape, optimum flap setting angles, and the development of additional designs in order to increase the efficiency of the installation.

Wind is considered a renewable or alternative energy source. The total global stock of wind energy is estimated at 170 trillion kW/h, or 170,000 terawatt hours (TW/h), per year, which is eight times the world's current electricity consumption [6].

Theoretically, all of the world's electricity supply could be supplied exclusively by wind power.

The first windmills were built in the Middle East around the ninth century on the borders between present-day Afghanistan and Iran. The function of these mills was to grind grain and pump water [7].

The first wind turbine was built in 1887 by Scottish professor James Blythe [8].

Charles Brasch designed and built a wind turbine on an eighteen-metre support tower, with a rotor 17 metres in diameter, consisting of 144 wooden blades [9]. This giant produced 12 kW of electricity and served faithfully from 1886 to 1900. That is, until they built a combined heat and power plant in Cleveland.

In 1931, the first wind generator with a vertical axis of rotation was created. The creator was the French inventor Georges Darier [10]. Thanks to the new design, the wind turbine could operate in any wind direction, and the vertical layout allowed the gearbox and generator to be placed on the ground. This saved on materials and maintenance of the station.

In 1925, Russian professor Zhukovsky N.E. developed the theory of wind turbine and established a wind turbine department at the Central Aerodynamic Institute. In 1931 in the USSR the largest at that time wind-power installation with the capacity of 100 kW was built, and in 1938 in the Crimea the installation with the capacity of 5 MW was created. In 1950s Soviet Union produced up to 10 thousand wind turbines with power up to 30 kW per year. [11]

The Soviet scientists and engineers theoretically substantiated principally new schemes and created perfect in design wind turbines and wind electric power stations of various types with power up to 100 kW for mechanization and electrification of agricultural production processes and other purposes. The Soviet scientists and specialists N.V. Krasovsky, G.H. Sabinin, E.M. Fateyev, R.V. Sektorov, K.P. Vashkevich, V.V. Sidorov et al. [12] Industrial production of electric motors for mechanical drive machines was established in the early XX century, and electric wind-powered units with generators of small capacity - about 20 years.

In 1937, improved WES with a capacity of 100 kW was built at a distance of 32 km from Yalta. The annual energy output was about 280 thousand kWh with a wind energy utilization factor of 0.32. The generator and control devices were installed on top of a 30 m high tower. The rotation frequency of the wind wheel was regulated by turning the blades. The tower had an inclined support, mounted on a cart, which moved along a circular guide to orient the wind wheel to the wind.

A wind turbine is a device that converts the kinetic energy of the wind into electrical energy.

The main components of a wind turbine are the rotor and the generator. There are blades at the end of the rotor.

The principle of operation of a wind turbine is as follows: the wind force causes the blades to spin the rotor shaft, which is rigidly connected to the generator shaft, thereby creating an alternating magnetic field that generates swirling electricity. This generates an electric current.

The capacity of a wind turbine depends on the total blade area of the generator as well as the height above the surface. For example, 3 MW turbines made by a Danish company Vestas have an overall height of 115 meters, a tower height of 70 meters and a blade diameter of 90 meters. [13]

The wind generator starts producing current in winds of 3 m/s and shuts down in winds of more than 25 m/s. The maximum output is achieved in winds of 15 m/sec. The power output is proportional to the third degree of wind speed: when the wind doubles, from 5 m/s to 10 m/s, the output increases by a factor of eight.

The most popular wind turbine design in the world is the one with three blades and a horizontal axis of rotation. The most efficient design for areas with low wind speeds are wind turbines with a vertical axis of rotation, the so-called rotor or carousel type. More and more manufacturers are now turning to such installations, as not all consumers live on the coast, and continental wind speeds are typically in the 3 to 12 m/s range. In such wind conditions, the efficiency of a vertical plant is much higher. It is worth noting that vertical wind turbines have several other significant advantages:

they are the least noisy and require absolutely no maintenance, with a service life of more than 20 years.

Alexander and Holownia [14] were the first to demonstrate that flat deflector shielding can improve the power performance of a Savonius turbine. Later, Huda et al. [15] used a deflector plate upstream of a Savonius turbine and demonstrated that the coefficient of power of the turbine was improved by 20% relative to the turbine without any deflector plate. Ogawa and Yoshida [16] investigated the effects of deflector angle on the performance of a Savonius wind turbine. Turbine performance evaluated at various deflector angles ranging from 30° to 90° relative to the incoming flow direction exhibited the highest power performance improvement of 24% at a 90° deflector angle. The deflector acts as a wall that shields the returning blade from being impinged by the incoming free stream, hence reducing the drag force on that blade. Similarly, a flat deflector configured at 90° upstream of an in-plane axis Savonius HKT led to an 80% improvement in the performance relative to the case without the deflector.

The optimization of the deflector configuration was numerically studied by Mohamed et al. [17]. In an optimized deflector configuration, the performance of the two-bladed and three-blade Savonius turbines were improved by 27.3% and 27.5%, respectively. Golecha et al. [18] then experimentally optimized the returning blade deflector configuration to improve power performance of a modified two-bladed Savonius HKT. The results showed that a deflector angle of 101° resulted in the best power performance with 50% improvement. Moreover, they found that the power performance of the turbine was not affected by deflector lateral distance (along Y-axis). With the optimized returning blade deflector configuration, Golecha et al. [19] added an advancing blade deflector upstream of the same turbine and found a significant power performance improvement of 150% when the advancing blade deflector was configured at 50° . In order to reduce negative torque on the Savonius wind turbine, Altan and Atilgan [20] used a curtain with top and bottom end plates to concentrate the incoming flow towards the advancing blade. They found that the power performance for the turbine increased with the length of the curtain, and when the advancing blade and returning blade side curtains were optimally configured at 15° and 45° ,

respectively, power performance was improved by about 153% relative to that of the curtain-less turbine.

In 2021, the amount of electricity produced by all wind turbines worldwide was 1,430 terawatt hours (5.3% of all electricity produced by mankind). Some countries are developing wind power particularly intensively. In 2021, wind generators produced 48% of all electricity in Denmark, 33% in Ireland, 27% in Portugal, 26% in Germany, 22% in Great Britain, 21% in Spain, and 15% in the European Union as a whole. In 2014, 85 countries used wind power on a commercial basis. As of 2019, more than 1,000,000 people worldwide are employed in wind power[16] (including 500,000 in China and 138,000 in Germany) [21].

Basic wind turbine designs

There are currently two main types of HGVs - those with a vertical axis of rotation and those with a horizontal axis of rotation.

The design of the HGU with horizontal axis of rotation, is as follows: the rotor blades point downwind, and the gearbox, generator and rotor shaft are located in the upper part of the unit - on the mast. (Fig. 1.)

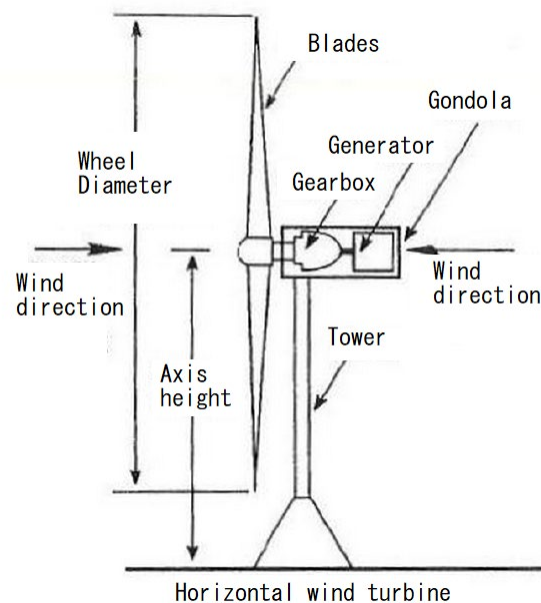


Figure 1: Horizontal-axis wind turbine

The blades are orientated by a vane system. On the more massive units, the orientation is done by means of electronic systems.

Propeller rotor

This type of wind turbine is classic. The rotors come in one, two, three or multi-bladed.

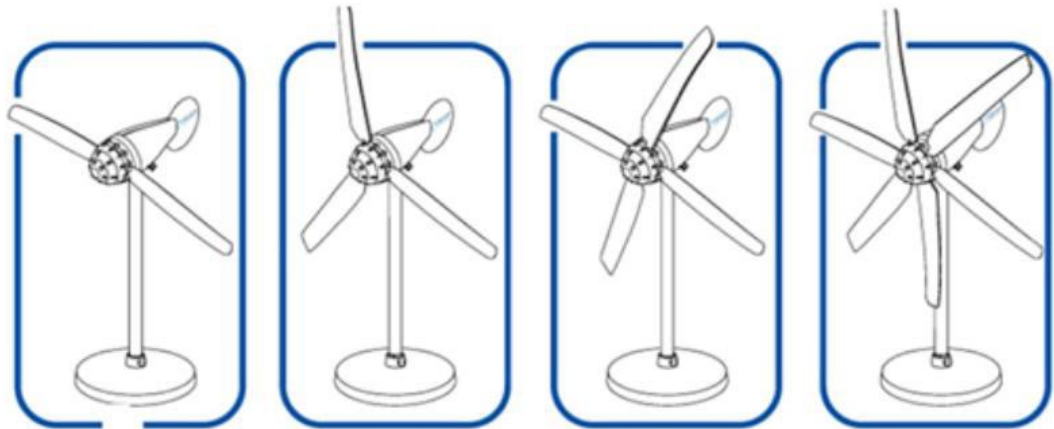


Figure 2: Types of horizontal propeller-type rotors

The main advantage of this type of wind turbine is its high efficiency, due to the small angle of attack during operation. It is worth adding that it is possible to change the blade direction electronically. Due to this, the optimum propeller rotation angles are determined, which has a positive impact on the efficiency of the installation. [22]

The main disadvantage of these wind turbines is the high alternating loads, as well as the vibration and high noise emitted by the installation. In addition, horizontal wind turbines require a careful design of blade orientation in relation to the air flow, which directly affects the efficiency of the machine. Wind turbines with a vertical axis of rotation do not have these disadvantages.

A vertical wind generator is a device whose rotational axis is perpendicular to the direction of wind flows and oriented in a vertical direction. Wind generators with a vertical axis of rotation have a number of significant advantages:

- Simple design;
- Low breakaway speed;

- Possibility of installing drive equipment on the ground;

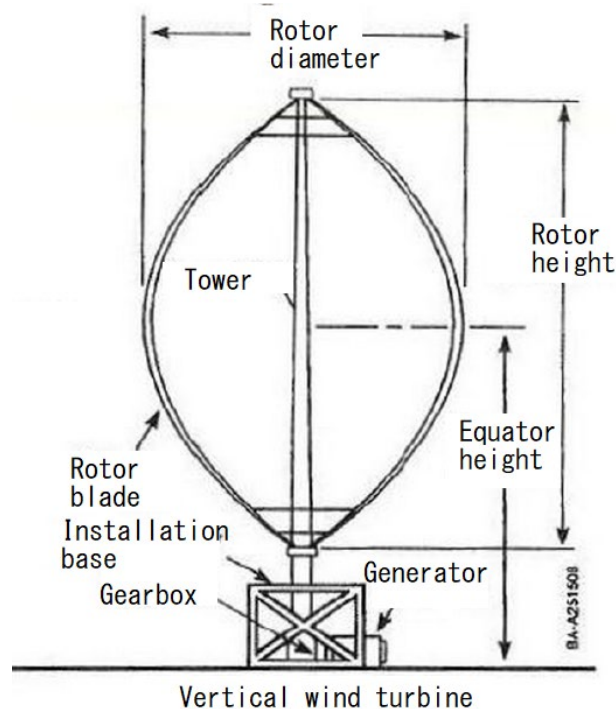


Figure 3. Design features of a vertical wind turbine generator

There are five main types of blades for vertical axis wind turbines:

- Savonius wind turbine
- Darie wind turbine
- helicoid wind turbine
- orthogonal wind turbine
- polynomial wind turbine

The Savonius rotor blades are designed as two thin-walled semi-cylinders. The operation of the rotor is enabled by the difference in drag created by the air flow around the wings of the rotor. The movement of the blades around the central axis is achieved by the convex-curved shape of the blades. The design of the rotor is simple, so it is robust and durable. When manufactured correctly it has a relatively low rotational speed. It is designed so that regardless of the direction of the air flow, the rotor is always aligned with the wind and is not affected by turbulence.

The Savonius rotor is considered inefficient because it delivers only 10-15% of the energy.

The advantage of the rotor is its simple and robust construction. The blades of this shape are not complicated parts and do not require any special manufacturing techniques. The rotor has a high starting torque and therefore does not require an initial forced unwinding, nor does it depend on the direction of airflow. [23]

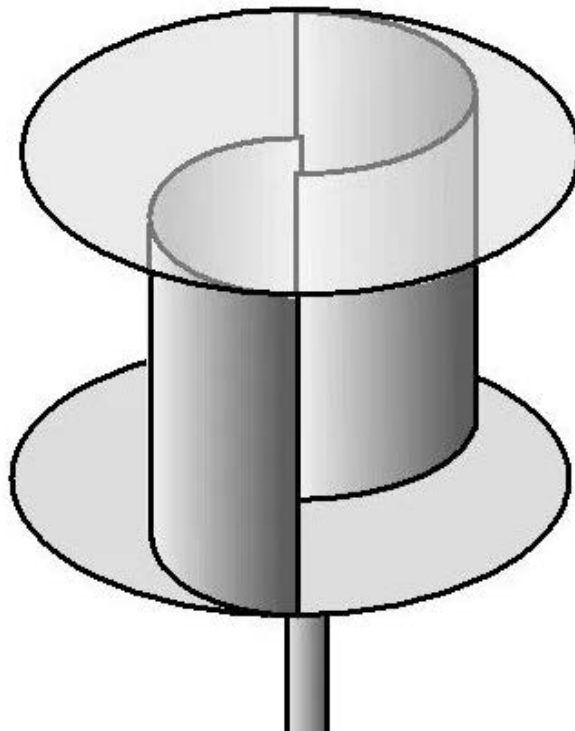


Figure 4: Savonius rotor

Rotor Darje

In general terms, the rotor design is three blades attached to radial beams. There are three types of Darier rotors:

- Classic. The blades are crescent-shaped. Their size is quite large - almost comparable to the length of the main axle. The base has a sturdy, stable semi-circular base.
- Type H. Three wings, straight in shape and positioned at right angles to the horizontal supports, are at the top of the structure. The supports are attached to the supporting axle. The advantages of this design are high speed, high efficiency and complete absence of infra-sound. The H-type rotor is easy to assemble and repair,

more reliable than the classic Darrier wind turbine, cheaper - and therefore common in use.

- Screw type. The blades are made in the form of curved spirals. They are also located on the upper compartment of the rotor bearing axle. Due to the curved shape of the wings, the rotation of the rotor is more uniform. This reduces the load on the bearing units and increases the service life of the mechanism.

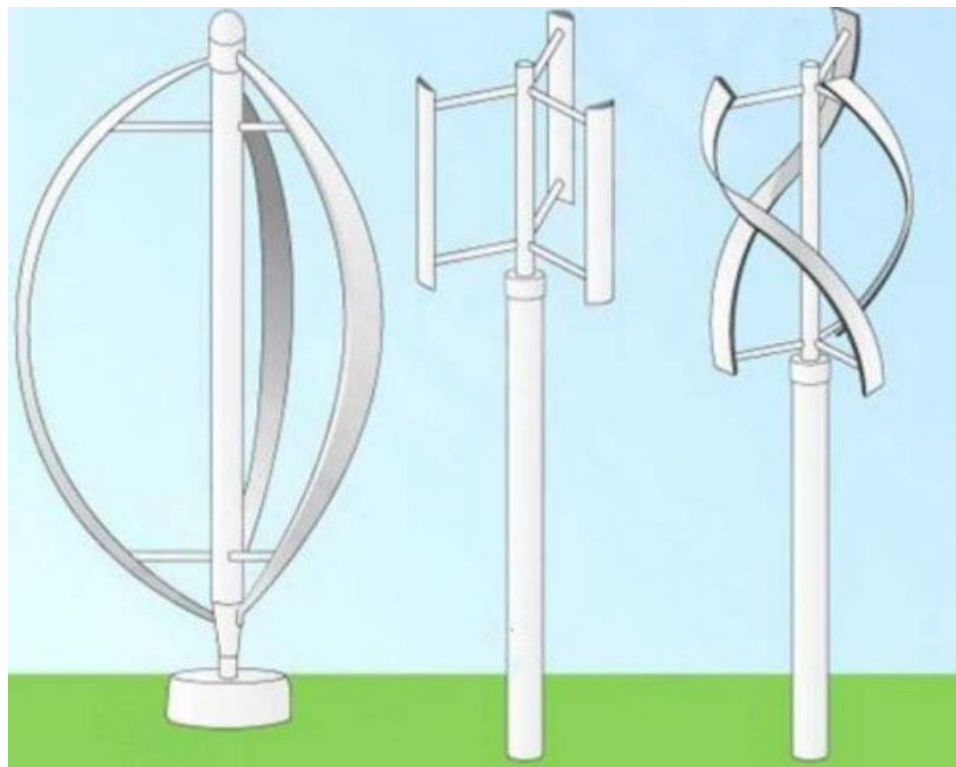


Figure 5. Varieties of Darier rotors

Each of the three types has its own disadvantages. A classic wind turbine has less efficiency. A Darje rotor wind turbine needs generators. It cannot start and spin up on its own. In strong, hurricane-force wind gusts, the mechanism may start on its own, a process that is difficult to control. [24]

The H-type device is easy to operate, but it wears out quickly due to the high aerodynamic loads. The spiral wind turbine is more reliable due to its design, but the technology is complex, so it is expensive.

The indisputable advantage of all rotor types is that they do not depend on the strength and direction of the wind flow. The location of other structures in the surrounding area is acceptable, making it easier to carry out repair work.

Helical rotor

The helicoidal rotor design uses blades with a swirled shape. These are generally arranged along the entire vertical axis of the wind turbine (Figure 5).

The advantage of the helicoidal rotor is the uniformity of rotation, which is facilitated by the shape of the blades and the reliability. The disadvantages are increased background noise and the high cost of the rotor. Blades of such shape are expensive to manufacture. [25]



Figure 6: Helical rotor

Orthogonal rotor

Orthogonal vertical wind turbines have a vertical axis of rotation and several blades parallel to it, separated from it by a certain distance.

The advantages of orthogonal wind turbines are their high maintainability and ease of operation.

The disadvantages of these units are: lower service life of the support assemblies, due to higher dynamic loads on them, because when the rotor rotates, the lifting force from each blade changes its direction by 360° , which creates additional dynamic loads; the blade system of orthogonal units is more massive compared to the equivalent in power horizontal axis units; efficiency of the blade system of orthogonal units is lower compared to horizontal axis units [26]



Figure 7: Orthogonal rotor

Multi-vane rotor

The multiblade wind turbine is an improved version of the orthogonal wind turbine. The rotor blades are arranged in two rows: the outer rotor tier is static and acts as a guiding device. The outer tier catches, captures and compresses the wind flow,

thereby increasing the wind speed. The inner row of blades is movable, the blades of the inner row receive the wind from the stationary blades at a certain angle.

Advantages of the multi-blade wind turbine are high EFI, operation at low wind speeds.

Disadvantages of multi-blade wind turbines are difficult to manufacture, high cost, high sound emissions.



Figure 8. Multiblade wind turbine generator

Design features of the wind turbine variant under study

A vertical wind turbine with Savonius rotor has been chosen as the basis.

This unit consists of a vertical shaft with the paddles on top and all the necessary electronic components on the bottom.

For all its simplicity, there is one major disadvantage with this type of rotor - low efficiency.

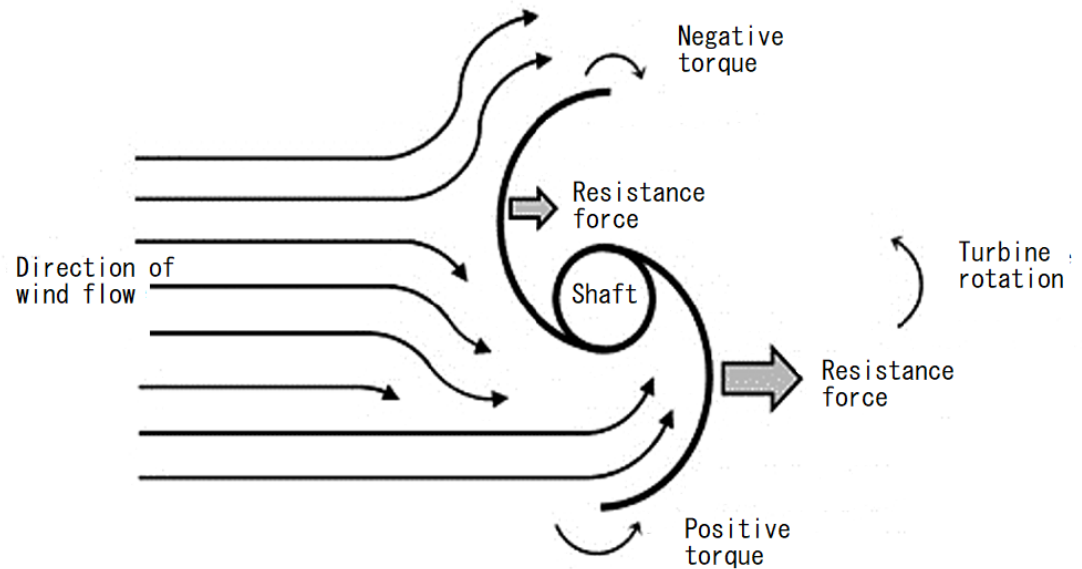


Figure 9. Savonius rotor principle

As can be seen from the diagram (fig.9), the wind flow towards the rotor creates both positive torque and negative torque. By installing a damper in the way of air flow, we assume that the negative torque will be reduced to insignificant limits due to reflection of a part of the air flow, thus ensuring increase of rotation speed of the blade and thus increase in efficiency.

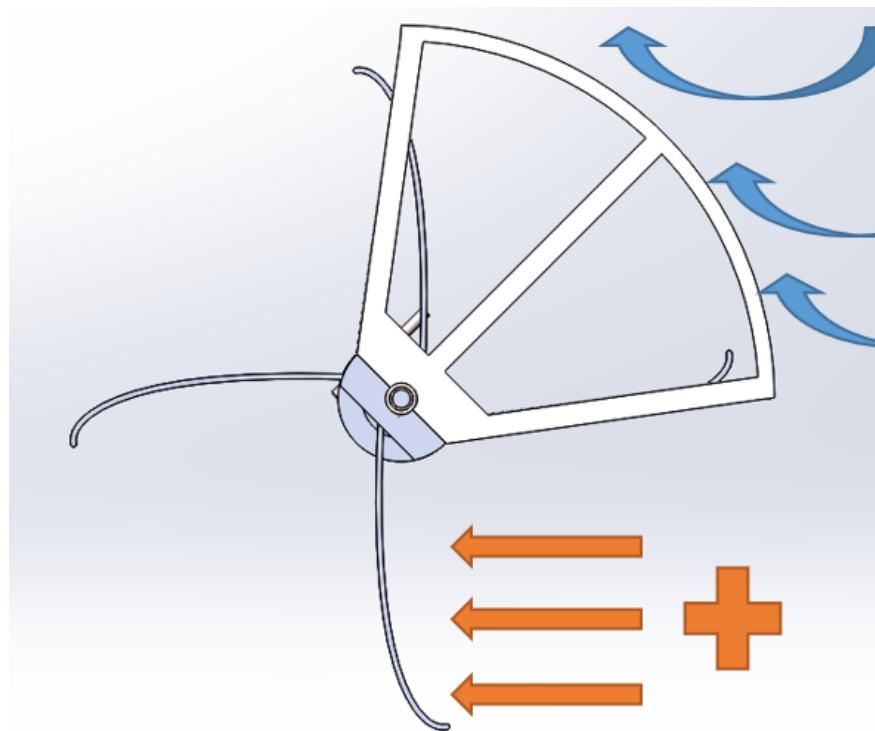


Figure 10. Schematic diagram of the airflow effect on the flap blade

Foreseeable benefits of using a wind damper:

- Increase plant efficiency by up to 20-40% by cutting off negative airflows;
- The ability to operate the unit at relatively low wind speeds;
- Reduces the load on the axle and bearings of the wind turbine.

The following blade samples were printed out for testing:

- with three straight segments (1.1);
- with four straight segments (1.2);
- with the first type of rounding (two segments) (2.1);
- with the first type of rounding (three segments) (2.2);
- with the second type of rounding (two segments) (3.1);
- with the second type of rounding (three segments) (3.2);
- with the third type of rounding (two segments) (4.1);
- with the third type of rounding (two segments) (4.2);
- with additional platform (two segments) (5.1);
- with additional platform (four segments) (5.2);



Figure 14: General view of the blades printed on the 3D printer

The preparations for the trials were carried out in two stages:

- Assembling the sample rack
- Positioning the stand at the correct distance from the turbine. The main criterion for choosing the distance is the wind speed generated by the turbine directly in front of the blade.

Test sequence:

- Installation of the sample blade on the stand;
- Connecting the measuring instruments;
- Wind tunnel launch
- The voltage (V) and RPM (rpm) readings are recorded;
- Installation of the flap in front of the blade pattern;
- The voltage (V) and RPM (rpm) readings are recorded;

Description of the lab stand

In order to carry out the measurements, a laboratory bench was designed and built, and a wind tunnel was searched based on technical calculations. The stand allows the blade to be positioned at the correct height and also serves as a platform for connecting the electric motor required for the voltage to be generated. The wind tunnel is needed to create a directed flow of air at a certain speed.

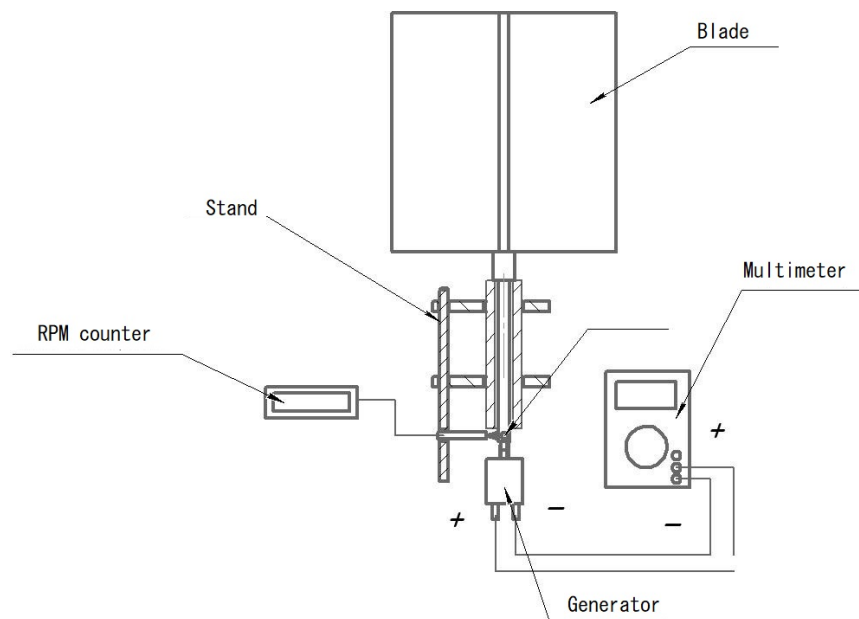


Figure 11. Schematic diagram of the laboratory bench

The lab bench (figure 11) consists of a metal stand to which the stator is rigidly attached. Two ball bearings are pressed into the stator housing, into which the blade axle is inserted. At the lower end of the axle there is a groove for the adapter coupling. This coupling is used to connect the vane axle and the generator shaft. Holes are provided on the underside of the stand to attach the revolution counter sensor. To obtain a reading of the generated voltage, use a multimeter by connecting the multimeter leads to the appropriate terminals on the genset.

Measuring instruments necessary for taking readings:

- Anemometer;
- Multimeter (connected to the electrical generator);
- Tachometer

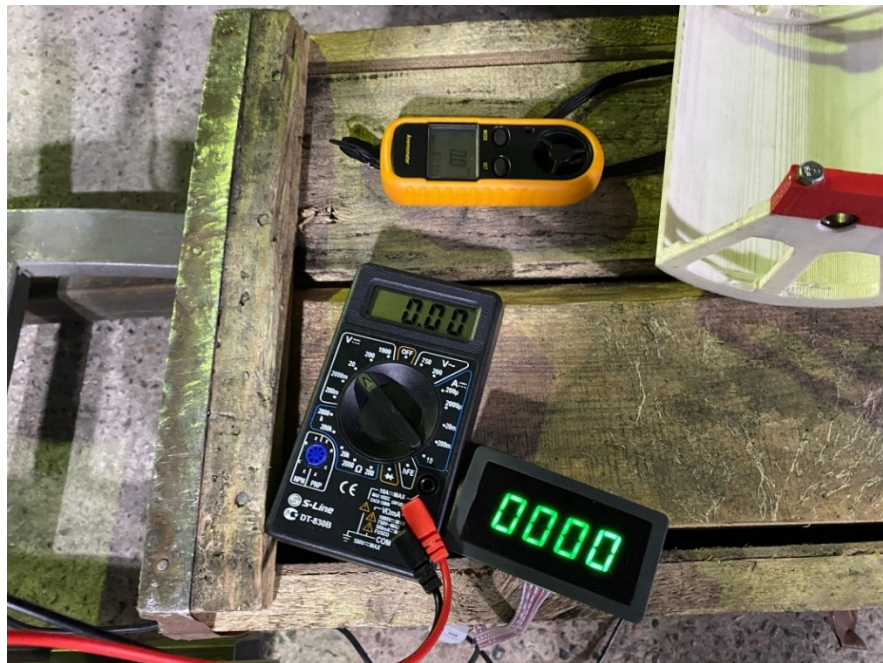


Figure 13. Photo of measuring instruments