

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

---

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
Отделение школы (НОЦ) материаловедения

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Исследование ветрогенераторов для Томской области</b>

УДК 621.548.4-047.37(571.16)

Студентке

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Бойко Любовь Александровна		14.05.18

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крауиньш Д.П.	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и  
ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хапёрская А.В.			21.05.18

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			31.05.18

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиньш П.Я.	д.т.н.		

Томск – 2018 г.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**  
**по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению**  
**15.04.05**  
**«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»,**  
**профиль подготовки «Конструирование технологического оборудования»**  
**ИШНПТ ТПУ, Отделение школы Материаловедение, руководитель ООП**  
**Крауиньш П.Я.**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные знания для создания <i>нового</i> технологического оборудования и его эксплуатации.	Требования ФГОС ВО (ПК-19, 20) <sup>1</sup> , Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Применять <i>глубокие</i> знания в области современных методов проектирования и технологий машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ПК-1, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием технологических машин и их эксплуатацией, с использованием производственных испытаний, системного анализа, моделирования объектов и процессов машиностроения	Требования ФГОС ВО (ПК-16, ОК-2, 3), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

<sup>1</sup> Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств),

P4	Разрабатывать и проектировать новое оборудование и технологические машины и использовать <i>новое</i> оборудование, и инструменты для производства изделий, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5, 23, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> при создании современных высокоэффективных машин, технологий производства изделий, материалов, нано технологий.	Требования ФГОС ВО (ПК-21, 24, ОК-4, 6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 2, 4, 14, 15, 25), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие</i> знания по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностраным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ПК-7, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации	Требования ФГОС ВО (ПК-6, 17, 18, ОК-10), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3,), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности,	Требования ФГОС ВО (ПК-22, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5),
	компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>	согласованный требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1, 5), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

---

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
Отделение школы (НОЦ) материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ61	Бойко Любовь Александровна

Тема работы:

<b>Исследование ветрогенераторов для Томской области</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1974/с от 20.03.2018 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.18
--	----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(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.).</i></p>	<p>Объектом исследования является система автономного электроснабжения жилого девятиэтажного дома с системой автоматического управления.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(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; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Рассмотрение перспективности развития отраслей малой энергетики в Томском регионе;</p> <p>Определение оптимального типа конструкции ветрогенератора для применения в Томском регионе;</p> <p>Разработка алгоритма приближенного определения механической характеристики ветряного колеса конструкции «Попутный ветер»;</p> <p>Найти и исследовать математическую модель зависимости механической характеристики ветроколеса <math>M(w)</math> конструкции «Попутный ветер» от входных переменных параметров;</p> <p>Определить экономическую и ресурсоэффективную составляющую проекта. Произвести расчет требующихся затрат на реализацию НИР. Определить сильные, слабые стороны проекта;</p> <p>Рассмотреть вопросы, связанные с организацией рабочего места сотрудника, осуществляющего трудовую деятельность в лаборатории. Составить перечень опасных и вредных факторов, оказывающих влияние на сотрудника;</p> <p>Выводы по результатам работы.</p>
--	--

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация</p>
--	--------------------

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
---	--

Раздел	Консультант
По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Хапёрская Алена Васильевна
По разделу «Социальная ответственность»	Мезенцева Ирина Леонидовна

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>
--

<p>Анализ малоэнергетических потенциалов Томского региона</p>
---

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>21.09.2017</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крауиньш Д.П.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Бойко Любовь Александровна		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 115 с., 41 рис., 23 табл., 19 источников, 1 прил.

Ключевые слова: малая энергетика, ветроэнергетические установки, ветрогенератор «Попутный ветер», алгоритм определения, вращательный момент, механическая характеристика ветроколеса.

Объектом исследования является система автономного электроснабжения жилого девятиэтажного дома с системой автоматического управления.

Предмет исследования: зависимость параметров системы автономного электроснабжения от модели ветрогенератора и ветроэнергетических характеристик ветра для конкретной местности.

Целью диссертации является нахождение алгоритма приближенного определения механической характеристики ветряного колеса оптимальной конструкции для территории Томска и Томской области.

В процессе исследования проведен анализ зависимости механической характеристики ветроколеса конструкции «Попутный ветер» от входных переменных параметров таких, как: наибольший и наименьший диаметры ветроколеса, ширина и число лопастей, угол атаки, шаг лопастей.

Степень внедрения: результаты исследования будут использоваться при внедрении ветрогенератора конструкции «Попутный ветер» для определения оптимальных геометрических и механических параметров.

Экономическая значимость работы определена путем оценки научно-технического уровня проекта, а также оценки возможных рисков. В результате проводимое исследование имеет высокую значимость теоретического уровня и приемлемый уровень рисков.

В будущем планируется внедрение результатов исследования в отрасль малой энергетики Томского региона для подтверждения эффективности проведенной работы.

## **Определения и обозначения**

Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки:

Ветроэнергетическая установка (ВЭУ) – устройство, преобразующее кинетическую энергию ветра в электрическую;

ВКР – выпускная квалификационная работа;

СанПиН - санитарные правила и нормы;

ЭВМ - электронно-вычислительная машина;

ПДК - предельно допустимая концентрация;

ЧС - чрезвычайные ситуации.



## Оглавление

Реферат.....	7
Определения и обозначения.....	8
Введение.....	11
1. Анализ малоэнергетических потенциалов Томского региона .....	13
1.1. Виды малой энергетики.....	13
1.1.1. Солнечная энергетика.....	13
1.1.2. Ветровая энергетика.....	14
1.2. Типы конструкций ветроэнергетических установок .....	21
1.2.1. Вертикальные ВЭУ .....	22
1.2.1.1. Основные типы конструкций вертикальных ВЭУ .....	23
1.2.2. Горизонтальные ВЭУ.....	26
1.2.2.1. Основные типы конструкций горизонтальных ВЭУ .....	27
1.3. Описание ветроустановки «Попутный ветер» .....	32
2. Расчеты и аналитика .....	35
2.1. Постановка задачи исследования .....	35
2.2. Геометрические и динамические характеристики .....	40
2.3. Создание математической модели.....	48
2.4. Исследование математической модели.....	53
2.5. Алгоритм предварительного расчета модели ротора ветрогенератора .....	63
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	66
3.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	68
3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования .....	68
3.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	69
3.1.3. FAST-анализ .....	71
3.1.4. SWOT-анализ.....	76
3.2. Планирование управления научно-техническим проектом.....	78
3.2.1. Иерархическая структура работ в рамках научного исследования .....	78
3.2.2. Разработка графика проведения научного исследования .....	79
3.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	80
3.3.1. Расчет материальных затрат НТИ.....	81
3.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы .....	82
3.3.3. Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	85
3.3.4. Отчисления на социальные нужды определяется по формуле: .....	85

3.3.5 Накладные расходы.....	86
3.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	87
3.4 Определение ресурсной финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	88
4. Социальная ответственность.....	92
4.1. Профессиональная социальная безопасность.....	94
3.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования .....	94
3.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. ....	99
4.2. Экологическая безопасность.....	103
4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	103
4.3.1. Анализ возможных ЧС на объекте .....	103
4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	107
4.4.1. Правовые нормы.....	107
4.4.2. Организация рабочего места .....	108
Заключение .....	112
Список публикаций.....	113
Список используемых источников .....	114
Приложения А .....	116

## **Введение**

**Актуальность** данной темы достаточно велика. По данным региональной энергетической комиссии города Москвы за последние двенадцать лет стоимость электроэнергии (1 кВт/ч) увеличилась в 7 раз, точнее сказать, на 620%. Цены на отопление, газ и водоснабжение так же активно растут. Это связано не только с инфляцией в стране, рост цен на энергетику так же связан с подорожанием не возобновляемых энергоносителей – угля, газа, нефти, которые служат основными источниками для генерации электроэнергии в России.

Согласно прогнозам, к 2030 году электроэнергия для россиян подорожает еще в пять раз. Оценка данной тематики приводит к вопросу о необходимости частичного или полного перехода граждан на альтернативные источники энергии [1]. В интервью первого заместителя министра энергетики, Алексея Текслера, газете «Известия» было сказано, что для России уже поставлен четкий план по развитию альтернативной энергетики. На сегодняшний день её доля в энергобалансе страны составляет менее 1%, но в течение 15-20 лет планируется рост до 3%. Пока такие показатели можно считать удовлетворительными, т.к. в России достаточно хорошо развита традиционная энергетика. Темпы роста возобновляемой энергетики будут высоки, хоть и начинаются практически с нуля.

**Целью** диссертации является нахождение алгоритма приближенного определения механической характеристики ветряного колеса оптимальной конструкции для территории Томска и Томской области.

Определение максимально продуктивной и окупаемой модели верогенератора из конструкций нового времени, применительно для города Томска.

### **Задачи:**

1. Изучение информации о перспективе развития малой энергетики;
2. Проведение анализа и оценка ветроэнергетического потенциала города Томска, с учетом особенностей местного климата;
3. Разработка кинематической схемы устройства;
4. Исследование математической модели устройства;
5. Оценка экономических показателей полученной установки;
6. Подвод итогов.

### **Противоречия, решаемые в работе:**

1. Между подорожанием электроэнергии и ростом ее потребляемости;
2. Между повышением ежегодного количества осадков и не использованием этих факторов в нужное русло;

**Объект исследования:** система автономного электроснабжения жилого девятиэтажного дома с системой автоматического управления.

**Предмет исследования:** зависимость параметров системы автономного электроснабжения от модели ветрогенератора и ветроэнергетических характеристик ветра для конкретной местности.

### **Научная новизна** работы заключается в следующем:

- Экспериментальным путём произведено сравнение классической модели горизонтального ветрогенератора и ветрогенераторов нового поколения;
- Разработана и исследована математическая модель ветрогенератора «Попутный ветер» для климатических условий Томска.

## **1. Анализ малоэнергетических потенциалов Томского региона**

### **1.1. Виды малой энергетики**

Существует множество способов по извлечению энергии из окружающей среды либо её самостоятельного генерирования.

Это:

- a) Геотермальная энергия (тепло земли)
- b) Энергия солнца
- c) Энергия ветра
- d) Энергия воды
- e) Энергия волн
- f) Энергия течений

Рассмотрим некоторые из них, использование которых возможно на территории Томской области.

#### **1.1.1. Солнечная энергетика**

Солнечная энергия в настоящее время является одним из самых перспективных видов альтернативной энергии. Под солнечной энергетикой подразумевается преобразование тепла солнечных лучей в электрическую энергию непосредственным путём либо преобразованием с использованием теплоносителя. В первом случае солнечные лучи попадают непосредственно на специальные панели, далее с помощью полупроводниковых батарей преобразуются в электрический ток. Во втором случае солнечное излучение сперва концентрируется на теплоносителе, который в свою очередь совершает некую полезную работу (вращает турбину, движет шатун, толкает поршень и т.д.) либо вырабатывает тепловую энергию. Есть и гибридные модели, совмещающие в себе эти два типа энергии.

Коэффициент полезного действия современных солнечных батарей не высок и в среднем равен от 12 до 18%. Главными достоинствами солнечной энергии являются: общедоступность и неисчерпаемость источника, а также его практически полная безопасность для окружающей среды.

Главное ограничение по использованию этого вида энергии в том, что она зависит от света солнца, т.е. успешно может применяться в сухих и солнечных районах. Так же в основные недостатки входят: высокая стоимость конструкций, необходимость периодической очистки отражающих поверхностей, нагрев слоёв атмосферы над станцией.

Использование солнечных батарей на территории Томской области возможно, но не весьма эффективно, так как наиболее благоприятное время использования солнечных батарей с марта по сентябрь в период с 10 до 18 часов. Данные получены в ходе эксперимента в 2007 году. Для этого была установлена солнечная батарея, которая в течение года собрала около 150 (кВт\*ч)/м<sup>2</sup> электрической энергии.

### **1.1.2. Ветровая энергетика**

Люди начали использовать энергию ветра еще несколько веков назад, когда появились ветряные мельницы, но полномасштабное её использование началось относительно недавно. Сегодняшние ветрогенераторы преобразуют движение воздуха в механическую энергию, а затем – в электрическую.

Преобразование энергии ветра в электроэнергию очень эффективно, т.к. ветрогенератор производит в 17 – 40 раз больше энергии, чем потребляет за это время. В свою очередь, КПД может достигать пятидесяти процентов. Энергия ветра является общедоступным возобновляемым ресурсом. Её использование не влечет

за собой любого рода пагубных воздействий на экологию, т.к. осуществляется без выбросов веществ либо парниковых газов в атмосферу.

Минусы ветряков в зависимости продуктивности их работы от скорости ветра. Так же они не переносят резких порывов, превышающих максимально допустимые скорости ветра для конкретной станции. Оптимальное расположение для ветряков это - возвышенность с высокой скоростью ветра и низкой турбулентностью. Ветряки достаточно шумные, а защитники природы заявляют, что о вращающиеся лопасти разбиваются птицы. В связи с этим в ветряные электростанции, как правило, прекращают свою работу в сильно ветреную погоду и сезоны миграции птиц.

Ветряные характеристики измеряются на метеостанциях. При описании изменения скорости ветра во времени необходимы ежедневные наблюдения в определенной точке не менее 10-12 лет, так же необходимо учитывать закономерные зависимости, например, что скорость ветра в зимние периоды выше, чем в летние, а в обед выше, чем утром.

В мировой практике использование ветроэнергетических установок считается перспективным, если среднегодовая скорость ветра для конкретной местности составляет 5-6 м/с. Лидерами по использованию энергии ветра в качестве альтернативного источника энергии стали: Китай, США, Германия, Испания, Индия. При скоростях 3-5 м/с требуются технико-экономические расчеты, анализы и более детальный выбор оптимальной конструкции ветрогенератора. Глядя на рисунок 1.1 [2], можно сказать, что не в каждом регионе РФ использование ветроэнергетических установок будет эффективно.

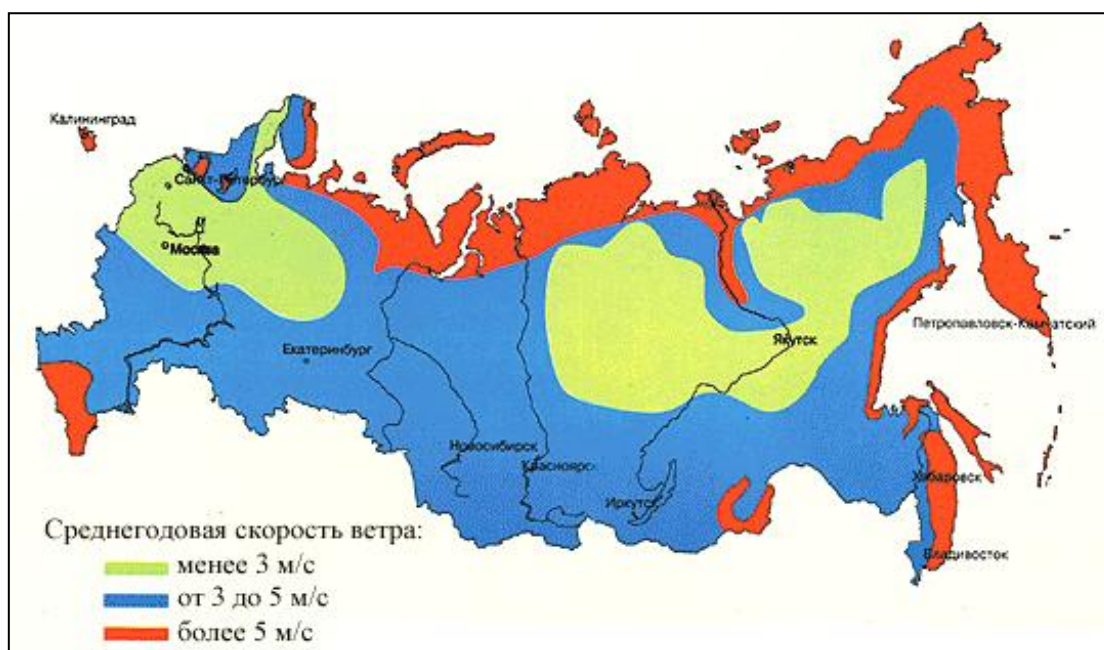


Рисунок 1.1 – Энергоресурсы ветроэнергетики России

Полагаясь на разные интернет источники, можно сказать, что для нашего региона, максимальные скорости ветра на высоте 10 м достигаются в период с октября по май – 3,6 м/с, минимальные наблюдаются в июле и августе, тогда скорость ветра достигает 2,4 м/с. В среднем за год скорость ветра варьируется от 1,6 до 4,5 м/с, что открывает перспективы развития ветряных станций в нашем городе, мощностями 5, 10, 20 кВт. Стоит учесть, что с увеличением высоты, возрастает и скорость ветра.

Проведём исследование по данным метеоцентра, как менялась скорость ветра в Томске за последние семнадцать лет. Обработанные данные приведены в таблице 1.1.



Таблица 1.1 – Средние скорости ветра для каждого месяца года за 17 лет, м/с

Месяц	Год																	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Янв.	1,3	1,5	2,4	1,6	1,1	1,2	1,1	1,5	0,9	1,1	1,3	1,1	0,8	1	1,1	1,1	0,8	0,9
Фев.	1,3	1,8	2,5	2,1	2,1	1,2	1,5	1,9	2	1,5	1,6	1,3	0,7	1,2	1,1	1,2	0,9	1
Март	1,7	2,1	2,6	2	2	1,7	2,1	1,7	1,6	1,4	1,7	1,9	1,6	1,6	1,5	1,2	1,4	1,3
Апр.	2,4	2,5	2	2,4	2,1	2,2	2,2	1,5	2,1	1,8	1,8	2,4	2,1	1,5	2	5,6	1,3	1,7
Май	2,3	2,2	2,1	1,7	2	2,7	2,4	1,9	1,7	2,2	2	1,8	1,8	2	1,7	1,6	1,6	1,7
Июнь	1,8	1,4	1,4	1,6	1,4	1,7	1,6	1,6	1,3	1,3	1,3	1,1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	1
Июль	1,5	1,2	1,3	1,2	1,6	1,2	1,4	1,4	1,5	1,2	1,5	1,3	1,1	1,1	1,2	0,95	0,8	0,8
Авг.	1,4	1	1,4	1,2	1,4	1,8	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,1	1	1,2	0,94	1,1	1,1
Сент.	1,8	1,1	1,5	1,7	1,5	1,5	1,7	1,5	1,1	1,3	1,6	1	1,3	1,1	1,2	1,07	0,9	1,1
Окт.	2	1,3	1,6	1,4	1,7	1,7	1,7	1,5	1,3	1,4	1,2	1,20	1,4	1,3	1,3	1,6	0,9	1
Ноя.	1,5	1,9	1,5	1,7	2	1,8	1,1	1,5	1,7	1,4	1,9	1,6	1,2	1	1,3	1,6	1,1	0,8
Дек.	1,2	1,8	1,4	1,8	1	1	1,9	1,6	1,3	1,2	1,3	1,4	0,6	1,2	1,1	1,2	1,1	0,8
Ср. годовая	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6	1,5	1,4	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,6	1,1	1,1

По таблице 1.1 можем сказать, что в действительности среднегодовая скорость ветра за семнадцать лет не превысила двух метров в секунду. Для наглядности представим полученные данные в виде графиков. Объединим 12 графиков в 4, разделив по временам года.

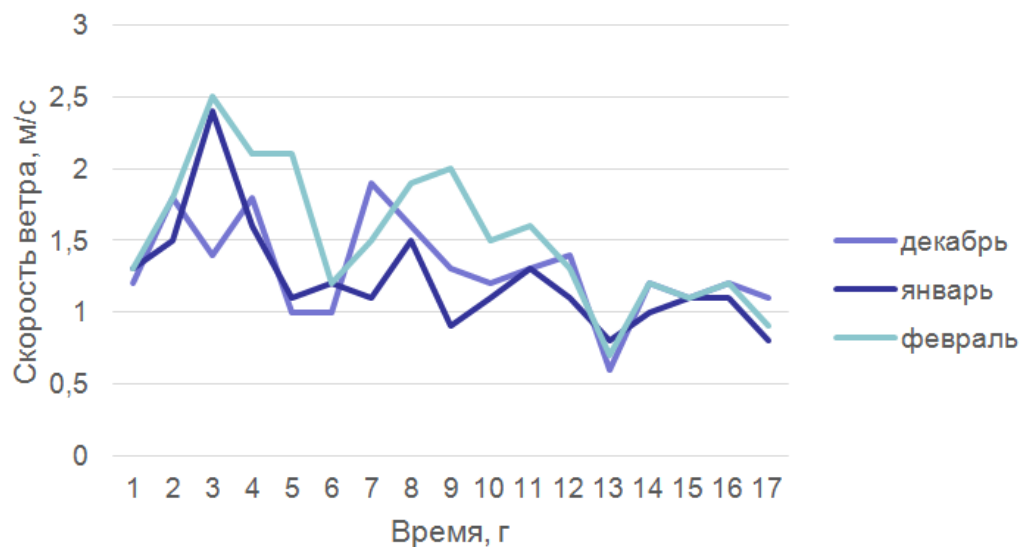


Рисунок 1.2 – Средняя скорость ветра зимой

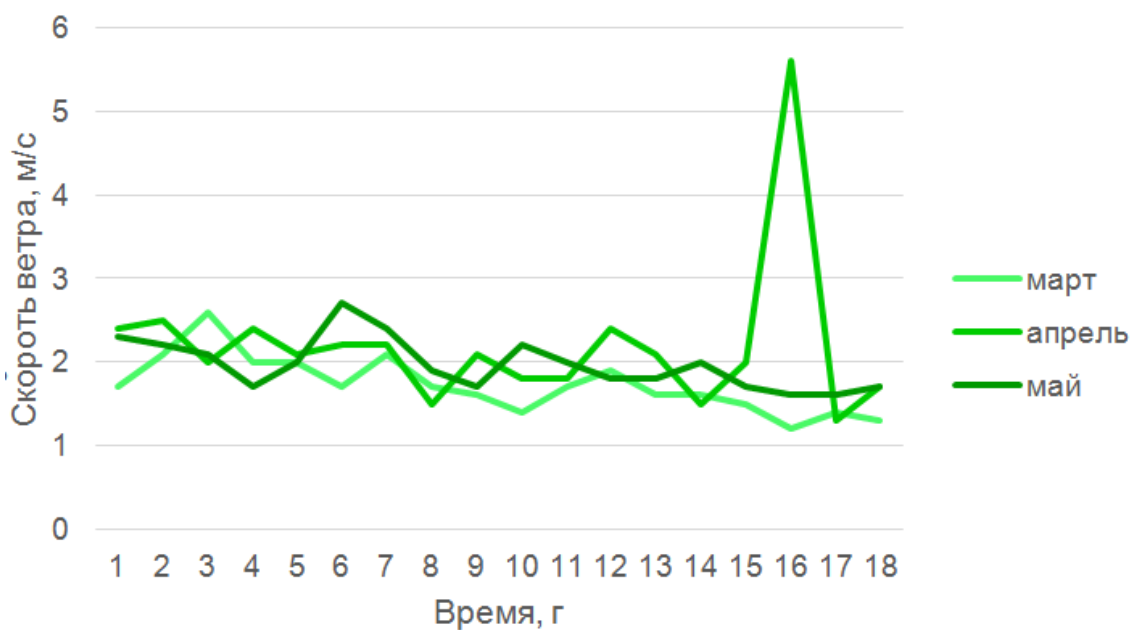


Рисунок 1.3 – Средняя скорость ветра весной

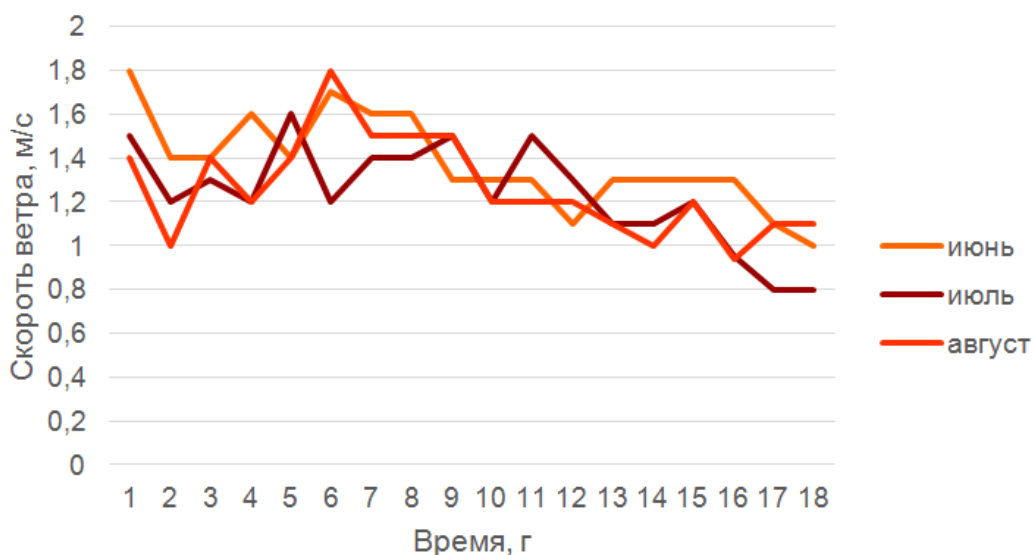


Рисунок 1.4 – Средняя скорость ветра летом

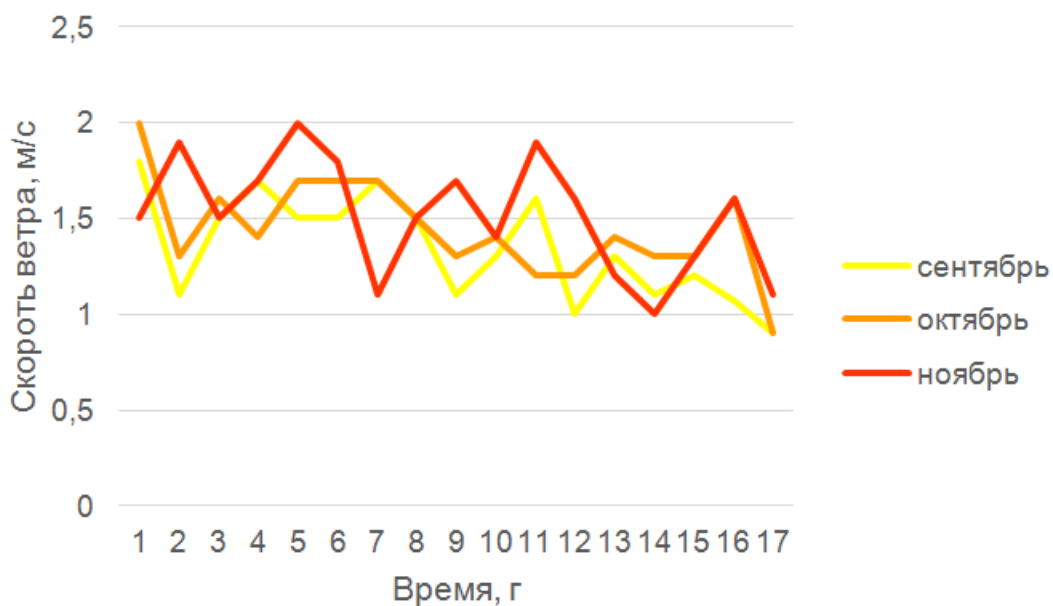


Рисунок 1.5 – Средняя скорость ветра осенью

Теперь представим все данные в едином графике:

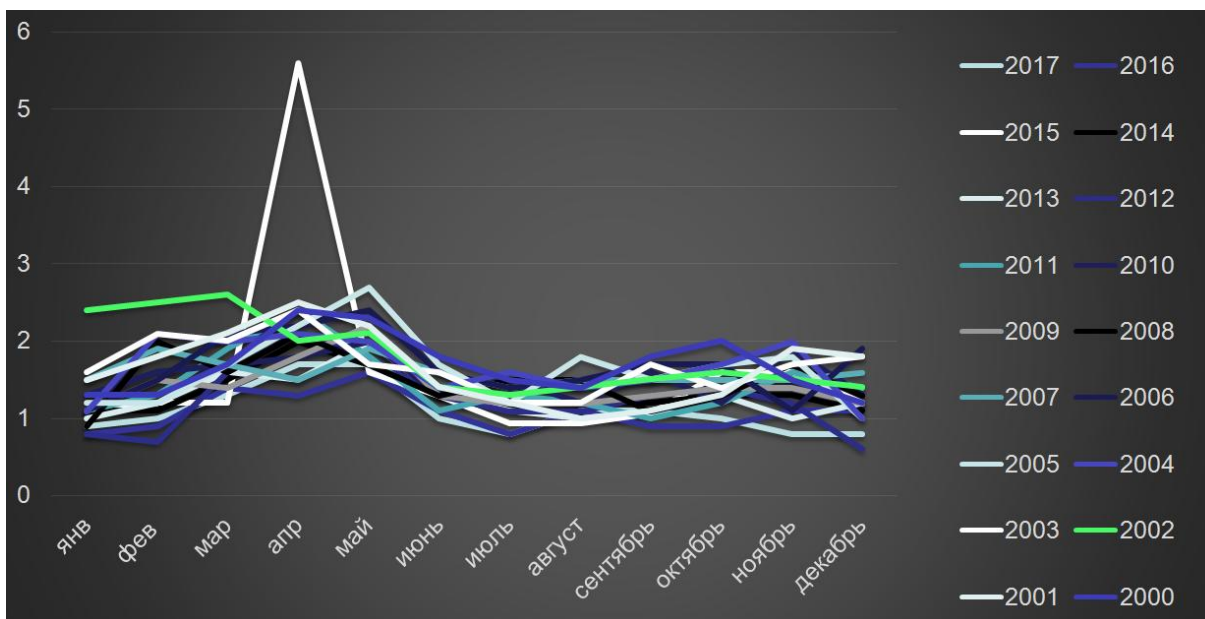


Рисунок 1.6 – Средняя скорость ветра в Томске за 17 лет

Как видно по рисунку 1.6, в целом всё стабильно; увеличение скорости ветра приходится на апрель – май (2,1 м/с) и ноябрь (1,6 м/с); самыми безветренными месяцами можно назвать июль – август (1,1 м/с). Можно уверенно сказать, что с годами средняя скорость ветра в Томском регионе идет на спад. Например, для февраля в начале этого века была характерна скорость ветра 2 м/с, последние же три года она варьируется около 1 м/с.

За 17 лет средняя скорость ветра в Томском регионе составляет 1,5 м/с. В течение года скорость ветра не превышает и трех метров в секунду, за исключением скачка в апреле 2015 года, когда скорость ветра достигла аномальных 5,5 м/с. Рассмотрим этот месяц отдельно (Рис 1.7).

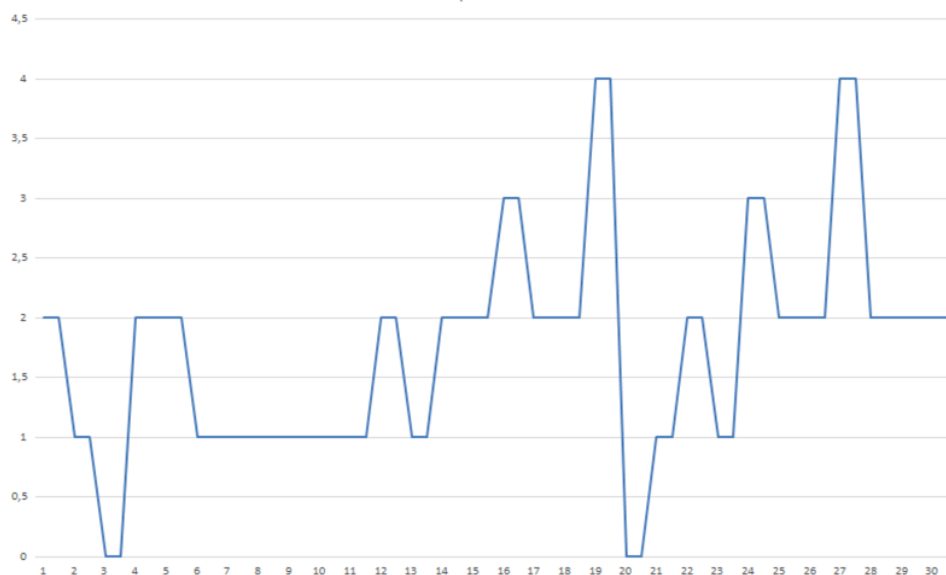


Рисунок 1.7 – График скорости ветра в апреле 2015

Резкие изменения приходились на вторую половину месяца. Это явление связываем с ранним приходом весны в 2015 году: температура воздуха в марте и апреле практически на 9 градусов превышала норму. В связи с этим, потепление, таяние снегов и ледоход начались раньше, снежные шапки более не сдерживали ветер. Считаем, что это и явилось причиной аномальной скорости ветра в этом месяце.

Таким образом, пришли к выводу, что в Томске возможно строительство, использование и продвижение ветреных станций, но только для конструкций с минимальной пусковой скоростью ветра (1 м/с).

## 1.2. Типы конструкций ветроэнергетических установок

Ветрогенераторы бывают различных конструкций, различаются по мощности, оси вращения, количеству лопастей и материалу лопастей, также шагу винта и прочим параметрам.

В основу классификации принято брать геометрию вращения оси главного ротора, тогда ветрогенераторы различают вертикального и

горизонтального типов. У вертикальных турбина расположена перпендикулярно по отношению к плоскости земли, для горизонтального типа характерно параллельное размещение.

Согласно исследованию Университета Касселя и института Фраунгофера, самой распространенной моделью ветряка является горизонтальный трехлопастной ветрогенератор. Из 118 видов применяемых конструкций эта модель встречается в 88%, в остальных 12% - вертикальные ветрогенераторы.

### **1.2.1. Вертикальные ВЭУ**

Стартовая скорость вращения в среднем варьируется от 1,5-2 м/с в зависимости от особенностей конструкции. Рабочий диапазон скоростей ветра от 2 до 50 м/с.

Стоит учесть тот факт, что при установке несколько вертикальных ветроустановок рядом их эффективность увеличивается в виду того, что образующиеся от вращения лопастей потоки воздуха создают для других установок дополнительный напор ветра.

Как и все изобретения, вертикальные ветроэлектрические установки имеют свои преимущества и недостатки.

Достоинства вертикальных ветрогенераторов:

- Функционируют при любом направлении ветра;
- Установка возможна на относительно небольшой высоте (от 0,5 м.);
- Относительно не высокие гироскопические нагрузки;
- Конструкция позволяет располагать редуктор с генератором в основании башни за счет удлинения вала, тем самым, не усложняя ветроагрегат;
- Не нуждается в частом обслуживании, т.к. в строении нет щеток, обслуживаемых подшипников, редукторов;

- Уровень шума до 60 дБ, в связи с этим не имеет ограничений по расстоянию вблизи жилья;
- Безопасность для животных.

Недостатки ветрогенераторов с вертикальной осью вращения:

- Большое количество положений лопастей, в котором ветер производит отрицательную работу, и эффективность турбины снижается;
- Низкая эффективность. Собирают не более 40% от энергии ветра. Коэффициент полезного действия 20-30%.

#### **1.2.1.1. Основные типы конструкций вертикальных ВЭУ**

Существуют несколько основных типов вертикальных ветрогенераторов. Как правило, они отличаются друг от друга формой и количеством лопастей. Поэтому далее рассмотрим несколько распространённых конструкций данного типа.

##### **а) Ротор Савониуса**

Турбину финского инженера Сигурда Савониуса так же называют S-образным ротором (Рисунок 1.8), [3]. Лопасти такого ротора выполнены в виде полуцилиндров, зачастую полых, устанавливаются на вертикальной оси, перпендикулярной вращению ветра. Конструкция позволяет контролировать крутящий момент турбины путём изменения количества и размеров лопастей и расстояние до центра масс, а не высоты башни.

Стартовая скорость данного ротора – 1,5 м/с, так же он обладает широким диапазоном рабочих ветров, низким уровнем шума, малой площадью установки и работает при любом направлении ветра, но ему свойственна низкая аэродинамическая эффективность (не более 400 об/мин).

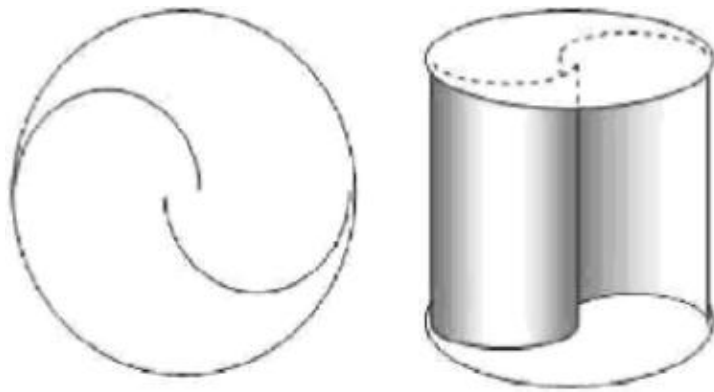


Рисунок 1.8– Конструкции ротора Савониуса

Работниками Омского государственного технического университета установлено, что по сравнению с двух-, трёхлопастным ротором ротор с четырьмя лопастями имеет более высокий крутящий момент. Также четырёхлопастные ветряные роторы имеют хорошую производительность при низкой скорости вращения, но при высокой скорости трёхлопастные показывают лучшую производительность. Также для повышения производительности можно соединить два ротора на одном валу, тем самым создать двухъярусный ротор Савониуса. Такая конструкция имеет более высокую удельную мощность, благодаря высокому крутящему моменту.

#### б) Ротор Дарье

Традиционная конструкция ротора Дарье представлена на рисунке 1.9а и состоит из двух или трёх тонких, изогнутых лопастей, имеющих аэродинамический профиль, и генератора с вертикальным роторным валом. Когда лопасть с наибольшей скоростью пересекает обтекающий конструкцию воздушный поток, в тот момент подъемная сила максимальна.

Стартовая скорость ветра 3 м/с. Самостоятельно раскручиваться ротор Дарье не может, поэтому в качестве стартера применяются двигатель либо ротор Савониуса.



Из-за большого геометрического заполнения это ветроколесо обладает большим крутящим моментом, часто используется для перекачки воды [4].

Так же существует Н-образный ротор Дарье (Рисунок 1.9, б), [5]. Он имеет несколько лопастей, параллельных оси вращения, и удалённых от нее на некоторое расстояние. Конструкция более эффективная, но очень шумная и нуждается в большей силе ветра, также из-за высоких нагрузок характерен короткий срок службы опорных узлов.

Модификацией ротора Савониуса является ротор Виндсайт, он же геликоидный ротор (Рисунок 1.9, в). Лопастей его закручены вокруг оси вращения, тем самым нагрузка на составляющие узлы распределяется равномерно, и срок службы повышается. Но сложная конструкция требует высокой стоимости изготовления.

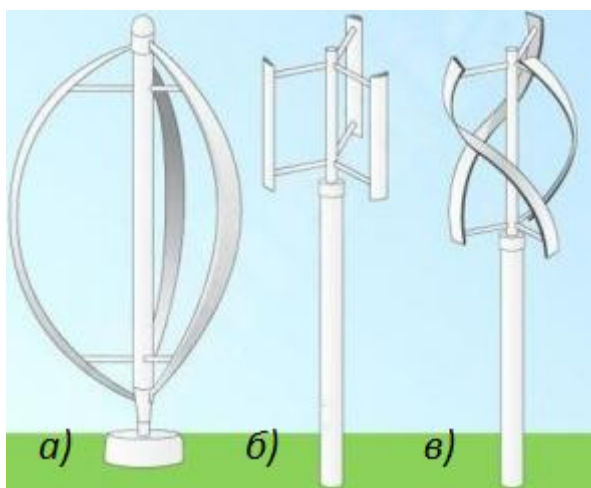


Рисунок 1.9 – (а) ротор Дарье; (б) Н-образный ротор Дарье; (в) винтообразный ротор Дарье

### с) Многолопастные ветрогенераторы

Конструкция отличается наличием двух рядов лопастей: первый ряд статичен, его главной задачей является захватить поток ветра, сжать с увеличением скорости и направить под оптимальным углом на вращающийся второй ряд лопастей. Также неподвижные лопасти защищают установку от птиц и неблагоприятных погодных явлений

(снега, града и др.), поэтому такая конструкция считается самой безопасной для человека, животных и природы. Многолопастный ротор считается самым производительным и эффективным из вертикальных ветрогенераторов. Нагрузка на несущие детали распределяется равномерно, что повышает срок службы. Эффективно работает даже при низкой скорости ветра.

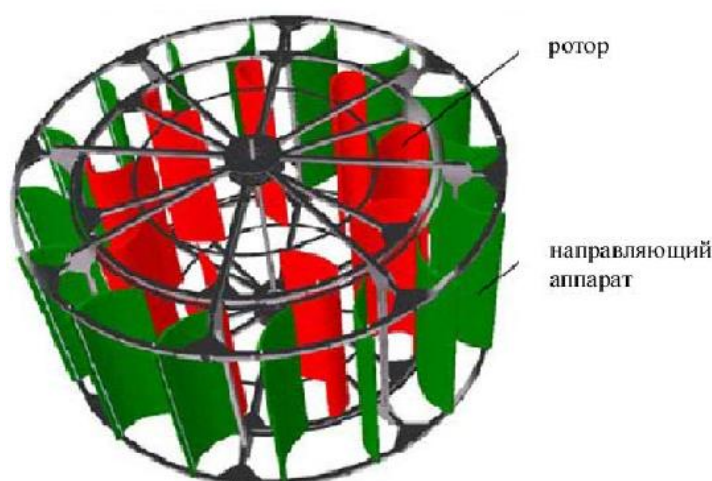


Рисунок 1.10 – Вертикальный многолопастной ветрогенератор, [6]

### 1.2.2. Горизонтальные ВЭУ

Стартовая скорость также, как и у вертикальных зависит от вида конструкции и в среднем составляет 3-5 м/с. Рабочий диапазон скоростей ветра от 3,5 до 20 м/с, а рабочий режим обеспечивается при 8-10 м/с.

У горизонтальных установок эффективность может снизиться при размещении нескольких ветрогенераторов рядом. В таком случае устройства как бы отбирают друг у друга воздух.

Достоинства горизонтальных ветрогенераторов:

- Высокая эффективность: горизонтальные системы ветрогенераторов способны собирать до 50% от энергии ветра;

- КПД 25-35%.

Недостатки классических горизонтальных ветроустановок следующие:

- Высокое расположение (мачта 80-100 метров над землёй);
- Необходимость изменять свое положение для ориентации на направление ветра, при поворотах производительность падает;
- Генератор с редуктором располагаются рядом с турбиной, наверху мачты, тем конструкция усложняется;
- Менее надежнее на участках с сильной турбулентностью, чем вертикальные ветрогенераторы;
- Высокие гироскопические моменты, требующие усиления конструкции опоры и лопастей в местах их крепления;
- Уровень шума свыше 25 дБ (при сильном ветре превышает 100 дБ).

#### **1.2.2.1. Основные типы конструкций горизонтальных ВЭУ**

Существуют несколько типов классических горизонтальных ветрогенераторов, отличающихся между собой числом лопастей:

- Однолопастные  
Данный тип ветроэнергетических установок состоит из лопасти и компенсирующего противовеса. Главным преимуществом конструкции является высокая скорость вращения, в следствие малого момента инерции. Это дает возможность установки генераторов, рассчитанных на более высокие скорости оборотов вращения. Так же преимущество этого ротора в его относительно низкой цене за счет уменьшения числа лопастей и малой

материалозатратности. Мощность выпускаемых в настоящее время однолопастных ВЭУ достигает до 10 кВт с диаметром ротора до 7 м.

- Двухлопастные

Высокая скорость вращения лопастей, маломатериалозатратны, возможность работы с генератором высоких скоростей оборотов вращения. Главным преимуществом является уравновешенность работы ротора при любом положении лопастей. Конструкция представлена на рисунке 1.11, а.

- Трехлопастные

Трехлопастные ВЭУ являются самими распространенными горизонтальными ветрогенераторами (Рисунок 1.11., б). Выпускаются номинальной мощностью от нескольких ватт до 7 МВт.

- Многолопастные

Многолопастные ветряки имеют большое количество лопастей, от четырех до пятидесяти единиц (Рисунок 1.11, в). Момент инерции таких ветряков достаточно большой, поэтому скорости вращения низкие, но крутящий момент развивается достаточно большой. Поэтому их основное применение в ветронасосных системах, особенно в области промышленного применения.

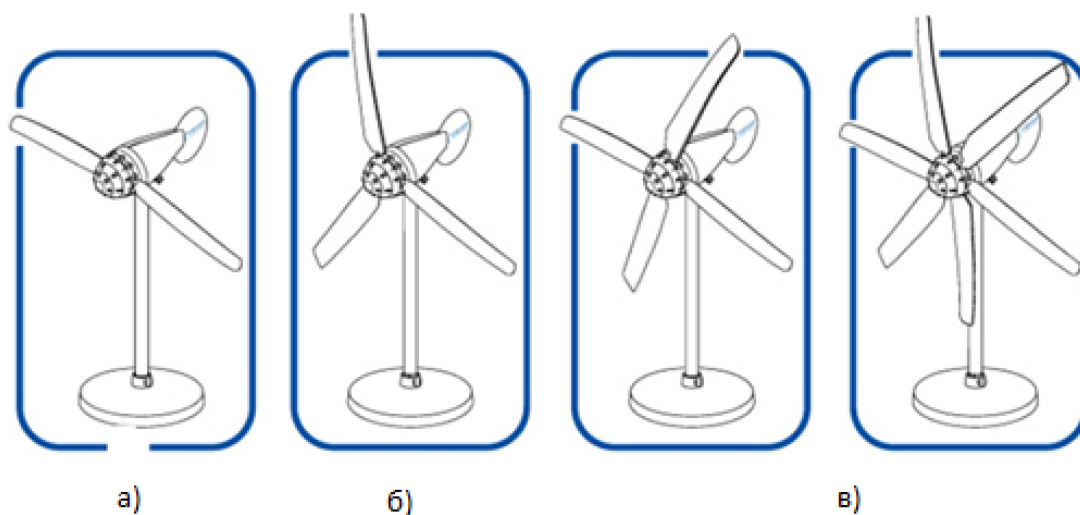


Рисунок 1.11 – Типы классических горизонтальных ветрогенераторов, [7]

Стремительно приобретают популярность горизонтальные ветрогенераторы последнего поколения такие, как:

- «Ротор Онипко»

Данная конструкция получила много наград от ученых сообществ, в их числе и премия «Зеленый Оскар» от Международной федерацией ассоциации изобретателей (IFIA) в 2013 году. с. Низкий уровень шума (меньше 47 дБ). Работает в широком диапазоне скоростей: 0,3 – 20 м/с. Не требует высокого размещения. Заявленный диапазон мощностей от 50 до 10 000 Вт. Существенно выигрывает по эффективной площади у классической лопастной турбины аналогичного диаметра. В силу особенностей конструкции помимо эффекта подъемной силы крыла задействована энергия давления ветра. Не требует высокой мачты. Безопасен для окружающей среды.

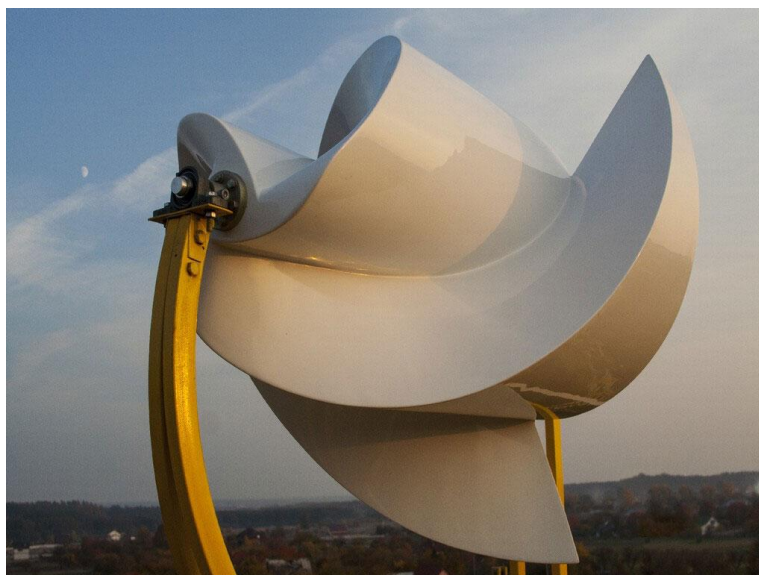


Рисунок 1.11 – Ротор Онипко, [8]

- LiamF1 UrbanWindTurbine

Конструкция LiamF1 UrbanWindTurbine(Рисунок 1.12), [9] создана по подобию насоса Архимеда, только в роли движущей силы выступает воздух. Малошумная, в виду отсутствия как таковых кромок лопастей, с которых происходит срыв потока ветра, что и создает шум в обычных ветряках. Не требует высокой мачты. Заявлено, что КПД данной установки может достигать до 80%. Рабочая скорость ветра 4,5 м/с.



Рисунок 1.12 – Конструкция Liam F1 Urban Wind Turbine

- «Попутный ветер»

Пятилопастной ветрогенератор (Рисунок 1.13, [10]) может при меньшем диаметре ветроколеса вырабатывать больше мощности в сравнении с традиционными ветрогенераторами. Малошумен, при работе уровень шума достигает 40 Дцб. Стартовая скорость ветра 1 м/с. При диаметре ветроколеса 1,5 м среднесуточная выработка энергии составляет 12 кВт. Лёгок по весу, соответственно не материалозатратен. Не требует высокой мачты. Безопасен для окружающей среды.



Рисунок 1.13 – Конструкция «Попутный ветер»

Учитывая, что среднегодовая скорость ветра в Томском регионе не превышает 2 м/с, принимаем оптимальными конструкциями ветрогенераторов ротор Онипко и «Попутный ветер» в виду их малой рабочей скорости.



Необходимо исследовать конструкции для подбора оптимальных размеров ветроколеса и скорости оборотов генератора, при которых мощность ветроустановки будет максимальна.

### 1.3. Описание ветроустановки «Попутный ветер»

Составная схема ветроустановки «Попутный ветер» приведена на рисунке 1.14. Силой ветра приводится в движение ветроколесо 1, оно крепится через два подшипника качения к оси статичного генератора 3. Защитный кожух 2 также статичен, этим кожухом генератор защищен от внешних воздействий. Вращающаяся ось производит электричество в генераторе 3. Ориентация ветрогенератора по направлению ветра обеспечивается подвижной частью опоры 4, она позволяет вращаться вокруг вертикальной оси на 1800 градусов или 5 оборотов. Вся конструкция ветрогенератора фиксируется на месте его установки неподвижной частью опоры 5.

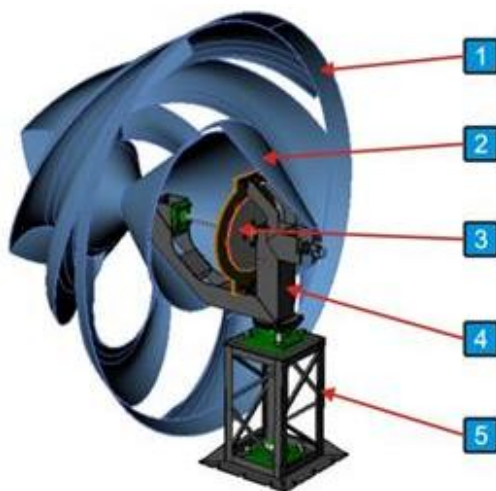


Рисунок 1.14. Составная схема ветроустановки «Попутный ветер»:

1 – Ветроколесо, 2 – защитный кожух генератора, 3 – Генератор, 4 – подвижная часть опоры ветроколеса, 5 – неподвижная часть опоры ветроколеса



Рассмотрим ветроустановку подробнее. Благодаря своим аэродинамическим особенностям лопасти ветряной турбины максимально используют силу ветра для вращения, внутри турбины электромагнитные системы преобразуют эти вращательные движения в электричество, которое аккумулируется в батареях. Чем сильнее ветер, тем быстрее вращаются лопасти и тем больше энергии можно сгенерировать. При вращении лопасти поворачивают кожух, на котором располагаются магниты. Они переворачивают статор, состоящий из медных катушек. Эти магниты изготавливаются из неодимина – сплава железа и бора, который обладает самыми высокими магнитными характеристиками из всех выпускаемых магнитов. Вращаясь внутри либо рядом со статором, магниты создают движущееся магнитное поле и, подчиняясь законам электромагнетизма, электроны в катушках так же приходят в движение. Таким образом, создаётся переменный ток. Его легко производить распространять, но невозможно аккумулировать в батареи, для этого его необходимо преобразовать в постоянный. Эту работу выполняет электронная цепь внутри турбины. При ветре в 45 км/час (12,5 м/с) турбина ветрогенератора может производить 400 Вт энергии. Мощность можно увеличить, аккумулируя и запасая ее в батареях. Устройство управления зарядом контролирует батарею: останавливает вращение лопастей, когда она полностью заряжена и запускает их снова, когда ей требуется подзарядка, таким образом, поддерживая её на оптимальном уровне.

Если ветер слишком сильный, турбина может сломаться. Поэтому её снабжают тормозной системой, которая замедляет или полностью останавливает вращение лопастей. Эта тормозная система так же использует законы электромагнетизма, но, если в предыдущем случае движущиеся магниты индуцировали ток в катушках, то на этот раз ток в катушках используется, чтобы остановить движущиеся

магниты. Создавая короткое замыкание, они замедляют движение ротора. Возникающая в результате этого противодействующая сила в магнитном поле действует как тормоза, замедляя вращение магнитов.

Электронная цепь в ветрогенераторе контролирует электромагнитное торможение, скорость ветра и вращение лопастей. Например, для горизонтального ветрогенератора при скорости ветра свыше 15,5 м/с тормоза автоматически замедляют вращение лопастей, если скорость ветра достигает 23 м/с, тормозная система постепенно останавливает лопасти совсем.

Все части турбины сконструированы так, чтобы максимально использовать энергию ветра. Пока ветер дует, лопасти вращаются. И генератор преобразует их движение в электричество. Таким образом, совершая двойное преобразование энергии, турбина производит электричество из обычного ветра.

## 2. Расчеты и аналитика

### 2.1. Постановка задачи исследования

Типичная принципиальная схема работы ветрогенератора приведена на рисунке 2.1. Воздушный поток со скоростью  $v$  проходит сквозь ветроколесо, раскручивая его, а в следствие – и ось ВЭУ. Появляется крутящий момент  $M$ , зависящий от угловой скорости  $\omega$ . Далее генератор преобразовывает его в напряжение и электрический ток. Таким образом на выходе ветрогенератора получаем электрический ток.

В нашей работе сконцентрируем внимание конкретно на ветродвигателе.

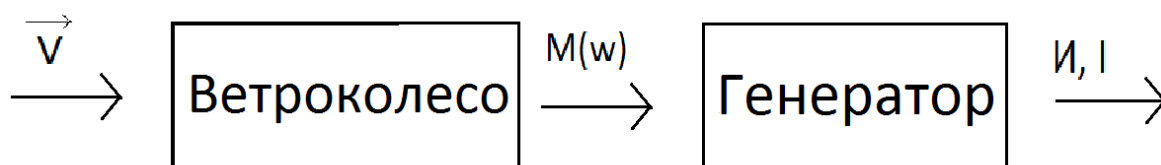


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема работы ветрогенератора

Как отмечено в анализе выше, оптимальным типом ветрогенератора для Томского региона является конструкция «Попутный ветер». Принцип ее действия изображен на рисунке 2.2.

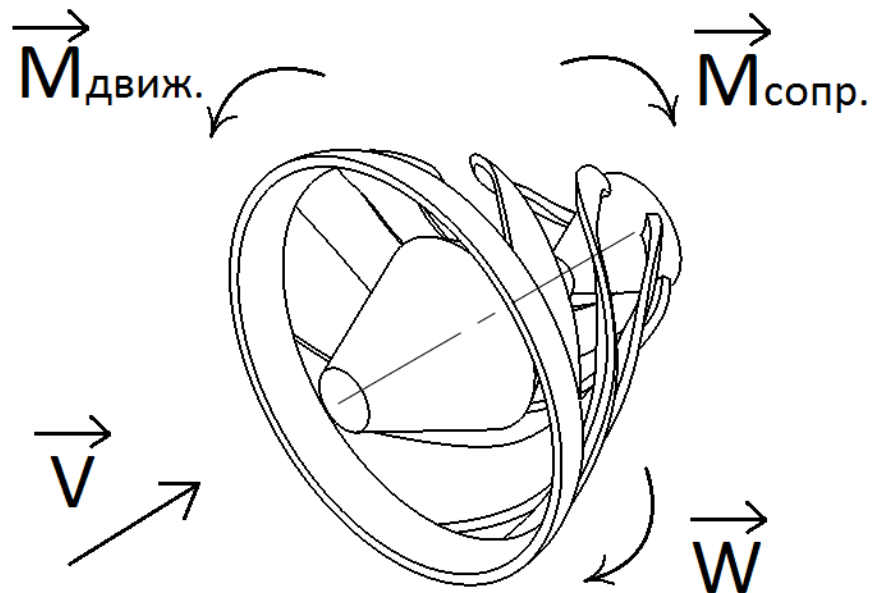


Рисунок 2.2 – Принцип действия попутного ветра:  $\vec{v}$  – вектор скорости набегающего воздушного потока, м/с;  $\vec{\omega}$  – угловая скорость, рад/с;  $\vec{M}_{\text{движ.}}$  – движущий момент, Н/м;  $\vec{M}_{\text{сопр.}}$  – момент внутренних сопротивлений ветроколеса, Н/м.

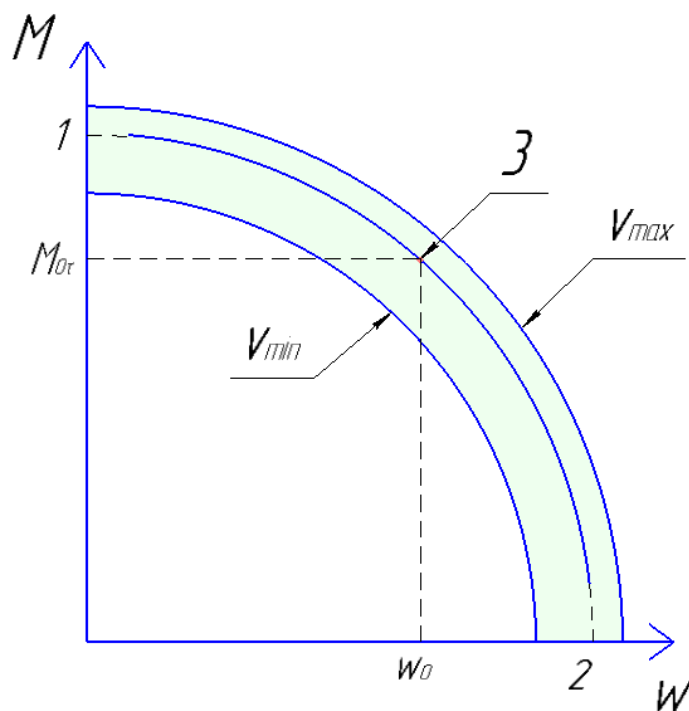


Рисунок 2.2 а – График механической характеристики ветрогенератора

Связь между движением воздушного потока и ветрогенератором можно представить в виде графика (Рисунок 2.2 а).

Диапазон возможных значений  $M$  и  $w$  находится в закрашенной области, ограниченной функциями  $M(w)$ , полученными при  $v_{\min}$  и  $v_{\max}$ . Ранее был произведен анализ скорости ветра в Томском регионе за последние 17 лет, в котором выявлено, что вектор скорости набегающего воздушного потока  $\vec{v}$  лежит в пределе от 1,1 до 1,8 м/с. Это значит, что  $v_{\min}$  и  $v_{\max}$  будут соответственно равны 1,1 и 1,8 м/с.

Если скорость  $v$  принимаем установившейся, то для графика функции этой скорости характерно тождественное равенство движущего момента  $M_{\text{движ}}$ , создаваемого ветром, и момента сопротивления  $M_{\text{сопр}}$ , создаваемого генератором.

Кривая 1-2 – зависимость крутящего момента от угловой скорости лопастей  $M(w)$  при некоторой установившейся скорости  $v$ . Произвольная точка 3 – это некоторая установившаяся точка, для нее характерны крутящий момент  $M_{0\tau}$  и угловая скорость  $w_0$  при установившейся скорости  $v$ .

Принимая во внимание тот факт, что конструкция ветрогенератора «Попутный ветер» достаточно новая (2016 г), расчетные методики не разработаны. В связи с этим, наши задачи математической модели:

- Найти алгоритм приближенного определения механической характеристики ветряного колеса конструкции «попутный ветер»;
- Произвести оценку механической характеристики, применительно к точке 1 и достаточно приближенно для точки 2.

Конструкции ветрового колеса можно видоизменять. Некоторые варианты изображены на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Варианты ветроколес типа «Попутный ветер»

Для повышения эффективности его работы можно сделать следующее:

- Аэродинамический профиль лопасти, а не трубный, как видно по фото. Т.е. сечение принимаем в форме идеального крыла (Рисунок 2.4);
- Уменьшение потерь в начальных точках соприкосновения с ветром. На большем диаметре создадим конусность, тем самым увеличим скорость ветра, попадающую на лопасти. В оригинальном варианте вместо предлагаемой конусности присутствует поверхность, по которой ветер скользит на лопасти, попутно их раскручивая. С нашим предложением начальная скорость будет выше;

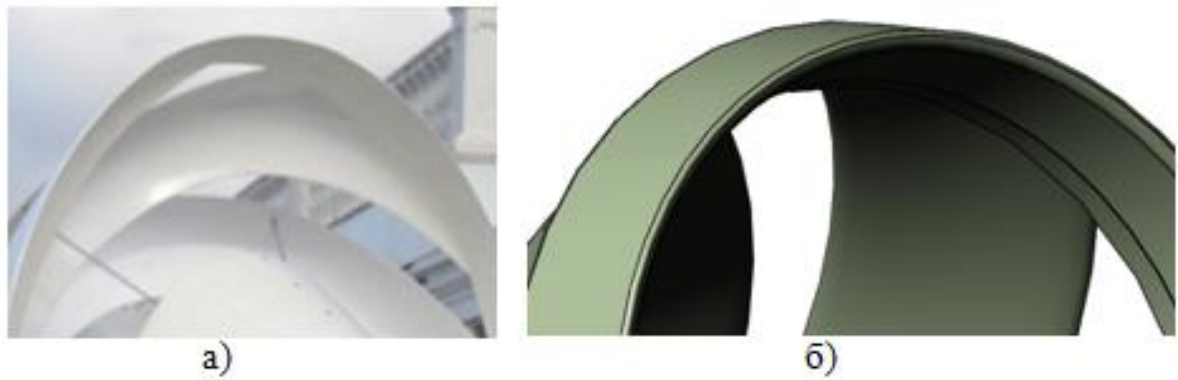


Рисунок 2.4 – Начальный диаметр: а – существующей конструкции; б – предлагаемый вариант

- Использование собирательного конуса. Применение конструкции, приведенной на рисунке 2.5, значительно увеличивает скорость, попадающего на лопасти ветроколеса. Потери на трение при этом незначительны.

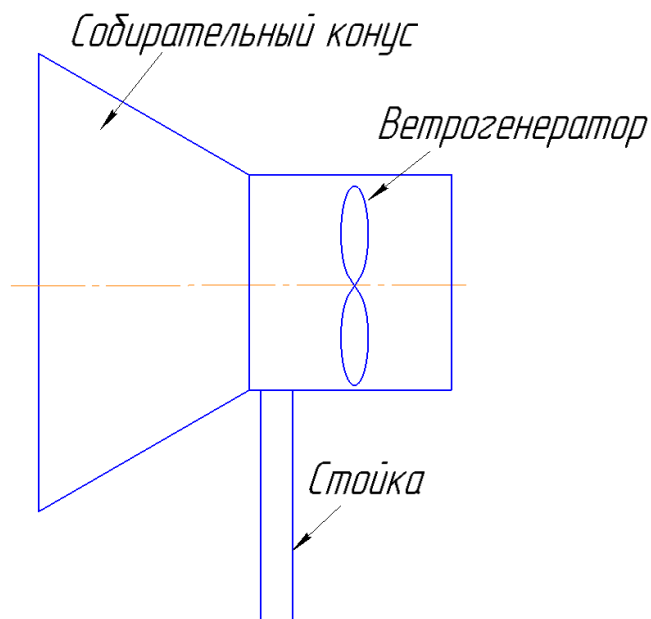


Рисунок 2.5 – Собирательный конус

## 2.2. Геометрические и динамические характеристики

В силу отсутствия методик расчета и конструктивных особенностей, форму лопасти принимаем идеальным аэродинамическим крылом, обтекаемое потоком.

При исследовании крыла необходим ввод геометрических характеристик для описания его формы. Крылья характеризуются площадью  $S$  его проекции в плане, которая называется площадью крыла. Форма крыльев бывает разной: круглой, прямоугольной, трапециевидальной (Рисунок 2.6, [12, с. 309]). Протяженность крыла в направлении, перпендикулярном к набегающему на него потоку называется *размахом или удлинением крыла*, обозначается буквой  $l$ .

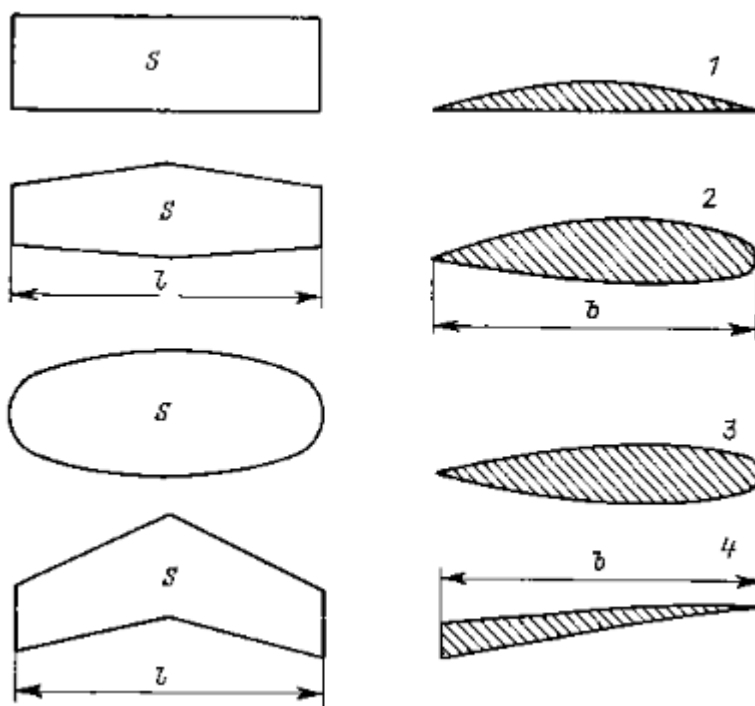


Рисунок 2.6 – Площади и профили крыльев

Профиль крыла получается, если рассечь крыло плоскостью перпендикулярной размаху крыла. Профиль крыла бывает постоянным или переменным. Их применение зависит от требований, предъявляемых к конструкции.



Отрезок, соединяющий две крайние точки профиля крыла, носит название *хорды крыла* и обозначается буквой  $b$  (Рисунок 2.6). Для описания размаха крыла применяется величина его *относительного удлинения*  $\lambda$ , определяемая по формуле:

$$\lambda = \frac{l^2}{S}, \quad (2.1)$$

где  $l$  – размах крыла, м;

$S$  – площадь крыла,  $\text{м}^2$ .

Для прямоугольной лопасти, имеющей постоянную для всех профилей хорду  $b$ , характерна следующая формула:

$$\lambda = \frac{l}{b}, \quad (2.2)$$

Для задания формы профиля крыла применяются переменные ординат  $y_B$  и  $y_H$ , которые отсчитываются расстоянием от хорды до спинки и нижней стороны профиля крыла соответственно (Рисунок 2.7, [12, с. 310]).

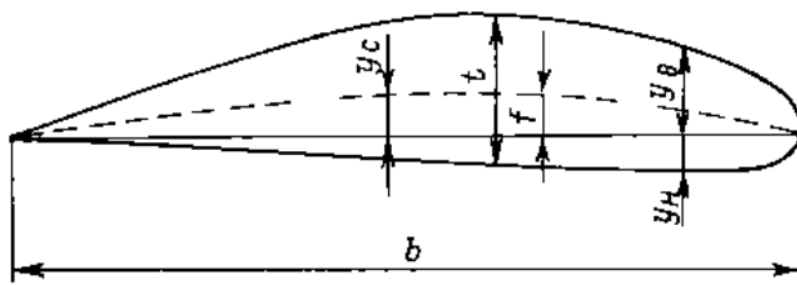


Рисунок 2.7 – Профиль лопасти ветрогенератора

Форма профиля крыла зависит от формы его *средней линии ординаты*  $y_c$ , которую можно вычислить по формуле:

$$y_c = \frac{y_B + y_H}{2}, \quad (2.3)$$

Профили лопастей называют S-образными, если их средняя линия имеет двойную кривизну. Если средняя линия прямая и совпадает с хордой, профиль симметричен.

Максимальный прогиб средней линии  $f$  используется для характеристики степени изогнутости профиля, описывается относительной кривизной средней линии (формула 2.4). Для обычных профилей величина  $f$  варьируется от 0 до 0,02.

$$\bar{f} = \frac{f}{b}, \quad (2.4)$$

Относительная толщина профиля  $\bar{t}$  (формула 2.5) рассматривается для геометрической характеристике профилей крыльев. Данная величина обычно находится в интервале 0 – 25%.

$$\bar{t} = \frac{t}{b}, \quad (2.5)$$

где  $t$  – максимальная толщина профиля, м.

Профиль считается тонким, если его относительная толщина не превышает 10%.

Существуют серии профилей, геометрические параметры которых последовательно изменяются. С их помощью можно подобрать профиль, удовлетворяющий предъявляемым требованиям. К таким относятся профили ЦАГИ (каплеобразные по сечению лопасти), ламинаризованные профили (каплеобразные, несимметричные), суперкавитирующие профили (Рисунок 2.6, 4) и др.

При изучении обтекаемости крыльев используют правую поточную систему координат с осями  $ox$ ,  $oy$ ,  $oz$ , последняя из которых направлена вдоль размаха крыла (Рисунок 2.9, [12, с. 311]). Начало системы находится в передней точке хорды, то есть в носике профиля лопасти. Ось  $ox$  направлена по направлению скорости потока  $u$ , обтекающего крыло.

Попутно применяется система координат  $X_1Y_1Z_1$ , начало координат и направление оси  $oz_1$  которой совпадает с началом предыдущей системы и осью  $oz$ . Ось  $ox_1$  направлена вдоль хорды профиля. Угол  $\alpha$ , образуемый хордой и направлением потока ветра, а, следовательно, осями  $x$  и  $x_1$ , носит название *угла атаки профиля*. Для не установившегося движения, когда направление обтекающего потока меняется со временем,  $\alpha$  – это угол между направлением движения крыла и хордой профиля.

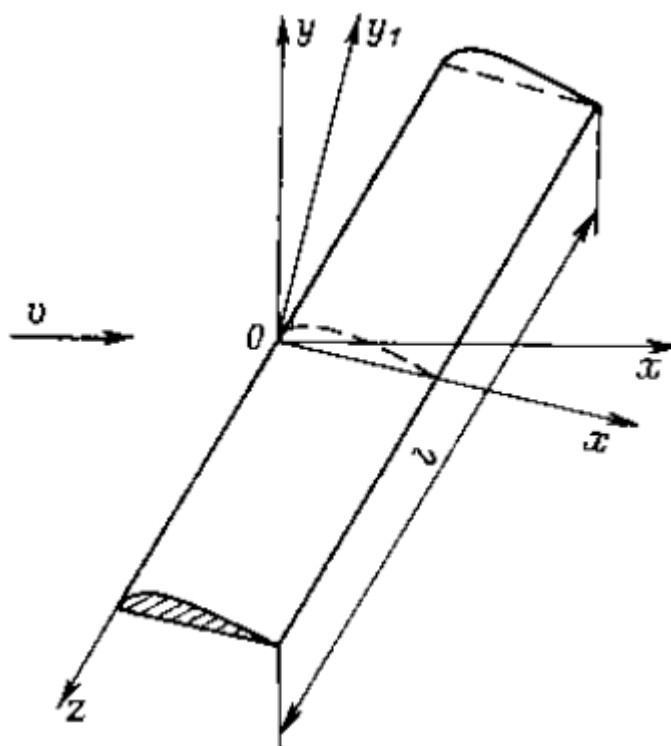


Рисунок 2.8 – Расположение системы координат на лопасти

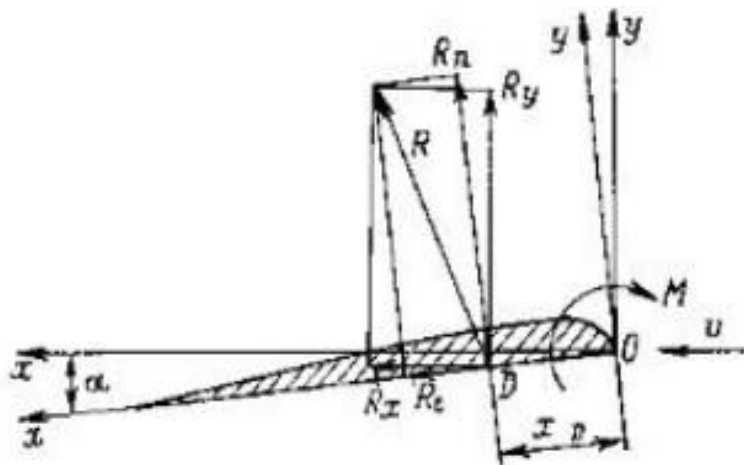


Рисунок 2.9 – Расположение составляющих реакции лопасти

Реакция  $R$ , возникающая на профиле крыла может рассматриваться в любой из приведённых выше систем координат. Ее составляющими в поточной системе являются *сила сопротивления  $R_x$  и подъемная сила  $R_y$* . Их можно найти по следующим формулам:

$$R_x = \frac{C_x * \rho * v^2 * S}{2}, \quad (2.5)$$

$$R_y = \frac{C_y * \rho * v^2 * S}{2}, \quad (2.6)$$

где  $S$  – площадь крыла, м<sup>2</sup>;

$v$  – скорость ветра, м/с;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$C_x$  – коэффициент сопротивления, безразмерный;

$C_y$  – коэффициент подъемной силы лопасти, безразмерный.

Силу реакции лопасти  $R$  можно определить, согласно следующим формулам:

$$R = R_n + R_t, \quad (2.7)$$

где  $R_n$  – нормальная составляющая силы реакции (формула 2.8), Н;

$R_t$  – касательная составляющая силы реакции (формула 2.9), Н.

$$R_n = \frac{C_n * \rho * v^2 * S}{2}, \quad (2.8)$$

$$R_t = \frac{C_t * \rho * v^2 * S}{2}, \quad (2.9)$$

где  $C_n$  – коэффициент нормальной составляющей реакции лопасти, Н;

$C_t$  – коэффициент касательной составляющей реакции лопасти, Н.

Опираясь на рисунок 2.4, можно определить следующие связи:

$$R_t = R_x * \cos \alpha - R_y * \sin \alpha, \quad (2.10)$$

$$R_n = R_x * \cos \alpha + R_y * \sin \alpha, \quad (2.11)$$

$$C_t = C_x * \cos \alpha - C_y * \sin \alpha, \quad (2.12)$$

$$C_n = C_x * \cos \alpha + C_y * \sin \alpha, \quad (2.13)$$

При углах атаки менее 10 градусов можно полагать, что  $\sin \alpha \approx \alpha$ , а  $\cos \alpha \approx 1$ . Тогда справедливы следующие формулы:

$$C_t = C_x - C_y * \alpha, \quad (2.14)$$

$$C_n = C_y, \quad (2.15)$$

Реакцию  $R$  можно перенести вдоль линии ее действия и считают приложенной в точке пересечения этой линии и хорды профиля лопасти. Эту точку  $D$  называют *центром давления профиля*. Коэффициент центра давления крыла:

$$C_D = \frac{x_{1D}}{b}, \quad (2.16)$$

где  $x_{1D}$  – абсцисса, м.

Формула 2.16 служит для определения момента  $M_z$  относительно оси  $Oz$ , то есть относительно носика профиля лопасти.

$$M_z = R_n * x_{1D} = C * \rho * \frac{v^2}{2} * S * b, \quad (2.17)$$

где  $C$  – безразмерный коэффициент момента.

Для того чтобы рассчитать сколько электрической энергии можно получить с определенного участка, следует воспользоваться следующей формулой:

$$P = v^3 * \rho * S_{уч}, \quad (2.18)$$

где  $v$  – скорость ветра на этом участке, м/с;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$S_{уч}$  – рабочая площадь участка, по которой дует ветер, м<sup>2</sup>.

Необходимо учитывать, что часть потока идет на завихрения, а также потери при обтекании геометрических особенностей конструкции воздухом, механические потери и т.д. Максимальное количество потенциальной энергии ветра, которое мы можем получить в реальных условиях, составляет 30-50%. Учитывая это, корректируем формулу 3.1:

$$P = \xi * \pi * R^2 * 0,5 * v^3 * \rho * \eta_{ред} * \eta_{ген}, \quad (2.19)$$

где  $\xi$  - коэффициент использования энергии ветра ( у быстроходных ветрогенераторов в нормальном режиме достигает  $\xi_{max} = 0,4 - 0,5$ ), безразмерная величина;

$R$  – радиус ротора ветрогенератора, м;

$\eta_{ред}$  - КПД редуктора, проценты;

$\eta_{ген}$  – КПД генератора, проценты.

Теоретически доказано, что коэффициент использования ветровой энергии идеального ветроколеса составляет 0.593. Он оценивается измерением скорости до и после ветряной турбины. Скорость ветра после прохождения турбины всегда меньше, в силу того, что лопасти забирают часть кинетической энергии ветра. Это же количество энергии преобразуется в механическую энергию вращения ветряной турбины. Стоит отметить, что ветряная турбина заберёт 100% доступной кинетической энергии, если скорость ветра за турбиной станет нулевой. Однако нулевая скорость ветра за ветряной турбиной физически невозможна. Ибо это означает, что весь поток останавливается. В реале физика потока требует наличие определенной скорости ветра на выходе, это означает, что есть теоретический предел эффективности, которого может достичь ветрогенератор. Этот предел известен как *предел Бетца*. По сути это значит, ни одна ветряная турбина в мире никогда не превысит предел эффективности в 59,3%.

Коэффициент использования ветровой энергии варьируется в зависимости от геометрии ветрогенераторов. Его значение для наиболее распространенных ВЭУ представлено в виде графика на рисунке 2.10 [13].

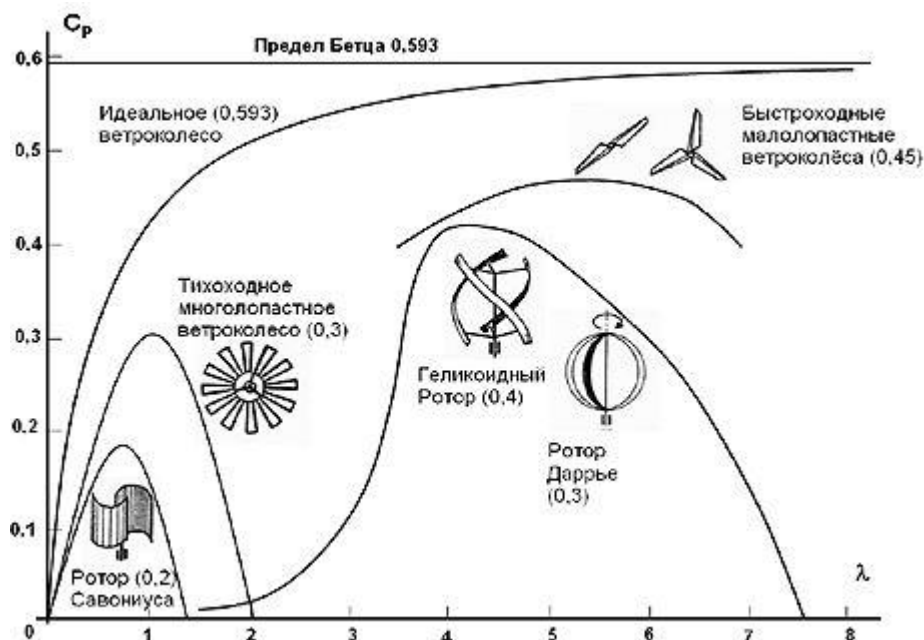


Рисунок 2.10. Коэффициент использования ветровой энергии для различных ветрогенераторов

В настоящее время для горизонтальных ветрогенераторов коэффициент использования ветровой энергии в среднем составляет 0,4, для вертикальных – 0,38.

На рисунке 2.11, [13] проиллюстрировано действие силы ветра на крыло ветровой турбины. Скорость ветра, проходя сквозь турбину, уменьшается на величину  $a$ , которая по теории Г.Х. Сабинина равняется 0,586, а, согласно теории Жуковского (Бетца), принимается равной  $2/3$ .

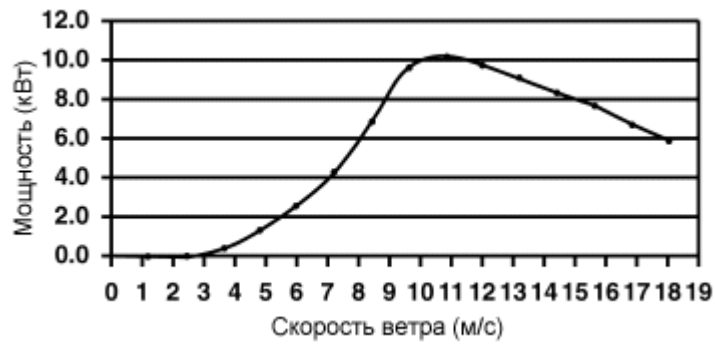


Рисунок 2.11 График зависимости мощности ветрогенератора от скорости ветра

### 2.3.Создание математической модели

Для ветряной турбины характерны следующие параметры:

$S$  – площадь рабочей поверхности лопасти,  $m^2$ ;

$R$  – наибольший радиус колеса ветрогенератора, м;

$r$  – наименьший радиус колеса ветрогенератора, м;

$P$  – шаг лопастей наибольшего радиуса колеса ветрогенератора, м;

$p$  – шаг лопастей наименьшего радиуса колеса ветрогенератора, м;

$b$  – хорда лопасти, м;

$L$  – длина ветрогенератора, м;

$l$  – длина лопасти ветрогенератора, м;

$\alpha$  – угол атаки лопасти, градусы;

$\alpha_\tau$  – тангенсальная составляющая угла атаки ветрогенератора, градусы;



$\alpha_x$  – пространственная составляющая угла атаки ветрогенератора, градусы;

$\beta$  – угол наклона лопастей по отношению к оси ветроколеса.

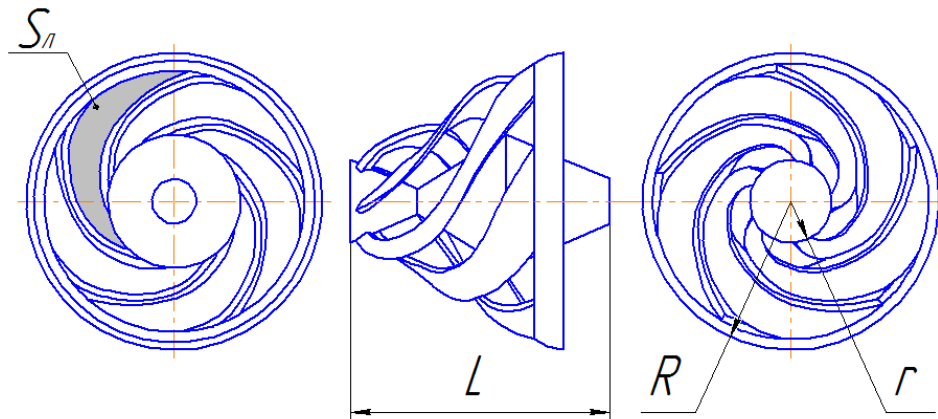


Рисунок 2.12 – Параметры ветрогенератора «Попутный ветер»

В математической модели мы исследуем конусообразное колесо ветряной турбины. Она представляет собой следующее: представим пустотелый конус, с толщиной стенок  $a$ , м. (Рисунок 2.13). Сечение, площадью  $S$  в перпендикулярном направлении перемещаем по винтообразной траектории  $l$ , располагаемой по конусности. Таким образом  $l$  – длина лопасти ветряной турбины, м. Сечение  $S$  пропорционально уменьшается с увеличением длины  $l$ . Для наглядности возьмем сечение  $S$  в трех плоскостях А, В, С (Рисунок 2.14). На рисунке 2.14 показаны особенности сечения  $S$  в каждой из этих плоскостей. Ветер воздействует на лопасти подъемной силой  $F_{\text{под}}$ , под ее действием лопасти стремятся оторваться от оси. Скользя по внутренней поверхности лопастей ветер раскручивает ветроколесо, появляется сила сопротивления его движению  $F_{\text{сопр}}$ . Рисунок 2.15 отображает эти сечения в 3D модели.

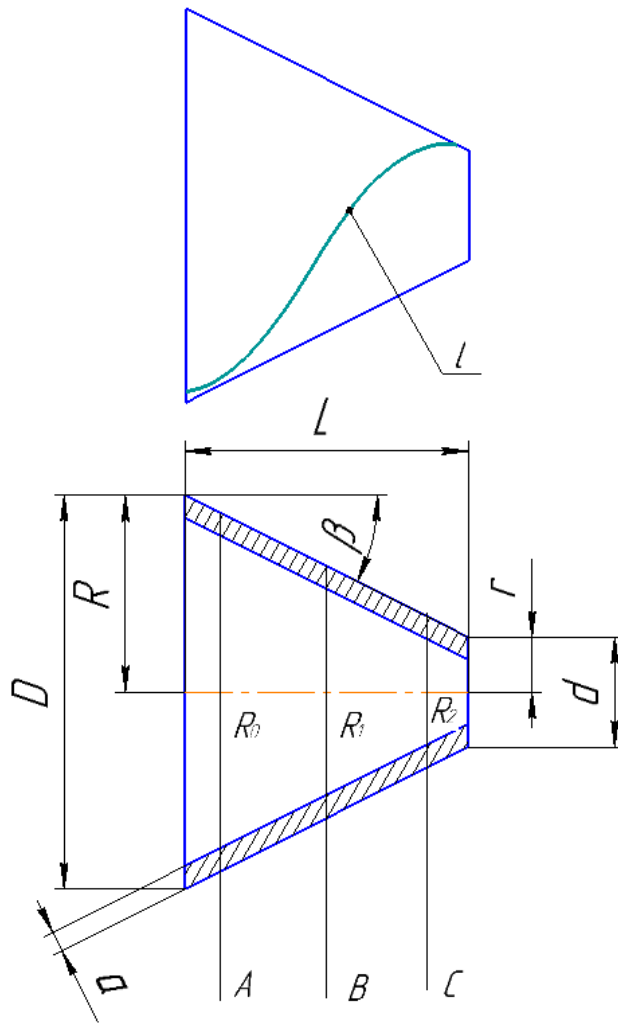


Рисунок 2.13 –Образующие ветрогенератора

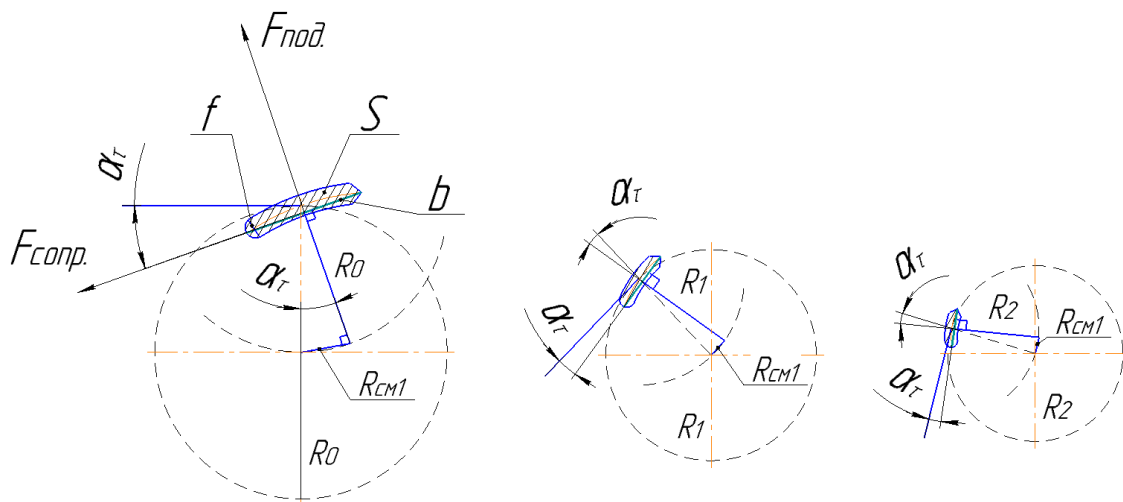


Рисунок 2.14 – особенности сечения S в сечениях А, В, С:  $F_{под}$  – вектор подъемной силы;  $F_{сопр.}$  – вектор силы сопротивления конструкции

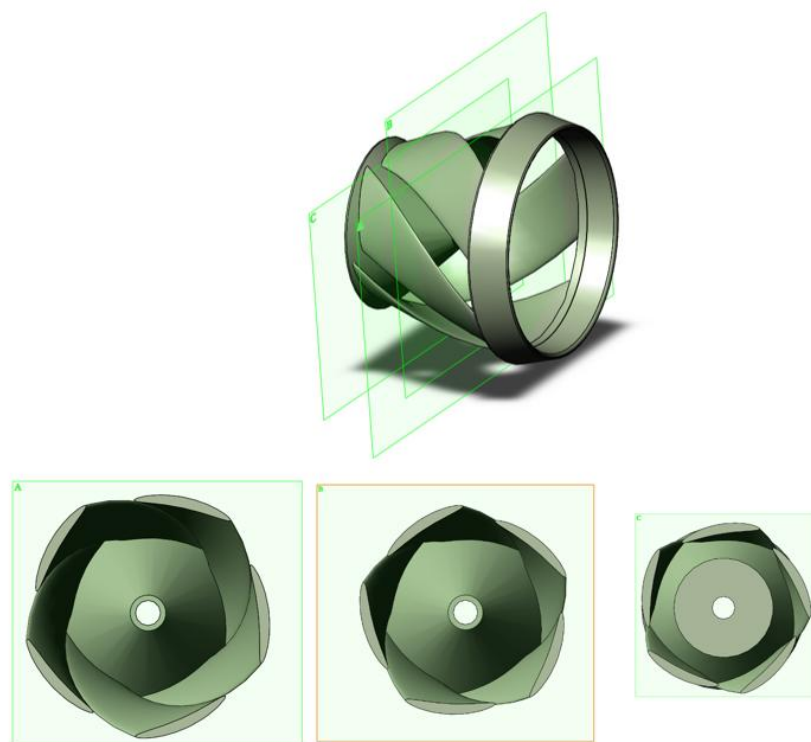


Рисунок 2.15 – особенности сечения S в сечениях А, В, С в 3D модели

Таким образом получаем пространственный эскиз, приведенный на рисунке 2.16.

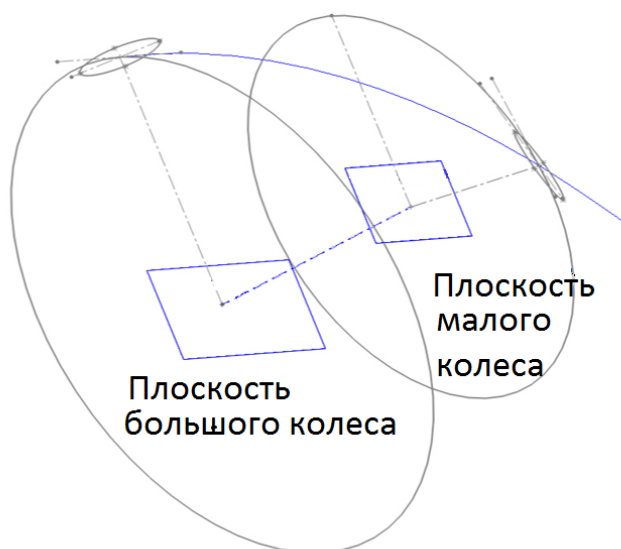


Рисунок 2.16 – Пространственный эскиз ветрогенератора «Попутный ветер»

Для улучшения аэродинамических способностей форма лопасти крыла должна быть оптимальной.

Рассмотрим сечение А. Если провести хорду  $b$  (Рисунок 2.17, соединяющую нос и хвост крыла, и касательную к окружности, проходящую через центр этого крыла, то между ними образуется угол атаки лопасти  $\alpha$ . Наше ветроколесо представляет собой очень сложную пространственную систему, лопасть повернута в нескольких плоскостях, поэтому угол атаки  $\alpha$  раскладывается на тангенсальную и нормальную составляющие. Нормальная составляющая угла атаки не велика, в данном расчете не учитываем в силу особенностей технологического обеспечения. Тангенциальная составляющая угла  $\alpha_t$  изображена на рисунке 2.17. На модели форму сечения лопасти изображаем упрощенно.

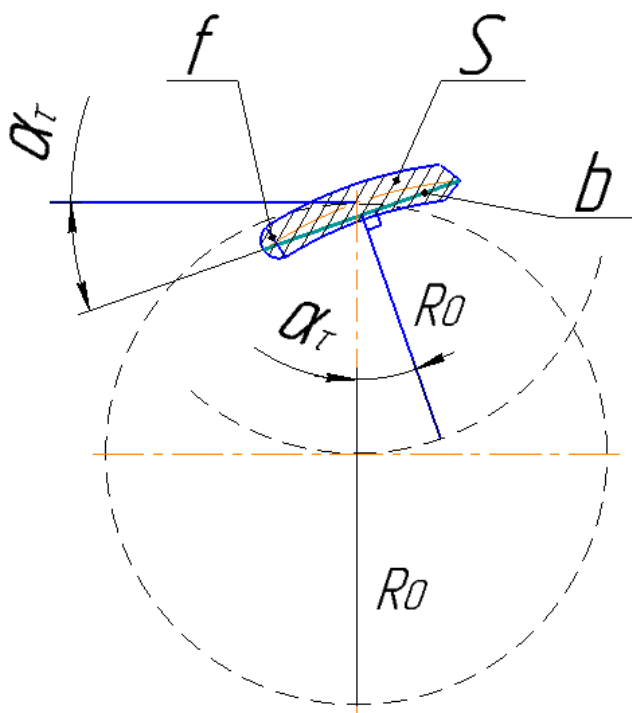


Рисунок 2.17 – Сечение лопасти в плоскости А

Стоит отметить, что входные переменные параметры математической модели ветрогенератора бывают конструктивными и независимыми. Конструктивными параметрами установки являются

такие переменные, как наибольший и наименьший диаметры ветроколеса, ширина и число лопастей, момент инерции, аэродинамические коэффициенты профиля крыла и угол атаки. Независимые переменные, в свою очередь, это: плотность воздуха, скорость движения ветра, шаг лопастей, момент нагрузки на валу.

#### 2.4. Исследование математической модели

Угол атаки лопасти также включает в себя *пространственный угол*  $\alpha_x$ , но его значение пренебрежимо мало, поэтому при расчете не учитывается. В силу возможностей технического обеспечения, для исследования ветрогенератора принимаем угол  $\alpha_t$  постоянным на протяжении всей длины  $l$  и равным 15 градусам.

Ветер, оказывая скоростью воздействие на лопасти ветроколеса, создает осевую и подъемную силы. Подъемная сила действует перпендикулярно вектору скорости ветра (Рисунок 2.18).

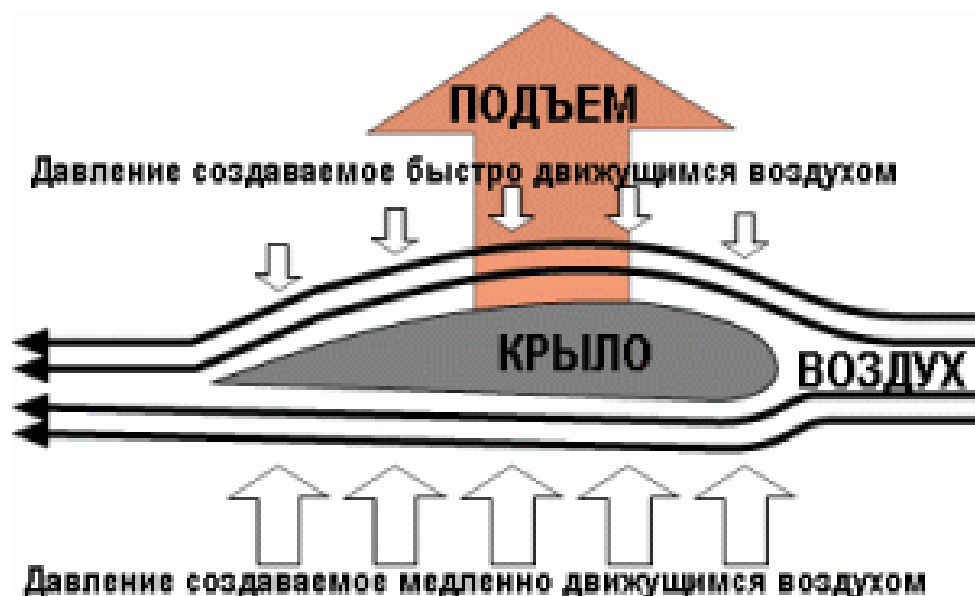


Рисунок 2.18 – Действие подъемной силы

Определим силу, создаваемую ветром, действующую вдоль оси ветроколеса:

$$F_{oc} = P_0 * S \quad (2.19)$$

где  $P_0$  – давление, создаваемое силой ветра на лопасти, Па;

$S$  – проекция рабочей площади ветроколеса на плоскость большего диаметра,  $m^2$ .

Давление определяется следующей формулой:

$$P_0 = \rho * \frac{v_y^2}{2} \quad (2.20)$$

где  $\rho$  - плотность воздушных масс,  $kg/m^3$ ;

$v_{ym}$  – уменьшающаяся скорость (формула 2.21),  $m/s$ .

$$v_{ym} = v * \cos \beta \quad (2.21)$$

Тогда формулу 2.20 преобразуем в 2.22:

$$P_0 = \rho * \frac{(v * \cos \beta)^2}{2} \quad (2.22)$$

Проекцию площади  $S$  определим по формуле 2.23

$$S = k * S' \quad (2.23)$$

где  $k$  – коэффициент заполнения, безразмерная величина;

$S'$  - площадь проекции конуса ветроколеса,  $m^2$ .

$$k = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.24)$$

где  $n_1$  – количество рабочих лопастей;

$n_2$  – количество лопастей начальных размеров, которое заполнили бы конус полностью без зазоров.

$$k = \frac{n_1}{n_2} = \frac{5}{8,3} = 0,6$$

$$S' = D - d \quad (2.25)$$

Таким образом приводим формулу 2.19 к виду формулы (2.26).

$$F_{oc} = P_0 * S = \rho * \frac{(v * \cos \beta)^2}{2} * \frac{n_1}{n_2} * (D - d) \quad (2.26)$$

Чтобы описать механическую характеристику, необходимо вывести формулу вращательного момента  $M_{0\tau}$ .

$$M_{0\tau} = F_{0\tau} * R_{cp} \quad (2.27)$$

где  $F_{0\tau}$  – подъемная сила ветра, создающая момент, Н;

$R_{cp}$  – радиус среднего колеса ветрогенератора, м.

$$R_{cp} = \frac{D + d}{4} \quad (2.28)$$

$$F_{0\tau} = P_0 * S_{\Sigma} \quad (2.29)$$

где  $S_{\Sigma}'$  - проекция суммарной площади лопастей,  $m^2$ .

$$S_{\Sigma}' = S_{\Sigma} * \sin \beta \quad (2.30)$$

где  $S_{\Sigma}$  - суммарная площадь лопастей,  $m^2$ .

$$S_{\Sigma} = f_l * n \quad (2.31)$$

где  $f_l$  – площадь лопасти, по которой скользит ветер,  $m^2$ ;

$n$  – количество лопастей.

Давление  $P_0$  в данном случае находится по формуле:

$$P_0 = \rho * \frac{(v * \cos \alpha_{\tau})^2}{2} \quad (2.22)$$

Преобразуем формулу 2.27, учитывая формулы, приведенные выше:

$$M_{0\tau} = \rho * \frac{(v * \cos \alpha_{\tau})^2}{2} * f_l * n * \sin \beta * \frac{D + d}{4} \quad (2.32)$$

Определим угловую скорость для точек окружности с радиусом  $R_{cp}$ . Скорость ветра увеличивается с уменьшением диаметра ветрового колеса в  $\frac{1}{\cos \beta}$  раз. Тогда, согласно рисунку 2.19, определим среднюю скорость ветра  $v_{cp}$ , давящую на лопасти колеса, проходя сквозь ветрогенератор (формула 2.33).

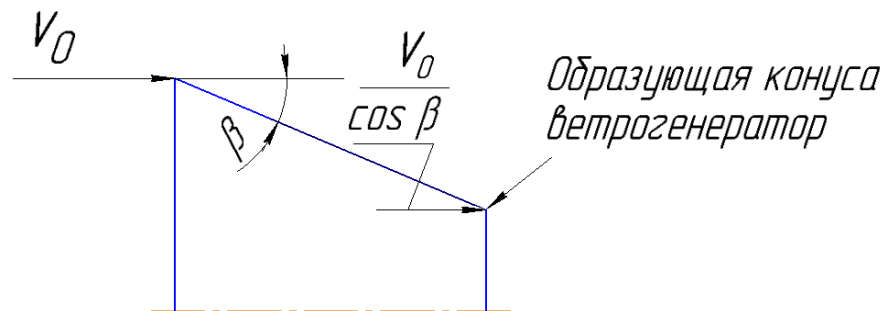


Рисунок 2.19 – Распределение скорости ветра внутри ветроколеса

$$v_{cp} = \frac{v_0 + \frac{v_0}{\cos \beta}}{2} \quad (2.33)$$

Тогда угловая скорость  $w_{cp}$  на радиусе  $R_{cp}$ :

$$w_{cp} = \frac{v_{cp}}{R_{cp}} = \frac{v_0 + \frac{v_0}{\cos \beta}}{2 * R_{cp} * \cos \alpha} \quad (2.34)$$

Таким образом мы определили, что вращательный момент  $M_{0\tau}$  и угловую скорость  $w_0$  можно представить функциями:

$$\begin{cases} M_{0\tau} = f_1(\alpha, \beta, \rho, D, d, l, S, f, n); \\ w_{cp} = f_2(\alpha, \beta, \rho, D, d, l, S, f, n, R); \end{cases} \quad (2.35)$$

Отметим, что помимо переменных, участвующих в формуле момента, он так же зависит от шага лопастей в виде того, что с изменением шага меняется и площадь лопастей.



На сегодняшний день расчет обтекаемых конструкций (крыльев самолетов, винтов и т.д.) проводят в аэродинамических трубах, представленных на рисунке 2.20.

На рисунке 2.20, а приведена схема незамкнутой дозвуковой аэродинамической трубы. Двигатель 8 заставляет вращаться вентилятор 7, который движет воздух через форкамеру 3 и сопло 4. Воздух проходит сквозь спрямляющую решетку (хонейкомб) и детурбулирующую сетку 2, входит в рабочую зону 5, там же устанавливается испытуемая модель. Затем поток воздуха выходит в диффузор 6 и после выбрасывается наружу.

Схема замкнутой дозвуковой аэродинамической трубы изображена на рисунке 2.20, б.

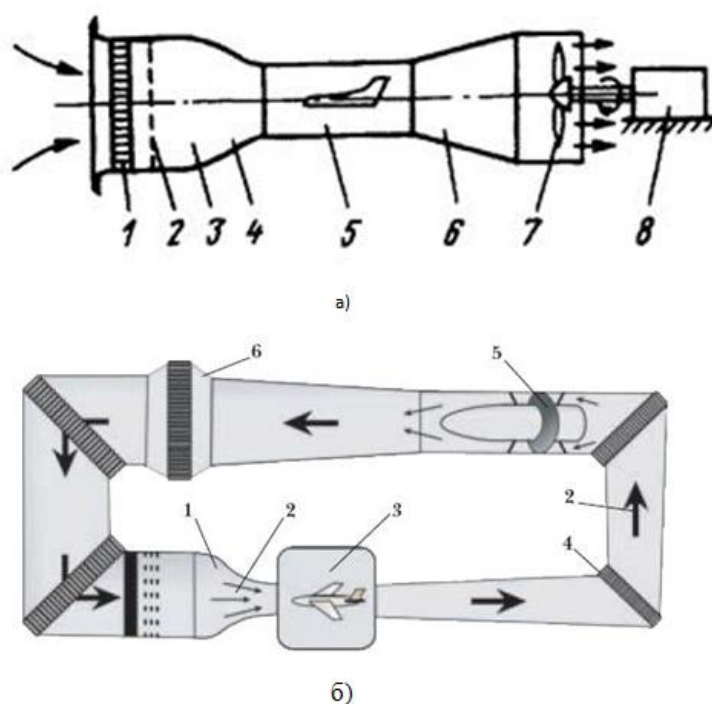


Рисунок 2.20 – Схема дозвуковой аэродинамической трубы:

а) незамкнутая; б) замкнутая: 1 – конфузор (для дополнительного ускорения движения воздуха); 2 – направление движение воздуха; 3 – рабочая часть с моделью; 4 – колено с поворотными лопатками (для устранения завихрений воздушного потока); 5 – компрессор; 6 – воздухоохладитель

Соответственно, кривую зависимости  $M(w)$  можно получить только экспериментальным путем в аэродинамических трубах. Т.к. присутствует очень много величин, которые в нашем случае невозможно подсчитать. Проанализируем поведение ветроколеса в двух крайних точках  $M_0$  и  $w_0$ .

Ветрогенератор «Попутный ветер» достаточно новая разработка, но по геометрии конструкции лопастей напоминает гидравлический центробежный насос (Рисунок 2.21). Характеристики таких насосов имеют параболический вид. Предполагаем, что наша зависимость  $M(w)$  близка к параболе.

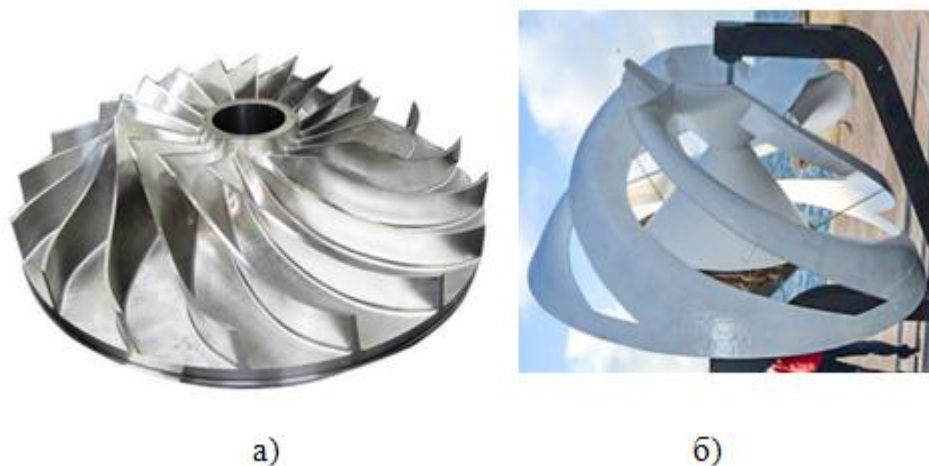


Рисунок 2.21 – Сравнение геометрии установок: а) рабочее колесо центробежного насоса; б) рабочее колесо ветрогенератора «Попутный ветер»

Рассмотрим приближенный график механической характеристики нашего ветрогенератора (Рисунок 2.22).

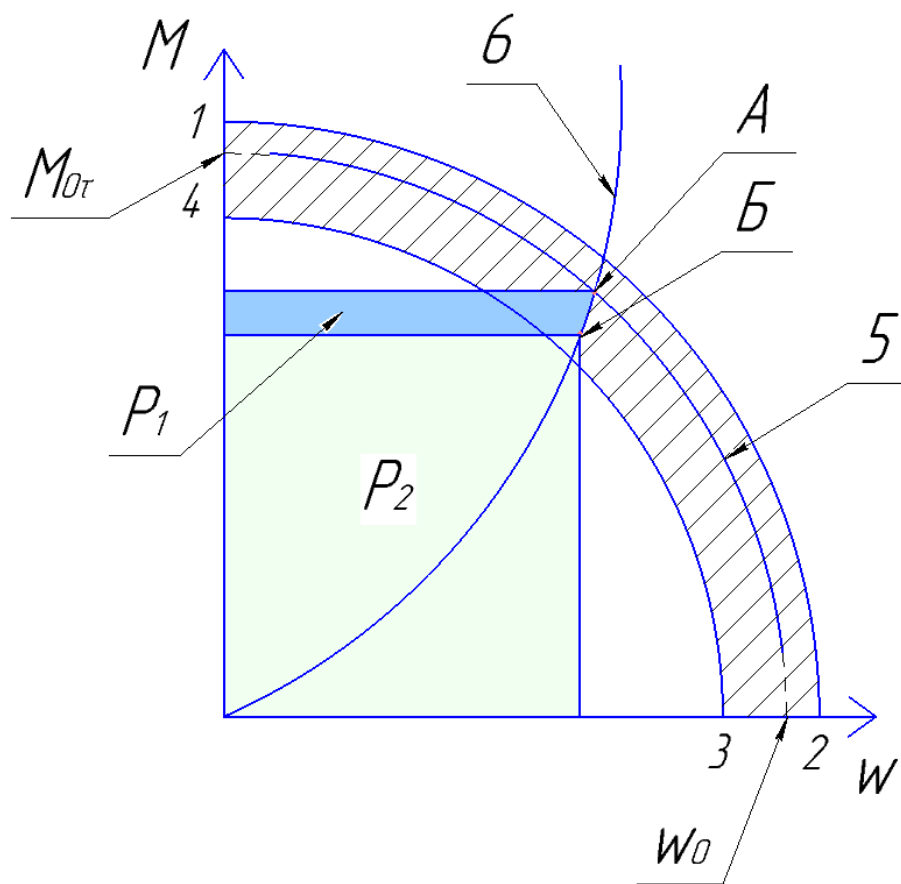


Рисунок 2.22 – Приближенный график механической характеристики ветрогенератора «Попутный ветер»

Напоминаем, что кривую зависимости  $M(w)$  (Рисунок 2.22) можно получить только экспериментальным путем, поэтому для графика берем ее приближенное значение. В *возможной области теоретических характеристик  $M$*  (Рисунок 2.22, 1-4) ветроколесо не совершает полезной работы: лопасти застопорены, нагружены, но не вращаются. В *возможной области теоретических значений  $w$*  (Рисунок 2.22, 2-3) полезная работа также не совершается: лопасти вращаются под действием силы ветра, но нет сопротивлений и момента. Зона 1-2-3-4 представляет собой область возможного положения механической характеристики. *Кривую нагрузки ветроколеса б* определяют при непосредственном опыте.

Предположим, что экспериментальным путем определили кривую 5, зависимости  $M(w)$ . Также есть нагрузка ветроколеса – кривая 6, зависит от характеристик генератора. Логично предположить, что точка расчетного момента будет находиться в положении т. А, но эмпирически она будет располагаться в т. Б, т.к. мощность, соответствующая площади  $P_1$ , пойдет на преодоление внутреннего сопротивления системы ветрогенератора. Тогда мощность рассматриваемой ветроэнергетической установки будет равна площади  $P_2$ .

Произведем оценку значимости момента лобового сопротивления  $M_{\text{лоб.соп.}}$ . Опираясь на формулу 2.17, найдем механическую характеристику ВЭУ.

$$M_{\text{лоб.соп.}} = f * C_{\tau} * \rho * \frac{v^2}{j^2} * R_{\text{см}} \quad (2.36)$$

где  $f$  – площадь лобового сопротивления (Рис 2.16) на длине всей лопасти,  $\text{м}^2$ ;

$C_{\tau}$  – коэффициент лобового сопротивления, безразмерная величина;

$\rho$  – плотность воздушных масс,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$v$  – скорость набегающего ветра,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$R_{\text{см}}$  – плечо вращения,  $\text{м}$ , – это расстояние от центра окружности до перпендикуляра к хорде крыла.

Введённый коэффициент  $j$  рассчитываем по формуле:

$$j = \frac{S_{\text{к}}}{n * S_{\text{от}}} \quad (2.37)$$

где  $n$  – количество лопастей, безразмерная величина;

$S_K$  – площадь вращающегося конуса,  $m^2$ ;

$S_{OT}$  – площадь отверстий в образующем конусе ветрогенератора,  $m^2$ .

Либо по формуле:

$$j = v_y = \frac{v}{\cos \alpha_\tau} \quad (2.38)$$

Таким образом, приведем формулу 2.36 к виду:

$$M_{\text{лоб.соп.}} = f * C_\tau * \rho * \frac{v^2}{\left(\frac{S_K}{5 * S_{OT}}\right)^2} * R_{CM} \quad (2.39)$$

Либо:

$$\begin{aligned} M_{\text{лоб.соп.}} &= f * C_\tau * \rho * \frac{v^2}{\left(\frac{v}{\cos \alpha_\tau}\right)^2} * R_{CM} \\ &= f * C_\tau * \rho * R_{CM} * \cos^2 \alpha_\tau \end{aligned} \quad (2.40)$$

Определим зависимость  $M_{\text{лоб.соп.}}$  от угловой скорости  $w$ , используя формулу угловой скорости (2.41).

$$w = \frac{v}{R} \quad (2.41)$$

$$\begin{aligned} M_{\text{лоб.соп.}} &= f * C_\tau * \rho * \frac{(w * R)^2}{\left(\frac{S_K}{5 * S_{OT}}\right)^2} * R_{CM} \\ &= 25 * f * C_\tau * \rho * R_{CM} * \left(\frac{S_{OT}}{S_K}\right)^2 * R^2 * w^2 \end{aligned}$$

Тогда формула 2.39 преобразуется в 2.42:

$$M_{\text{лоб.соп.}}(w) = 25 * f * C_\tau * \rho * R_{CM} * \left(\frac{S_{OT}}{S_K}\right)^2 * R^2 * w^2 \quad (2.42)$$

Плотность воздуха для расчета принимается равной  $1,226 \text{ кг/м}^3$ .

Скорость ветра принимаем средней скорости по Томскому региону равной  $1,5 \text{ м/с}$ .

Угол атаки приняли  $15$  градусов.

Коэффициент лобового сопротивления  $C_T$  для лопастей правильной аэродинамической формы (симметричной капли), согласно справочникам и графику на рисунке 2.23, принимаем равным  $0,026$ .

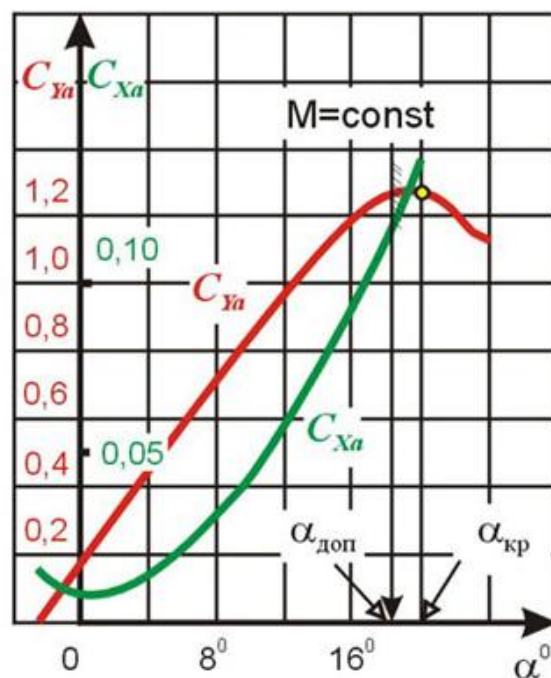


Рисунок 2.23 – Зависимость аэродинамических коэффициентов от угла атаки, где  $C_{Ya}$  – коэффициент подъемной силы,  $C_{Xa}$  – коэффициент лобового сопротивления

Приблизительно рассчитаем  $M_{\text{лоб.соп.}}(w)$  со всеми известными коэффициентами.

$$\begin{aligned}
M_{\text{лоб.соп.}}(w) &= 25 * f * C_T * \rho * R_{\text{см}} * \left(\frac{S_{\text{от}}}{S_K}\right)^2 * R^2 * w^2 \\
&= 25 * f * 0,026 * 1,226 * R_{\text{см}} * \left(\frac{1,32}{3,3}\right)^2 * R^2 * w^2 \\
&= 0,127 * f * R_{\text{см}} * R^2 * w^2
\end{aligned}$$

## 2.5. Алгоритм предварительного расчета модели ротора ветрогенератора

В результате преобразований, можно сказать, что на преодоление внутренних сопротивлений ветроколеса затрачивается около 12% крутящего момента. При работе ВЭУ также присутствуют множество других сопротивлений: подшипников качения, оси, трения лопастей о воздух и др. Для достижения цели исследования, в нашей диссертации такие параметры не учитываем.

Таким образом был сформирован следующий алгоритм расчета ветрогенератора (Рисунок 2.24).

Первым пунктом мы определяем вид конструкции ветроколеса, применимого для конкретной местности с учетом климатических условий. Определили, что вращательный момент выбранного ветроколеса зависит от угла атаки  $\alpha$  и угла конусности  $\beta$ , диаметров большего и меньшего колеса, шага, длины лопастей и их площади и др. (формула 2.35).

Во втором пункте даём оценку механической характеристики ветроколеса  $M(w)$ . Оценивать можно поведение всей конструкции в целом либо только одной её лопасти, ввиду их изотропности. Есть два пути проведения оценки: в математической модели и эмпирическим

путём. На сегодняшний день испытания обтекаемых конструкций (крыльев самолетов, винтов и т.д.) проводят в специальных аэродинамических трубах, в силу ограниченности технических возможностей, практические испытания ветрогенератора не проводились. Для программного исследования математической модели ветроколеса у нас очень много неизвестных аэродинамических параметров, для определения которых нет требуемых программных пакетов.

Далее идет блок выбора, где мы отвечаем на вопрос: «Удовлетворяет ли нас характеристика  $M(w)$  в заданном диапазоне  $v_{\min} - v_{\max}$ ?». Сравниваем момент сопротивления конструкции и движущий момент. Если нас удовлетворяют все полученные характеристики, то расчет выполнен. Если нет, то возвращаемся к первому пункту – выбору конструктивной схемы и/или изменяем входные параметры конструкции такие как: наибольший и наименьший диаметры ветроколеса, ширина и число лопастей, угол атаки, шаг лопастей.



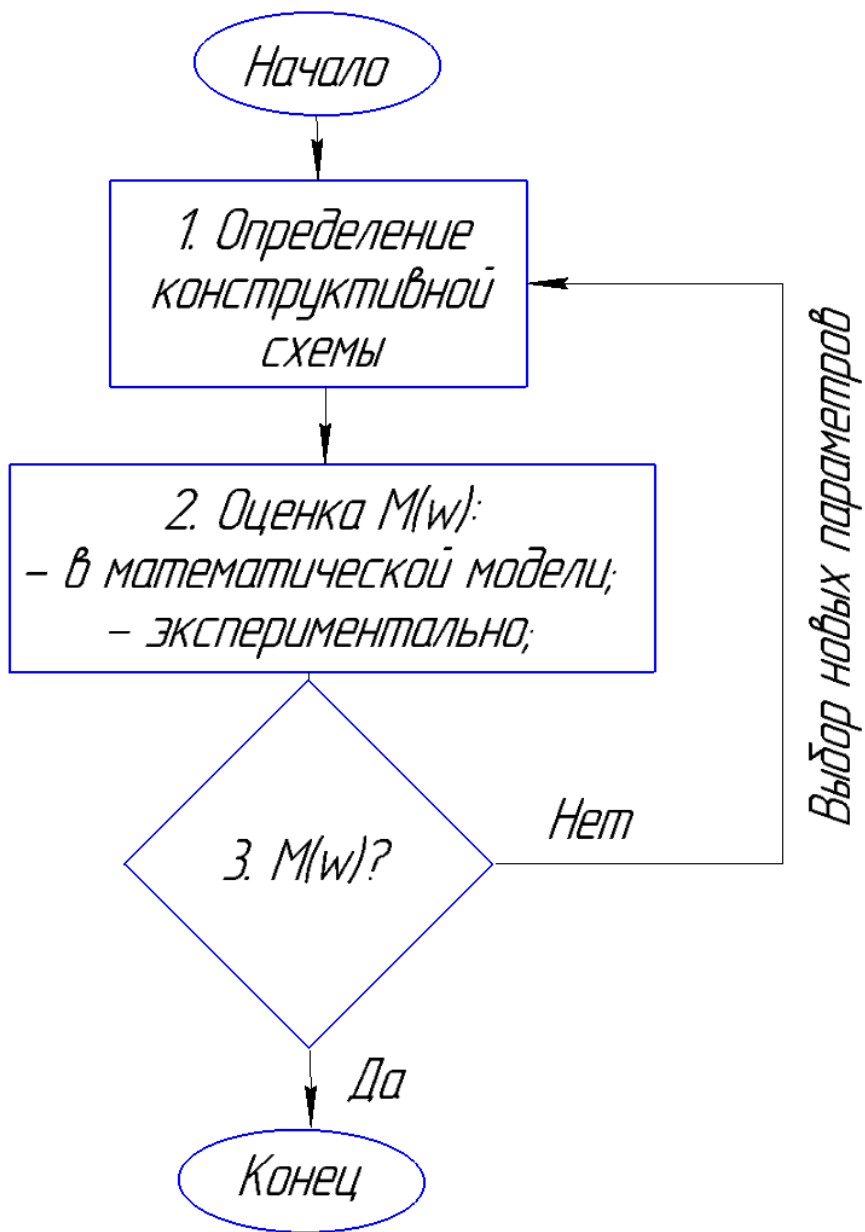


Рисунок 2.24 – Алгоритм расчета ветрогенератора

### 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

#### ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ61	Бойко Любовь Александровна

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально – технических, энергетический, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томск
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Величина накладных расходов 16 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления на социальные цели 27,1 %

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Потенциальные потребители результатов исследования;
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей, результатов и требований к результатам проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости разработки, расчет бюджета

#### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

#### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Хапёрская А.В.			

#### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Бойко Любовь Александровна		

### **3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Объектом экономического исследования является ветроэнергетическая установка на основе конструкции «Попутный ветер», применяемая на территории Томского региона.

### **3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **3.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

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

Целевой рынок: потребители электроэнергии имеющие проблемы с подключением к традиционным электрокоммуникациям, либо желающие снизить затраты на электроэнергию.

Таблица 3.1 – Карта сегментирования рынка по использованию альтернативной электроэнергии.

		Потребители альтернативной электроэнергии			
Альтернативные источники электроэнергии		Частные объекты (коттеджи, многоквартирные дома, фермы)	Объекты Промышленного назначения	Социальные объекты (школы, больницы, административные учреждения)	Научно-исследовательские станции
	Ветряные электростанции				
	Солнечные электростанции				

В данной карте сегментирования показано, что ветряные электростанции востребованы в достаточно широком спектре рынка альтернативной электроэнергии. Кроме того, главным конкурентом ветроэнергетики является солнечная энергетика. Выбор между использованием энергии ветра или солнца зависит, прежде всего, от конкретных климатических условий и топологии местности, в которой планируется установка альтернативного источника электроэнергии.

Зачастую применяется гибридная схема – ветро-солнечные электростанции.

### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Как отмечалось выше, серьёзным конкурентом для ветрогенераторов являются солнечные батареи, поэтому сравнительный

анализ конкурентных технических решений будем проводить с солнечными батареями.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_l \quad (3.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_l$  – балл  $i$ -го показателя (по пятибалльной шкале).

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Критерии оценки	Вес критерия В	Баллы		Конкурентоспособность	
		$B_\phi$	$B_{kl}$	$K_\phi$	$K_{kl}$
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Средняя эффективность в течение календарного года *	0,3	4	1	1,2	0,3
2. КПД	0,15	4	3	0,6	0,45
4. Удобство в эксплуатации	0,05	3	4	0,15	0,2
5. Надёжность	0,15	4	4	0,6	0,6
6. Безопасность	0,1	3	4	0,3	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
1. Цена	0,1	3	4	0,3	0,4
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	0,4	0,4
3. Сервисное обслуживание	0,05	3	4	0,15	0,2
Итого	1	28	28	3,7	2,95

\* Критерий рассматривается применительно к Томской области.

Анализируя оценочную карту, можно сделать вывод, что в рамках большинства рассматриваемых параметров, ветрогенераторы и солнечные батареи близки по уровню, но на территории Томской области оптимальней использовать ветрогенераторы, главным образом из-за климатических особенностей.

### **3.1.3 FAST-анализ**

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Объектом FAST-анализа является ветрогенератор.

Описание главной, основных, и вспомогательных функций представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Классификация функций, выполняемых объектом исследования.

Наименование детали	Кол-во деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			главная	основная	вспомогательная
Ротор «Попутный ветер» (лопасти, рама)	1	Преобразует кинетическую энергию ветра в энергию вращения	x		
Генератор	1	Преобразует энергию вращения ротора в электроэнергию		x	
Аккумулятор	2	Накапливает полученную электроэнергию			x
Инвертор	1	Обеспечивает стабильность выходного напряжения		x	
Пульт контроля и управления	1	Позволяет управлять работой ветрогенераторной электростанции		x	

Для оценки значимости функций используем метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции. Строим матрицу смежности функций таблица 3.4.



Таблица 3.4 – Матрица смежности функций.

	Ротор «Попутный ветер» (лопасти, рама)	Генератор	Аккумулятор	Инвертор	Пульт контроля и управления
Ротор «Попутный ветер» (лопасти, рама)	=	>	>	>	>
Генератор	<	=	>	>	>
Аккумулятор	<	<	=	<	<
Инвертор	<	<	>	=	<
Пульт контроля и управления	<	<	>	>	=

Преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций таблица 3.5.

Таблица 3.5 – Матрица количественных соотношений функций.

	Ротор «Попутны й ветер» (лопасти, рама)	Генератор	Аккумулятор	Инвертор	Пульт контроля и управления	Итого
Ротор «Попутный ветер» (лопасти, рама)	1	1,5	1,5	1,5	1,5	7
Генератор	0,5	1	1,5	1,5	1,5	6
Аккумулятор	0,5	0,5	1	0,5	0,5	3
Инвертор	0,5	0,5	1,5	1	0,5	4
Пульт контроля и управления	0,5	0,5	1,5	1,5	1	5
						25

Рассчитываем относительную значимость каждой функции:

$$\text{Ротор «Попутный ветер»}: \frac{7}{25} = 0,28;$$

$$\text{Генератор}: \frac{6}{25} = 0,24;$$

$$\text{Аккумулятор}: \frac{3}{25} = 0,12;$$

Инвертор:  $\frac{4}{25} = 0,16$ ;

Пульт контроля и управления:  $\frac{5}{25} = 0,2$ ;

Оценим уровень затрат на выполнение каждой функции применив нормативный метод. Расчет стоимости функций приведен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Определение стоимости функций выполняемых объектом исследования.

Наименование детали	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоёмкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.
Ротор «Попутный ветер» (лопасти, рама)	1	Преобразует кинетическую энергию ветра в энергию вращения	-	16	50000	1575,8	51575,8
Генератор	1	Преобразует энергию вращения ротора в электроэнергию	-	8	100000	787,9	100787,9
Аккумулятор	2	Накапливает полученную электроэнергию	-	8	50000	787,9	50787,9
Инвертор	1	Обеспечивает стабильность выходного напряжения	-	8	50000	787,9	50787,9
Пульт контроля и управления	1	Позволяет управлять работой ветрогенераторной электростанции	-	16	10000	1575,8	11575,8
Итого							265515,3

Рассчитываем относительную стоимость каждой функции:

Ротор «Попутный ветер»:  $\frac{51575,8}{265515,3} = 0,194$ ;

Генератор:  $\frac{100787,9}{265515,3} = 0,38$ ;

Аккумулятор:  $\frac{50787,9}{265515,3} = 0,19$ ;

Инвертор:  $\frac{50787,9}{265515,3} = 0,19$ ;

Пульт контроля и управления:  $\frac{11575,8}{265515,3} = 0,044$ ;

Обобщаем информацию об объекте исследования, собранную в рамках предыдущих стадий, в виде функционально-стоимостной диаграммы (ФСД) (Рис 3.1).

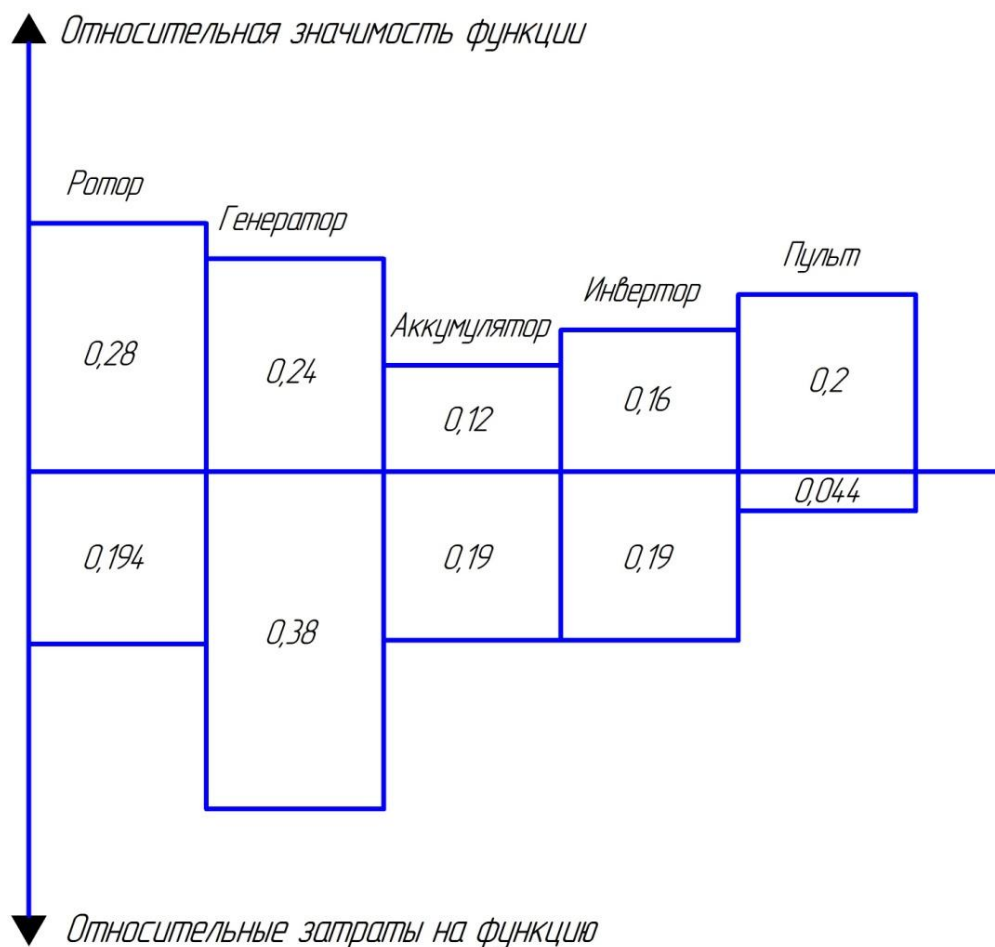


Рисунок 3.1 – Функционально-стоимостная диаграмма (ФСД)

На ФСД видно рассогласование по функциям 1, 2, 3, 5. Для оптимизации функций можно предложить следующие шаги:

- оптимизации технических параметров;
- оптимизации параметров надежности;

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;
- повышения качества при сохранении уровня затрат;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;
- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

#### **3.1.4 SWOT-анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 3.7 – Матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Средняя эффективность в течение календарного года.</p> <p><b>С2. Высоки КПД.</b></p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Более сложная эксплуатация.</p> <p>Сл2. Повышенная опасность в связи с наличием подвижных частей.</p> <p>Сл3. Относительно высокая стоимость.</p> <p>Сл4. Более сложное сервисное обслуживание.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Востребованность устройства на территории Томской области</p>	<p>В1С1С2 – востребованность в связи с преимуществами данного устройства</p>	<p>В1Сл1Сл2Сл4 – продукт может быть не востребован ввиду более сложной эксплуатации и сервисного обслуживания, а так же наличия подвижных частей повышающих опасность эксплуатации.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса</p> <p>У2. Кризис</p>		<p>У2Сл3 - из-за более высокой стоимости могут возникнуть проблемы с продажей данного устройства.</p>

Таблица 3.8 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта			
Возможности проекта		С1	С2
	В1	+	+

Таблица 3.9 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	-	-	-	-

Таблица 3.10 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта			
Угрозы		C1	C2
	У1	-	-

Таблица 3.11 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	+
	У2	0	0	+	0

## 3.2 Планирование управления научно-техническим проектом

### 3.2.1 Иерархическая структура работ в рамках научного исследования

Таблица 3.12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Этапы научного исследования	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	Студент
	3	Проведение литературно-патентного обзора	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы устройства	Студент
	5	Составление принципиальной схемы потерь	Студент
	6	Расчет потерь	Студент
	7	Составление расчетной схемы	Студент
	8	Составление математической модели	Студент

	9	Исследование математической модели	Студент
	10	Написание статьи	Студент
Проведение опытно-конструкторской работы			
Оформление отчета	11	Заполнение пояснительной записки	Студент

### 3.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

График проведения научного исследования строится в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта - это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 3.13 – Календарный план – график проведения НИОРК по теме

№	Вид работ	Исполнитель	Тк	Продолжительность выполнения работ									
				Март			Апрель			Май			Июнь
				10	20	30	10	20	30	10	20	30	14
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2										
2	Изучение материалов по теме	студент	7										
3	Проведение литературно-патентного обзора	студент	6										
4	Составление принципиальной схемы устройства	студент	7										
5	Разработка математической модели	студент	8										
6	Проведение эксперимента и анализ полученных результатов	студент	13										
7	Выполнение расчетов	студент	6										
8	Заполнение пояснительной записки	студент	8										



- Руководитель



- Студент

### 3.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:



- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- прочие прямые расходы;
- накладные расходы.

### 3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Материальные затраты необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 3.14.

Таблица 3.14 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Ротор «Попутный ветер» (лопасти, рама)		1	50000	50000
Генератор		1	100000	100000
Аккумулятор		2	50000	100000
Инвертор		1	50000	50000

Продолжение таблицы 3.14

Пульт контроля и управления		1	10000	10000
Всего за материалы				310000
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				18000
Итого по статье С <sub>м</sub>				328000

### 3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

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). Расчет основной заработной платы сводится в табл. 3.15.

Таблица 3.15 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарплата, плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	1575,8	3151,6
2	Изучение материалов по теме	Студент	7	787,9	5515,3
3	Проведение литературно-патентного обзора	Студент	6	4727,4	1892
4	Составление принципиальной схемы устройства	Студент	7	787,9	5515,3

Продолжение таблицы 3.15

5	Разработка математической модели	Студент	8	787,9	6303,2
6	Проведение эксперимента и анализ полученных результатов	Студент	13	787,9	10242,7
7	Выполнение расчетов	Студент	6	787,9	1892
8	Заполнение пояснительной записки	Студент	8	787,9	6303,2

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (3.2)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_{раб} \quad (3.3)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 3.11);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \times M}{F_d} \quad (3.4)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 3.16).

Таблица 3.16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	198	198

$$Z_{\text{дн1}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_d} = \frac{30000 * 10,4}{198} = 1575,8 \text{ руб.} - \text{заработная плата}$$

руководителя за 1 день;

$$Z_{\text{дн2}} = \frac{Z_{\text{м}} * M}{F_d} = \frac{15000 * 10,4}{198} = 787,9 \text{ руб.} - \text{заработная плата}$$

студента за 1 день.

$$Z_{\text{осн1}} = 1575,8 \times 2 = 3151,6 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$Z_{\text{осн2}} = 787,9 \times 57 = 44910,3 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

$$C_{\text{зп1}} = 3151,6 + 3151,6 \times 0,15 = 3624,4 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$C_{\text{зп2}} = 44910,3 + 44910,3 \times 0,15 = 51646,9 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

### 3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы включают сумму выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} \quad (3.5)$$

где,  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты (на стадии проектирования принимается равным 0,15 – 0,2);

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

$Z_{\text{доп}} = 0,15 \times 3151,6 = 472,8$  руб. – руководитель.

$Z_{\text{доп}} = 0,15 \times 44910,3 = 6736,6$  руб. – студент.

### 3.3.4 Отчисления на социальные нужды определяется по формуле:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (3.6)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2018 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ не изменен и размер страховых взносов равен 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений

осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году вводится пониженная ставка – 27,1% .

Отчисления на социальные нужды представлены в табличной форме (табл. 3.17).

Таблица 3.17 – Отчисления на социальные нужды

<b>Исполнитель</b>	<b>Основная заработная плата, руб.</b>	<b>Дополнительная заработная плата, руб.</b>
Руководитель	3151,6	472,8
Студент-дипломник	44910,3	6736,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	27,1%
<b>Итого</b>		

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% \times (3151,6 + 472,8) = 982,2 \text{ руб.} - \text{руководитель}$$

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% \times (44910,3 + 6736,6) = 13996,3 \text{ руб.} - \text{студент-дипломник}$$

### 3.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (3.7)$$

Где  $k_{\text{накл}}$  - коэффициент накладных расходов.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

### 3.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) 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.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп. 1	Исп.2*	
1. Материальные затраты НИИ	310000	300000	Табл. 3.4
2. Затраты по основной заработной плате	48061,9	48061,9	Пункт 3.3.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате	7209,4	7209,4	Пункт 3.3.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	14978,5	14978,5	Пункт 3.3.4
5. Накладные расходы			16 % от суммы ст. 1 - 4
6. Бюджет затрат НИИ			Сумма ст. 1- 5

\* Теоретический вариант конструкционного решения, основанного на использовании менее дорогостоящих материалов и компонентов (необходим для расчётов).

### **3.4 Определение ресурсной финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат нескольких вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 3.18). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (3.8)$$

где  $I_{\Phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  - стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета



затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

$$I_{\text{ф}}^{\text{р}} \text{ исп1} = \frac{365357,4}{365357,4} = 1 \text{ – интегральный финансовый показатель}$$

разработки первого исполнения.

$$I_{\text{ф}}^{\text{р}} \text{ исп2} = \frac{355357,4}{365357,4} = 0,97 \text{ – интегральный финансовый показатель}$$

разработки второго исполнения.

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i * b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i * b_i^p,$$

(3.9)

где  $I_m$  - интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  - весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 3.19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Стоимость	0,2	4	5
2. Материалоемкость	0,2	4	5
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,3	5	4
4. Надежность	0,3	5	4
ИТОГО	1		

$$I_{p-исп1} = 4 \times 0,2 + 4 \times 0,2 + 5 \times 0,3 + 5 \times 0,3 = 4,6;$$

$$I_{p-исп2} = 5 \times 0,2 + 5 \times 0,2 + 4 \times 0,3 + 4 \times 0,3 = 4,4.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-испi}}{I_{\phi-испi}}, \quad (3.10)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,6}{1} = 4,6,$$

$$I_{исп.2} = \frac{4,4}{0,97} = 4,53.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.3.19) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (3.11)$$

Таблица 3.20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,97
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	4,4
3	Интегральный показатель эффективности	4,6	4.53
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	$\frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = 1,015$	$\frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} = 0,985$

## **Заключение**

В ходе выполнения данного раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был определен целевой рынок, на который будет поставляться ветрогенератор. Произведен анализ конкурентов исходя из которого можно заключить, что данное устройство является конкурентоспособным. Рассчитаны материальные затраты на изготовление данного устройства, а так же затраты по основной и дополнительной заработной плате вовлечённых в разработку сотрудников, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы, на основании которых составлен бюджет затрат на НИИ. Произведена сравнительная эффективность разработки на основании интегрального показателя эффективности. Из таблицы 3.20 видно, что наиболее эффективным вариантом решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи является исполнение 1.

## 4. Социальная ответственность

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студентке:

Группа	ФИО
8НМ61	Бойко Любовь Александровна

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

#### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является механическая характеристика $M(w)$ ветрогенератора «Попутный ветер» для его использования в Томском регионе.
--	---

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Профессиональная социальная безопасность</b> 1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования.  1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.	При эксплуатации ветрогенератора могут появиться следующие вредные и опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"><li>– Превышение уровня шума;</li><li>– Действие силы тяжести;</li><li>– Движущиеся механизмы; подвижные части производственного оборудования.</li></ul> Моделирование рабочего процесса проходит за ПК. При проведении исследований характеристик ветрогенератора могут появиться следующие вредные и опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"><li>– Превышение уровня электромагнитных излучений;</li><li>– Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li><li>– Нервно-психические перегрузки.</li></ul>
<b>2. Экологическая безопасность</b>	Прописаны мероприятия в целях предупреждения загрязнения окружающей среды. Отходы в процессе строительства являются малоопасными, что не требует специальных условий для

	их хранения и утилизации.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b>	Наиболее типичными ЧС являются пожары и аварии на энергооборудовании
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b>	Компоновка рабочей зоны, а также параметры, рассмотренные в данном пункте, соответствуют нормам

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Бойко Любовь Александровна		

## **Социальная ответственность**

В нашей магистерской диссертации был определен оптимальный тип конструкции ветрогенератора для применения в Томском регионе, а также создан алгоритм приближенного расчета механической характеристики ветряного колеса конструкции «попутный ветер», т.е. его зависимость крутящего момента и мощности ветроэнергетической установки от угловой скорости и скорости ветра. Данный алгоритм будет использован инженерами при внедрении объекта ветроэнергетики для определения оптимальных геометрических параметров конструкции, ее вращательного момента, мощности, выбора двигателя и др.

В данном разделе ВКР рассматриваются вопросы, связанные с организацией рабочего места инженера-конструктора, выполняющего исследование модели ветроэнергетической установки за ЭВМ, а также оператора ветроэнергетической установки (ВЭУ).

Целью этого раздела является создание условий для работника, общества и окружающей среды, полностью удовлетворяющих технике безопасности, нормам санитарии, эргономики, экологической и пожарной безопасности.

### **4.1.Профессиональная социальная безопасность**

#### **3.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования**

При эксплуатации ветрогенератора могут появиться следующие вредные и опасные факторы:

- a) Превышение уровня шума;
- b) Действие силы тяжести;
- c) Движущиеся механизмы; подвижные части производственного оборудования.

Рассмотрим подробнее.

а) Превышение уровня шума

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» [14], шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты.

Уровень громкости шума измеряют в децибелах. Шум, превышающий 50 дБ, вызывает снижение работоспособности. Болезненные явления у человека начинаются при воздействии на него шума, громкость которого выше 74 дБ.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Допустимым уровнем звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочем месте следует принимать данные из таблицы 4.1.

Таблица 4.1 – Допустимые уровни звукового давления

Среднегеометрические частоты, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Нормативные значения, дБ	71	61	54	49	45	42	40	38

Мерами, позволяющими бороться с шумами на производстве, являются правильный монтаж оборудования, замена и

совершенствование отдельных его частей, вызывающих шум. Защита от шума достигается разработкой шумобезопасной техники, применением средств и методов коллективной защиты.

Вращающиеся ветротурбины являются источником шумового воздействия, поэтому рабочее место оператора должно быть оборудовано устройствами шумоподавления, а сам оператор при работе в непосредственной близости от ветроустановки должен использовать индивидуальные средства защиты от шумовых загрязнений (наушники, беруши).

Возможность проектировать устройства контроля за шумовыми потоками имеет огромное влияние на рынок ветряной энергии. Ведь многие ветровые турбин располагаются в прибрежных зонах, вблизи заселенных городских районов, где действуют очень четкие правила шумовых выбросов.

Одним таких устройств шумоподавления является устройство в виде зубчатой пластиковой панели, которым оснащаются лопасти уже действующих ветряков. Устройство изображено на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Лопасти ветротурбины, оснащенные устройством шумоподавления



Особенность дизайна нового приспособления позволяет задержать ветер на задней стенке конструкции и, не уменьшая нагрузку на лопасть, понизить давление, которое, по большей части, и является источником шума турбины.

Исследуемая в данной ВКР конструкция ветрогенератора «Попутный ветер» в силу своих геометрических особенностей производит шумы до 40 дБ.

Таким образом, благодаря шумопоглощающим устройствам, датчикам и особенностям используемых конструкций и техники, условия работы операторов ветроустановки соответствуют нормативным требованиям.

#### б) Действие силы тяжести

Необходимость в высотных работах может возникнуть при строительстве, в том числе при монтаже компонентов ветрогенератора, а также при проведении технического обслуживания во время эксплуатации.

В целях предотвращения и нейтрализации опасных факторов, связанных с высотными работами, необходимы, в частности, следующие меры:

- Проверка целостности сооружения до начала работ;
- Реализация программы мер по защите от падения с высоты, включающие, в числе прочего, обучение технике подъёма на высоту и приёмам предохранения от падения; осмотр, техническое обслуживание;
- Разработка параметров использования системы полной защиты от падения (обычно при работе на высоте более 2 м над рабочей поверхностью; иногда, в зависимости от вида работ, это

значение может увеличиться до 7 м). Система защиты от падения должна соответствовать конструкции опоры и характеру необходимых перемещений, включая подъём, спуск и позиционное перемещение;

- Установка на элементах башен креплений, облегчающих использование систем защиты от падения;

- Обеспечение работников надлежащими индивидуальными страховочными системами для высотных работ. Соединительные элементы на страховочных системах должны быть совместимы с элементами башен, к необходимо заменять до появления признаков старения или заметного изнашивания волокон;

- При работе на высоте с металлическим инструментом работники должны использовать второй (страховочный) предохранительный пояс;

- Для подъёма и спуска инструментов или материалов для работников, ведущие высотные работы на сооружениях, следует использовать сумки для инструментов установленного образца;

- Избегать проведения работ по монтажу или техническому обслуживанию башен в которых они присоединяются;

- Предохранительные пояса должны быть изготовлены из нейлоновых веревок двойной свивки диаметром не менее 16 мм (5\8 дюйма) или материала равноценной прочности. Верёвочные предохранительные пояса;

- Осуществлять установку и ремонтные работы на высоте следует только в благоприятные погодные условия.

с) Движущиеся механизмы; подвижные части  
производственного оборудования

К факторам данного типа можно отнести:

1. Вращающиеся части стенда входного контроля подшипников качения.
2. Пневмопривод.

Особую опасность представляют вращающиеся части узлов стенда входного контроля.

Данный фактор может повлечь за собой тяжелые последствия: травмы механических тканей, внутренних органов. Все вращающиеся части стенда входного контроля необходимо закрывать кожухами, щитками, дверцами, экранами, барьерами.

### **3.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.**

Моделирование рабочего процесса проходит за ПК. При проведении исследований характеристик ветрогенератора могут появиться следующие вредные и опасные факторы:

- a) Превышение уровня электромагнитных излучений;
- b) Недостаточная освещенность рабочей зоны;
- c) Нервно-психические перегрузки.

Рассмотрим их подробнее.

- a) Превышение уровня электромагнитных излучений

Электромагнитные поля, характеризующиеся напряженностями электрических и магнитных полей, наиболее вредны для организма человек. Влияние ионизирующего излучения на организм человека может приводить к торможению функций кроветворных органов,

снижению сопротивляемости организма к инфекционным заболеваниям, нарушению нормальной свертываемости крови и другим неблагоприятным последствиям.

Для снижения вредного воздействия на работника законодательство установлены определенные нормы и требования к персональному компьютеру и рабочему месту пользователя. Основным требованием в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Конструкция монитора должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана и корпуса монитора при любых положениях регулирующих устройств и не должна превышать  $7,74 \cdot 10^{-4}$  А/кТ, что соответствует эквивалентной дозе, равной 0,1 мбэр/час (100 мкр/час).

В таблице 4.2 представлены предельно-допустимые уровни напряженности на рабочих местах [15]

Таблица 4.2 – Предельно-допустимые уровни напряженности на рабочих местах

Время воздействия за рабочий день, мин	Условия воздействия			
	общее		локальное	
	ПДУ напряженности кА/м	ПДУ магнитной индукции мТл	ПДУ напряженности кА/м	ПДУ магнитной индукции мТл
≤10	24	30	40	50
11 - 60	16	20	24	30
61 - 480	8	10	12	15

Для понижения уровня напряженности электромагнитного поля следует использовать мониторы с пониженным уровнем излучения, устанавливать защитные экраны, устранять неисправности. Для улучшения визуальных показателей видеомониторов, повышения работоспособности, снижения зрительного утомления возможно применение защитных очков со спектральными фильтрами, разрешенных Минздравом России для работы с персональным компьютером.

#### б) Недостаточная освещенность рабочей зоны

Уровень освещенности оказывает влияние на психические функции и физиологические процессы в организме человека. Хорошее освещение действует тонизирующе, стимулирует активность, предупреждает развитие утомления, повышает работоспособность.

Неправильное организованное освещение рабочих мест и рабочей зоны не только утомляет зрение, но и вызывает утомление всего организма в целом. Недостаточное освещение, слепящие источники света и резкие тени от оборудования и других предметов притупляют внимание, вызывают ухудшение или потерю ориентации работающего, что может быть причиной травматизма. Установлено, что неудовлетворительное освещение является причиной примерно 5% несчастных случаев на производстве. При недостаточной освещенности сокращается время ясного видения — время, в течение которого глаз человека сохраняет способность различать рассматриваемый объект.

Освещенность рабочего места нормируется согласно СП52.13330.2011.

В помещении присутствует два типа освещения – искусственное (лампа освещения) и естественное (солнечный свет). Естественное

освещение достигается путем установки в помещении окон с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 4%.

Характеристика зрительной работы - средней точности; наименьший размер объекта 0,5 ... 1мм; разряд зрительной работы – IV; подразряд – а; контрастность с фоном – малый; фон – темный; освещенность искусственного освещения – 750 Лк. , коэффициент пульсации  $K_{\text{п}} = 20\%$  , коэффициент естественной освещенности при боковом естественном освещении  $КЕО = 1,5\%$ , при комбинированном совмещенном освещении  $КЕО = 0,9\%$ .

с) Нервно-психические перегрузки.

*Нервно-психические перегрузки* - совокупность таких сдвигов в психофизиологическом состоянии организма человека, которые развиваются после совершения работы и приводят к временному снижению эффективности труда. Состояние утомления (усталость) характеризуется определенными объективными показателями и субъективными ощущениями.

Нервно-психические перегрузки подразделяются на следующие:

- умственное перенапряжение;
- перенапряжение анализаторов;
- монотонность труда;
- эмоциональные перегрузки.

При первых симптомах психического перенапряжения необходимо:

- Дать нервной системе расслабиться;
- Рационально чередовать периоды отдыха и работы;
- Стараться поддерживать доброжелательные отношения с коллегами и в семье;

- Начать заниматься спортом;
- Правильный сон
- В тяжелых случаях обратиться к врачу.

## **4.2. Экологическая безопасность**

Шум от ВЭУ не превышает 60 дБ в силу ее конструктивных особенностей.

ВЭУ безопасна для животных и растений в виду малозвучности и отсутствия сильных вибраций.

Образующиеся отходы в период строительства, в основном, являются малоопасными, нелетучими, нерастворимыми в воде, что не требует специальных условий для их временного хранения, тем более что после образования они сразу же вывозятся.

В процессе эксплуатации ветроэлектростанции твердые отходы отсутствуют.

Жидкие отходы в виде масла исключены, т.к. указанные вещества транспортируются в замкнутом цикле по герметичным трубопроводам.

Выбросы в атмосферу в процессе эксплуатации ветроэнергетических установок отсутствуют.

## **4.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **4.3.1. Анализ возможных ЧС на объекте**

Опасными событиями, которые могут оказать влияние на безопасность обслуживающего персонала ветроэлектростанции, могут быть пожары и аварии на энергооборудовании. Характер

проектируемого объекта не предполагает хранение, обращение и использование взрывчатых веществ, легковоспламеняющихся, ядовитых и радиоактивных веществ и материалов.

Для предотвращения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие меры:

- Все токоведущие цепи должны быть в защитной оболочке;
- Использование предохранительных устройств (пускатели с тепловым реле);
- Использование стопорных устройств, не допускающих перегрева составляющих ВЭУ;
- Предусмотрение автоматических выключателей электрических цепей, согласно расчетным токам;
- Рабочая область должна быть оборудована датчиками дыма;
- Необходимо наличие пожарной сигнализации;
- Наличие средств пожаротушения;
- Инструктаж по пожарной безопасности для работников.

Для тушения горящего электрооборудования под напряжением возникает риск поражения электрическим током. Для тушения необходимо использовать:

- углекислоту и огнетушащий порошок из ручных огнетушителей (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 и ОП-8, ОПЗ-2 соответственно);
- воздушно-механическую пену на пресной воде из огнетушителей ОВПМ-8, ОВПМ-30у и стационарных огнетушителей типа СО;
- пресную воду соленостью не более 10 Бр;



- стационарную систему и переносные средства объемного химического тушения.

Класс ответственности сооружения – II. Степень огнестойкости – III. Ограждающие и несущие конструкции выполнены не ниже II степени огнестойкости. Сечение проводов и кабелей выбрано с учетом токовых нагрузок согласно ПУЭ. Выбор кабелей и проводов, а также способ прокладки соответствует условиям окружающей среды и конструкции сооружения.

К обслуживанию ветроустановок должны допускаться лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

В случае возникновения пожара, лица, уполномоченные владеть, пользоваться или распоряжаться имуществом, руководители и должностные лица организаций, лица, в установленном порядке назначенные ответственными за обеспечение пожарной безопасности, по прибытии к месту пожара должны:

- сообщить о возникновении пожара в пожарную охрану, поставить в известность руководство и дежурные службы объектов;
- в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение, используя для этого имеющиеся силы и средства;
- проверить включение в работу автоматических систем противопожарной защиты (оповещение людей о пожаре, пожаротушения, противодымной защиты);
- при необходимости отключить электроэнергию (за исключением систем противопожарной защиты), остановить работу транспортирующих устройств, агрегатов, аппаратов, перекрыть газовые, паровые и

водяные коммуникации, остановить работу систем вентиляции в аварийном и смежном с ним помещениях, выполнить другие мероприятия, способствующие предотвращению развития пожара и задымления помещений здания;

- прекратить все работы, кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара;
- осуществить общее руководство по тушению пожара (с учетом специфических особенностей объекта) до прибытия подразделения пожарной охраны;
- обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;
- одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию и защиту материальных ценностей;
- организовать встречу подразделений пожарной охраны и оказать помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;
- сообщать подразделениям пожарной охраны, привлекаемым для тушения пожаров и проведения, связанных с ними, первоочередных аварийно-спасательных работ, сведения о перерабатываемых или хранящихся на объекте опасных (взрывоопасных), взрывчатых, ядовитых сильнодействующих веществах, необходимые для обеспечения безопасности личного состава.

## **4.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **4.4.1. Правовые нормы**

Категория Ia относится к труду легкой тяжести. Согласно 92 статье Трудового Кодекса РФ продолжительность рабочего дня работников составляет 8 часов в день и 40 часов в неделю.

99 статья Трудового Кодекса РФ предусматривает сверхурочную работу.

Привлечение работодателем работника к сверхурочной работе допускается с его письменного согласия в следующих случаях:

1. При необходимости выполнить (закончить) начатую работу, которая вследствие непредвиденной задержки по техническим условиям производства не могла быть выполнена (закончена) в течение установленной для работника продолжительности рабочего времени, если невыполнение (незавершение) этой работы может повлечь за собой порчу или гибель имущества работодателя (в том числе имущества третьих лиц, находящегося у работодателя, если работодатель несет ответственность за сохранность этого имущества), государственного или муниципального имущества либо создать угрозу жизни и здоровью людей;

2. При производстве временных работ по ремонту и восстановлению механизмов или сооружений в тех случаях, когда их неисправность может стать причиной прекращения работы для значительного числа работников;

3. Для продолжения работы при неявке сменяющего работника, если работа не допускает перерыва. В этих случаях работодатель обязан немедленно принять меры по замене сменщика другим работником.

Согласно статье 114 –115 ТК РФ работникам предоставляются ежегодные отпуска с сохранением места работы (должности) и среднего заработка. Ежегодный основной оплачиваемый отпуск предоставляется работникам продолжительностью 28 календарных дней.

Согласно 132 статье ТК РФ заработная плата каждого работника зависит от его квалификации, сложности выполняемой работы, количества и качества затраченного труда и максимальным размером не ограничивается, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Кодексом.

#### **4.4.2. Организация рабочего места**

Требования к организации рабочих мест пользователей:

- Рабочее место должно быть организовано с учетом эргономических требований согласно ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования», [16].
- Конструкция рабочей мебели (рабочий стол, кресло, подставка для ног) должна обеспечивать возможность индивидуальной регулировки соответственно росту пользователя и создавать удобную позу для работы. Вокруг ПК должно быть обеспечено свободное пространство не менее 60-120см;

На рисунке 4.2 схематично представлены требования к рабочему месту.

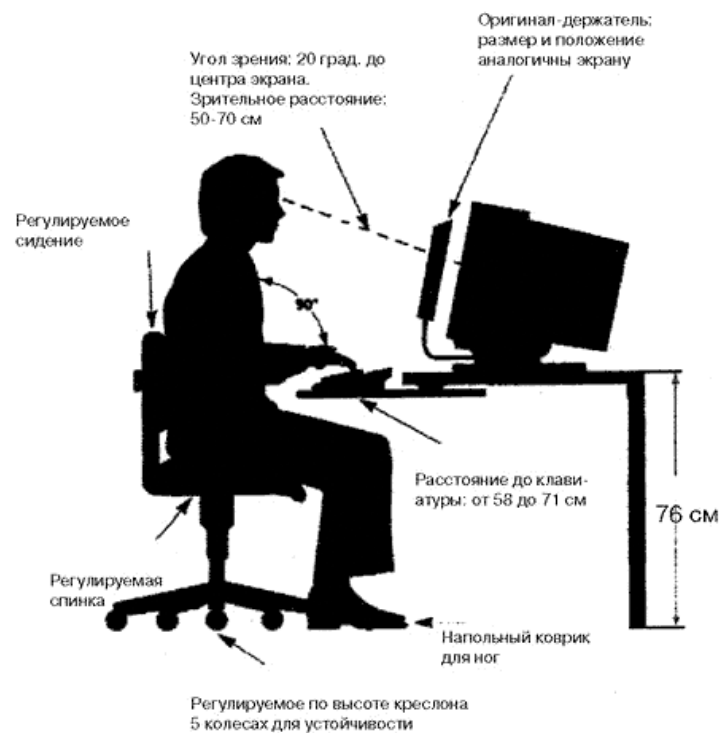


Рисунок 4.2 – Организация рабочего места

В соответствии с государственными стандартами и правовыми нормами обеспечения безопасности предусмотрена рациональная организация труда в течение смены, которая предусматривает:

- длительность рабочей смены не более 8 часов;
- установление двух регламентируемых перерывов (не менее 20 минут после 1-2 часов работы, не менее 30 минут после 2 часов работы);
- обеденный перерыв не менее 40 минут.

Обязательно предусмотрен предварительный медосмотр при приеме на работу и периодические медосмотры.

Каждый сотрудник должен пройти инструктаж по технике безопасности перед приемом на работу и в дальнейшем, должен быть пройден инструктаж по электробезопасности и охране труда.

Требования к внедрению и эксплуатации ветроэнергетической установки:

Эксплуатация ВЭУ должна быть организована таким образом, чтобы обеспечить ее энергетически, технически и экономически эффективную эксплуатацию. Гарантия качества эксплуатации ВЭУ является неотъемлемой частью и результатом совокупности обеспечения качества проектирования, конструирования, производства, поставки, управления, эксплуатации и обслуживания ВЭУ и всех её составных частей.

Гарантия качества является неотъемлемой частью и результатом совокупности обеспечения качества проектирования, конструирования, производства, управления, эксплуатации и обслуживания ВЭУ и всех её составных частей.

На основании настоящего стандарта, СТО 000-00п.2.22 и инструкцией по эксплуатации оборудования на ВЭУ должны быть разработаны местные инструкции.

Знание стандарта обязательно для персонала, участвующего в разработке, согласовании и утверждении местных инструкций по эксплуатации. Знание местных инструкций, составленных на основании настоящего стандарта, обязательно для потребителя.

При эксплуатации ВЭУ должен быть обеспечен безопасный, надёжный и экономичный режим работы оборудования ВЭУ в соответствии с инструкциями по эксплуатации оборудования, бесперебойная работа оборудования в допустимых режимах, надёжное действие устройств контроля, защиты и автоматики.

Потребитель, осуществляющий управление ВЭУ должен располагаться на уровне земли.

Допускается размещать пульт управления ВЭС в помещении пригодном для условий эксплуатации ветрогенератора при условии организации быстрого доступа для ремонта ВЭУ.

Профилактические испытания ВЭУ должны быть организованы в соответствии с инструкциями эксплуатации электрооборудования.

Текущий ремонт оборудования ВЭУ а также проверка его действий производить по мере необходимости в зависимости от их назначения и технического состояния.

ВЭУ - сложное техническое устройство, сочетающее в себе аэродинамическую и электротехническую части. Малейшее несоблюдение сборки ВЭУ или ее эксплуатации может привести к ее поломке и причинению как материального ущерба так и вред здоровью, а также находящимся рядом людей.

Необходимо полностью изолировать подключаемые провода и кабели.

При первых запусках ВЭУ необходимо наблюдение за работой ВЭУ в течение 2-3 часов и внимательно отнестись к возможным вибрациям, стукам, хлопкам, свидетельствующим о неправильной работе ВЭУ и немедленно остановить ее работу.

При установке и эксплуатации ВЭУ запрещается:

- производить первый пуск ВЭУ при скорости ветра более 5 м/с;
- вносить конструктивные и регулировочные изменения в конструкцию ВЭУ;
- подавать любое напряжение на электрогенератор для его запуска;
- подключать любые выходы электрогенератора и блока ОЭЗА к сети электричества или любому другому источнику электроэнергии.

## **Заключение**

1. Рассмотрена перспективность развития отраслей малой энергетики в Томском регионе;
2. Определен оптимальный тип конструкции ветрогенератора для применения в Томском регионе;
3. Разработан алгоритм приближенного определения механической характеристики ветряного колеса конструкции «Попутный ветер»;
4. Найдена и исследована математическая модель зависимости механической характеристики ветроколеса  $M(w)$  конструкции «Попутный ветер» от входных переменных параметров;
5. Определена экономическая и ресурсоэффективная составляющая проекта. Произведен расчет требующихся затрат на реализацию НИР. Определены сильные, слабые стороны проекта;
6. Рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места сотрудника, осуществляющего трудовую деятельность в лаборатории. Составлен перечень опасных и вредных факторов, оказывающих влияние на сотрудника.



## Список публикаций

1. Бойко Л. А. , Селиванова А. И. Английские слова в современном студенческом сленге // Лингвистика и межкультурная коммуникация: теоретические и методологические проблемы современного образования: сборник трудов I Российской научно-практической конференции с международным участием для студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15-17 Мая 2013. - Томск: ТПУ, 2013 - С. 19-21
2. Бойко Л.А., Исакова А.И., Крауиньш Д.П. Исследование и определение оптимального вида конструкции для использования ветроэнергетики в городе Томске // Интеллектуальные энергосистемы : труды V Международного молодёжного форума, 9-13 октября 2017 г., г. Томск : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — Т. 2. — [С. 275-278].

## Список используемых источников

1. Рост тарифов на энергию в России // WATTrouter — контроллер излишков электроэнергии [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <http://www.watrouter.ru/infa/tariffs.htm>.
2. Современная электроэнергетика // Энергоконсультант [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energocon.com/pages/id1417.html>.
3. Плюсы и минусы вертикальных ветрогенераторов, их виды и особенности// Электрика в доме [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricadom.com/plyusy-i-minusy-vertikalnykh-vetrogeneratorov-ikh-vidy-i-osobennosti.html>.
4. Исследование аэродинамики и энергетических характеристик ротора Савониуса / Бубенчиков А.А [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – декабрь – С. 28-34.
5. Ветрогенераторы с вертикальной осью вращения российского производства // ЭКОблог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ekopower.ru/vetrogeneratoryi-s-vertikalnoy-osyu-vrashheniya-rossiyskogo-proizvodstva>.
6. Характеристики, классификация и отличия ветрогенератора Ленца // MirEnergii.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mirenergii.ru/energijavetra/xarakteristiki-klassifikaciya-i-otlichiya-vetrogeneratora-lenca.html>.
7. Основные виды ветрогенераторов: вертикальные, горизонтальные // trip.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tcip.ru/blog/wind/osnovnye-vidy-vetrogeneratorov-vertikalnye-gorizontalnye.html>.
8. Ротор Онипко // E-ветерок.ру [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://e-veterok.ru/rotor-onipko.php>.

9. Бытовые ветрогенераторы Liam F1 Urban Wind Turbine нового поколения // Facte [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.facte.eu/energiya-vetra/bytovye-vetrogeneratoriy-liam-f1-urban-wind-turbine-novogo-pokoleniya>.
10. Ветрогенератор «Попутный ветер» // GreenTechHouse [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gth.energy/products/poputnui-veter>.
11. Alternative energy // многопредм. науч. журнал. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://batsol.ru/vetrogeneratoriy-klassifikaciya-i-tipy-konstrukciya-isxema-raboty.html>.
12. Гидромеханика: учеб. для вузов / под ред. Я.И. Войткунский. – Ленинград «Судостроение», 1982. – 456 с.
13. Окулов В.Л., Ван Куик Г.А.М. Предел Беца – Жуковского для максимального значения коэффициента использования ветра // Альтернативная энергетика и экология – 2009. № 9. С. 106 – 112.
14. ГОСТ 12.1.003-2014 83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности»
15. ГОСТ 12. 1.004 – 91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92).
16. ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»
17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. –М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
18. СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях".
19. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах"

## Приложения А

### Раздел 1 Информационно аналитический обзор

Студентка:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Бойко Любовь Александровна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крауиньш Д.П.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Степура С. Н.	к.ф.н.		

## **1. Analysis of low-energy potentials of the Tomsk region**

### **1.1. Types of small-scale power generation**

There is a set of ways on energy extraction from a surrounding medium or its self-generation. They are:

- a) Geothermal energy (heat of the earth).
- b) Energy of the sun.
- c) Wind power.
- d) Energy of water.
- e) Energy of waves.

Let us consider some of the above-mentioned ways that are possible to be applied in the territory of the Tomsk region.

#### **1.1.1. Solar power engineering**

Nowadays solar energy is one of the most perspective types of the alternative energy. The solar power engineering is meant to be the transformation of sunshine heat to electric energy by direct transformation or with the use of the heat carrier. In the first case sunshine gets on special panels, and transforms into electricity through the semiconductor batteries. In the second case sunlight concentrates on the heat carrier which in turn makes a certain useful effect (rotates the turbine, moves the connecting rod, pushes the piston and etc.) or creates thermal energy. There are also hybrid models, combining two types of energy in it.

The efficiency of the modern solar batteries is not high and on average is from 12 to 18%. The main advantages of solar energy are general availability and inexhaustibility of the source, and also it is almost completely safe for the environment.

The main restriction on the use of this energy type is that it depends on the light of the sun, i.e. it can successfully be applied in dry and solar areas. Also, the main shortcomings are the high cost of designs, the need of periodic cleaning of light-reflective surfaces, heating of the atmosphere layers over the station.

The use of solar batteries in the territory of the Tomsk region is possible, but is not very effective as optimum usage time of solar batteries from March to September during the period from 10 a.m. to 6 p.m. The data were obtained during the experiment in 2007. For this purpose, solar battery was installed; it created about 150 kWh/m<sup>2</sup> of electricity.

### **1.1.2. Wind power engineering**

People began to use the wind power several centuries ago when there were windy mills, but its full-scale usage began relatively recent. Today wind generators transform air course to a mechanical energy, and after that it is turned into electrical power.

Transformation of the wind power to the electric power is very effective since the wind generator makes in 17 – 40 times more energy than it consumes during this time. In turn, efficiency can reach fifty percent. The wind power is a publicly available and renewable resource. Its use does not involve any sort of adverse effects on ecology since it is carried out without emissions of substances or gases in the atmosphere.

Minuses of the wind-driven generators are in the fact of the exploitation efficiency being dependent on the wind speed. Also, they do not transfer the sharp wind gusts exceeding the most admissible speeds of wind for the specific station. Optimum location for the wind-driven generators is

the height with high speed of wind and low turbulence. The wind-driven generators are rather noisy, and the nature defenders say that birds may crash with the rotating blades. According to this wind power plants stop their work in strong windy weather and seasons of migration of birds.

Wind characteristics are measured at the meteorological stations. When there is a need to describe the changes of the wind speed in time daily observations at a certain point are necessary to be carried out for the period of about 10-12 years. It is also vital to consider regularities, for example, that wind speed during the winter periods is higher, than in summer, and during the lunchtime is higher, than in the morning. In world practice the use of wind power installations is considered perspective if the average annual speed of wind for the specific area is 5-6 m/s. Leaders in the use of wind power as an alternative energy source became China, USA, Germany, Spain and India. At speeds of 3-5 m/s technical and economic calculations, analyses and more detailed choice of an optimum design of the wind generator are required. Looking at figure 1.1, one may say, that not in each region of the Russian Federation the use of wind power installations will be effective.



Fig. 1.1. Energy resources of wind power of Russia

Relying on different the Internet sources, one may say, that for our region, the maximal speeds of wind at the height of 10 m are reached during the period from October to May – 3,6 m/s, minimum are observed in July and August, then the speed of wind reaches 2,4 m/s. On average in a year the speed of wind varies from 1,6 to 4,5 m/s that creates the prospects of development of wind stations in our city, capacities 5, 10, 20 kW. It should be taken into account, that with increase in height, also wind speed increases.

Let's conduct a research on data of the meteorological center as wind speed in Tomsk for the last seventeen years changed. The processed data are provided in table 1.1.

Table 1.1 – Average speeds of wind for every month of year in 17 years, m/s

Month	Year																	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Jan.	1,3	1,5	2,4	1,6	1,1	1,2	1,1	1,5	0,9	1,1	1,3	1,1	0,8	1	1,1	1,1	0,8	0,9
Feb.	1,3	1,8	2,5	2,1	2,1	1,2	1,5	1,9	2	1,5	1,6	1,3	0,7	1,2	1,1	1,2	0,9	1
March	1,7	2,1	2,6	2	2	1,7	2,1	1,7	1,6	1,4	1,7	1,9	1,6	1,6	1,5	1,2	1,4	1,3
April	2,4	2,5	2	2,4	2,1	2,2	2,2	1,5	2,1	1,8	1,8	2,4	2,1	1,5	2	5,6	1,3	1,7
May	2,3	2,2	2,1	1,7	2	2,7	2,4	1,9	1,7	2,2	2	1,8	1,8	2	1,7	1,6	1,6	1,7
June	1,8	1,4	1,4	1,6	1,4	1,7	1,6	1,6	1,3	1,3	1,3	1,1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	1
July	1,5	1,2	1,3	1,2	1,6	1,2	1,4	1,4	1,5	1,2	1,5	1,3	1,1	1,1	1,2	0,95	0,8	0,8
Aug.	1,4	1	1,4	1,2	1,4	1,8	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2	1,1	1	1,2	0,94	1,1	1,1
Sept.	1,8	1,1	1,5	1,7	1,5	1,5	1,7	1,5	1,1	1,3	1,6	1	1,3	1,1	1,2	1,07	0,9	1,1
Oct.	2	1,3	1,6	1,4	1,7	1,7	1,7	1,5	1,3	1,4	1,2	1,20	1,4	1,3	1,3	1,6	0,9	1
Nov.	1,5	1,9	1,5	1,7	2	1,8	1,1	1,5	1,7	1,4	1,9	1,6	1,2	1	1,3	1,6	1,1	0,8
Dec.	1,2	1,8	1,4	1,8	1	1	1,9	1,6	1,3	1,2	1,3	1,4	0,6	1,2	1,1	1,2	1,1	0,8
average annual	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6	1,5	1,4	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,6	1,1	1,1

According to table 1.1 we can tell that in fact the average annual speed of wind in seventeen years did not exceed two meters per second. For



descriptive reasons we will present the obtained data in the form of schedules.  
we united 12 schedules in 4, having divided years from time to time.

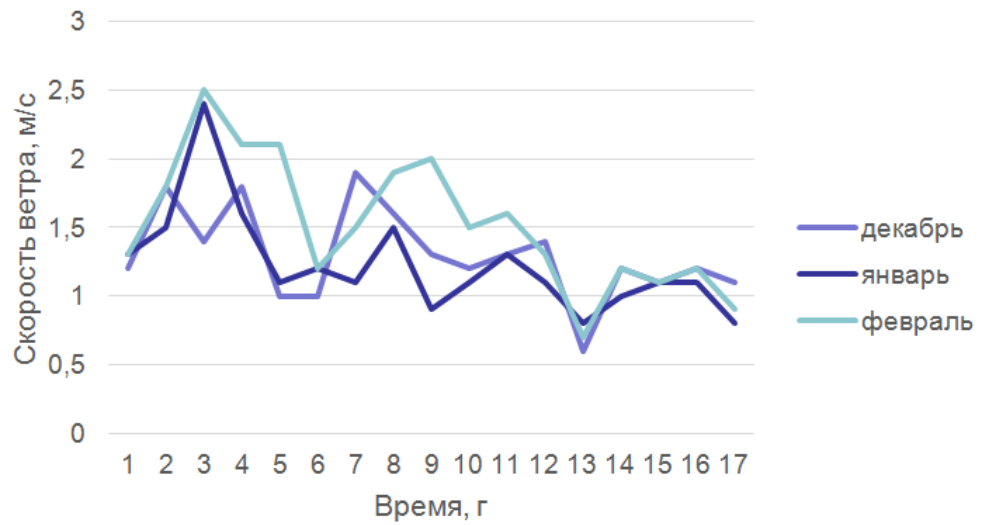


Fig. 1.2. Average speed of wind in the winter

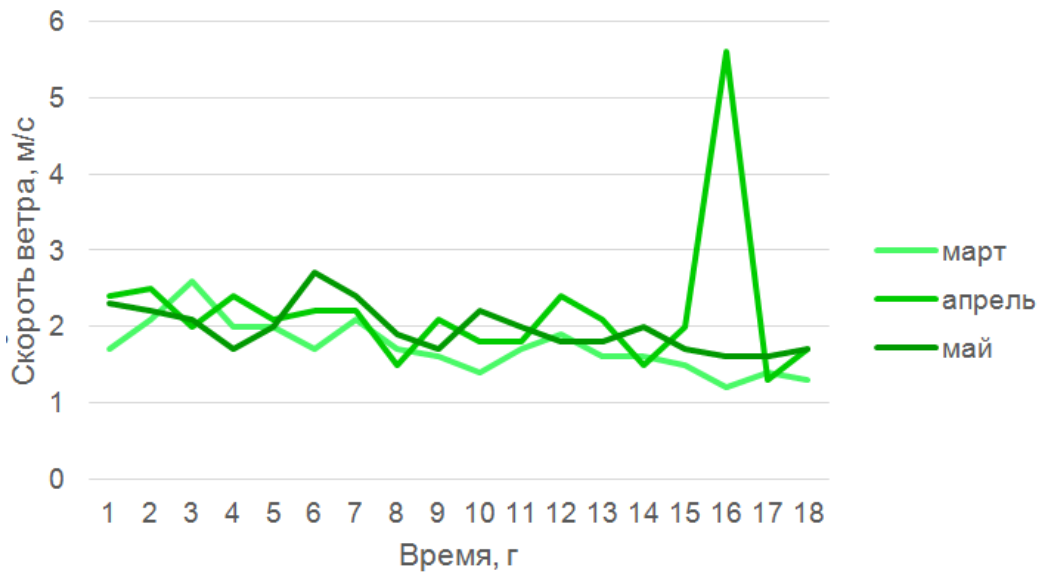


Fig. 1.3. Average speed of wind in the spring

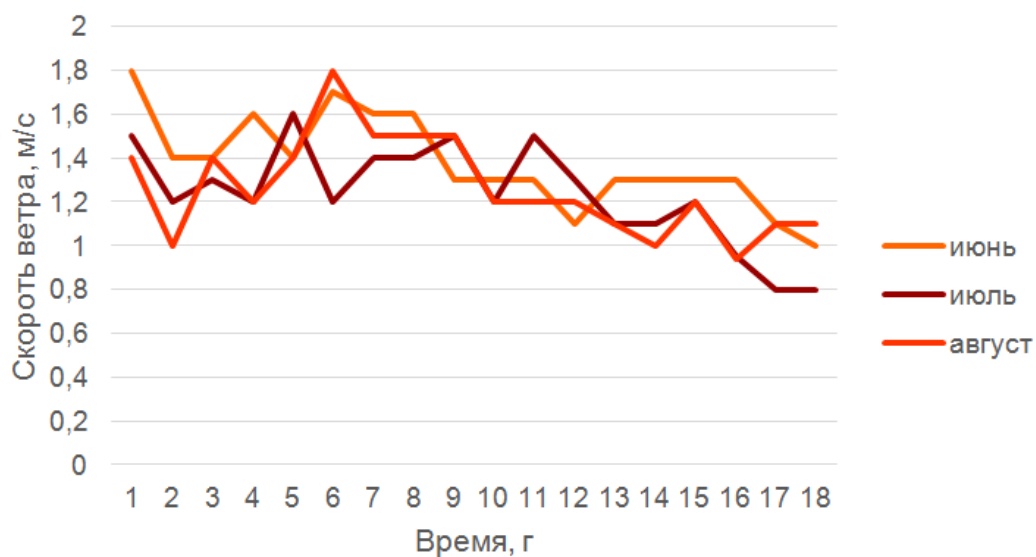


Fig. 1.4. Average speed of wind in the summer

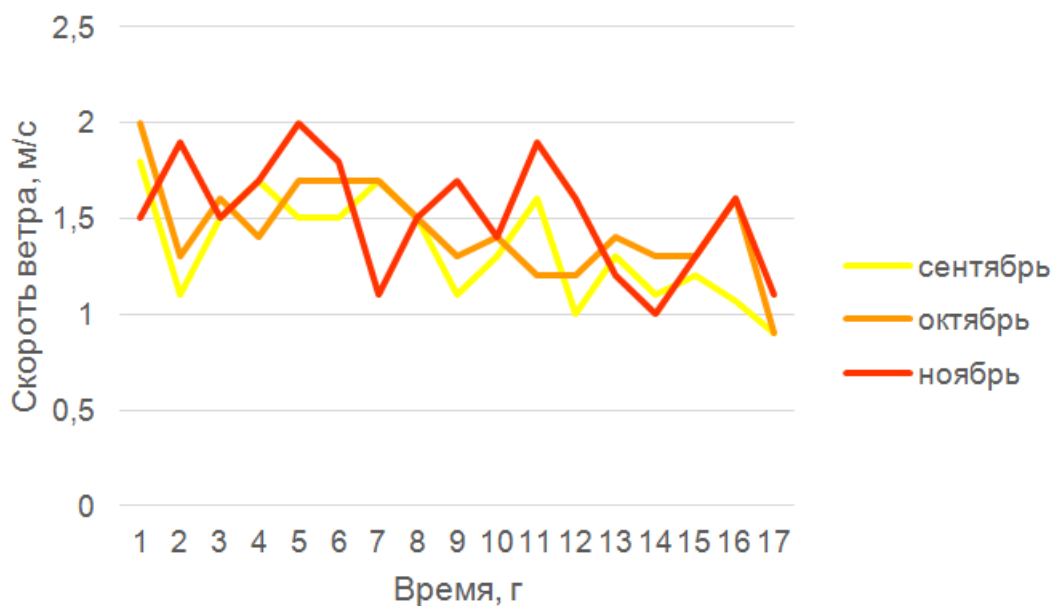


Fig. 1.5. Average speed of wind in the fall

Now we will present all data in the uniform schedule:

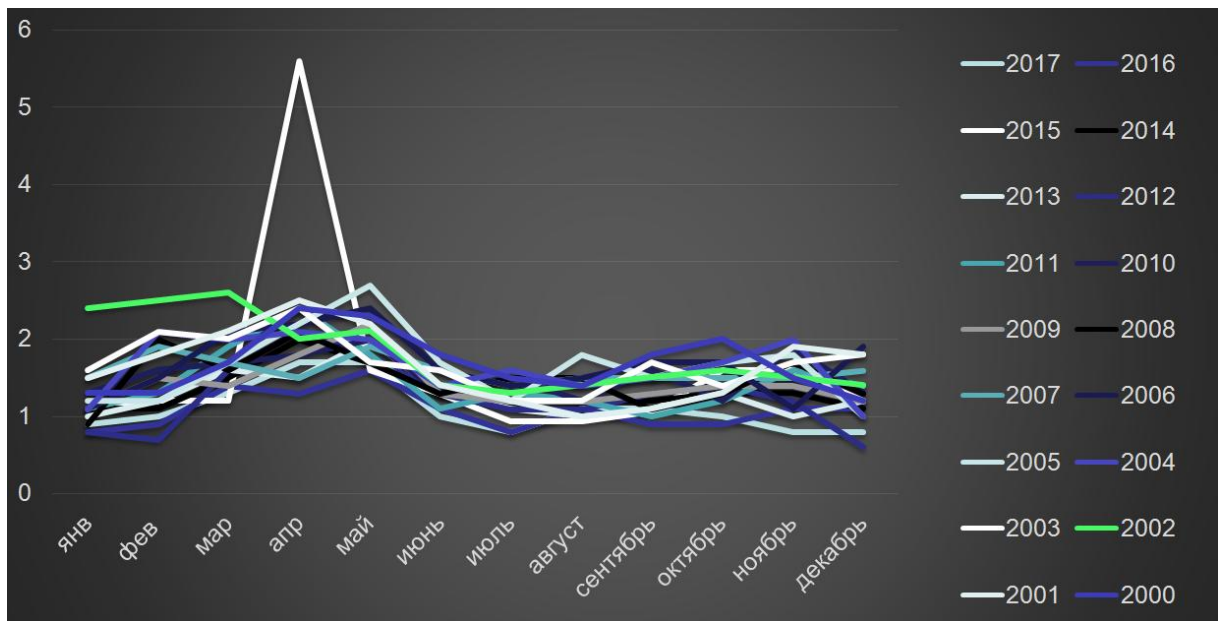


Fig. 1.6. Average speed of wind in Tomsk in 17 years

Apparently according to the figure 1.6, in general everything is stable; increasing in wind speed exists in April – May (2,1 m/s) and November (1,6 m/s); the most windless months it is possible to call July – August (1,1 m/s). It is possible to tell with confidence that over the years the average speed of wind in the Tomsk region declines. For example, for February at the beginning of this century the speed of wind of 2 m/s was characteristic, the last three years it varies about 1 m/s.

In 17 years the average speed of wind in the Tomsk region is 1,5 m/s. Within a year the wind speed does not exceed three meters per second, except for jump in April, 2015 when the speed of wind reached the abnormal 5,5 m/s. Let's consider this month separately (Rice 1.7).



Fig. 1.7. The schedule of speed of wind in April, 2015

Jumps were in the second half of month. We connect this phenomenon with early arrival of spring in 2015: air temperature in March and April practically by 9 degrees exceeded norm. In this regard, warming, thawing of snow and an ice drift began earlier, snow caps did not constrain a wind any more. We consider that it was the reason of the abnormal speed of wind this month.

Thus, came to a conclusion that in Tomsk is possible a construction, use and advance of windy stations, but only for designs with a minimum starting speed of wind (1 m/s) is possible.

### **Types of designs of wind driver generator**

Wind generators are various designs, differ on the power, a spin axis, the number of blades and material of blades, also a pitch of the screw and other parameters.

It is accepted to take geometry of rotation of an axis of the main rotor in a basis of classification, then wind generators are vertical and horizontal types. At vertical the turbine is located perpendicularly in relation to the earth plane, parallel placement is characteristic of horizontal type.

According to a research of the University of Kassel and institute of Fraunhofer, the most widespread model of the wind-driven generator is horizontal three-blade the wind generator. From 118 types of the used designs this model meets in 88%, in other 12% - vertical wind generators.

### **1.2.1. Vertical wind power installations**

Starting speed of rotation on average varies from 1,5-2 m/s depending on features of a design. Working range of speeds of wind from 2 to 50 m/s.

As well as all inventions, vertical wind-to-electric installations have the advantages and shortcomings.

Advantages of vertical wind generators:

- Function at any direction of wind.
- Installation is possible at rather small height (from 0,5 m).
- Rather not high gyroscopic loadings.
- Rather not high gyroscopic loadings.
- The design allows to have a reducer with the generator in the rack basis due to lengthening of a shaft, thereby, without complicating a design.
- Does not need a frequent upkeep since in a structure there are no brushes, bearings, reducers which need it.
- Noise level up to 60 dB, in this regard has no restrictions on distance near housing.

- Safety for animals.

Shortcomings of wind generators with a vertical spin axis:

- A great many position of blades in which a wind does the negative work and effectiveness of the turbine decreases.

- Low effectiveness. Collect no more than 40% of wind power. Efficiency of 20-30%.

### **Main types of designs of vertical wind power installations**

There are several main types of vertical wind generators. As a rule, they differ from each other in a form and number of blades. Therefore further we will consider several widespread designs of this type.

#### **Savonius's rotor**

The turbine of the Finnish engineer Sigurd Savonius is also called a S-shaped rotor (Fig. 1.8). Blades of this rotor are created in the form of semicylinders, often hollow, are installed on a vertical axis, perpendicular to wind rotation. The design allows to control a torque by change of quantity and the sizes of blades and distance to the center of mass, but not heights are resistant.

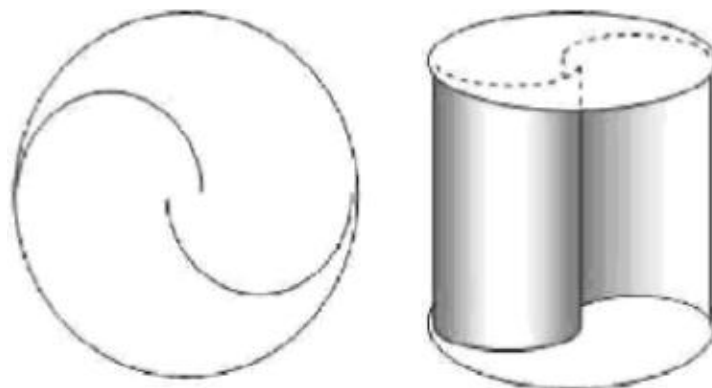


Fig. 1.8. Designs of a rotor of Savonius

Starting speed of this rotor – 1,5 m/s, also it has the wide range of working winds, low level of noise, the small area of installation and works at any direction of wind, but the low aerodynamic effectiveness (no more than 400 rpm) is characteristic of it.

By employees of the Omsk state technical university it is established that in comparison with two or three-blade rotor the rotor with four blades has higher torque. Also four-blade wind rotors have good efficiency at low speed of rotation, but at high speed three-blade shows the best efficiency. Also for the increase in efficiency it is possible to connect two rotors on one shaft, to thereby create a double-deck rotor of Savonius. Such design has higher specific power, thanks to a high torque.

#### Darrieus rotor

The traditional design of a Darrieus rotor is presented in the figure 1.9a and consists of two or three thin, arched blades having an aerodynamic profile and the generator with a vertical rotor shaft. When the blade with the largest speed crosses the air flowing around the construction, at that point the ascensional force is maximum.

Starting speed of wind is 3 m/s. Darrieus rotor cannot self-contained be untwisted therefore to start driving the engine is often used.

Due to of big geometrical filling this design has high pulling torque, is often used for water pumping.

Also there is a N-shaped rotor to Darya (Fig. 1.9, b). It has several blades, parallel to a spin axis, and remote from it on some distance. The design is more efficient, but very noisy and needs larger wind force, also because of high loadings for basic details short endurance is characteristic.

Modification of a rotor of Savonius is the rotor of Vindsayt, it also call a helicoidal rotor (Fig. 1.9, B).

Its blades are twirled around a spin axis, thereby load of details is distributed evenly, and life cycle increases. But the composite design demands the high cost of manufacture.

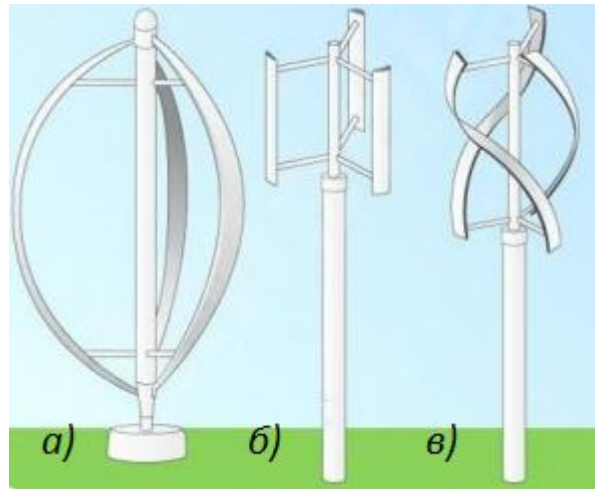


Fig. 1.9. (a) Darrieus rotor; (б) N-shaped Darrieus rotor; (в) spiral Darrieus rotor

#### Multi-blade wind generators

The feature of this design is that it has two rows of blades: the first row is static, its main task is to take a wind stream, to squeeze with increase in speed and to direct under an optimum angle to the rotating second row of blades. Also the fixed blades protect design from birds and the adverse weather phenomena (snow, a hail, etc.) therefore such design is considered the safest for the person, animals and the nature. The multi-blade rotor is the most productive and efficient of vertical wind generators. Load of the bearing details is distributed evenly that increases life cycle. This design efficiently works even at low speed of wind.



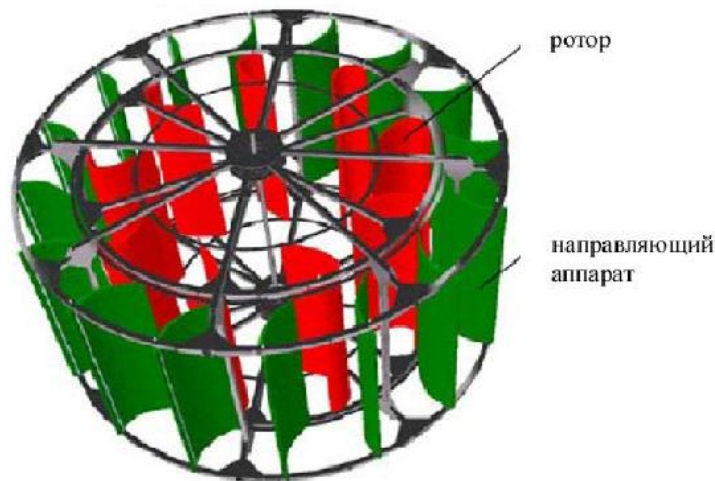


Fig. 1.10. Vertical multi-blade wind generator

### **Horizontal wind power installations**

Starting speed also, as well as at vertical wind generators depends on a type of a design and the average is 3-5 m/s. The working range of speeds of wind from 3,5 to 20 m/s, and operating duty is provided at 8-10 m/s.

At horizontal designs the effectiveness can decrease at placement of several wind generators nearby. In that case devices select air each other.

Advantages of horizontal wind generators:

High performance: the horizontal systems of wind generators are capable to collect to 50% of wind power;

Efficiency is 25-35%.

Shortcomings of classical horizontal wind generators are following:

High location (mast of 80-100 meters above the ground);

Need to change orientation to the direction of wind, at turns efficiency falls;

The generator with a reducer are near the turbine, above a mast, thus the design becomes complicated;

It is less reliable on sites with the strong turbulence, than vertical wind generators;

High gyroscopic torques demand strengthening of pillars and blades in places of their fastening;

Noise level over 25 dB (at the strong wind noise level can exceed 100 dB).

### **Main types of classical horizontal wind generators**

There are several types of the classical horizontal wind generators differing among themselves in number of blades:

#### Single-blade

This type of wind power designs consists of the blade and the compensating counterbalance. The main advantage of the design is high speed of rotation and as a result, of a small moment of inertia. It gives the chance of the installation of generators calculated on more high speeds of rotation. Also the advantage of this rotor is in its rather low price due to the decrease of number of blades and a small amount of material. Power released by single-lobed wind generator reaches up to 10 kW with a diameter of rotor up to 7 m.

#### Two-blade

High speed of rotation of blades, possibility of work with the generator of high speeds of rotation. The main advantage is steadiness of

work of a rotor at any position of blades. The design is presented in the figure 1.11, a.

### Three-blade

Three-blade wind-driven generators are widespread horizontal wind generators (fig. 1.11., б). They are issued with a standard power from several watt to 7 MW.

### Multi-blade

Multi-blade wind-driven generators have a large number of blades, from four to fifty units (fig. 1.11, в). The moment of inertia of these wind-driven generators is rather big, therefore rotation speeds low, but the torque develops rather big. Therefore their main application in the pump systems working from wind generators, especially in industry of the technical application.

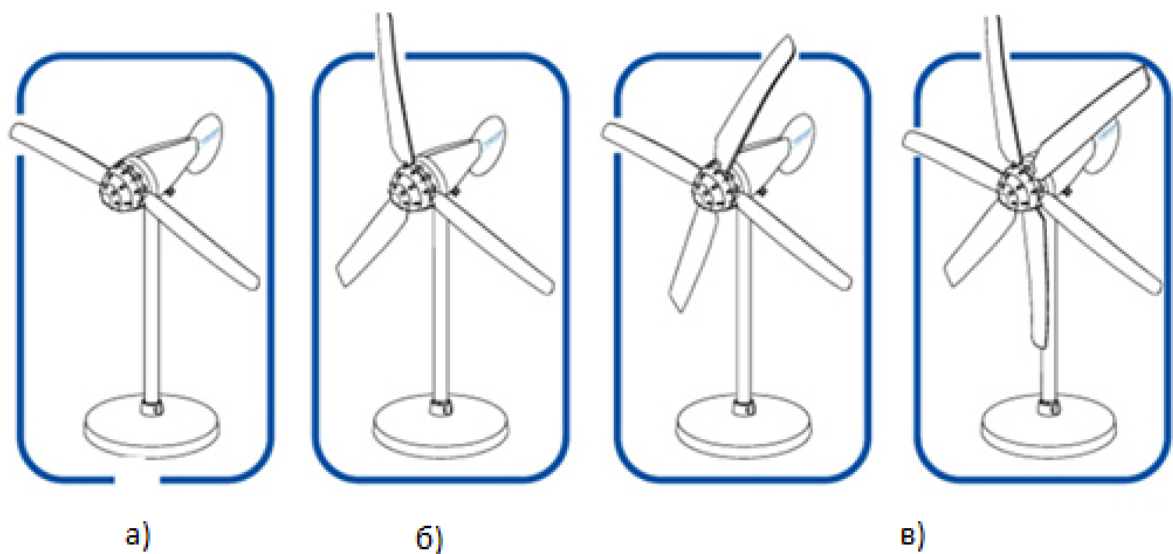


Fig. 1.11. Types of classical horizontal wind generators