

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление подготовки **12.03.01 Приборостроение**  
 Отделение **электронной инженерии**

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Электродвигатель вентилятора специального назначения</b> УДК 621.313.13.04:621.63:534.832-7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б5В	Бедарев Анатолий Михайлович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Костюченко Тамара Георгиевна	к. т. н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	к. т. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Гуляев Милий Всеволодович			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.Н. Гормаков	к. т. н.		

*Планируемые результаты обучения*

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения
Р2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа
Р3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества
Р4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
Р5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
Р6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление подготовки **12.03.01 Приборостроение**  
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ А.Н. Гормаков  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б5В	Бедареву Анатолию Михайловичу

Тема работы:

Электродвигатель вентилятора специального назначения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	23.11.2018 №10356/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2019
--	------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>  <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>	Тип – электродвигатель постоянного тока. Режим работы – непрерывный. Мощность $P_n=250$ Вт. Угловая скорость 3000 об/мин.
--	---

<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>Аналитический обзор литературных источников, патентов, журналов, статей, сайтов производителей. Цель ВКР проектирование электродвигателя постоянного тока с улучшенными эксплуатационными характеристикам. Дополнительные разделы: финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Сборочный чертеж электродвигателя, 3D модель электродвигателя.</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b></p>	<p>Креницына Зоя Васильевна</p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p>Гуляев Милий Всеволодович</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Все</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>12.02.2019</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОЭИ ИШНКБ</p>	<p>Костюченко Тамара Георгиевна</p>	<p>К.Т.Н.</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>1Б5В</p>	<p>Бедарев Анатолий Михайлович</p>		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1Б5В	Бедареву Анатолию Михайловичу

<b>Школа</b>	Неразрушающего контроля и безопасности	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Электронной инженерии
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Приборостроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в электронных ресурсах компаний, занимающихся поставками оборудования
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Потенциальные потребители результатов исследования - Анализ конкурентных технических решений; - SWOT-анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	- Определение трудоемкости выполнения работ; - Разработка графика проведения НИР; - Расчет материальных затрат НИР.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Оценка социальной и сравнительной эффективности исследования.

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

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1Б5В	Бедарев Анатолий Михайлович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1Б5В	Бедареву Анатолию Михайловичу

<b>Школа</b>	Неразрушающего контроля и безопасности	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Электронной инженерии
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление</b>	12.03.01 Приборостроение

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

1. Характеристика объекта исследования	Объект исследования – электродвигатель вентилятора специального назначения. Рабочая зона – 4 корпус, 105 аудитория (учебно-научная лаборатория САПР) Оборудование и материалы – ПЭВМ.
--	---

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

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны (4 корпус, 105 аудитория).
2. Производственная безопасность	Анализ потенциально возможных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения: <ul style="list-style-type: none"> <li>– неудовлетворительный микроклимат</li> <li>– повышенный уровень электромагнитных полей (ЭМП);</li> <li>– неудовлетворительная освещенность;</li> <li>– поражение электрическим током;</li> <li>– повышенный уровень шума.</li> </ul>
2. Экологическая безопасность	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств);</li> <li>– решение по обеспечению экологической безопасности.</li> </ul>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ возможной ЧС;</li> <li>– Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– Определение порядка действий при возникновении ЧС;</li> <li>– Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Гуляев Милий Всеволодович			

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б5В	Бедарев Анатолий Михайлович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление подготовки **12.03.01 Приборостроение**  
 Уровень образования **бакалавриат**  
 Отделение **электронной инженерии**  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

<b>бакалаврская работа</b>
----------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.19	<i>Обзор научной литературы по теме</i>	10
15.03.19	<i>Выбор конструкторско-технологической схемы электродвигателя</i>	5
30.03.19	<i>Выполнение расчетов размеров двигателя и написание теоретической части диплома</i>	20
20.04.19	<i>Разработка сборочного чертежа электродвигателя</i>	20
10.04.19	<i>Разработка 3D модели спроектированного электродвигателя</i>	20
25.05.19	<i>Составление доклада и оформление расчетно-пояснительной записки</i>	20
29.05.19	<i>Корректировка ВКР по результатам обсуждения на защите</i>	5

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Костюченко Тамара Георгиевна	К.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.Н. Гормаков	К.Т.Н.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 88 с., рис. 31, табл. 22, источников 23.

Ключевые слова: электродвигатель, электровентилятор, бесконтактный, шум, вибрация, магнитопласт.

Объектом исследования является электродвигатель, используемый в составе малошумного вентилятора.

Цель работы – проектирование бесконтактного электродвигателя постоянного тока с пониженными виброшумовыми характеристиками.

В процессе исследования проводились расчетно-проектные работы эксплуатационных характеристик бесконтактного электродвигателя постоянного тока, разработка 3D моделей деталей накопителя энергии в программном комплексе T-Flex 15.

В результате исследования были получены массогабаритные характеристики электродвигателя.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: мощность 250 Вт, частота вращения 3000 об/мин.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

### **Нормативные ссылки**

ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

ГОСТ Р МЭК 60127-1—2005. Миниатюрные плавкие предохранители. Часть 1. Терминология для плавких предохранителей и общие требования к миниатюрным плавким вставкам.

ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015.

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, 2003.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003.

СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях, 2003.

СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение, 2011.

СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, 1996.

СН 2.2.4/2.1.8.562–96, Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, 1996.

ГОСТ 30494-2011, Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях, 2011. 12

ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования, 1984.

ГОСТ 26615-85. Провода обмоточные с эмалевой изоляцией. Общие технические условия, 1985.

СП 5.13130.2009 Системы противопожарной защиты установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические, 2009.

НПБ 105-03, Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, 2003.

Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018).

Специальная оценка условий труда в ТПУ (СОУТ ТПУ), 2018.

## Оглавление

Введение .....	15
Глава 1 Теоретическая часть .....	17
1.1 Динамический режим электродвигателя .....	17
1.1.1 Причины механических колебаний.....	17
1.1.2 Динамика вибрационного движения электродвигателя.....	18
1.1.3 Применение композиционных материалов в области виброгашения ..	20
1.2 Бесконтактный двигатель постоянного тока .....	21
1.2.1 Устройство и принцип действия .....	22
1.2.2 Преимущества бесконтактного двигателя постоянного тока .....	23
Глава 2 Электродвигатель вентилятора специального назначения.....	24
2.1 Расчет габаритов вентиляционного электродвигателя постоянного тока.....	24
2.1.1 Основные размеры и параметры двигателя .....	24
2.1.2 Обмотка якоря .....	27
2.1.3 Магнитопровод якоря .....	29
2.1.4 Индуктор.....	31
2.2 Магнитная система индуктора .....	31
2.2.1 Магнитопласт .....	31
2.2.2 Преимущества использования магнитопласта .....	32
2.3 Конструкция и материалы электродвигателя .....	33
2.3.1 Описание конструкции электродвигателя .....	33
2.3.2 Обоснование примененных материалов .....	35
Глава 3 Результаты 3D моделирования.....	37
3.1 3D Модель .....	37
3.2 Расчет массы электродвигателя.....	46
3.3 Расчет собственных резонансных частот.....	47
Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	48
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	48
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	48

4.1.2 SWOT-анализ.....	49
4.2. Планирование научно-исследовательских работ .....	53
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	53
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	55
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования .....	56
4.2.4 Построение графика работ .....	57
3.3 Бюджет научно-технического исследования (НИР).....	59
3.3.1 Расчет материальных затрат НИР .....	59
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	60
4.3.3 Зарботная плата исполнителей темы.....	61
4.3.4 Дополнительная зарботная плата исполнителей темы.....	62
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	63
4.3.6 Накладные расходы.....	64
4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .	64
Глава 5 Социальная ответственность.....	69
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	69
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	69
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	70
5.2 Производственная безопасность .....	71
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	71
5.3 Экологическая безопасность .....	79
5.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду .....	79
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	80
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	81
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	82
Заключение .....	85
Список используемых источников.....	86

Приложение А Сборочный чертеж и спецификация бесконтактного электродвигателя постоянного тока.....	88
---	----

## Введение

Для обеспечения комфортных бытовых условий экипажа подводной лодки используются вентиляционные системы. Основным элементом вентиляционной системы является вентилятор, обеспечивающий циркуляцию воздуха по вентиляционным каналам.

При работе вентилятора неизбежно имеют место различные шумы и вибрации. Данное явление оказывает непосредственное воздействие на экипаж подводной лодки, работающего длительное время в замкнутом пространстве. Это может привести к возникновению различных болезней, а также вызвать быстрый износ деталей и узлов вентилятора, что приведет к некорректной работе технологического оборудования.

Необходимость борьбы с шумом и вибрацией на объектах специального назначения, к которым относятся подводные лодки, важна и с целью не обнаружения потенциальным противником при выполнении задач на территории вероятного противника. Борьба с шумом и вибрацией является ключевой задачей, стоящей перед инженерами и конструкторами.

Основными элементами вентилятора являются непосредственно электродвигатель и механически соединенные с ним лопасти. Соответственно, вентилятор включает в себя два узла, генерирующих шумы:

- Электродвигатель;
- Лопастное колесо.

Объектом исследования в данной работе является основной источник шума и вибрации в вентиляторах – электродвигатель.

В настоящее время для вентиляционных систем используются двигатели постоянного и переменного тока. Каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. В данной работе рассматривается электродвигатель постоянного тока с полупроводниковым инвертором.

Развитие полупроводниковых приборов позволило заменить коллекторный узел бесконтактным датчиком. Двигатели такого типа по своим

энергетическим показателям не уступают, а в некоторых случаях превосходят обычные коллекторные машины. Поэтому бесконтактные двигатели постоянного тока получили широкое распространение.

Целью данной работы является проектирование электродвигателя постоянного тока с улучшенными виброшумовыми характеристиками.

Для выполнения поставленной цели решается задача разработки конструкторских решений с целью улучшения акустических показателей, а также снижения массогабаритных показателей.

Теоретическая значимость работы состоит в систематизации теоретических и практических решений, применяемых для снижения виброшумовых показателей электродвигателя.

Практическая часть работы состоит в применении изложенных теоретических решений для разработки малошумного электродвигателя с улучшенными показателями.

ВКР состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении раскрывается актуальность темы работы, объект исследования, цель и задачи, теоретическая и практическая значимость исследования. Рассматриваются основные типы электродвигателей, используемые для вентиляционных систем.

В первой главе рассмотрена динамика электродвигателя, проведен анализ основных источников колебания, вызывающих шум.

Во второй главе приведены габаритные расчеты электродвигателя и проведено его 3D моделирование на основе полученных расчетов.

В третьей главе рассматривается ресурсоэффективность разработки. Проведен SWOT анализ, составлен план-график проведения работ, а также проанализирована конкурентноспособность.

В четвертой главе рассмотрены основные потенциально возможные опасные и вредные факторы при проектировании электродвигателя, вероятные ЧС, порядок действия и меры для их предупреждения.

## Глава 1 Теоретическая часть

### 1.1 Динамический режим электродвигателя

#### 1.1.1 Причины механических колебаний

Любая механическая система, имеющая элементы упругости и массы, путем приложения к ней периодической силы может быть приведена в колебательное движение [1].

Периодические силы, действующие в процессе работы вентилятора и вызывающие вибрацию, имеют, во-первых, различную техническую основу и, во-вторых, имеют большой массив гармоник.

При работе электрических машин наблюдается по крайней мере три вида шумов: магнитные, вызываемые переменными магнитными полями; механические, обусловленные дисбалансом ротора, колебаниями в подшипниках качения, трением и ударами щеток и т. п.; воздушные, создаваемые вентилятором и потоком воздуха в воздушном такте машины [1].

Более подробно рассмотрим причины механических шумов. Неуравновешенность вращающихся элементов конструкции является одной из периодических вынуждающих сил. Поскольку полностью устранить остаточную неуравновешенность невозможно даже при использовании самого совершенного балансирующего оборудования, неизбежно возникает вибрация на частоте вращения.

Кроме того, на опоры действует ряд сил в силу наличия технологических погрешностей:

- Угловое смещение осей – осевая сила с частотой  $f_1$  (первая гармоника);
- Параллельное смещение осей – радиальная сила с частотой  $f_1$ ;
- Неравножесткость оси – радиальная сила с частотой  $2f_1$ .

Большой “вклад” в создании вибрационного режима вносят шарикоподшипниковые опоры:

- Овальность внутреннего кольца – радиальная сила с частотой  $2f_1$ ;
- Перекос внешнего кольца – осевая сила с частотой  $f_1$ ;
- Повышенные зазоры – удары с частотой, определяемые по формуле 1:

$$f_2 = \frac{D}{d_{\text{ш}}} f_1 z, \quad (1)$$

где  $z$  – число шариков;

$D$  – диаметр наружного кольца;

$d_{\text{ш}}$  – диаметр шариков.

- Неуравновешенность сепаратора – сила с частотой, определяемой по формуле 2:

$$f_3 = \frac{f_1 D}{2(D+d_{\text{ш}})}. \quad (2)$$

### 1.1.2 Динамика вибрационного движения электродвигателя

При вынужденных колебаниях механической системы с гармоническим возмущением технический интерес представляет установившаяся реакция этой системы на вышеуказанное возмущение.

Электродвигатель представляет слабодемпфированную механическую систему, которую в первом приближении для нашего случая можно представить, как показано на рисунке 1.

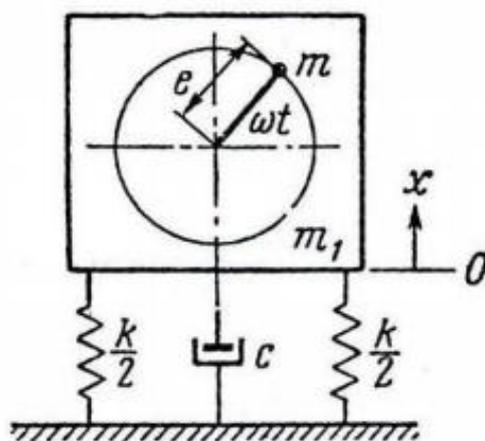


Рисунок 1 – Колебательная система [1]

Динамику движения этой механической системы можно описать дифференциальным уравнением:

$$m_1 \ddot{x} + c \dot{x} + kx = F_{\Sigma} \sin \omega t, \quad (3)$$

где  $m$  – масса электродвигателя;

$k$  – жесткость конструкции электродвигателя;

$c$  – коэффициент демпфирования механизма;

$F_{\Sigma}$  - сумма возмущающих сил.

Из уравнения (1) следует, что электродвигатель является генератором вибрационного движения любой механической системы, частью которой он будет являться.

Решение для дифференциального уравнения общеизвестно

$$x = A \cdot e^{-\omega_c \xi t} (\sin \omega_d t + \Psi) + \frac{F_{\Sigma}}{k} \cdot \chi \cdot \sin(\omega t - \varphi), \quad (4)$$

где  $\omega_c$  – собственная частота;

$\omega_d$  – частота демпфирования механизма;

$\xi$  – коэффициент относительного демпфирования;

$\chi$  – коэффициент усиления;

$\omega$  – частота вынужденных колебаний.

Первый член описывает переходную реакцию, а второй член описывает установившуюся реакцию.

Установившаяся реакция в безразмерных единицах представлена на рисунке 2.

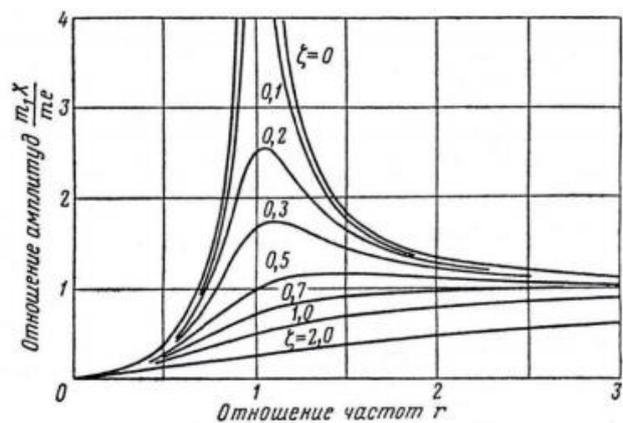


Рисунок 2 – Установившаяся реакция на возмущение системы [1]

Из графиков, представленных на рисунке 2, видно, что амплитуда колебаний зависит от отношения частот собственных и вынужденных колебаний и коэффициента демпфирования  $\xi$ .

Поэтому при проектировании надо добиваться максимального значения коэффициента  $\xi$ .

### 1.1.3 Применение композиционных материалов в области виброгашения

Вибрация зачастую приводит к нежелательным последствиям, таким как неприятный звук, динамические напряжения, которые, в свою очередь, вызывают усталость и разрушение конструкции, снижают надежность и прочностные характеристики [2].

В приборостроении с целью устранения вибрации, применяются материалы различного типа, эффективные в широком диапазоне температур и частот.

Наиболее распространенным материалом для демпфирования являются различные марки резины. Однако резиновые демпферы недолговечны, так как со временем резиновые виброизоляторы становятся жестче и их необходимо заменять, кроме того, резина имеет склонность к старению под воздействием воздуха.

Поэтому, для снижения уровня шума и вибрации в различных областях техники, целесообразно использовать композиционные материалы, обладающие специфическими динамическими механическими свойствами при воздействии изменяющихся по гармоническому закону напряжений и деформации.

Композиционными называют сложные материалы, в состав которых входят сильно отличающиеся по свойствам нерастворимые или мало растворимые друг в друге компоненты, разделённые в материале ярко выраженной границей [3].

Композиционный материал объединяет в себе свойства компонентов, входящих в его состав. В то же время композиционные материалы имеют свойства, которыми не обладают отдельные компоненты, входящие в состав композита. Наиболее выгодно использовать в создании композиционного материала компоненты с резко отличающимися свойствами.

Основу композиционного материала составляют металлы или сплавы, керамики, а также полимеры, углеродные и керамические материалы. Матрица определяет рабочую температуру материала, сопротивление усталостному разрушению, воздействию окружающей среды, плотность композита и его удельную прочность.

В свою очередь, в матрице равномерно распределены наполнители, выполняющие армирующую роль и необходимые для повышения его прочности.

## **1.2 Бесконтактный двигатель постоянного тока**

Бесконтактные двигатели постоянного тока нашли применение во многих областях техники. Данные электрические машины обеспечивают высокую надежность, большой срок службы, обладают способностью работать бесшумно при высоких скоростях вращения, в тяжелых эксплуатационных условиях.

### 1.2.1 Устройство и принцип действия

Бесконтактный двигатель – это разновидность электродвигателя постоянного тока, у которого щеточно-коллекторный узел заменен полупроводниковым коммутатором, управляемым датчиком положения ротора [4].

Принципиальная схема бесконтактного двигателя постоянного тока изображена на рисунке 3.

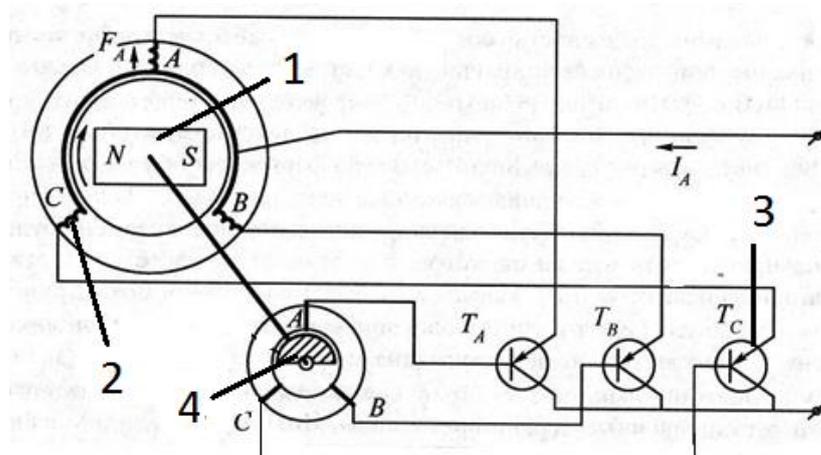


Рисунок 3 – Схема бесконтактного двигателя постоянного тока

Бесконтактный двигатель постоянного тока состоит из индуктора 1, создающего основной магнитный поток машины, якоря 2, полупроводникового коммутирующего устройства 3 и датчиков положения ротора 4, управляющих работой коммутирующих элементов.

Бесконтактные машины выполняют с неподвижным якорем и вращающимся индуктором. Возбуждение машины осуществляют постоянными магнитами или обмоткой возбуждения.

Рассмотрим принцип работы бесконтактного двигателя постоянного тока по схеме, приведенной на рисунке 3.

Если подключить выходные контакты двигателя к источнику постоянного тока при положении ротора, как изображено на рисунке 3, то датчики

положения включают транзистор  $T_a$ , по обмотке якоря А будет протекать ток. В результате взаимодействия магнитного поля якоря с магнитным потоком индуктора возникнет электромагнитная сила А, в результате чего вращающий момент повернет индуктор.

Повернувшись на  $30^\circ$ , сигнальные элементы на роторе будут действовать сразу на 2 чувствительных элемента А и В. Транзисторы  $T_a$  и  $T_b$  будут открыты, ток будет протекать по обмоткам А и Б. Возникающая при этом электромагнитная сила  $F_{AB}$  повернет ротор еще на  $30^\circ$ .

При повороте ротора с датчиками положения на угол  $90^\circ$  транзистор  $T_a$  закроется, а транзистор  $T_b$  будет открыт. Протекающий по обмотке В ток создаст электромагнитную силу, которая, взаимодействуя с полем постоянного магнита, повернет ротор и увеличит вращающий момент. Скорость вращения ротора будет увеличиваться, пока его момент не уравнивается с моментом нагрузки.

### **1.2.2 Преимущества бесконтактного двигателя постоянного тока**

БДПТ по сравнению с коллекторными двигателями, имеет следующие преимущества:

- Высокая надежность;
- Длительный срок службы;
- Способность работать в условиях глубокого вакуума, агрессивных средах и при повышенных температурах;
- Улучшенные весовые показатели;
- Улучшенные вибрационные и шумовые характеристики.

## Глава 2 Электродвигатель вентилятора специального назначения

### 2.1 Расчет габаритов вентиляного электродвигателя постоянного тока

#### 2.1.1 Основные размеры и параметры двигателя

Расчет производится по методике расчета, приведенной в книге «Бесконтактные двигатели постоянного тока» А.А. Дубенского [4].

Электромагнитная мощность машины:

$$P_{\text{э}} = \frac{P_n}{\eta} = \frac{250}{0.9} = 277,8 \text{ Вт}, \quad (5)$$

где  $\eta = 0.9$  –предварительная величина КПД двигателя, выбранная по графику, изображенному на рисунке 4.

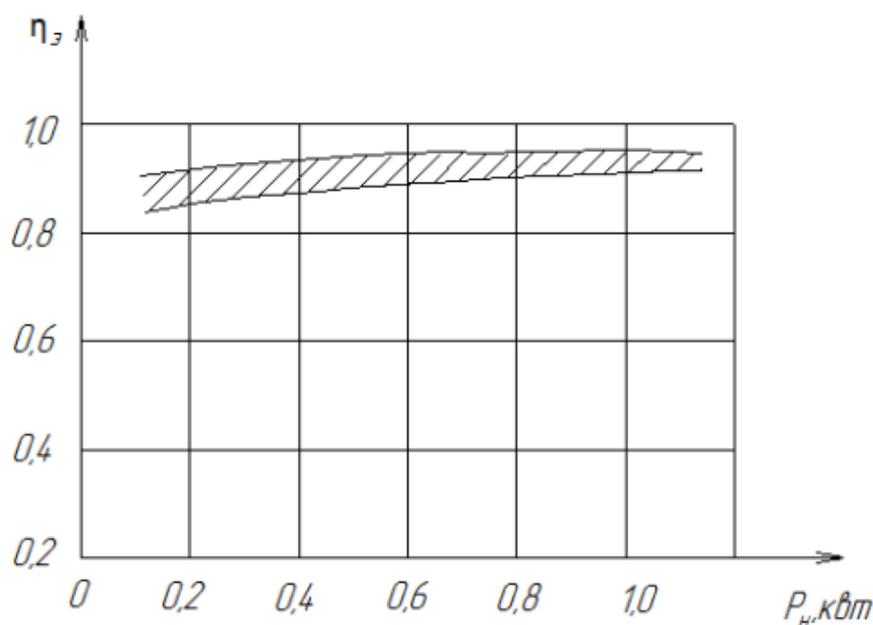


Рисунок 4 – Зависимость электромагнитного КПД от мощности двигателя

Для бесконтактных магнитоэлектрических двигателей с внешним индуктором, коэффициент использования машины

$$\begin{aligned} \sigma_{\delta} &= 0,165 \cdot a_i \cdot k_{\phi} \cdot k_0 \cdot k_{\text{и.о.}} \cdot A \cdot B_{\delta} \\ &= 0,165 \cdot 0,75 \cdot 1,1 \cdot 0,866 \cdot 0,9 \cdot 10^4 \cdot 0,47 = 498,65 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}, \end{aligned} \quad (6)$$

где:  $a_i = 0,75$  – предварительная расчетная величина, коэффициента полюсного перекрытия;

$k_{\phi} = 1,1$  – коэффициент формы магнитного поля в рабочем зазоре;

$k_0 = 0,866$  – коэффициент обмотки, для сосредоточенной обмотки;

$k_{\text{и.о.}} = 0,9$  – коэффициент использования обмотки, выбираемый по кривой изображенной на рисунке 5, для двухполупериодного преобразования;

$A = 10^4$  – линейная нагрузка, а/м, выбираемая по кривой изображенной на рисунке 6;

$B_{\delta} = 0,47$  – индукция в рабочем зазоре, тл, выбираемая по кривой изображенной на рисунке 7.

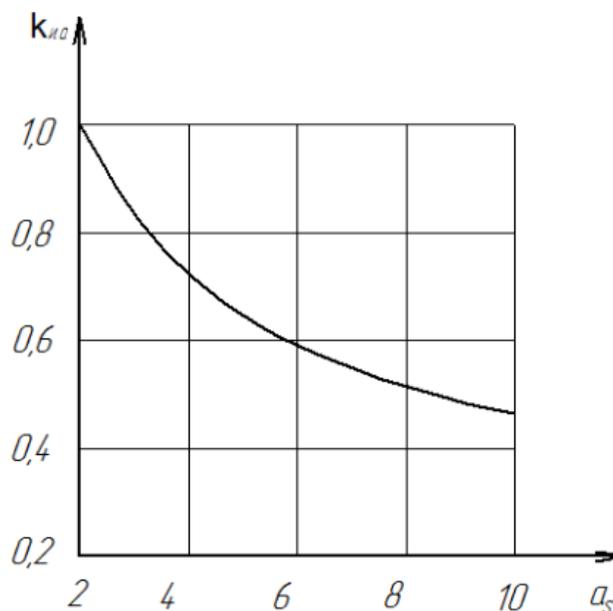


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента использования обмотки при поочередной работе секций от их числа для двухполупериодного коммутирующего устройства

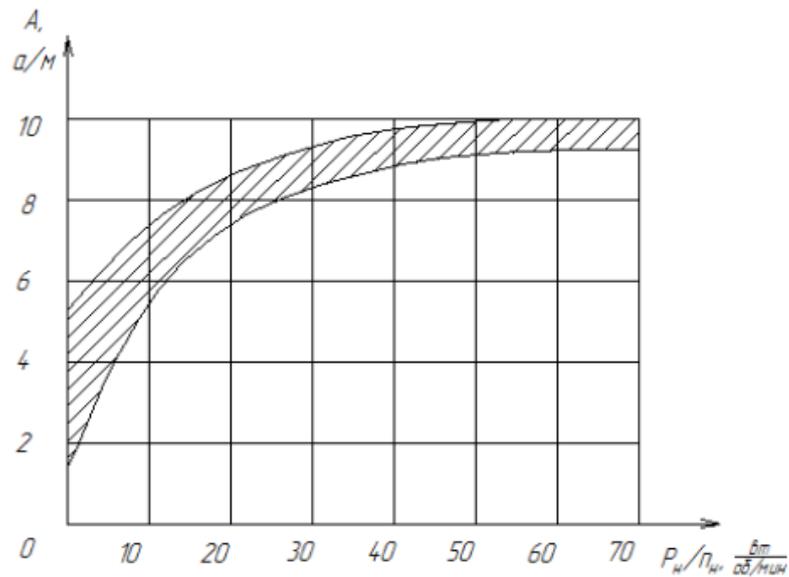


Рисунок 6 – Линейная нагрузка бесконтактных двигателей постоянного тока

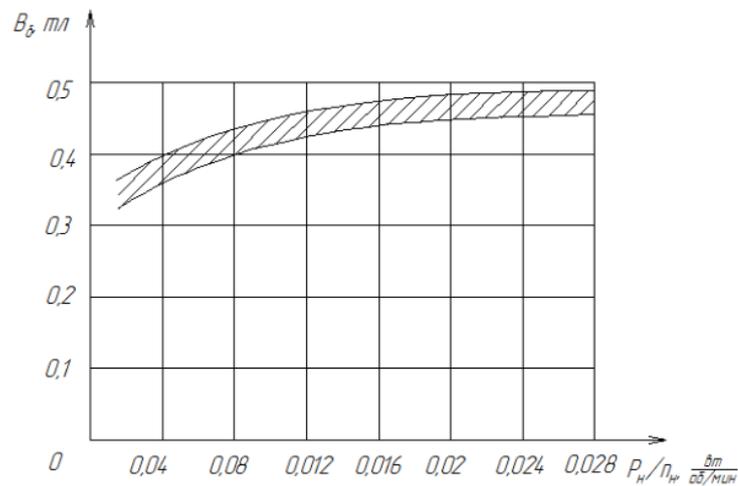


Рисунок 7 – Индукция в рабочем зазоре бесконтактных двигателей постоянного тока

Расчетный диаметр машины:

$$D_{\text{я}} = \sqrt[3]{\frac{P_{\text{э}}}{n_{\text{н}} \cdot \lambda \cdot \sigma_{\text{э}}}} = \sqrt[3]{\frac{277,8}{3000 \cdot 0,8 \cdot 498,65}} = 0,061 \text{ м}, \quad (7)$$

где  $\lambda = 0.8$  – конструктивный коэффициент.

Длина якоря

$$l_{\text{я}} = 0,9 \cdot D_{\text{я}} \cdot \lambda = 0,9 \cdot 0,061 \cdot 0,8 = 0,044 \text{ м}. \quad (8)$$

Длина индуктора для бесконтактных двигателей с внутренним якорем

$$l = 2D_{\text{я}} \cdot \lambda - l_{\text{я}} = 2 \cdot 0,061 \cdot 0,8 - 0,044 = 0,054 \text{ м.} \quad (9)$$

Расчетный диаметр индуктора

$$D = D_{\text{я}} + 2\delta = 0,061 + 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,062 \text{ м,} \quad (10)$$

где  $\delta = 0,5 \cdot 10^{-3}$  м – величина рабочего зазора.

Полюсное деление  $\tau$  определяется по расчетному диаметру якоря и числу пар полюсов:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_{\text{я}}}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot 0,061}{2 \cdot 2} = 0,048 \text{ м.} \quad (11)$$

Расчетный коэффициент полюсного перекрытия для машин постоянного тока с равномерным рабочим зазором

$$\alpha_i = \alpha + \frac{4}{\frac{\tau}{\delta} + \frac{6}{1 - \alpha}} = 0,68 + \frac{4}{\frac{0,048}{0,5 \cdot 10^{-3}} + \frac{6}{1 - 0,68}} = 0,715, \quad (12)$$

где  $\alpha = 0,68$  - коэффициент полюсного перекрытия.

Расчетный коэффициент полюсного перекрытия отличается от предварительно заданного менее чем на 10%, следовательно, расчет верен.

### 2.1.2 Обмотка якоря

Для магнитоэлектрических машин с внешним индуктором при расчете обмотки используется принятое выше значение индукции в рабочем зазоре  $B_{\delta}$ .

Магнитный поток в рабочем зазоре машины рассчитывают по формуле:

$$\Phi_H = B_{\delta} \cdot \alpha_i \cdot \tau \cdot \frac{l+l_{\text{я}}}{2} = 0,47 \cdot 0,715 \cdot 0,048 \cdot \frac{0,054+0,044}{2} = 7,97 \cdot 10^{-4} \text{ вб.} \quad (13)$$

Выбираем сосредоточенную обмотку.

Электродвижущая сила обмотки определяется предварительно по величине питающего напряжения  $U$  и относительной электродвижущей силе  $\dot{E}$ :

$$E_H = U \cdot \dot{E} = 27 \cdot 0,8 = 21,6 \text{ В,} \quad (14)$$

где  $\dot{E}$  определяется по кривой, изображенной на рисунке 8.

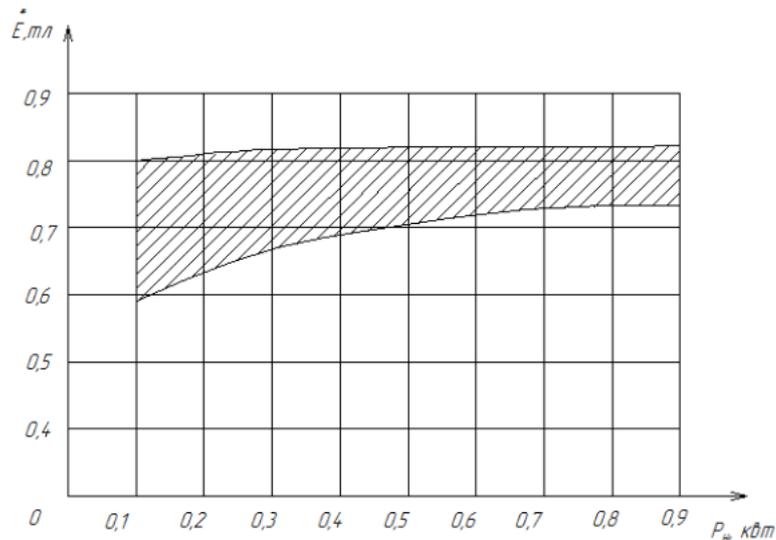


Рисунок 8 – Зависимость величины относительной ЭДС двигателя от мощности машины

Число витков обмотки:

$$W = \frac{30 \cdot E_H}{p \cdot a_s \cdot \Phi_H \cdot n_H} = \frac{30 \cdot 21,6}{2 \cdot 3 \cdot 7,97 \cdot 10^{-4} \cdot 3000} = 45,162, \quad (15)$$

где  $a_s = 3$  – число секций.

Принимаем число витков  $W = 46$ .

Ток в секции:

$$I_{SH} = \frac{P_{\Sigma}}{2 \cdot E_H} = \frac{277,8}{2 \cdot 21,6} = 6,43 \text{ А}. \quad (16)$$

Линейная нагрузка машины:

$$A = \frac{2 \cdot W \cdot I_{SH} \cdot a_s}{\pi \cdot D_{\text{я}}} = \frac{2 \cdot 46 \cdot 6,43 \cdot 3}{\pi \cdot 0,061} = 9192 \frac{\text{а}}{\text{м}}. \quad (17)$$

Линейная нагрузка машины отличается от заданной ранее менее, чем на 10%, следовательно, расчет верен.

Плотность тока в обмотке можно определить и выражения:

$$j = \frac{75}{A} \vartheta_{\text{п}} \cdot \alpha_t = \frac{75}{9192} \cdot 97 \cdot 15 = 12,7 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}, \quad (18)$$

где  $\vartheta_{\text{п}} = 97$  – превышение температуры якоря над температурой окружающей среды;

$a_t = 15$  – коэффициент теплоотдачи поверхности якоря.

Сечение меди провода обмотки:

$$q_m = \frac{I_{SH}}{j} = \frac{6,43}{12,7} = 0,508 \text{ мм}^2. \quad (19)$$

Диаметр меди обмотки  $d$  выбирается согласно ГОСТ 26615-85 по диаметру меди и применяемой изоляции:

$$d_{\text{из}} = 0,8 \text{ мм.}$$

Сечение изолированного провода обмотки определяется из соотношения:

$$q_{\text{из}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{из}}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,85}{4} = 0,503 \text{ мм}^2. \quad (20)$$

### 2.1.3 Магнитопровод якоря

Принимаем внутренний магнитопровод круглой формы с секторными пазами.

Число зубцов якоря:

$$z = a_s \cdot q \cdot p = 3 \cdot 1 \cdot 2 = 6. \quad (21)$$

Зубцовое деление

$$t_z = \frac{\pi \cdot D_{\text{я}}}{z} = \frac{\pi \cdot 0,061}{6} = 0,032 \text{ м.} \quad (22)$$

Ширина зубца якоря

$$b_z = \frac{B_{\delta} \cdot t_z \cdot (l + l_{\text{я}})}{2B_z \cdot l_{\text{я}} \cdot k_{\text{з.с.}}} = \frac{0,47 \cdot 0,032 \cdot (0,054 + 0,044)}{2 \cdot 1,4 \cdot 0,044 \cdot 0,93} = 0,011 \text{ м,} \quad (23)$$

где  $B_z = 1,4$  – индукция в зубцах,

$k_{\text{з.с.}} = 0,93$  – коэффициент заполнения пакета якоря листами стали толщиной 0,35 мм.

Высота ярма якоря:

$$h_{\text{я}} = \frac{\Phi_{\text{н}}}{2B_{\text{я}} \cdot l_{\text{я}} \cdot k_{\text{з.с.}}} = \frac{7,97 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 1,2 \cdot 0,044 \cdot 0,93} = 7,9 \cdot 10^{-3} \text{ м,} \quad (24)$$

где индукция в ярме якоря  $B_{\text{я}} = 1,2$ .

Высота усика зубца якоря:

$$h_{yc} = 0,001 \text{ м.}$$

Ширина щели паза:

$$b_{щ} = (d_{из} + 2\Delta_{и.п.} + 0,2) \cdot 10^{-3} = (d_{из} + 2\Delta_{и.п.} + 0,2) \cdot 10^{-3} = 10^{-3} \text{ м,} \quad (25)$$

где  $\Delta_{и.п.} = 0,2 \cdot 10^{-3}$  – толщина изоляции паза.

Площадь паза:

$$Q_{п} = \frac{2 \cdot W \cdot q_{из} \cdot 10^{-6}}{k_{з.п.}} = \frac{2 \cdot 46 \cdot 0,67 \cdot 10^{-6}}{0,3} = 1,67 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2, \quad (26)$$

где  $k_{з.п.} = 0,3$  – коэффициент заполнения паза по графику, изображенному на рисунке 9.

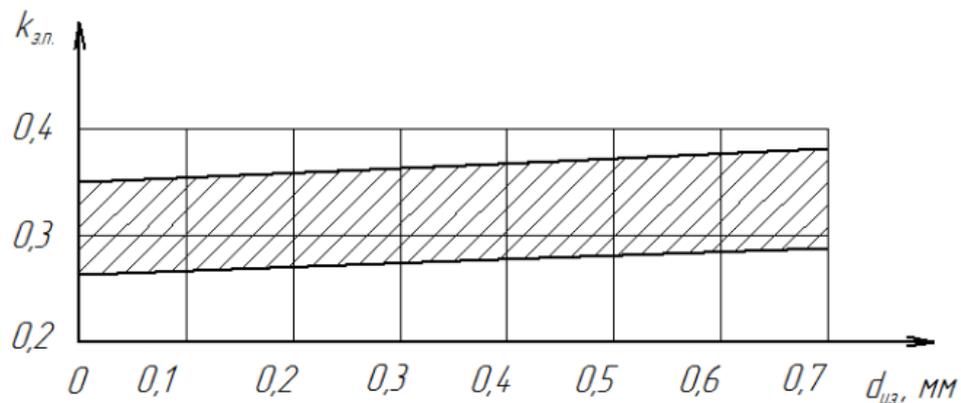


Рисунок 9 – Зависимость коэффициента заполнения паза от диаметра изолированного провода

Высота паза при внутреннем якоре и секторных пазах:

$$\begin{aligned} h_{п} &= \frac{D_{я} - 2 \cdot h_{yc}}{2} - \frac{b_z \cdot z}{2 \cdot \pi} - \sqrt{\left(\frac{D_{я} - 2 \cdot h_{yc}}{2} - \frac{b_z \cdot z}{2 \cdot \pi}\right)^2 - \frac{z \cdot Q_{п}}{\pi}} + h_{yc} = \\ &= \frac{0,061 - 2 \cdot 0,001}{2} - \frac{0,011 \cdot 6}{2 \cdot \pi} - \\ &- \sqrt{\left(\frac{0,061 - 2 \cdot 0,001}{2} - \frac{0,011 \cdot 6}{2 \cdot \pi}\right)^2 - \frac{6 \cdot 1,67 \cdot 10^{-3}}{\pi}} + \\ &+ 0,001 = 0,0095 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (27)$$

Сопрягаемый диаметр якоря:

$$D_c = D_{\text{я}} - 2 \cdot (h_{\text{п}} + h_{\text{я}}) = 0,061 - 2 \cdot (0,095 + 7,9 \cdot 10^{-3}) = 0,027 \text{ м.} \quad (28)$$

### 2.1.4 Индуктор

Для изготовления индуктора выбираем магнитоласт TNM-8 [5], имеющий следующие данные:

$$B_r = 800 \text{ мТл}, H_c = 600 \frac{\text{кА}}{\text{м}}, \gamma = 0,25$$

Длина магнита по оси машины принимается равной длине индуктора

$$l_M = l = 0,054 .$$

Внутренний диаметр магнита  $D_{\text{м.в.}}$  выбирается из конструктивных соображений, обычно  $D_{\text{м.в.}} = D = 0,062$ .

Наружный диаметр магнита  $D_{\text{м.н.}}$ :

$$D_{\text{м.н.}} = \frac{\Phi_H \cdot \sigma_H}{\sqrt{\gamma} \cdot B_r \cdot l_M} + D_{\text{м.в.}} = \frac{7,97 \cdot 10^{-3} \cdot 1,04}{\sqrt{0,25} \cdot 0,8 \cdot 0,054} + 0,062 = 0,102 \text{ м.} \quad (29)$$

## 2.2 Магнитная система индуктора

### 2.2.1 Магнитоласт

Магнитоластами называют материалы, состоящие из многодоменных магнитных частиц, связанных синтетической смолой [6].

Магнитоласт изготавливается из металлического порошка. Порошок перемешивается с органическим веществом, способным к полимеризации. В результате реакции полимеризации получается магнитоласт, который специально намагничивается в соответствии с необходимыми требованиями. Полученный материал обладает меньшим весом, устойчивостью к коррозии, также, достоинством данного материала является возможность изготовления деталей любой формы.

## 2.2.2 Преимущества использования магнитоласта

У большинства современных магнитов, невозможно изменить оси намагничивания – направления в материале, вдоль которых затраты энергии по его намагничиванию минимальны. Однако, магнитоласты на основе редкоземельных металлов, можно намагничивать в разных направлениях, так как данный материал не имеет преимущественных осей намагничивания.

На основе магнитоласта, можно создавать изделия, любой сложной формы, задавая магнитные характеристики непосредственно после изготовления.

Магниты для современных двигателей изготавливаются из маленьких, специально намагниченных частиц магнита, спекаемых вместе, для формирования необходимой формы магнита, между кусочками будут наблюдаться области с низкой намагниченностью. Такой же эффект наблюдается при формировании статора электродвигателя из фрагментов магнита с разнонаправленными осями, на стыках этих участков, образуются «мертвые зоны» с низкой намагниченностью. При прохождении ротор этой границы, в работе двигателя происходит резкий скачок, особо заметный при низких оборотах двигателя.

Для нивелирования данного эффекта, необходимо создание более плавной доменной границы, что позволит избежать встряски на стыках между фрагментами. Магнитоласт – материал, из которого можно формировать изделия какой угодно формы, с произвольной конфигурацией магнитных полюсов и любыми нужными магнитными свойствами, без «мёртвых зон».

## **2.3 Конструкция и материалы электродвигателя**

### **2.3.1 Описание конструкции электродвигателя**

Бесконтактный двигатель постоянного тока состоит из индуктора, якоря, датчиков положения ротора и конструктивных элементов. Применение полупроводникового инвертора требует выполнения вращающегося индуктора без скользящих контактов.

Индуктор служит для создания основного магнитного потока машины. Простым и экономичным способом бесконтактного возбуждения машин является применение постоянных магнитов, располагаемых на роторе. Индуктор магнитоэлектрических машин малой и средней мощности может иметь цилиндрический, кольцевой или звездообразный магнит.

В данной работе, якорь, поз. 3, выполняется внутренним. По окружности магнитопровода, размещены полузакрытые пазы, в которые закладывается обмотка статора. Применение внутреннего якоря упрощает укладку обмотки. Магнитопровод якоря выполняется из листов электротехнической стали.

Якорь запрессовывается на корпус поз. 6. Корпус изготавливается с буртиком, обеспечивающим точную посадку статора. На торце корпуса выполнены резьбовые отверстия, для крепления печатной платы поз. 2, с помощью винтов поз. 12.

Для защиты печатной платы блока электропитания и управления от механических воздействий предусмотрена крышка поз. 7. По диаметру крышки выполнены отверстия с фаской для крепления на корпусе поз. 6, с помощью потайных винтов поз. 16. Использование потайных винтов обеспечит лучшие аэродинамические характеристики двигателя.

Также с торца корпуса поз. 6 выполнено углубление, для посадки подшипника поз. 15. Подшипники применяются шариковые, они имеют малые габариты и вес, незначительные потери на трение и малый износ, данные

подшипники просты в использовании. Для демпфирования колебаний, возникающих в подшипнике, в конструкции предусмотрен демпфер, поз. 1.

Для защиты подшипника и демпфера, а также обеспечения неподвижности демпфера и наружного кольца подшипника, с торца кронштейна с помощью винтов поз. 14 крепится фланец.

С внешней стороны в корпус поз. 6, запрессовывается корпус подшипникового узла поз. 5, в котором располагается подшипник поз. 15 и демпфер поз. 1. В корпусе подшипникового узла, выполнены резьбовые отверстия, предназначенные для крепления шайбы поз. 10 к чаше подшипника. Крышка подшипника предназначена для неподвижного крепления демпфера в чаше.

В отверстие корпуса поз. 6 вставляется вал поз. 8. Вал выполнен с буртиком на одном конце и резьбовым соединением, с другой стороны. Буртиком вал упирается в внутреннее кольцо нижнего подшипника, резьбовое соединение предназначено для крепления ротора поз. 4. На вал одевается втулка поз. 11, за счет этого внутреннее кольцо каждого подшипника закреплено на валу. Затем, на вал надевается ротор, который прижимается к внутреннему кольцу подшипника. Ротор закреплен на валу с помощью самостопорящейся гайки поз. 17, обеспечивающей надежное крепление ротора.

Ротор в данной работе выполняется внешним. Применение внешнего ротора позволяет повысить равномерность его вращения. Внешний ротор выполняет роль корпуса электродвигателя, защищая статор от механических потерь. Однако, внешний ротор представляет опасность для персонала испытательной лаборатории, поэтому, на время испытаний, двигатель оборудуется защитной сеткой, защищающая от соприкосновения с вращающимися частями электродвигателя и закрепляемая с помощью винтов на корпусе.

В ротор запрессовывается кольцевой магнит. Магнит крепится на клей поз. 21. Для более надежной посадки магнита в роторе выполнена внутренняя резьба, на которую ввинчивается крепеж.

Для определения углового положения ротора, в конструкции данного электродвигателя применяется датчик Холла поз. 18. Датчики работают на основе гальваномагнитного эффекта, возникающего в полупроводнике при прохождении по нему электрического тока и действии магнитного поля.

Достоинствами датчиков Холла являются малые размеры, любые входные и выходные сопротивления, быстродействие, механическая устойчивость к вибрациям и ускорениям, а также практически неограниченный срок службы.

### **2.3.2 Обоснование примененных материалов**

Для изготовления индуктора применяется кольцевой магнит, изготовленный из магнитопласта. В отличие от ферритовых и неодимовых магнитов, магнитопласт позволяет создавать из него конструкции любой формы, при этом обеспечивается возможность его неоднородного намагничивания. Кольцевые магниты применяют для машин обращенной конструкции (с внешним ротором и внутренним статором). Применение кольцевого магнита позволяет упростить конструкцию электродвигателя.

Магнитопровод статора набирается из листов электротехнической стали. Обмотка магнитопровода выполняется из медного провода ПЭВ-1.

Корпус поз. 7 целесообразно изготавливать из стали, так как он является несущей частью конструкции, скрепляя все части вместе.

Фланец поз. 10 не воспринимает нагрузок, поэтому его можно изготавливать из алюминия.

Крышка поз. 9 предназначена для защиты печатной платы блока электропитания и управления от механических воздействий. Тем не менее крышка не является несущей частью конструкции и не воспринимает сильных механических усилий. Поэтому ее можно изготавливать из пластика.

В качестве материала для демпфера предполагается использование металлорезины. Металлорезина обладает лучшими демпфирующими характеристиками по сравнению с резиной и полимерными материалами.

Металлорезина - это новый конструкционный материал, являющийся цельнометаллическим пористым аналогом резины. Он получается при помощи холодного прессования заготовок, которые получаются из растянутой проволочной спирали.

Изделия из металлорезины не требуют дополнительной механической обработки и обладают упругими свойствами, подобными свойствам как резины, так и пластмассы, но имеют в 10 раз большую прочность, не подвержены старению, в несколько раз лучше поглощают ударные и вибрационные нагрузки, а также могут работать в агрессивных средах, не подверженных воздействию масел, грязи, пыли, выдерживают температуру от минус 50 до плюс 400 С°, не боятся радиации и не воспламеняются [7].

Корпус подшипникового узла поз. 7, целесообразно выполнять из стали. Шайба поз. 6 не воспринимает больших нагрузок, поэтому ее можно выполнять из алюминия.

Вал поз. 5 воспринимает наибольшие нагрузки, поэтому необходимо выполнять его стальным.

## Глава 3 Результаты 3D моделирования

### 3.1 3D Модель

Общая 3D сборка двигателя представлена на рисунках 10 и 11. Чертеж и спецификация электродвигателя представлены в приложении А и Б соответственно.

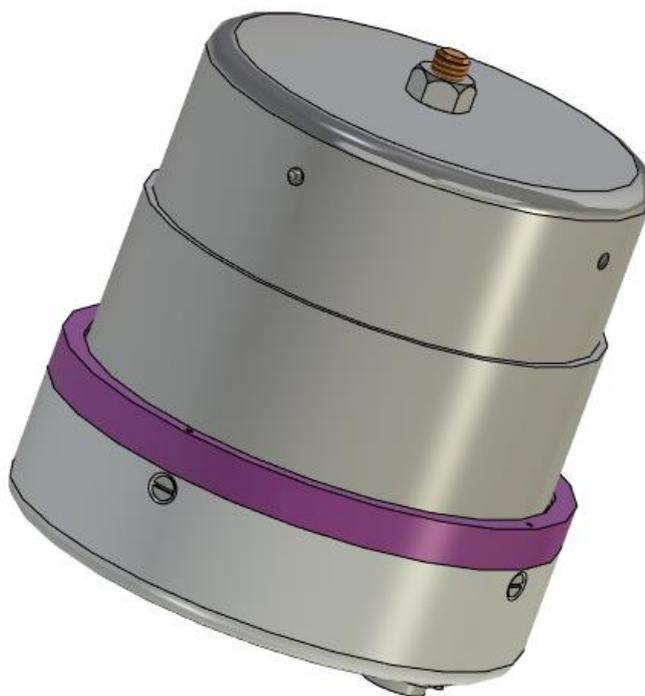


Рисунок 10 – Сборочная 3D модель электродвигателя вентилятора специального назначения в собранном виде

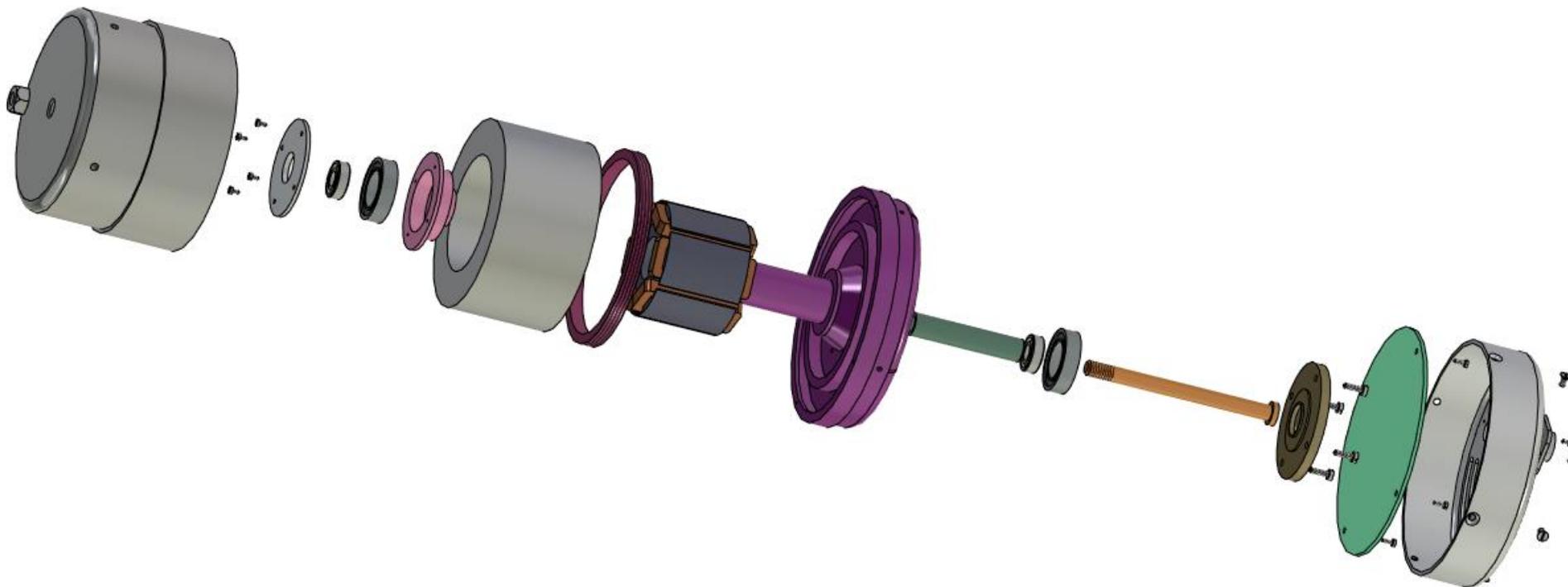


Рисунок 11 – Сборочная 3D модель электродвигателя вентилятора специального назначения в разобранном виде

На рисунке 12 изображена 3D модель кронштейна статора. Статор запрессовывается на кронштейн до буртика. Внутри кронштейна расположены посадочные места, для установки в них подшипников.

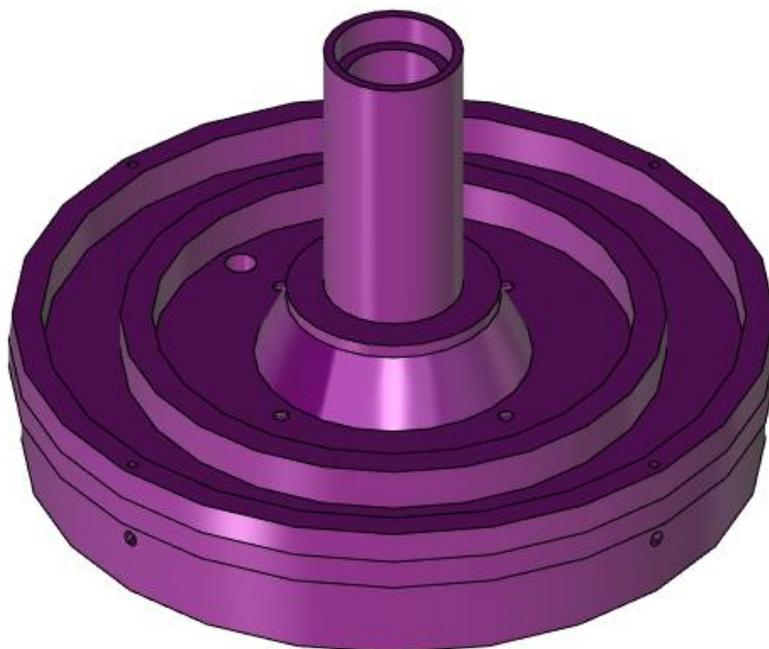


Рисунок 12 – 3D модель кронштейна статора

На рисунке 13 изображена 3D модель магнитопровода статора, выполненная согласно полученным расчетам. Он изготавливается из листов электротехнической стали. Для изолирования листов они оксидируются, а затем спрессовываются в пакет. Так как зазор между листами очень мал, целесообразно выполнять 3D модель цельной.

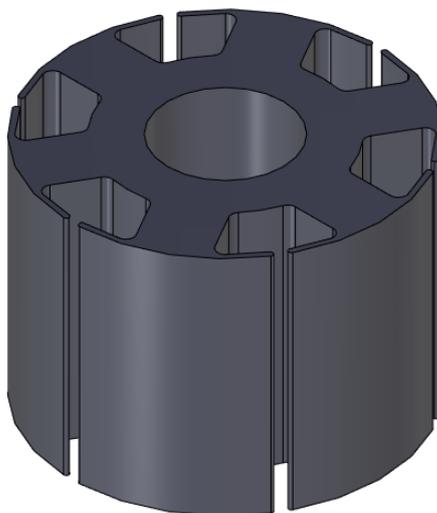


Рисунок 13 – 3D модель магнитопровода статора

На рисунке 14 изображена 3D модель обмотки статора, размеры которой выполнены согласно полученным расчетам. Обмотка выполняется из медного провода, однако 3D модель допускается выполнять цельной, так как зазор между проводами очень мал.

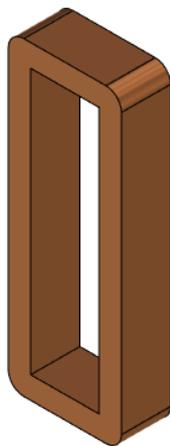


Рисунок 14 – 3D модель обмотки статора

На рисунке 15 изображена 3D модель статора, с обмоткой на нем. Обмотка выполняется сосредоточенной, трехсекционной, с параллельно подключенными секциями.

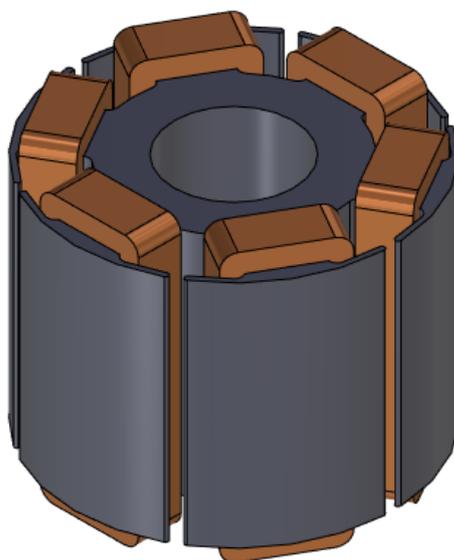


Рисунок 15 – 3D модель статора с обмоткой

На рисунке 16 изображена 3D модель внешнего ротора двигателя, внутрь которого запрессовывается кольцевой магнит.

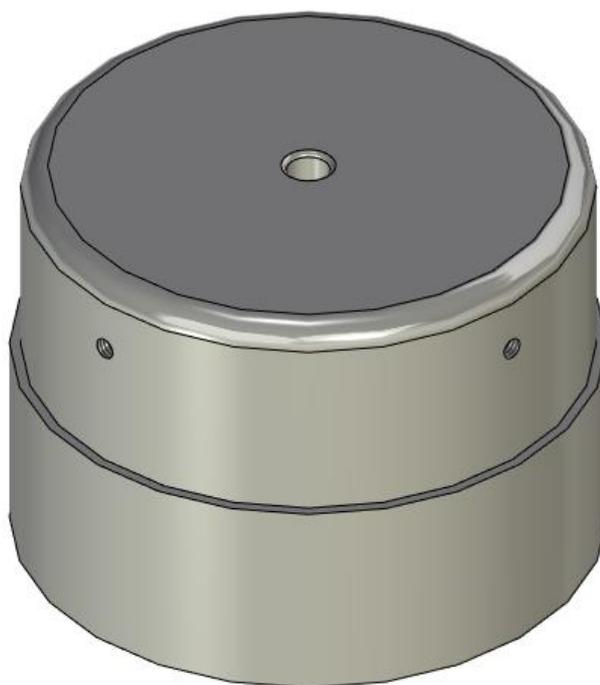


Рисунок 16 – 3D модель внешнего ротора

На рисунке 17 изображена 3D модель магнита, изготовленного из материала – магнитопласт, с многополюсной намагниченностью.

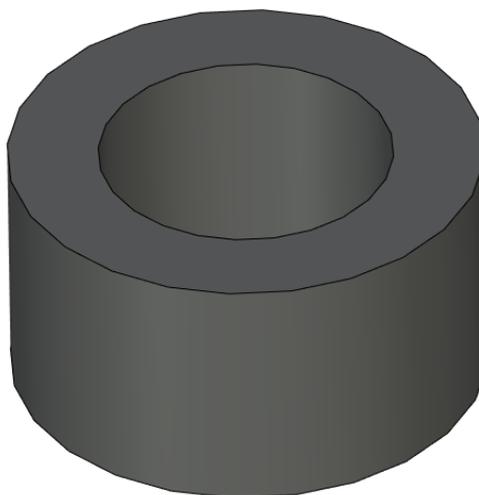


Рисунок 17 – 3D модель магнита

Магнит крепится в роторе с помощью клея. В роторе выполнена метрическая резьба, в которую ввинчивается крепеж, 3D модель которого изображена на рисунке 18.



Рисунок 18 – 3D модель крепежа

На рисунке 19 изображена 3D модель чаши подшипника, в которой располагаются подшипник с демпфером.

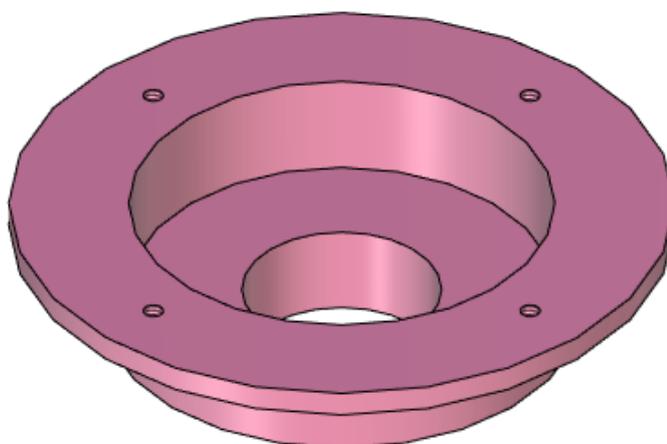


Рисунок 19 – 3D модель чаши подшипника

На рисунке 20 изображена 3D модель верхней крышки подшипника, предназначенная для ограничения перемещения подшипника с демпфером в осевом направлении.

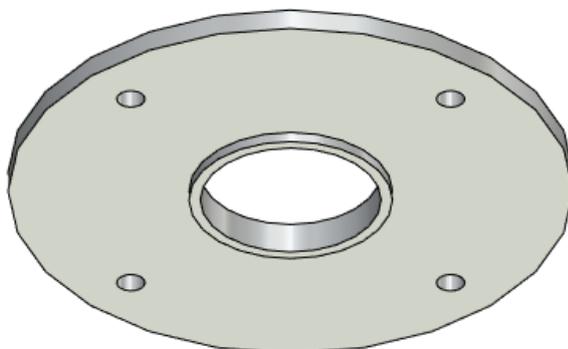


Рисунок 20 – 3D модель крышки подшипника

Для защиты второго подшипника с демпфером, к кронштейну статора крепится фланец, 3D модель которого изображена на рисунке 20.

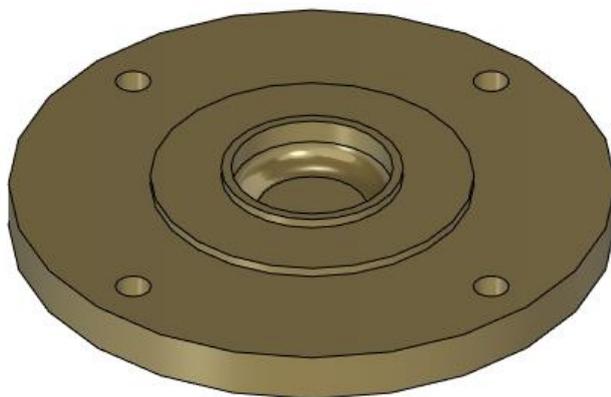


Рисунок 21 – 3D модель нижней крышки подшипникового узла

Ротор насаживается на вал, 3D модель которого, изображена на рисунке 22.

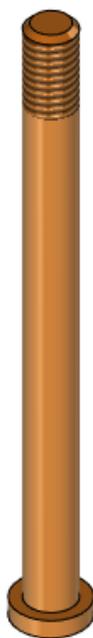


Рисунок 22 – 3D модель вала

На рисунке 23 изображена 3D модель втулки, обеспечивающая закрепление внутреннего кольца подшипников на валу.



Рисунок 23 – 3D модель втулки

К кронштейну статора крепится крышка двигателя, 3D модель крышки изображена на рисунке 24. Она предназначена для защиты электрической платы двигателя от механических повреждений.

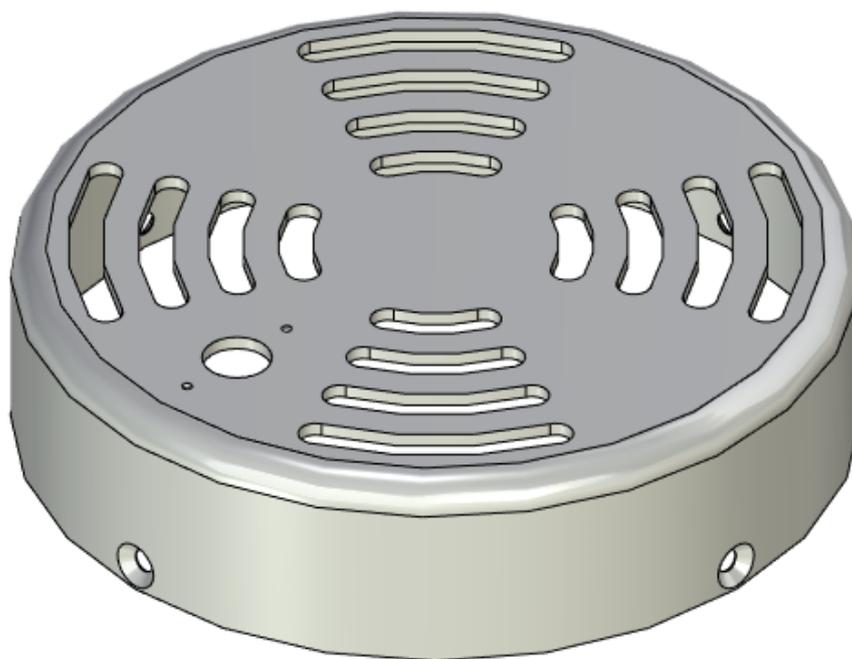


Рисунок 24 – 3D модель крышки двигателя

Для управления двигателем в корпусе размещается печатная плата, на рисунке 25 изображена 3D модель печатной платы. Печатная плата крепится к кронштейну статора. В данном случае, 3D модель печатной платы выполнена схематически.

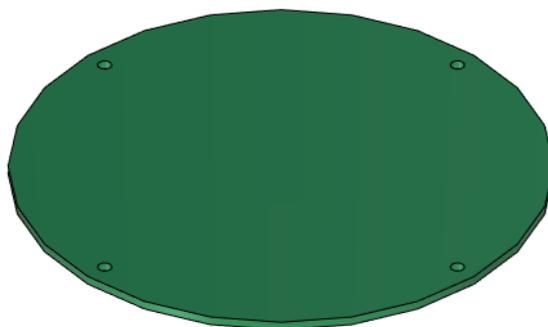


Рисунок 25 – 3D модель печатной платы

С целью демпфирования колебаний в конструкции двигателя предусмотрены демпферы, 3D модель демпфера изображена на рисунке 26.



Рисунок 26 – 3D модель демпфера

На рисунке 27 изображена 3D модель подшипника (ГОСТ 8338-75), выбранный из библиотеки стандартных элементов программного комплекса TFlex.

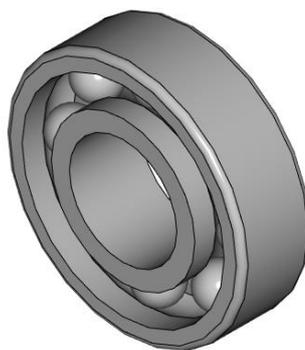


Рисунок 27 – 3D модель шарикоподшипника

Для защиты персонала испытательной лаборатории от случайного прикосновения к внешнему ротору, используется защитная сетка, 3D модель которой изображена на рисунке 28.

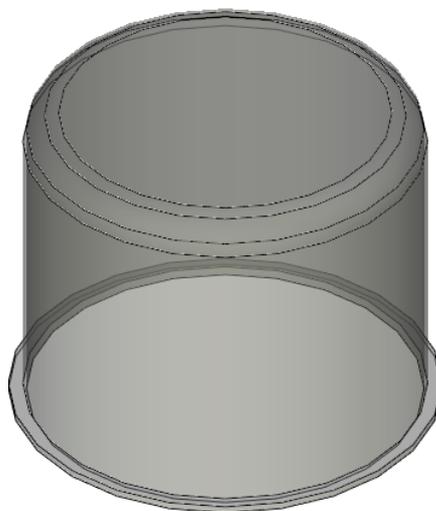


Рисунок 28 – 3D модель защитной сетки

### 3.2 Расчет массы электродвигателя

Расчет массы спроектированного электродвигателя производится автоматически с помощью CAD программы T-Flex. Рассчитать массу 3D модели, можно, предварительно задав все материалы.

На рисунке 29 приведен расчет полной массы разрабатываемого электродвигателя. Масса электродвигателя составила  $m_{д.} = 3,7$  кг.

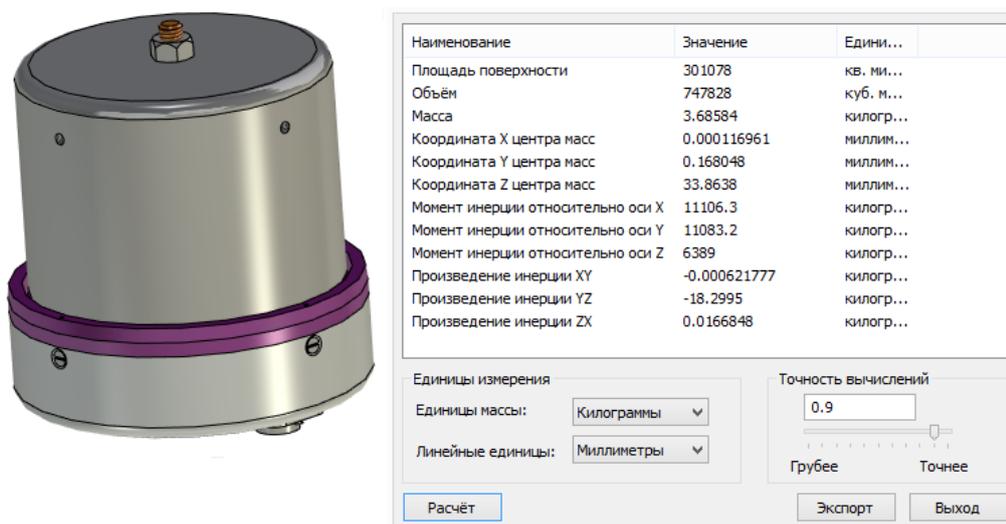


Рисунок 29 – Расчет массы 3D модели электродвигателя

### 3.3 Расчет собственных резонансных частот

Частотный анализ конструкции проведен с целью исключения возникновения резонанса в конструкции, при работе на заданных оборотах.

Минимальное значение собственной частоты для двигателя принимаем равным 50 Гц, так как эта величина соответствует номинальной скорости вращения двигателя. Для удовлетворения конструкции условию, необходимо, чтобы нижние собственные частоты конструкции двигателя превышали верхнюю границу этого диапазона.

Для проведения частотного анализа, используется программа T-Flex Анализ. С целью оптимизации расчета, 3D модель двигателя была упрощена. Результаты расчета приведены на рисунке 30.

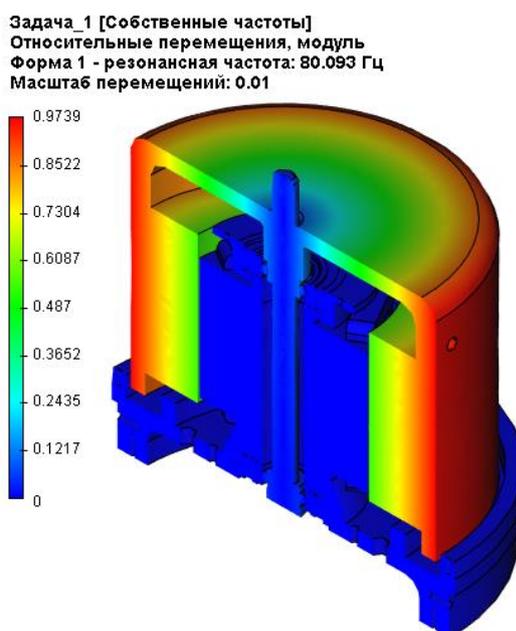


Рисунок 30 – Результат частотного анализа

Красным цветом показаны наиболее нагруженные участки, подверженные негативному воздействию резонансных колебаний.

Из полученных результатов частотного анализа видно, что конструкция имеет собственную частоту в размере 80 Гц, минимально разрешенная частота составляет 50 Гц. Следовательно, имеется запас по значению частот вынужденных механических воздействий.

## Глава 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

#### 4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

В качестве двух наиболее важных критериев целесообразно выделить наиболее значимые для рынка данного продукта: месторасположение производства и область применения двигателя. Результаты построения карты сегментирования рынка представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Карта сегментирования рынка по производству электродвигателей

	Область применения			
	Вентиляторные системы	Бытовая техника	Средства передвижения	Генераторные системы
Зарубежные				
Отечественные				

 - Низкая конкуренция  - Высокая конкуренция

Исходя из полученных значений таблицы выше, можно увидеть, в каких нишах в России уровень конкуренции низок. Таким образом, разработка ориентирована на производственную сферу применения.

#### 4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта был проведен SWOT-анализ, который отражает сильные и слабые стороны разрабатываемого проекта, а также составлена интерактивная матрица проекта, где указана степень влияния факторов друг на друга.

Он проводится в несколько этапов.

Первый – заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, а также в выявлении возможностей и угроз для реализации разработки.

Сильные стороны:

- Отсутствие щеточно-коллекторного узла;
- Пониженные вибро-шумовые характеристики;
- Уменьшенные массогабаритные характеристики;
- Применение нового типа магнита, позволяющего улучшить характеристики изделия;
- Использование магнита большей мощности, чем у конкурентов;
- Возможность использования отечественных магнитов нового типа.

Слабые стороны:

- Отсутствие прототипа разработки;
- Удорожание стоимости производства;
- Более высокая стоимость высококоэрцитивных магнитов, относительно ранее применяемых – ферритовых;
- Необходимость дополнительных лабораторных исследований;
- Нарботка необходимой теоретической базы, для проектирования двигателей с применением высококоэрцитивных магнитов.

Возможности:

- Использование инновационной структуры ТПУ;
- Привлечение инвесторов с помощью различных платформ;
- Государственное финансирование разработки;
- Увеличение спроса, за счет привлечения новых рынков;

- Уменьшение стоимости производства двигателя за счет дополнительных лабораторных исследований;
- Использование отечественных комплектующих.

Угрозы:

- Повышенная конкуренция;
- Отсутствие спроса на новую технологию;
- Отсутствие интереса инвесторов, в том числе государства;
- Отсутствие наработанной теоретической базы использования магнитной системы нового типа.

Все вышеперечисленные особенности, позволяют наглядно увидеть преимущества и недостатки проекта. Оценить возможные риски проекта. Далее переходим к осуществлению второго этапа.

Второй этап позволяет выявить соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательской разработки внешним условиям окружающей среды. Исходя из полученных соответствий или несоответствий можно выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

На данном этапе была построены интерактивные матрицы проекта (таблицы 2-5), которые помогают разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (слабое соответствие); «0» - в случае сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 2 – Интерактивная матрица проекта сильных сторон и возможностей

	Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Возможности проекта	B1	+	+	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+	+	+
	B4	+	+	+	+	+	-
	B5	-	+	+	+	+	+
	B6	+	+	+	+	+	+

Таблица 3 – Интерактивная матрица проекта сильных сторон и угроз

	Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Угрозы проекта	У1	0	+	+	+	-	+
	У2	-	-	-	+	+	-
	У3	0	0	-	+	+	-
	У4	-	-	-	+	+	-

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта слабых сторон и возможностей

	Слабые стороны					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Возможности проекта	B1	-	-	-	+	+
	B2	-	-	-	+	+
	B3	-	-	-	+	+
	B4	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	+	+
	B6	-	+	0	0	-

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта слабых сторон и угроз

	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Угрозы проекта	У1	+	+	+	+	+
	У2	-	+	+	+	+
	У3	+	+	+	+	+
	У4	-	-	-	-	+

На третьем этапе, составляется таблица SWOT анализа, состоящая из данных, которые были получены на 1 и 2 этапе. Результаты SWOT анализа представлены в таблице 6.

Таблица 6 – SWOT анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Отсутствие щеточно-коллекторного узла;</p> <p>С2. Пониженные виброшумовые характеристики;</p> <p>С3. Уменьшенные массогабаритные характеристики;</p> <p>С4. Применение нового типа магнита, позволяющего улучшить характеристики изделия;</p> <p>С5. Использование магнита большей мощности, чем у конкурентов;</p> <p>С6. Возможность использования отечественных магнитов нового типа.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа разработки;</p> <p>Сл2. Удорожание стоимости производства;</p> <p>Сл3. Более высокая стоимость высококоэрцитивных магнитов, относительно ранее применяемых – ферритовых;</p> <p>Сл4. Необходимость дополнительных лабораторных исследований;</p> <p>Сл5. Нарботка необходимой теоретической базы, для проектирования двигателей с применением высококоэрцитивных магнитов.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Повышенная конкуренция;</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новую технологию;</p> <p>У3. Отсутствие интереса инвесторов, в том числе государства;</p> <p>У4. Отсутствие наработанной</p>	<p>Результат анализа интерактивной матрицы (таблица 3)</p> <p>Действующие исследования в области бесконтактных двигателей со стороны зарубежных и отечественных производителей могут привести к снижению</p>	<p>Результат анализа интерактивной матрицы (таблица 5)</p> <p>Отсутствие прототипа разработки может негативно сказаться на интересе инвесторов.</p> <p>Необходимость дополнительных исследований.</p>

## Продолжение таблицы 6

теоретической базы использования магнитной системы нового типа.	конкурентноспособности данной разработки.	увеличит время содания действующего прототипа.
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной структуры ТПУ;</p> <p>В2. Привлечение инвесторов с помощью различных платформ;</p> <p>В3. Государственное финансирование разработки;</p> <p>В4. Увеличение спроса, за счет привлечения новых рынков;</p> <p>В5. Уменьшение стоимости производства двигателя за счет дополнительных лабораторных исследований;</p> <p>В6. Использование отечественных комплектующих.</p>	<p>Результат анализа интерактивной матрицы (таблица 2)</p> <p>Преимущества разработки, могут помочь привлечь различных инвесторов.</p> <p>Использование инновационной структуры ТПУ также может увеличить конкурентноспособность разработки.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы (таблица 4)</p> <p>Использование инновационной структуры ТПУ позволит провести необходимые дополнительные исследования, что в свою очередь может снизить стоимость проиводства двигателя и улучшить его характеристики.</p>

Результаты SWOT-анализа наглядно показывают сильные и слабые стороны научно-исследовательской работы, а также ее возможности и угрозы. Полученные данные позволяют найти пути улучшения разработки,

Таким образом, согласно SWOT-анализу можно наглядно увидеть, какие сильные и слабые стороны имеет научно-исследовательская работа, а также ее возможности и угрозы. Исходя из полученных данных, можно разработать варианты улучшения разработки, тем самым сделав ее более привлекательной на рынке.

## 4.2. Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения работы необходимо осуществлять ее планирование. Оно происходит в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Определение структуры работ необходимо для правильного планирования, финансирования и определения трудоемкости выполнения НИР. Для этого необходимо разбить ее на этапы. Этап – это часть работы, имеющая самостоятельное значение и являющаяся объектом планирования и финансирования.

Данную НИР можно разделить на следующие этапы: а) Разработка технического задания; б) Выбора направления исследования; в) Теоретические и экспериментальные исследования; г) Обобщение и оценка результатов; д) Оформление отчета НИР.

В работе принимали участие 2 человека: научный руководитель (НР) и инженер (И). Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 7:

Таблица 7 – перечень этапов, работ и распределение исполнителей

<b>Основные этапы</b>	<b>№ работы</b>	<b>Содержание работы</b>	<b>Должность исполнителя</b>
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР, И
Выбора направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	И
	3	Выбор направления исследования	НР
	4	Календарное планирование работ по теме	НР

Продолжение таблицы 7

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Изучение теоретических материалов	И
	6	Теоретический расчет	И
	7	Обработка полученных данных	И
	8	Компьютерное моделирование	И
Обобщение и оценка результатов	9	Анализ полученных результатов, выводы	И, НР
	10	Оценка эффективности полученных результатов	И
Оформление отчета НИР	11	Составление пояснительной записки	И, НР

#### 4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\min i}}{5}, \quad (30)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

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

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

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pt} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (31)$$

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

$t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

#### 4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (32)$$

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (33)$$

где  $T_{\text{кал}} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 52$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1.22 \quad (34)$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу 8.

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Исполнитель	Трудоемкость работ (чел-дни)			Длительность работ (дн.)			
		$t_{\min i}$	$t_{\max i}$	$t_{\text{ож}i}$	$T_{pi}$		$T_{ki}$	
					НР	И	НР	И
Составление и утверждение технического задания	НР	2	4	2.8	2.8	-	3.4	-
Подбор и изучение материалов по тематике	И	14	20	16.4	16.4	16.4	20	20
Календарное планирование работ по теме	НР	1	3	2.2	2.2	-	2.7	-
Теоретический расчет	И	25	35	29	-	29	-	35.4
Обработка полученных данных	И	3	5	3.8	-	3.8	-	4.6
Разработка сборочного чертежа	И	10	15	12	-	12	-	14.7
Анализ полученных результатов, вывод	НР, И	3	5	3.8	1.6	1.6	2	2
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	2	5	3.2	-	3.2	-	3.96
Оформление материала	НР, И	2	4	2.8	1.4	1.4	1.36	1.36
Подведение итогов	НР, И	1	3	1.8	0.9	0.9	1.1	1.1
Предзащита	И	1	1	1	-	1	-	1.22
Корректировка ВКР по результатам предзащиты	И	2	4	2.8	-	2.8	-	3.4

#### 4.2.4 Построение графика работ

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

На основе таблицы 6 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 8 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. Календарный план-график проведения ВКР представлен в таблице 9.

Таблица – 9 Календарный план-график проведения ВКР по теме «Электродвигатель вентилятора специального назначения»

Название работы	Исполнитель	$T_{ki}$	Продолжительность выполнения работ															
			Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Составление и утверждение ТЗ	НР	3.4																
Подбор и изучение материалов по теме	И	20																
Календарное планирование	НР	2.7																
Теоретический расчет	И	35.4																
Обработка полученных данных	И	4.6																
Разработка сборочного чертежа	И	14.7																
Анализ полученных результатов, вывод	НР, И	2										 						
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	4																
Оформление материала	НР, И	1.36										 						

Продолжение таблицы 9

Подведение итогов	НР, И	1.1					
Предзащита	И	1.22					
Корректировка ВКР по результатам предзащиты	И	3.4					

### 3.3 Бюджет научно-технического исследования (НИР)

#### 3.3.1 Расчет материальных затрат НИР

В ходе расчета материальных затрат НИР, учитывается стоимость всех материалов, используемых для реализации комплекса работ. В стоимость материальных затрат входят:

- Сырье и материалы
- Канцелярские принадлежности
- Покупные материалы

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (35)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении диплома;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов, планируемых к использованию при выполнении диплома (шт., кг, м и т.д.);

$C_i$  – цена приобретенной единицы  $i$ -го вида (руб./шт., руб./кг, руб./м и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Материальные затраты необходимые для данной разработки занесем в таблицу 10.

Таблица 10 – Материальные затраты необходимые для разработки

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага (А4)	Пачка	1	270	270
Ручка	Шт.	1	55	55
Интернет	М/бит (пакет)	1	350	350
<b>Итого</b>				<b>675</b>

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

#### 4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, сводятся в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования тыс. руб.
Персональный компьютер	1	42000	48300
Настольная лампа	1	800	920
Принтер	1	5750	6612
<b>Итого</b>			<b>55832</b>

### 4.3.3 Заработная плата исполнителей темы

Заработная плата складывается из основной и дополнительной, и рассчитывается по формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (36)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата (руб.);

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (руб.).

Сначала рассчитаем основную заработную плату по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (37)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата (руб.);

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемая работником.

Средняя заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (38)$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника(руб.);

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

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени.

Баланс рабочего времени представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	1	1
Действительный годовой фонд рабочего времени	250	274

Месячный должностной оклад работника рассчитывается исходя из следующей формулы:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (39)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке (руб.);

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

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (0,2-0,5);

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

Все затраты на основную заработную плату приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	$Z_{тс}$ , руб	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$	$Z_{осн}$ , руб.
Научный руководитель	33664	0,3	0,4	1,3	74397	3065,16	25	76629
Инженер	26300	0,3	0,4	1,3	58123	2397	72	172584
<b>Итого <math>Z_{осн}</math></b>								<b>249213</b>

#### 4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата является доплатой, учитывающая условия труда, отличные от нормальных, а также выплаты, связанные с обеспечением гарантий и компенсаций. Величина дополнительной заработной платы определяется Трудовым кодексом РФ.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн}, \quad (40)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$З_{\text{доп рук}} = 76629 \cdot 0,15 = 11494 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{доп ст}} = 172584 \cdot 0,15 = 25888 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{доп}} = 11494 + 25888 = 37382 \text{ руб}$$

#### 4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данном разделе будут рассчитаны отчисления во внебюджетные фонды, согласно законодательству РФ, являются обязательными, а именно отчисления органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (41)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды.

На 2017г. согласно пункту 1 ст. 58 федерального закона №212-ФЗ размер страховых взносов образовательных учреждений составляет 27.1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представим в таблице 14.

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления во внебюджетные фонды, руб
Руководитель	76629	11494	25888
Инженер	172584	25888	53786
<b>Итого</b>			77667

### 4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовый и телеграфный расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{пр}}, \quad (42)$$

где  $k_{\text{пр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = (675 + 76 + 249213 + 37382 + 77667) \cdot 0,16 = 58402 \text{ руб.}$$

### 4.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определим бюджет затрат на научно-исследовательский проект путем суммирования предыдущих статей, и получим общую себестоимость, которую занесем в таблицу 15.

Таблица 15 – Общие расходы

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИР	675	Пункт 2.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных работ	55832	Пункт 2.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей проекта	249213	Пункт 2.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	37382	Пункт 2.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	77667	Пункт 2.3.5
6. Накладные расходы	58402	Пункт 2.3.6
7. Бюджет затрат НИР	479171	Сумма ст. 1-6

Согласно смете затрат на проектирование, наибольшие затраты идут на затраты по основной заработной плате исполнителей проекта. Данный уровень расходов соответствует текущему уровню затрат на научно-исследовательскую работу.

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

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Для того, чтобы наглядно оценить конкурентоспособность данной разработки, составлена оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений, представленная в таблице 16. В таблице приведены критерии оценки, вес критерия, который может принимать значения от 0 до 1, причем сумма всех весов критериев равна 1; баллы, которые проставляются в соответствии с техническими особенностями и характеристиками; конкурентоспособность, которая вычисляется по формуле 41.

$$K = \sum B_i V_i, \quad (43)$$

где  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя;

$V_i$  – вес  $i$ -го показателя;

$K$  – конкурентоспособность.

В качестве конкурентов в таблице 1 представлены следующие электродвигатели:

К1 – электродвигатель производителя АО «НПЦ «Полюс». Он является двигателем постоянного тока, в качестве датчика положения ротора (ДПТР) применяется магнитоиндукционный ДПТР. Он имеет несколько преимуществ перед остальными конкурентами – отсутствие щеточно-коллекторного узла, который являлся главным источником шума и наличие особого подшипникового узла, который уменьшает вибрации и шумы в результате биения шариков в подшипниках. Недостатком являются большие габариты и масса электродвигателя.

К2 – электродвигатель производителя ПАО «Ярославский завод «Красный Маяк». Асинхронный трехфазный электродвигатель. Преимущество – надежность и простота исполнения. Недостатки – повышенные массогабаритные характеристики и отсутствие технических решений для уменьшения вибро-шумовых характеристик.

Ф - электродвигатель, представленный в основной части работы. Он является двигателем постоянного тока с магнитоэлектрическим датчиком положения ротора. Преимуществом является наличие амортизационной резиновой втулки под подшипниками, которая уменьшает вибрации и шумы, исходящие от подшипников. Также за счет применения датчиков Холла и электронного блока управления уменьшаются масса и габариты. Недостатками являются наличие открытых вращающихся частей и отсутствие технических решений для борьбы с высшими гармониками.

Таблица 16 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

	Весовой коэффициент параметра	Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Технические критерии оценки эффективности							
Удобство эксплуатации	в 0.15	4	4	5	0.6	0.60	0.75
Надежность	0.1	4	4	5	0.4	0.4	0.5
Уровень шума	0.15	5	5	5	0.75	0.75	0.75
Уровень вибраций	0.15	5	4	4	0.75	0.6	0.6
Безопасность	0.1	4	5	5	0.4	0.5	0.5
Материалоемкость	0.1	4	3	4	0.4	0.3	0.4
Массогабаритные характеристики	0.15	5	4	4	0.75	0.6	0.6
Потребность в регулярном ТО	в 0.1	5	5	5	0.5	0.5	0.5
Итого	1				4.55	4.25	4.35
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.5	4	4	4	2	2	2
2. Цена	0.2	4	4	4	0.8	0.8	0.8
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0.3	5	4	4	1.5	1.2	1.2
Итого	1				4.3	4	4

Для оценочного сравнения разработки, рассмотренной в ВКР, взяты две фирмы, а именно: АО НПЦ «Полюс» - К1; ПАО Ярославский завод «Красный Маяк» - К2.

Исходя из данных таблицы 16 можно сделать вывод о том, что данная разработка конкурентно способна по техническим и экономическим критериям.

Конкурентоспособность по техническим критериям каждого составила 4.55, 4.25, 4.35 для разработки в ВКР, «Полюс» и «Красный Маяк» соответственно, по экономическим – 4,3, 4, 4 соответственно.

Основные преимущества разработки заключаются в сниженных показателях шума и вибрации, благодаря специально внедренным технологическим конструкциям. Высокая технологичность конструкции позволяет максимально автоматизировать процесс производства. Магнитопласт примененный в разработке позволили существенно сократить массогабаритные параметры двигателя, сохранив требующуюся мощность двигателя.

## **Глава 5 Социальная ответственность**

В данном разделе рассмотрены положения, связанные с организацией рабочего места и условий, в которых будет проходить разработка идеи для выпускной квалификационной работы, а именно теоретические расчеты и создание визуальной 3D модели электродвигателя, имеющего пониженные шумовые и массогабаритные характеристики. Рассмотрены возможные ЧС и меры по улучшению качества условий труда для работы с ПЭВМ.

Разработка, реализуемая в ходе выполнения ВКР, будет использоваться в системе жизнеобеспечения подводной лодки, для обеспечения нормальной работы ее экипажа.

Рабочее место разработчика представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером и предустановленным на нем, программным обеспечением, необходимым для проведения расчетов электродвигателя.

При работе с ПК человек подвергается воздействию ряда вредных и опасных производственных факторов, к которым относится: повышенный уровень электромагнитного излучения, повышенный уровень вибрации и шума на рабочем месте, а также повышенный уровень статического электричества.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Нормальная продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Работникам до 16 лет – не более 24 часов в неделю, 16 – 18 лет и для инвалидов первой и второй групп – не более 35 часов в неделю, работникам, чья работа отнесена к вредным условиям труда 3 и 4 степени – не более 36 часов в неделю. Для беременной женщины и для одного из родителей,

имеющего ребенка до 14 лет или ребенка инвалида в возрасте до 18 лет, возможно установление неполных рабочих дней.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 устанавливает организацию перерывов в трудовой деятельности продолжительностью 10 – 15 минут каждый час работы. Эти перерывы в работе должны включаться в общее трудовое время, а также увеличиваться на 30%, если сотрудник работает за компьютером в ночное время.

Организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Если работа происходит с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

### **5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

В данном пункте приводятся эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя для создания комфортной рабочей среды.

Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающего способностью накапливать статическое электричество. При выполнении работы, предусматривающей длительную работу за ПК, рекомендуется изолировать рабочие столы исследователей друг от друга перегородками высотой не менее 1,5 м. Ширина и глубина рабочего стола, должна составлять не менее 80 см., высота от пола 75 см. Расстояние от глаз до монитора не менее 60 см, клавиатуры от края стола, не менее 10 см.

В соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 рабочий стул не должен нарушать кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте, и должен позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития

утомления. Рабочий стул должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сидения и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сидения, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Аудитория 105, 4 корпуса ТПУ оборудована столами и компьютерами соответствующих предъявленным требованиям.

## **5.2 Производственная безопасность**

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке электродвигателя.

### **5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Для выбора факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [11].

Перечень опасных и вредных факторов, характерных при проектировании электродвигателя постоянного тока, представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Опасные и вредные факторы при проектировании электродвигателя постоянного тока

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Теоретический расчет параметров электродвигателя; 2. Составление технической документации; 3. Проектирование 3-D модели.	1. Неудовлетворительный микроклимат; 2. Повышенный уровень электромагнитных полей; 3. Неудовлетворительное освещение 4. Повышенный уровень шума.	1. Поражение электрическим током. 2. Пожаровзрывоопасность	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03  СанПиН 2.2.2.542-96  СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03  СанПиН 2.2.4.1191-03  СП 52.13330.2011  СанПиН 2.2.4.548-96  СН 2.2.4/2.1.8.562-96  ГОСТ 30494-2011

Неудовлетворительный микроклимат:

Согласно СанПиНу 2.2.2/2.4.1340-03 в помещениях с использованием ПЭВМ оптимальные параметры микроклимата должны обеспечиваться для категории работ 1а и 1б. Эти параметры описаны в СанПиН 2.2.4.548-96.

Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Проводимые работы относятся к категории легких работ 1а. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Оптимальные нормы микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139) Ib (140-174)	22-24 21-23	21-25 20-24	60-40	0.1
Теплый	Ia (до 139) Ib (140-174)	23-25 22-24	22-26 21-25	60-40	0.1

В случае, если параметры не удовлетворяют оптимальным, необходимо воспользоваться отопительными системами и системами кондиционирования помещения. В аудитории 105, 4 корпуса, также предусмотрена возможность естественного проветривания. Условия труда соответствуют норме, согласно специальной оценке условий труда ТПУ-2018.

Повышенный уровень электромагнитных полей:

Источником ионизирующего излучения является монитор. При длительном влиянии электромагнитного излучения, на организм человека, могут происходить нарушения нормального функционирования организма, такие как: нарушение работы сердечно-сосудистой, дыхательной и нервной систем; снижение иммунитета; риск развития раковых клеток.

ПК должны соответствовать требованиям настоящих санитарных правил и каждый их тип подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке [11].

Допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) в аудитории 105 4 корпуса ТПУ, создаваемых ПК, не должны превышать значений [12], представленных в таблице 19:

Таблица 19 – Предельно допустимые уровни электромагнитных полей

Наименование параметров	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для минимизации действия данного фактора нужно сокращать время работы с источником излучения, увеличивать расстояние до экрана. Между рабочими столами устанавливать специальные защитные экраны, с покрытием, поглощающим низкочастотное электромагнитное излучение. Также необходимо использовать очки для работы с ПЭВМ со специальным покрытием. Экран дисплея ежедневно очищать от пыли, в аудитории 105, 4 корпуса проводится ежедневная уборка помещения согласно установленным нормам. Согласно [23], уровень ЭМП в 105 лаборатория 4 корпуса ТПУ соответствует норме.

#### Освещение:

Во время работы с ПЭВМ, особенно большая физическую нагрузку выдерживают органы зрения, что может привести к нарушения функционального состояния зрения.

Согласно требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 необходимо применять комбинированную освещенность, естественный свет преимущественно должен падать слева. В таких помещениях используется естественное боковое одностороннее освещение в дневное время, в вечернее время используется искусственное общее равномерное освещение. Искусственное освещение в

помещениях для эксплуатации ПК должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов). Освещенность на поверхности стола должна лежать в пределах 300 – 500лк и не создавать бликов на поверхности экрана. Коэффициент пульсации не должен превышать 5 %.» Норма коэффициента естественного освещения в исследуемом помещении равна 3 %.

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк [13]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [13].

В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно светодиодные светильники. При устройстве отраженного освещения в производственных и административно-общественных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп. В светильниках местного освещения допускается применение ламп накаливания, в том числе галогенные [13]. Нормируемые показатели представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений жилых зданий [11]

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО $e_n$ , %		КЕО $e_n$ , %		Освещенность рабочих поверхностей, лк	Показатель дисконтинентности, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, К <sub>п</sub> , %, не более
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении			
Кабинеты	Г-0,8	3,0	1,0	1,8	0,6	300	40	15

В рабочей зоне 105 аудитории, 4 корпуса ТПУ, освещенность соответствует норме [23]. Освещенность комбинированная, естественный свет падает слева. Освещенность помещения соответствует норме. Для соблюдения санитарных норм, нужно осуществлять очистку окон два раза в год и своевременно проводить замену перегоревших ламп, что обеспечивается технической службой ТПУ.

Электрическая безопасность:

Для предотвращения опасности поражения электрическим током, где размещаются рабочие места с ЭПК в аудитории 105 4 корпуса ТПУ,

оборудование должно быть заземлено, занулено в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации [16].

Не следует размещать рабочие места с ПК вблизи силовых кабелей, технологического оборудования, создающего помехи в работе ПК [12].

Согласно разделу 1.1.13 правил устройства электроустановок (ПУЭ) [17] по степени опасности поражения электрическим током аудитория 105 4 корпуса ТПУ относится к классу без повышенной опасности. В данную категорию входят помещения, характеризующиеся относительной влажностью воздуха (до 75%), температурой воздуха менее 35 градусов, отсутствием токопроводящих полов, токопроводящей пыли.

Для профилактики воздействия электрического тока, на организм человека, необходимо следить за состоянием ПЭВМ, изоляцией всех кабелей питания, использовать сетевые фильтры. В 105 аудитории, 4 корпуса, вся компьютерная техника подключена к питающей сети посредством сетевых фильтров. Во время работы с электрическими установками использовать средства индивидуальной защиты. Лаборатория оборудована устройством защитного отключения, знаками и пломбами безопасности.

Согласно [23], электрическая безопасность соответствует нормам.

#### Шум:

В аудитории 105 4 корпуса ТПУ имеется оборудование (ПК, 3D принтер), которое создает шумы. Производственные шумы должны соответствовать нормам таблицы 21.

Таблица 21 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Согласно [23] уровень шума в аудитории 105 4 корпуса ТПУ не превышает допустимые нормы.

### **5.3 Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

#### **5.3.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду**

Разрабатываемая модель электродвигателя не наносит ущерба окружающей среде. С точки зрения влияния на окружающую среду можно рассмотреть влияние электронно-вычислительной аппаратуры при ее утилизации.

Утилизация компьютеров – это обязательная процедура для всех официально работающих предприятий и юридических лиц. И нарушение ее ведет к налоговой и административной ответственности. Списание компьютеров требуется для того, чтобы не платить налог на имущество. Их утилизация возможна только при помощи специализированных компаний.

В компьютерах имеется определенный процент драгоценных металлов, которые нужно провести по бухгалтерии строго определенным образом. В подобной технике есть немало вредных веществ (ртуть; кадмий; мышьяк; свинец; цинк; никель и др.), и выкидывать их на обычную свалку опасно как для окружающей среды, так и для здоровья человека. Подобные действия ведут к штрафным санкциям.

Вся ненужная техника, подвергающаяся процессу утилизации, проходит специальную процедуру:

Утилизация плат непосредственный процесс переработки;

Отправку некоторых частей оргтехники на аффинаж (это металлургический процесс изъятия высокочистых благородных металлов при

отделении от них загрязняющих примесей, один из видов извлечение металлов).

Для утилизации и переработки отходов, которые образуются после окончания срока эксплуатации ПЭВМ, ЭВМ, металл отправляют в переплав на предприятия черной и цветной металлургии и предприятия по извлечению драгоценных металлов из узлов. Остальные отходы отправляются на полигоны для захоронения твердых отходов.

Переработку целесообразно проводить в местах образования отходов, что сокращает затраты на погрузочные работы, снижает безвозвратные потери при их транспортировке и высвобождает транспортные средства.

Эффективность использования лома и отходов металла зависит от их качества. Загрязнение и засорение металлоотходов приводят к большим потерям при переработке, поэтому сбор, хранение и сдача их регламентируется специальными стандартами.

Основные операции первичной обработки металлоотходов — сортировка, разделка, механическая обработка. Сортировка заключается в разделении лома и отходов по видам металлов. Разделка лома состоит в разделении металлических и неметаллических включений. Механическая обработка включает рубку, резку, пакетирование и брикетирование на прессах.

Переработку промышленных отходов производят на специальных полигонах, предназначенных для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных отходов промышленных предприятий, которые образуются как при изготовлении новых приборов (в том числе и печатных плат), так и при утилизации вышедших из строя.

### **5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Загрязнение воздушного бассейна, гидросферы и литосферы при работе непосредственно за компьютером не обнаружено.

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также разработка двигателя с помощью систем автоматизированного проектирования T-flex. Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

Техносферными источниками чрезвычайных ситуаций (ЧС) на рассматриваемом рабочем месте могут быть пожары и взрывы, обрушение здания, затопления при разрушении плотин согласно.

Причинами возникновения пожаров являются: нарушение противопожарного режима, неосторожное обращение с огнем; нарушение мер пожарной безопасности при проектировании и строительстве зданий. К первичным средствам пожаротушения в соответствии с относятся: огнетушители, внутренние пожарные краны, ящики с песком, противопожарные щиты с набором инвентаря и др.

Для обеспечения безопасности при пожаре должна включаться предупредительная сигнализация. При автоматической пожарной сигнализации используются датчики, реагирующие на появление открытого огня, дыма, повышение температуры согласно.

Профилактические мероприятия по пожаровзрывобезопасности при проектировании и строительстве зданий включают решение таких вопросов, как повышение огнестойкости зданий и сооружений, зонирование территории, применение противопожарных разрывов, применение противопожарных преград, обеспечение удаления из помещения дыма при возникновении пожара, обеспечение безопасной эвакуации людей при возникновении пожара.

В производственных помещениях должно быть не менее двух эвакуационных выходов.

К мероприятиям, повышающим устойчивость и механическую прочность зданий, сооружений, оборудования и их конструкций, относятся:

- проектирование сооружений с жестким каркасом (металлическим или железобетонным, со стеновым заполнением из облегченных материалов, с легкой и огнестойкой кровлей).

- применение для несущих конструкций высокопрочных и легких материалов (сталей повышенной прочности, алюминиевых сплавов)

- применение облегченных междуэтажных перекрытий и лестничные марши;

- дополнительное крепление воздушных линий связи, электропередач, наружных трубопроводов на высоких эстакадах в целях защиты от повреждения при ЧС;

- повышение устойчивости оборудования путем усиления его наиболее слабых элементов, а также созданием запасов этих элементов (прочное закрепление установок на фундаментах), размещение тяжелого оборудования на нижних этажах производственных зданий;

- устройство дополнительных конструкций для быстрой эвакуации людей при ЧС.

#### **5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Помещения должны быть оснащены средствами пожаротушения, а именно огнетушителями типа ОУ-2, ОУ-5 или ОП-5 (предназначены для

тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники).

Согласно ПУЭ аудитория 105 4 корпуса ТПУ, относится к типу П-Ша – пожароопасные, характеристика которого приведена в таблице 22.

Таблица 22 – Категория помещения по пожароопасности

Категория помещения	Характеристика пожароопасной зоны
П-Ша пожароопасные	Пространство в помещениях, в которых обращаются твердые или волокнистые, не переходящие во взвешенное состояние, горючие вещества, материалы.

Классы пожара характеризуют объект пожара в зависимости от вида горящих веществ (материалов) и сложности их тушения. Для данной аудитории имеют место пожары класса Е - горение электроустановок и электрооборудования, находящегося под напряжением.

В аудитории 105 4 корпуса ТПУ имеется 1 огнетушитель, пожарная автоматика и сигнализация. План эвакуации этажа представлен на рисунке 30.

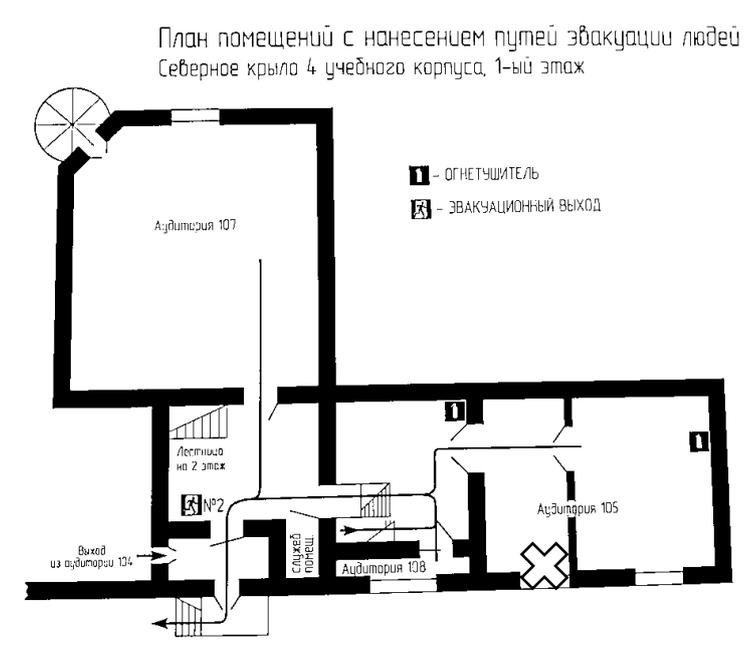


Рисунок 31 – План эвакуации

При обнаружении пожароопасных ситуациях необходимо:

1. при любых случаях сбоя в работе оборудования или программного обеспечения вызвать представителя инженерно-технической службы;

2. при возгорании оборудования, отключить питание и принять меры к тушению очага пожара при помощи углекислотного или порошкового огнетушителя, вызвать пожарную команду и сообщить о происшествии руководителю работ.

3. при возгорании оборудования, которое не получилось потушить самостоятельно, срочно произвести эвакуацию работников, согласно схеме эвакуации, и вызвать пожарную команду и сообщить о происшествии руководителю работ.

4. при эвакуации в первую очередь вывести женщин и помочь пожилым людям, оказать помощь пострадавшим. Зону пожара покинуть как можно быстрее, заранее прикинув безопасный маршрут. При необходимости использовать запасные пожарные выходы и лестницы. Брать с собой нужно только документы и деньги, ценные вещи, которые можно унести за один раз. Обязательно использовать простейшие средства защиты органов дыхания от угарного газа: смоченные водой платки, простыни, ватно-марлевые повязки. При сильном задымлении передвигайтесь ползком к выходу, так как внизу около пола дыма меньше и ниже вероятность потерять сознание. Уходя, не закрывать входную дверь в помещение возгорания на ключ. При невозможности покинуть помещение, стараться обратить на себя внимание: выбить окно, кричать и размахивать яркой тканью.

## **Заключение**

В результате выполнения данной ВКР был спроектирован электродвигатель, обладающий улучшенными виброшумовыми характеристиками и массогабаритными показателями.

Для получения этих показателей были применены конструкторские решения, позволившие уменьшить габаритные размеры и увеличить виброшумовые показатели двигателя.

Была проведена оценка коммерческого потенциала, в ходе которой был произведен анализ рынка и выбрана ниша, с наиболее низким уровнем конкуренции. SWOT-анализ позволил наглядно рассмотреть сильные и слабые стороны, возможности и угрозы научно-исследовательской работы. Исходя из полученных данных видно способы улучшения разработки.

Также был разработан план работ и составлен график их проведения.

В ходе работы были выявлены вредные факторы, которые могут оказывать воздействие на исследователя во время проведения расчетно-проектировочных работ. А также рассмотрены факторы, оказывающие воздействие на природу, в ходе разработки.

## Список используемых источников

1. И.И. Клюкин Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах. – Л.: Судостроение, 1971. 415 с.
2. Wu C.Y., Wei C.Y., Guo W.H., Wu C.F. Dynamic mechanical properties of acrylic rubber blended with phenolic resin. Journal of Applied Polymer Science. 2008. vol. 109. no. 4. P. 2065–2070.
3. Тялина, Л.Н. Новые композиционные материалы: учебное пособие/ Л.Н. Тялина, А.М. Минаев, В.А. Пручкин.– Тамбов: ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 80 с.
4. А.А. Дубенский Бесконтактные двигатели постоянного тока. – М.: Энергия, 1961. 140 с.
5. НПК «Магниты и системы» Магнитные характеристики магнитопласта [Электронный ресурс]: URL: <https://magnet-prof.ru/index.php/magnitnyie-harakteristiki-magnitoplasta.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. Рус. Дата обращения 04.06.2019 г.
6. Г. Н. Дубинин Конструкционные проводниковые и магнитные материалы (Электроматериаловедение). – М.: Машиностроение, 1973. 296 с.
7. Н.Е. Денисова, В.А. Шорин, И.Н. Гонтарь, Н.И. Волчихина, Н.С. Шорина Триботехническое материаловедение и триботехнология: учебное пособие.- Пенза: ПГУ, 2006. – 240 с.
8. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А., Шаповалова Н.В., Тухватулина Л.Р., Криницына З.В. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность ресурсосбережение: учебно-методические пособие // Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, – 2014. – 36 с.
9. Пашков Е.Н., Мезенцева И.Л. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм

обучения ТПУ – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, – 2019. – 24 с.

10. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, 2003. – 7 с.

11. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015. – 16 с.

12. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003. – 9 с.

13. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях, 2003. – 12 с.

14. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение, 2011. – 46 с.

15. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, 1996. – 12 с.

16. СН 2.2.4/2.1.8.562–96, Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, 1996. – 15 с.

17. ГОСТ 30494-2011, Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях, 2011. – 27 с.

18. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования, 1984. – 57с.

19. НПБ 105-03, Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, 2003. – 23с.

20. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018). – 277с.

21. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя, 2017. – 29 с.

22. Правила устройства электроустановок. Седьмое издание, 2002. – 49 с.

23. Специальная оценка условий труда в ТПУ. 2018.

## **Приложение А**

(Обязательное)

Сборочный чертеж и спецификация бесконтактного двигателя постоянного  
тока