

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

Школа Неразрушающего контроля и безопасности

Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение

Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

Электродвигатель для системы жизнеобеспечения подвижных объектов

УДК 621.313.13:629.017

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4В	Шарпаев Илья Вадимович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дмитриев Виктор Степанович	д.т.н. профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын Владислав Владимирович	к.т.н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н. доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гормаков Анатолий Николаевич	к.т.н. доцент		

Томск – 2018 г.

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

Школа Неразрушающего контроля и безопасности

Направление подготовки (специальность) 12.03.01 Приборостроение

Уровень образования Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

15 июня

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20 апреля	Обзор научной литературы по теме	10
15 марта	Выбор конструкторско-кинематической схемы электродвигателя	5
30 марта	Выполнение расчетов размеров двигателя и написание теоритической части диплома	20
20 апреля	Разработка сборочного чертежа электродвигателя	20
10 мая	Разработка 3D модели спроектированного электродвигателя	20
25 мая	Составление доклада и оформление расчетно-пояснительной записки	20
3 июня	Корректировка ВКР по результатам обсуждения на защите	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дмитриев Виктор Степанович	д.т.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гормаков Анатолий Николаевич	д.т.н., доцент		

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

Школа Неразрушающего контроля и безопасности

Направление подготовки (специальность) 12.03.01 Приборостроение

Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Гормаков А.Н.

(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
1Б4В	Шарпаеву Илье Вадимовичу

Тема работы:

Электродвигатель для системы жизнеобеспечения подвижных объектов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

16.11.2017 №9067/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

15.06.18

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Электродвигатель для системы жизнеобеспечения подвижных объектов. Мощность $P_n=200$ Вт. Вес m_{ax} 4,5 кг. Габаритные размеры: высота 140 мм m_{ax}; диаметр 240 мм m_{ax}; длина 140 мм m_{ax}. Угловая скорость 3000 об/мин. Тип – электродвигатель постоянного тока. Режим работы – непрерывный.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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 характеристиками в сравнении с прототипами. Дополнительные разделы: финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Сборочный чертеж электродвигателя, 3D модель электродвигателя.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицын Владислав Владимирович
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском:	
Все разделы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12 февраля
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дмитриев Виктор Степанович	д.т.н. профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4В	Шарпаев Илья Вадимович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4В	Шарпаеву Илье Вадимовичу

Тема: Исследование скорости звука в твёрдых телах

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление / специальность	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 и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Потенциальные потребители результатов исследования - Анализ конкурентных технических решений; - Технология QuaD; - SWOT-анализ.
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	- Составление морфологической матрицы.
3. <i>Планирование научно-исследовательских работ</i>	- Составление календарного план-графика выполнения ВКР.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Карта сегментирования рынка; 2. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений; 3. Оценочная карта качества и перспективности; 4. SWOT анализ; 5. Морфологическая матрица; 6. Календарный план-график.
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын Владислав Владимирович	Кандидат экономических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4В	Шарпаеву Илье Вадимовичу		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4В	Шарпаеву Илье Вадимовичу

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – бесколлекторный электродвигатель постоянного тока с ротором из массива Halbach с неодимовыми магнитами
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Проводится анализ выявленных вредных факторов производственной среды, таких как: Превышение уровней шума и вибрации; Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов.
2. Экологическая безопасность:	В данном разделе рассмотрены возможные воздействия выбранного в ВКР решения на окружающую среду
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Защита в чрезвычайных ситуациях: – Определение возможной ЧС; – Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – Определение порядка действий при возникновении ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – Специальные правовые нормы трудового законодательства; – Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4В	Шарпаев Илья Вадимович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 58 с., 12 рис., 14 табл., 11 источников.

Ключевые слова: электродвигатель, электровентилятор, шум, вибрация, виброшумовая характеристика, массив Халбах, Halbach array.

Объектом исследования является (ются) электродвигатель.

Цель работы – проектирование электродвигателя, который будет иметь пониженные виброшумовые характеристики, для использования в системах жизнеобеспечения подвижных объектов.

В процессе исследования проводились расчетно-проектные работы эксплуатационных характеристик электродвигателя

В результате исследования были получены массогабаритные характеристики электродвигателя.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: мощность 200 Вт, частота вращения 3000 об/мин, использована магнитная сборка Халбах, высота 109 мм, диаметр описанной окружности 216 мм.

Степень внедрения: рассмотрение в АО НПЦ «Полюс».

Область применения: системы жизнеобеспечения подвижных объектов.

Экономическая эффективность/значимость работы – величина качества и перспективности равна 0,83 (п. 2.1.3 таблица 2.3).

В будущем планируется продолжение проектно-исследовательских работ при написании магистерской диссертации.

Содержание

Введение.....	10
Глава I Электродвигатель для системы жизнеобеспечения	13
1.1 Динамический режим электродвигателя.....	13
1.1.1 Причины механических колебаний	13
1.1.2 Динамика вибрационного движения электродвигателя	14
1.2 Двигатель с печатной обмоткой (ДПО).....	16
1.2.1 Описание.....	16
1.2.2 Преимущества и недостатки ДПО	17
1.3 Расчет габаритов ДПО.....	19
1.3.1 Расчет печатного якоря	19
1.3.2 Размеры магнитной системы	23
1.4 Бесконтактный двигатель постоянного тока с печатным статором	25
1.4.1 Магнитная сборка Халбах (Halbach array)	25
1.4.2 Обоснование замены ферритовых магнитов на неодимовые меньшего размера	27
1.5 Конструкция и материалы электродвигателя с магнитной сборкой Халбах	28
1.5.1 Конструкция электродвигателя.....	28
1.5.2 Выбор и обоснование материалов электродвигателя	30
1.6 Сравнение спроектированного электродвигателя с прототипом.....	31
Глава II Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	32
2.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	32
2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	32
2.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	33
2.1.3 Технология QuaD	35
2.1.4 SWOT-анализ	37
2.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	43
2.3 Планирование научно-исследовательских работ	45
Глава III Социальная ответственность.....	46

3.1 Производственная безопасность	46
3.1.1 Превышение уровней шума и вибрации	46
3.1.2 Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	48
3.1.3 Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования.....	48
3.1.4 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	48
3.1.5 Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов	49
3.2 Экологическая безопасность.....	50
3.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	52
3.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	53
3.4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	53
3.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	53
3.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	54
Заключение	55
Список публикаций студента.....	56
Список использованных источников	57
ФЮРА.525162.009.СБ	На отдельном листе
ФЮРА.525162.009.СП.....	На отдельном листе

Введение

На сегодняшний день электровентиляторы занимают особую роль в жизни человека и техники. Они используются в одинаковой мере в гражданской и промышленной сферах, так как ни одно устройство не может обойтись без охлаждения. Так же стоит отметить необходимость в перемещении воздуха в системах кондиционирования и вентиляции, тем более в замкнутых пространствах, где отсутствует естественная вентиляция, например в космических аппаратах и подводных лодках.

При сегодняшнем техническом прогрессе, для систем жизнеобеспечения подвижных объектов используются электродвигатели постоянного и переменного тока. Они могут быть как асинхронными, так и синхронными. И каждый тип имеет свои недостатки и преимущества, в сравнении друг с другом. Так же в них могут варьироваться типы комплектующих систем управления, необходимые для работы двигателя.

В последнее время, максимально используют двигатели с бесконтактной коммутацией обмоток, для этого используют датчики положения ротора (ДПР). ДПР могут быть трех видов, а именно магнитоиндукционный (то есть в качестве датчика используются сами силовые катушки или дополнительные обмотки), магнитоэлектрический (датчики, использующие эффект Холла) и оптоэлектрические (различные оптопары). И каждый из ДПР имеет свои положительные и отрицательные качества.

В бесконтактных электродвигателях в качестве элемента ротора используют постоянные магниты. Они могут быть ферритовыми или из сплава редкоземельных металлов.

АО НПЦ «Полюс», ООО «Логотек-сервис» производят электродвигатели вентиляторов различной мощности бесконтактного коммутирования с улучшенными виброшумовыми характеристиками.

Сегодня за рубежом «набирают обороты» двигатели, у которых в основе лежит физический эффект, реализуемый магнитной сборкой Халбах.

Такие электродвигатели имеют высокие эксплуатационные характеристики при сравнительно небольших габаритах.

Проблема борьбы с вибрацией обусловлена не только из-за преждевременного выхода оборудования и деталей из строя, но и пагубным влиянием на физиологию человека, порой приносящим вред здоровью. Так же снижение шума и механических вибраций требует и военно-тактические цели. Так как одним из способов обнаружения подводных лодок является эхолокационный метод сканирования.

Таким образом, объектом исследования в данной работе является основной источник механических колебаний и шума в электровентиляторах, а именно электродвигатель.

Целью данной работы является проектирование электродвигателя, который будет иметь улучшенные виброшумовые характеристики, для использования в системах жизнеобеспечения подвижных объектов.

Для реализации цели решается задача применения способов снижения вибрация и шума. И дополнительно решается задача уменьшения массогабаритных характеристик электродвигателя.

Теоритическая значимость работы заключается в систематизации наработок и технических решений по проблеме исследования.

Практическая значимость работы заключается в применение всех изложенных в ВКР решений для реализации улучшенного варианта электродвигателя по показателям, рассматриваемых в данной работе.

Структура работы состоит из введения, трех глав и заключения.

Во введении раскрывается актуальность темы, проблема, объект исследования, цели и задачи, теоритическую и практическую значимость исследования. Рассмотрены используемые на сегодняшний день электродвигатели для применения в вентиляционных системах.

В первой основной главе рассматривается электродвигатель, как источник шумов и вибраций. Так же в ней приведен пример электродвигателя,

который взят за основу для проектирования. Изложены проблемы, которые требуется решить, а также показаны способы их решения.

Во второй главе рассматривается финансовая значимость проекта. Рассмотрена конкурентоспособность, а так же рентабельность проекта, путем различных анализов.

В третьей главе рассмотрено влияние разработки на окружающую среду, и способы минимизации последствий. Рассмотрены вредные факторы для человека, которые будут воздействовать во время эксплуатации решения, представленного в ВКР, а так же способы защиты от этих факторов.

Глава I Электродвигатель для системы жизнеобеспечения

1.1 Динамический режим электродвигателя

1.1.1 Причины механических колебаний

Любая механическая система, содержащая элементы упругости и массы, при воздействии на нее постоянной периодической силы (момента) может быть введена в режим колебательного движения [1].

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

Одной из периодических вынуждающих сил является неуравновешенность вращающихся элементов конструкции. Поскольку полностью устранить остаточную неуравновешенность невозможно даже при использовании самого совершенного балансировочного 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 $f_2 = \frac{D}{d_{ш}} f_1 z$,

где z – число шариков,

D – диаметр наружного кольца,

$d_{ш}$ – диаметр шариков.

- Неуравновешенность сепаратора – сила с частотой $f_3 = \frac{f_1 D}{2(D+d_{ш})}$;

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 1.1.

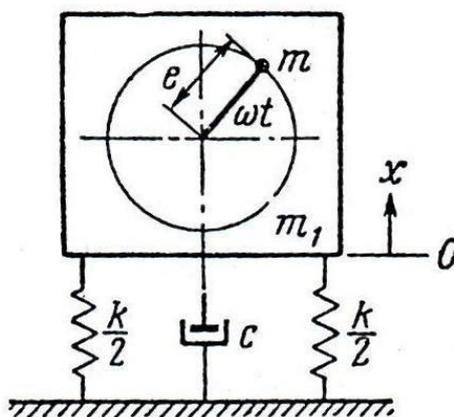


Рисунок 1.1 – Колебательная система

Динамику движения этой механической системы можно описать дифференциальным уравнением

$$m_1 \ddot{x} + kx = F_{\Sigma} \sin \omega t, \quad (1.1)$$

где m – масса электродвигателя;

k – жесткость конструкции электродвигателя;

F_{Σ} – сумма всех возмущающих сил.

Из уравнения (1.1) следует, что электродвигатель является генератором вибрационного движения любой механической системы, частью которой он будет являться.

Решение для дифференциального уравнения общеизвестно

$$x = A_1 \cos \omega_c t + A_2 \sin \omega_c t + \frac{F_{\Sigma}}{(1-r^2)k} \sin \omega t,$$

где ω_c – собственная частота;

ω – частота вынужденных колебаний;

A_1 и A_2 – произвольный коэффициенты;

$$r = \frac{\omega_c}{\omega}$$

Принимая начальные условия

$$x(0) = x_0; \dot{x}(0) = \dot{x},$$

получаем общее решение линейного неоднородного дифференциального уравнения 2-го порядка

$$x = x_0 \cos \omega_c t + \left(\frac{\dot{x}_0}{\omega_c} - \frac{F_\Sigma}{(1-r^2)k} r \right) \sin \omega_c t + \frac{F_\Sigma}{(1-r^2)k} \sin \omega t$$

Первые два члена уравнения описывают переходное движение, а третий член описывает установившуюся реакцию.

Установившаяся реакция в безразмерных единицах представлена на рисунке 1.2.

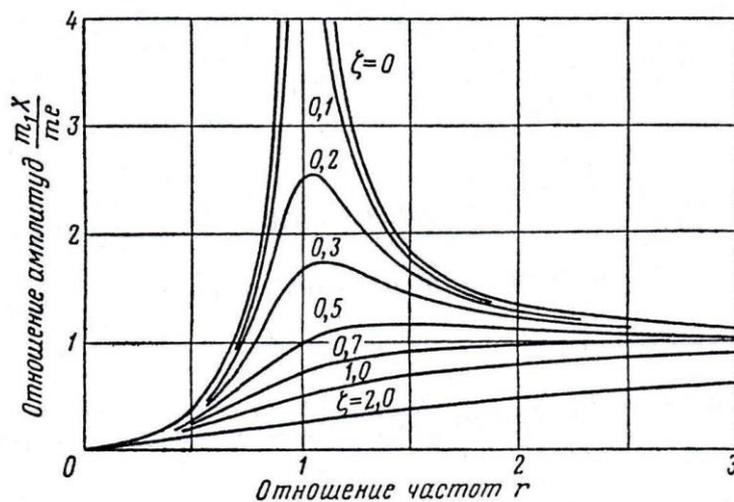


Рисунок 1.2 – Установившаяся реакция на возмущение системы

Из графиков, представленных на рисунке 1.2 видно, что амплитуда колебаний зависит от отношения частот собственных и вынужденных колебаний и коэффициента демпфирования ξ .

Поэтому при проектировании надо добиваться максимального значения коэффициента ξ . Для этого в конструкцию двигателя введено на ш/п опоры промежуточная резиновая втулка [1].

Проектирование проведено в рамках задания на бакалаврскую ВКР. Дальнейшее исследование будет продолжено в магистерской диссертации.

1.2 Двигатель с печатной обмоткой (ДПО)

1.2.1 Описание

По принципу действия данная машина не отличается от электрических машин постоянного тока с цилиндрическим якорем. Но имеет ряд преимуществ, которые будут рассмотрены ниже.

Принципиальная схема и конструкция двигателя постоянного тока с печатными обмотками на дисковом якоре представлена на рисунке 1.2 [2].

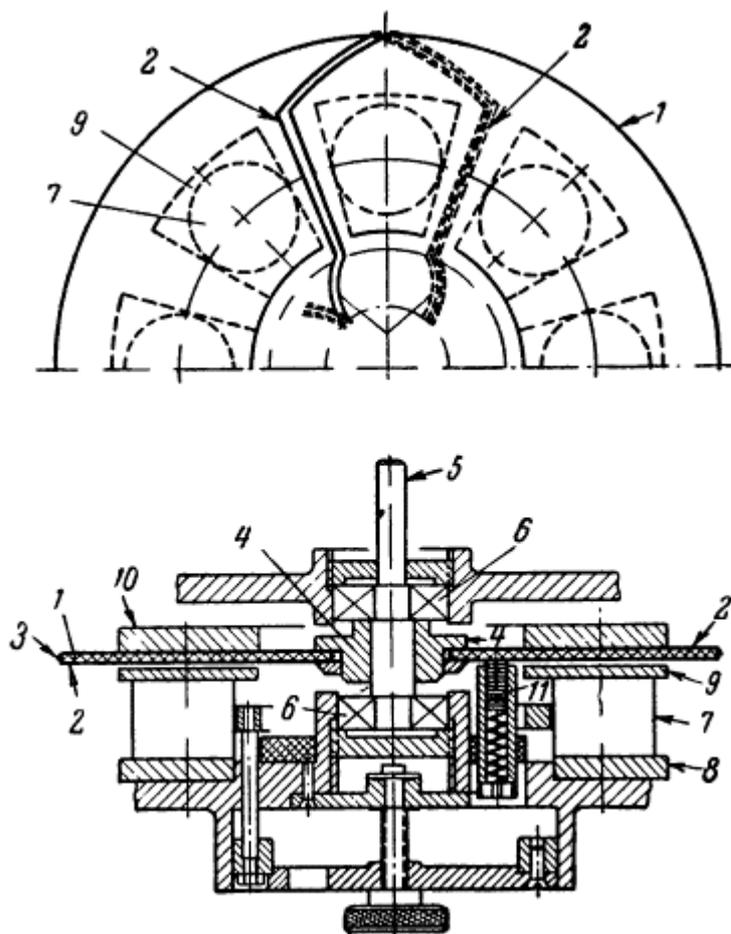


Рисунок 1.2 – Двигатель с печатной обмоткой, предложенный Ж. Анри-Бодо

Основой этой машины является плоский диск 1, на обеих сторонах которого печатным способом нанесены медные полусекции 2 обмотки якоря. Соответствующее соединение между полусекциями обеспечиваются внешними и внутренними контактными переходами 3 по периферии диска. Диск якоря с помощью ступицы 4 крепится на валу 5 и может свободно вращаться в подшипниках 6. Магнитное поле в зазоре создается торцевой

магнитной системой. Полюсы магнитной системы, состоящие из постоянных магнитов 7 и полюсных наконечников 9, встроены в стальную станину 8 кольцеобразной формы. Магнитный поток проходит через печатный якорь и замыкается по второму кольцу 10 из магнитно-мягкого материала. При вращении якоря печатные проводники 2 обмотки пересекают линии магнитного поля, параллельные оси вращения диска. Кольца 10 может быть составной частью или неподвижного статора, или подвижного статора.

Функции коллектора выполняет сама печатная обмотка, к проводникам 2 которой прижимаются коммутрующие щетки 11.

Стоит заметить, что использование обмотки в качестве коллектора возможно только в машинах постоянного тока малой мощности (100-200 Вт). Для повышения износостойчивости печатных проводников, контактирующих со щеткой, применяются специальные покрытия толщиной в несколько микрон из материалов, таких как родий, палладий и т.д.

1.2.2 Преимущества и недостатки ДПО

Преимущества:

1. Меньшая стоимость при массовом производстве;

Технология изготовления печатного якоря ДПО полностью поддается механизации и автоматизации, поэтому при массовом производстве трудоемкость изготовления печатного якоря будет низкой. Стоимость материалов якоря по сравнению со стоимостью материалов и комплектующих деталей всего двигателя в целом весьма мала. В то время как для намотки обычного двигателя требуется много времени, и полностью автоматизировать этот процесс на сегодняшний день невозможно

2. Возможность значительного улучшения динамических качеств двигателя;

Высокие плотности тока в печатной обмотке, на порядок превышающие плотность тока в якоре обычной машины, в совокупности с весьма малым весом и размерами печатного якоря позволяют снизить момент инерции якоря и обеспечить высокие ускорения ротора. Это возможно благодаря тому, что

обмотки будут хорошо охлаждаться воздухом и высокая плотность тока не приведет к повреждению проводников.

3. Спокойная, практически безыскровая коммутация;
4. Низкий уровень шумов и вибраций.

Шум в электрической машине возникает вследствие механических и магнитных колебаний.

Недостатки:

1. Меньшая долговечность;

Которая обусловлена главным образом быстрым износом меди печатных проводников в месте установки коммутирующих щеток. Даже не смотря на то, что место контакта покрывается особым материалом, хотя бы приблизиться к сроку службы обычных двигателей не представляется возможным.

2. Наличие потерь на вихревые токи;

Вихревые токи возникают при перемещении проводников якоря в основном магнитном поле возбуждения переменной полярности.

3. Повышенное сопротивление обмотки.

Обусловлено повышенное сопротивление применением высокой плотности тока в печатных проводниках.

Таким образом, поставлена цель использовать преимущества данного типа электродвигателя, в частности печатной дисковой обмотки, а так же устранить недостатки, а именно использовать возможность бесконтактной коммутации обмоток.

1.3 Расчет габаритов ДПО

1.3.1 Расчет печатного якоря

Расчет производится по методике расчета, приведенный в книге «Малоинерционные электродвигатели постоянного тока с печатной обмоткой на якоре» В.М. Казанского [2].

Определим приближенно ток якоря и ЭДС.

$$I_{\text{я}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta \cdot U_{\text{н}}} = \frac{200}{0,8 \cdot 27} = 9,26 \text{ А}, \quad (1)$$

где $\eta = 0,8$ – предварительная величина КПД двигателя без учета потерь на возбуждение; $P_{\text{н}}=200$ Вт – номинальная мощность электродвигателя.

$$E = 0,9 \cdot U_{\text{н}} = 0,9 \cdot 27 = 24,3 \text{ В}$$

Для получения минимального диаметра дискового печатного якоря следует принять минимальную ширину печатного проводника лобных частей обмотки

$$b_{\text{п}} = 4 \cdot h_{\text{п}} = 4 \cdot 0,2 = 0,68 \text{ мм}, \quad (2)$$

где $h_{\text{п}}$ – толщина проводника, рассчитываемая по формуле (3).

$$h_{\text{п}} = \sqrt{\frac{I_{\text{я}}}{8a \cdot j_{\text{я}}}} = \sqrt{\frac{9,26}{8 \cdot 1 \cdot 40}} = 0,17 \text{ мм}, \quad (3)$$

где $I_{\text{я}}$ – номинальный ток якоря двигателя, А;

$2a$ – число параллельных ветвей обмотки якоря;

$j_{\text{я}} = 40 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ – допустимая плотность тока в обмотке якоря.

Допустимая плотность тока в печатной обмотке якоря определяется тепловым режимом машины. При длительном режиме $j_{\text{я}} = 30 \div 40 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ [1].

Остальные размеры печатной обмотки определяются в зависимости от принятой технологии изготовления печатной платы по таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технологические размеры элементов печатной обмотки

Технологические размеры элементов печатной обмотки

Толщина проводника $h_{\text{п}}, \text{мм}$	Минимальная ширина проводника $b_{\text{п}}, \text{мм}$		Минимальный зазор между проводниками $\Delta, \text{мм}$		Минимальный диаметр отверстий $d, \text{мм}$	Ширина контактирующей поверхности $x, \text{мм}$		Минимальный шаг проводников на внутреннем диаметре $t_i, \text{мм}$		Минимальный шаг печатной обмотки $t_{\text{я}} = b_{\text{п}} + \Delta, \text{мм}$	
	а	б	а	б		а	б	а	б	а	б
0,02	0,51	1,01	0,23	0,53	0,76	0,25	0,76	1,12	2,18	0,74	1,54
0,05	0,51	1,01	0,23	0,56	0,76	0,25	0,76	1,12	2,21	0,74	1,57
0,10	0,51	1,01	0,3	0,61	0,76	0,25	0,76	1,19	2,26	0,81	1,62
0,15	0,61	1,01	0,41	0,66	0,76	0,25	0,76	1,35	2,31	1,02	1,67
0,20	0,81	1,01	0,53	0,71	0,76	0,25	0,76	1,57	2,36	1,34	1,72
0,25	1,01	1,01	0,64	0,76	0,76	0,25	0,76	1,78	2,41	1,65	1,77
0,30	1,22	1,22	0,76	0,81	0,84	0,3	0,79	2,08	2,64	1,98	2,03
0,36	1,42	1,42	0,86	0,86	0,99	0,36	0,81	2,41	2,87	2,28	2,28
0,41	1,62	1,62	0,99	0,91	1,14	0,41	0,84	2,77	3,12	2,61	2,53
0,51	2,03	2,03	1,22	1,01	1,42	0,51	0,89	3,45	3,63	3,25	3,04
0,76	3,04	3,04	1,8	1,27	2,13	0,76	1,01	5,16	4,88	4,84	4,31
1,01	4,06	4,06	2,39	1,52	2,84	1,01	1,14	6,86	6,12	6,45	5,58
1,27	5,08	5,08	2,97	1,78	3,56	1,27	1,27	8,56	7,36	8,05	6,86
1,78	7,11	7,11	4,14	2,28	4,98	1,78	1,52	11,96	9,86	11,25	9,39
2,28	9,14	9,14	5,31	2,79	6,40	2,28	1,78	15,37	12,34	14,45	11,93

47

а—проводники изготовлены методом травления фольги; б—проводники изготовлены методом электролитического осаждения.

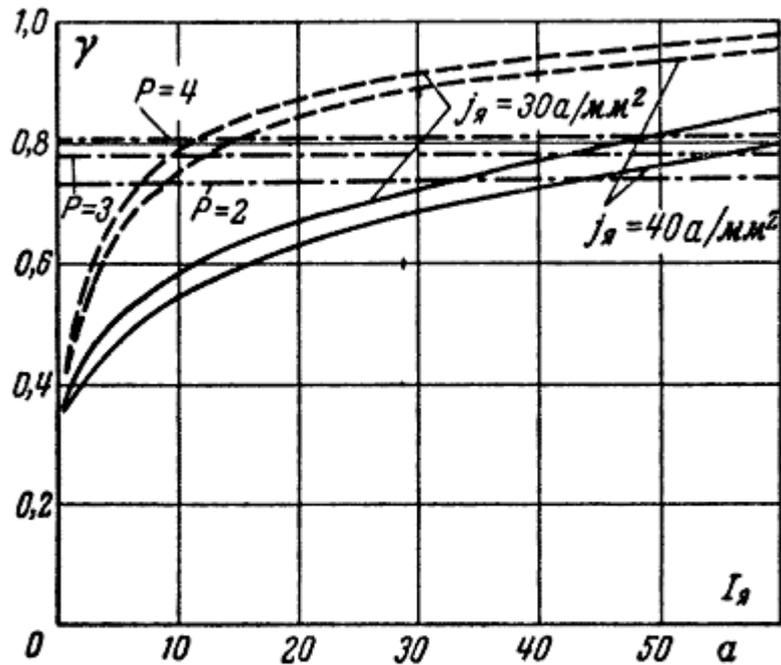
Для выполнения печатного диска выберем метод электролитического осаждения.

Минимальный шаг проводников

$$t_{\text{я}} = b_{\text{п}} + h_{\text{п}} + 0,51 = 0,68 + 0,17 + 0,51 = 1,36 \text{ мм} = 0,136 \text{ см}$$

По рисунку 1.3

$$\gamma = \frac{t_{\text{я}}}{t_i} = 0,51$$



— обмотка выполнена методом электролитического осаждения; — — — обмотка выполнена методом травления; — · — · — оптимальное значение.

Рисунок 1.3 – Зависимость γ от тока якоря

Примем число пар полюсов $p=4$, среднюю индукцию в воздушном зазоре

$$B_{cp} = 0,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Вб}}{\text{см}^2}$$

Тогда коэффициенты

$$K_t = \frac{t_{я}}{2\pi} \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{\pi}{2p\sqrt{1-\gamma^2}} \right) = \frac{0,136}{2 \cdot 3,14} \left(\frac{1}{0,51} + \frac{3,14}{2 \cdot 4 \cdot \sqrt{1-0,51^2}} \right) = 0,052 \text{ см}$$

$$K_N = \frac{E \cdot 2a \cdot 60}{\pi \cdot n \cdot B_{cp}} = \frac{24,3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 60}{3,14 \cdot 3000 \cdot 0,6 \cdot 10^{-4}} = 5159 \text{ см}^2$$

Оптимальный средний диаметр якоря

$$D_{cp} = \sqrt[3]{5,1 \cdot K_t \cdot K_N} = \sqrt[3]{5,1 \cdot 0,052 \cdot 5159} = 11,1 \text{ см}$$

Полюсное деление

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_{cp}}{2p} = \frac{3,14 \cdot 11,1}{2 \cdot 4} = 4,4 \text{ см}$$

Число проводников печатной обмотки

$$N = 0,732 \frac{D_{cp}}{K_t} = 0,732 \frac{11,4}{0,052} = 139,1 \approx 139$$

Расчет остальных диаметров обмотки (рисунок 2.2):

Внутренний диаметр внутренних лобовых частей

$$D_i = \frac{N \cdot t_{я}}{2\pi \cdot \gamma} = \frac{139 \cdot 0,136}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,51} = 5,9 \text{ см};$$

Внешний диаметр внутренних лобовых частей

$$D'_i = 0,732 D_{cp} = 0,732 \cdot 11,4 = 8,3 \text{ см};$$

Внутренний диаметр внешних лобовых частей

$$D'_e = 1,268 D_{cp} = 1,268 \cdot 11,4 = 14,5 \text{ см};$$

Внешний диаметр обмотки

$$D_e = D'_e + \frac{\pi \cdot \gamma \cdot D_i}{2p} = 14,5 + \frac{3,14 \cdot 0,51 \cdot 5,9}{2 \cdot 4} = 15,7 \text{ см}$$

Эскиз диска с печатной обмоткой показан на рисунке 1.4.

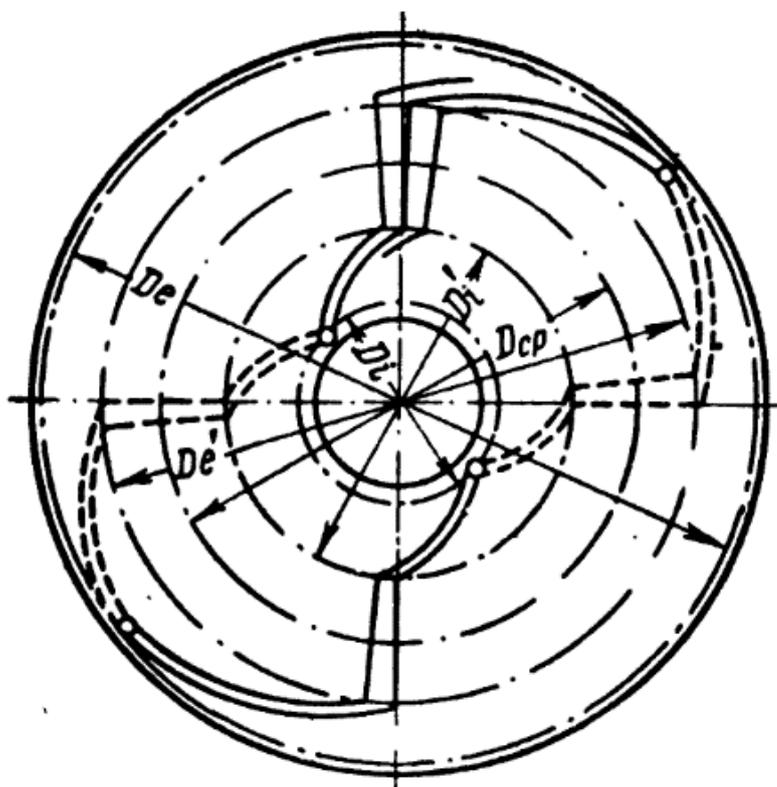


Рисунок 1.4 – Диаметры обмотки якоря

1.3.2 Размеры магнитной системы

На рисунке 1.5 показана схема размеров магнитной системы.

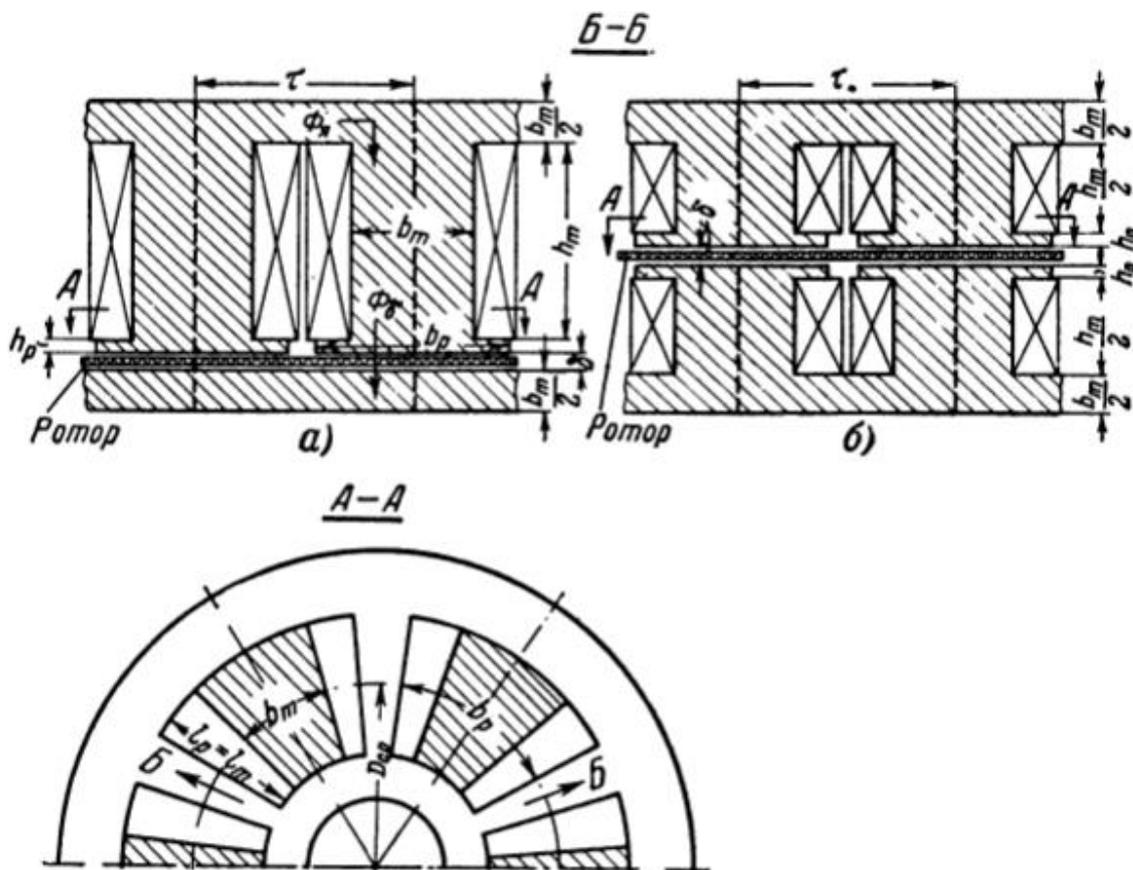


Рисунок 1.5 – Магнитная система ДПО

Примем несимметричную магнитную систему из стали Ст.2 с индукцией

$$B_c = 1,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Вб}}{\text{см}^2} \quad (H_c = 21 \frac{\text{А}}{\text{см}}).$$

Величина магнитного зазора ДПО принимается равно

$$\delta = (0,025 - 0,03) D_{\text{ср}} = 0,33 \text{ см.} \quad k_h = \frac{h_m}{D_{\text{ср}}} = 0,45 \text{ см.}$$

Коэффициент полюсного перекрытия

$$\alpha_p = 0,85.$$

Расчетный коэффициент полюсного деления

$$\alpha_{\delta} = \alpha_p + \frac{\delta}{\tau} \cdot \frac{1}{\pi} \left(0,614 + \ln \left[1 + \frac{(1 - \alpha_p)^2 \cdot \tau^2}{\delta^2} \right] \right) =$$

$$= 0,85 + \frac{0,34}{4,4 \cdot 3,14} \left(0,614 + \ln \left[1 + \frac{(1 - 0,85)^2 \cdot 6^2}{0,34^2} \right] \right) = 0,9$$

Примем $k_h = \frac{h_m}{D_{cp}} = 0,7$

Коэффициент рассеивания

$$\sigma = 1,05 + 0,012 \cdot p^2 \cdot k_h + p(0,05 \cdot k_h + 0,056) =$$

$$= 1,05 + 0,012 \cdot 4^2 \cdot 0,7 + 4(0,05 \cdot 0,7 + 0,056) = 1,5$$

Размеры полюса наконечника:

Ширина

$$b_m = \frac{\sigma B_{cp}}{B_c} \tau = \frac{1,5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-4}}{1,5 \cdot 10^{-4}} 4,4 = 2,6 \text{ см};$$

$$b_p = \alpha_p \tau = 0,85 \cdot 4,4 = 3,8 \text{ см};$$

Длина

$$l_m = l_p = 0,268 D_{cp} = 0,268 \cdot 11,4 = 3,1 \text{ см};$$

Высота

$$h_m = k_h D_{cp} = 0,7 \cdot 11,4 = 8 \text{ см};$$

$$h_p = 0,07 \tau = 0,07 \cdot 4,4 = 0,31 \text{ см}.$$

Примем круглый полюс

$$d_m = \sqrt{\frac{4b_m l_m}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,6 \cdot 3,1}{3,14}} = 3,2 \text{ см}.$$

Для обеспечения минимума потерь в якоре ширина активного проводника должна быть:

$$b_a = \sqrt[4]{1 - \alpha_p} \cdot \sqrt{\frac{30 j_{я} b_{п} \alpha_{\delta} \rho}{n B_{cp} \rho}} =$$

$$= \sqrt[4]{1 - 0,85} \cdot \sqrt{\frac{30 \cdot 40 \cdot 10^2 \cdot 0,68 \cdot 0,9 \cdot 2,14 \cdot 10^{-6}}{3000 \cdot 0,6 \cdot 10^{-4} \cdot 4}} = 0,3 \text{ см}.$$

1.6 Сравнение спроектированного электродвигателя с прототипом

Сравним разработанный электродвигатель с тем, который используются на сегодняшний день для систем жизнеобеспечения подвижных объектов. В качестве сравнительного образца рассматривается электровентилятор РСС1 200 Вт на базе вентиляного электродвигателя, разработанного АО НПЦ «Полус».

Данный вентилятор предназначен для перемещения воздуха в системах кондиционирования и вентиляции, он имеет вентиляный электродвигатель электродвигатель мощностью 200 Вт. Питание варьируется от 175 до 320 В. Габаритные размеры имеют следующие значения: наружный диаметр $D_{\text{н}}=350$ мм; высота $H_{\text{н}}=320$ мм. Так же он имеет магнитоиндукционный датчик положения ротора. Масса электродвигателя составляет более 18 килограмм.

Исходя из результатов проектирования можно сказать, что электродвигатель, рассчитанный в данной работе, имеет неоспоримые преимущества. А именно улучшенные массогабаритные характеристики, равные: высота вместе с выходным валом $H_{\text{пр}}=109$ мм; максимальный диаметр описанной окружности $D_{\text{пр}}=216$ мм. Расчетная масса равна 3,2 кг.

Преимущество заключается в использовании более перспективного ротора, частью которого является магнитная сборка Halbach, так как она позволяет уменьшить массивность и размеры постоянных магнитов и увеличить момент двигателя. Так же в проектируемом электродвигателе используются датчики положения ротора в виде датчиков Холла, которые несоизмеримо меньше по массе и габаритам ДПР, который используется в конкурентной разработке.

Сравнение основных показателей показано в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Сравнение показателей разработки и прототипа

Критерий сравнения	Двигатель с магнитной сборкой Halbach	РСС1 200 Вт (АО НПЦ «Полус»)
1. Габаритные размеры, мм	109x216	320x350
2. Масса, кг	≈3,2	18,2

Глава II Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

2.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

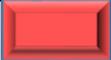
Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Для того, чтобы провести сегментирование рынка, необходимо выделить несколько критериев, по которым будет составлена карта рынка. Такими критериями могут выступать месторасположение производства – отечественное и зарубежное; размер компаний – мелкие, средние и крупные; применение электродвигателя – вентиляторные системы, аэростроение, конвейерные системы и генераторные системы; качество продукции и т.п.

Из выявленных критериев целесообразно выбрать два наиболее значимых для рынка данного продукта, а именно местоположение и область применения электродвигателя. На основании этих двух критериев построим карту сегментирования рынка, которая показана в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Карта сегментирования рынка по производству электродвигателей

Местоположение производства		Область применение электродвигателя			
		Вентиляторные системы	Аэростроение БПЛА	Конвейерные системы	Генераторные системы
Отечественное		High	High	Low	Low
Зарубежное		Low	Low	High	High

 – Высокий уровень конкуренции;

 – Низкий уровень конкуренции.

Целесообразно занимать сферы с низким уровнем конкуренции, так как данный электродвигатель находится на стадии разработки и не сможет в полной мере конкурировать с двигателями, которые на рынке уже достаточно большое время. Таким образом, исходя из представленной выше таблицы,

стоит ориентировать предприятие на сферах, таких как вентиляторные системы и аэростроение на отечественном рынке, а так же конвейерные системы зарубежного рынка. Так же в будущем вполне вероятен выход на остальные рынки, так как данный электродвигатель, с учетом того, что будет выполнен и доведен до логического финала, будет иметь неоспоримое преимущество с конкурентами.

2.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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 (таблица 2.2). 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 1.

$$K = \sum B_i V_i, \text{ где} \quad (1)$$

B_i – балл i -го показателя; V_i – вес i -го показателя; K – конкурентоспособность.

Таблица 2.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надежность	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
2. Уровень шума	0,15	4	3	4	0,6	0,45	0,6
3. Уровень вибраций	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
4. Вес	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
5. Уровень автоматизации производства	0,10	5	4	4	0,5	0,4	0,4
6. Соотношение габариты/мощность	0,15	4	3	3	0,6	0,45	0,45
7. Безопасность	0,10	3	4	4	0,3	0,4	0,4
8. Отсутствие потребности в регулярном ТО	0,10	4	3	4	0,4	0,3	0,4
9. Удобство в эксплуатации	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
10. Комплектация	0,05	3	4	5	0,15	0,2	0,25
Итого	1				4,15	3,6	4,05
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,50	4	4	4	2,0	2,0	2,0
2. Цена	0,20	4	4	4	1,0	1,0	1,0
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,30	5	4	4	1,5	1,2	1,2
Итого	1				4,5	4,2	4,2

Для оценочного сравнения разработки, рассмотренной в ВКР, взяты две фирмы, а именно: АО НПЦ «Полюс» (отечественный производитель) – к1; «BVN Ventilation system & electrical motors» (зарубежный производитель) – к2.

Исходя из данных таблицы 1 можно заметить, что данная разработка конкурентно способна по техническим и экономическим критериям как с отечественным производителем, так и с зарубежным, что немаловажно для сегодняшнего рынка. Конкурентоспособность по техническим критериям каждого составила 4,15, 3,6, 4,05 для разработки в ВКР, «Полюс» и «BVN Ventilation system & electrical motors» соответственно, по экономическим – 4,5, 4,2, 4,2 соответственно.

Основные преимущества разработки заключаются в сниженных показателях шума и вибрации, так как для этого внедрены специальные технологические конструкции. Так же высокая технологичность конструкции и комплектующих позволяет полностью автоматизировать процесс производства, чем не могут похвастаться конкуренты. Из-за отсутствия контактной группы, которая требует частый ремонт, срок бесперебойной эксплуатации выше, чем у конкурентов. Массив Halbach, который применен в разработке, позволил существенно сократить массогабаритные параметры двигателя, таким образом, можно производить двигатель с той же мощностью, но меньшим по размерам или с теми же размерами, но более мощный.

Уязвимость представленных конкурентов обусловлена рядом критериев, такими как: соотношение габариты/мощность, уровень автоматизации, уровень шума и вибраций, а так же автоматизация процесса производства.

2.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины некоторых групп показателей, которые представлены в таблице 2.3.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 2.3 – Оценочная карта качества и перспективности

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	
Показатели оценки качества разработки					
1. Энергоэффективность	0,05	70	100	0,70	0,035
2. Надежность	0,08	90	100	0,90	0,072
3. Уровень шума	0,10	85	100	0,85	0,085
4. Уровень вибраций	0,10	85	100	0,85	0,085
5. Безопасность	0,05	80	100	0,80	0,040
6. Простота эксплуатации	0,02	75	100	0,75	0,015
7. Ремонтопригодность	0,10	90	100	0,90	0,090
8. Унифицированность	0,10	90	100	0,90	0,090
9. Долговечность	0,10	90	100	0,90	0,090
10. Эргономичность	0,03	80	100	0,80	0,024
11. Материалоемкость производства	0,02	70	100	0,70	0,014
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
12. Конкурентоспособность	0,07	85	100	0,85	0,0595
13. Перспективность рынка	0,05	80	100	0,80	0,040
14. Цена	0,03	60	100	0,60	0,018
15. Финансовая эффективность научной разработки	0,05	70	100	0,70	0,035
16. Послепродажное обслуживание	0,05	70	100	0,70	0,035
Итого					0,828

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле 2.

$$P_{cp} = \sum V_i B_i, \quad (2)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки; V_i – вес критерия (в долях единицы); B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Таким образом, величина качества и перспективности равна 0,83. Данное значение входит в промежуток от 0,80 до 1, то есть разработка

считается перспективной. Следовательно можно сделать вывод о больших инвестициях в проект, что очень важно для старта производства и выхода на рынок.

2.1.4 SWOT-анализ

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

Данный анализ проводится в несколько этапов.

В первом этапе опишем сильные и слабые стороны проекта, выявим возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут проявиться во внешней среде проекта. Дадим краткое определение каждого из вышеперечисленного понятия.

Сильные стороны – это характеристики или факторы решения, показанные в ВКР, которые дают преимущество перед конкурентами, а именно то, что привлекательно для потребителя.

Слабые стороны – это недостатки, недоработки и упущение в проекте, которое пагубно влияют на конкурентоспособность.

Возможности – это ситуации внешней среды, которые способствуют росту спроса на товар, изменение или предполагаемую потребность, и все это в свою очередь помогает проекту укрепить свою конкурентную позицию.

Угроза – любая нежелательная ситуация, которая может повлечь за собой снижение спроса на товар ил вовсе отмену проекта.

В результате получили следующие данные:

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:

- Отсутствие щеточно-коллекторного узла;
- Применение нового физического принципа, который позволил увеличить мощность и уменьшить габариты;
- Пониженные вибро-шумовые характеристики;
- Использование более сильных магнитов, чем у конкурентов;
- Полная автоматизация всех процессов производства в отличие от старых типов двигателей;
- Квалифицированный персонал;
- Более низкий вес за счет отсутствия магнитопроводов;
- Унификация всех комплектующих;
- Наиболее эффективное охлаждение обмоток статора.

Слабые стороны научно-исследовательского проекта:

- Отсутствие опытного образца;
- Проектирование не завершено;
- Отсутствие оборудования для проведения тестовых испытаний;
- Стоимость неодимовых магнитов выше, чем ферритовых;
- Недостаток расчетной базы основных характеристик.

Угрозы:

- У1. Таможенные пошлины на зарубежные материалы и комплектующие;
- У2. Развитая конкуренция;
- У3. Несвоевременное финансирование исследования;
- У4. Повышение арендной стоимости помещений;
- У5. Увеличение стоимости труда квалифицированных специалистов.

Возможности:

- В1. Уменьшение себестоимости за счет оптовых закупок материалов и комплектующих;
- В2. Уменьшение стоимости производства неодимовых магнитов за счет совершенствования технологии;
- В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;
- В4. Появление дополнительного спроса на морально новую разработку;
- В5. Улучшение конструкции разработки за счет привлечение молодых специалистов с томских ВУЗов;
- В6. Сокращение стоимости доставок за счет сотрудничества с местными заводами и предприятиями;
- В7. Государственное финансирование новых разработок.

Вышеперечисленные особенности наглядно показывает возможности и риски проекта, а так же указывает на те элементы и параметры, которые требуют доработки.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица представлена в таблицах 2.4-7.

Таблица 2.4 – Интерактивная матрица проекта сильных сторон и возможностей

	Сильные стороны проекта									
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Возможности проекта	B1	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	B2	-	0	-	-	-	+	-	-	-
	B3	-	-	-	-	+	+	-	+	-
	B4	-	+	+	+	-	0	-	-	0
	B5	-	-	-	-	-	+	-	0	-
	B6	-	-	-	-	0	-	-	+	-
	B7	-	+	-	-	-	-	+	-	+

Таблица 2.5 – Интерактивная матрица проекта сильных сторон и угроз

	Сильные стороны проекта									
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Угрозы проекта	У1	-	-	-	+	-	-	-	0	-
	У2	-	-	-	-	-	0	-	-	-
	У3	-	-	-	+	-	+	-	-	-
	У4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	У5	-	-	-	-	-	+	-	-	-

Таблица 2.6 – Интерактивная матрица проекта слабых сторон и возможностей

	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Угрозы проекта	B1	-	+	-	-	0
	B2	-	-	0	-	+
	B3	-	+	-	-	-
	B4	+	+	-	-	-
	B5	+	-	-	-	-
	B6	-	+	-	-	-
	B7	-	-	-	+	-

Таблица 2.7 – Интерактивная матрица проекта слабых сторон и угроз

	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
Угрозы проекта	У1	-	-	-	+	-
	У2	+	-	-	-	+
	У3	-	-	+	+	-
	У4	-	+	-	-	-
	У5	-	-	-	-	+

На третьем этапе составляется таблица SWOT анализа (таблица 2.8), состоящая из данных, которые были на первом и втором этапе.

Таблица 2.8 – SWOT анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Отсутствие щеточно-коллекторного узла;</p> <p>С2. Применение нового физического принципа, который позволил увеличить мощность и уменьшить габариты;</p> <p>С3. Пониженные вибро-шумовые характеристики;</p> <p>С4. Использование более сильных магнитов, чем у конкурентов;</p> <p>С5. Полная автоматизация всех процессов производства в отличии от старых типов двигателей;</p> <p>С6. Квалифицированный персонал;</p> <p>С7. Более низкий вес за счет отсутствия магнитопроводов;</p> <p>С8. Унификация всех комплектующих;</p> <p>С9. Наиболее эффективное охлаждение обмоток статора.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие опытного образца;</p> <p>Сл2. Проектирование не завершено;</p> <p>Сл3. Отсутствие оборудования для проведения тестовых испытаний;</p> <p>Сл4. Стоимость неодимовых магнитов выше, чем ферритовых;</p> <p>Сл5. Недостаток расчетной базы основных характеристик.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Таможенные пошлины на зарубежные материалы и комплектующие;</p> <p>У2. Развитая конкуренция;</p> <p>У3. Несвоевременное финансирование исследования;</p> <p>У4. Повышение арендной стоимости помещений;</p> <p>У5. Увеличение стоимости труда квалифицированных специалистов.</p>	<p>Результат анализа интерактивной матрицы (таблица2.5):</p> <p>У1С4;</p> <p>У3С4С6;</p> <p>У5С6.</p>	<p>Результат анализа интерактивной матрицы (таблица2.7):</p> <p>У1Сл4;</p> <p>У2Сл1Сл5;</p> <p>У3Сл3Сл4;</p> <p>У4Сл2;</p> <p>У5Сл5;</p>

Продолжение таблицы 2.8

Возможности:	Результат анализа	Результат анализа
<p>В1. Уменьшение себестоимости за счет оптовых закупок материалов и комплектующих;</p> <p>В2. Уменьшение стоимости производства неодимовых магнитов за счет совершенствования технологии;</p> <p>В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В4. Появление дополнительного спроса на морально новую разработку;</p> <p>В5. Улучшение конструкции разработки за счет привлечение молодых специалистов с томских ВУЗов;</p> <p>В6. Сокращение стоимости доставок за счет сотрудничества с местными заводами и предприятиями;</p> <p>В7. Государственное финансирование новых разработок.</p>	<p>Результат анализа интерактивной матрицы (таблица2.4): В1С8; В2С6; В3С5С6С7; В4С2С3С4; В5С6; В6С8; В7С7С9.</p>	<p>Результат анализа интерактивной матрицы (таблица2.6): В1В3В6Сл2; В2Сл5; В4Сл1Сл2; В5Сл1; В7Сл4;</p>

Данный анализ позволяет выявить степень необходимости проведения стратегических изменений, а также эти результаты можно использовать при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

2.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Если разработка находится на предпроектной или начальной стадии разработки, то рекомендуется использовать морфологический подход.

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес.

Данный метод выполняется в несколько этапов.

На первом этапе необходимо выяснить и сформулировать проблему исследования. Для нашего случая, необходимо спроектировать электродвигатель, который будет обладать сниженными виброшумовыми характеристиками, а так же с минимальными массогабаритными параметрами.

На втором этапе необходимо выделить узловые точки, или другими словами морфологические характеристики объекта исследования. Для нашего случая можем выделить следующие узлы проектируемого электродвигателя:

- Статор;
- Ротор;
- Опора вала;
- Средство виброгашения;
- Узел соединения вала с рабочим колесом;
- Датчик положения ротора;
- Охлаждение.

На третьем этапе раскроем возможные варианты выполнения каждого узла, представленных выше. Таким образом, получим морфологическую матрицу, которая представлена в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Морфологическая матрица электродвигателя

	1	2	3	4
А. Статор	С печатной радиальной обмоткой	С печатной круговой обмоткой	С электромагнитами	С намоткой проводами
Б. Ротор	С массивом Halbach	С двойным массивом Halbach	С ферритовыми магнитами	С неодимовыми магнитами
В. Опора вала	Подшипники качения	Подшипники скольжения	Электромагнитный подвес	Газостатический подвес
Г. Средство виброгашения	Каскад амортизаторов	Резиновые втулки для подшипников	Вибродемпфирование	Без виброгашения
Д. Узел соединения вала с рабочим колесом	Фасонное соединение	Шпоночное соединение	Установочный винт	Соединение штифтом
Е. Датчик положения ротора	Магнитоиндукционный	Магнитоэлектрический	Оптоэлектрический	
Ж. Охлаждение	Принудительное охлаждение	Перфорация корпуса	Радиаторные ребра	Без средств охлаждения

На четвертом этапе необходимо на основе морфологической матрицы (таблица 8) выбрать наиболее желательные, функционально выгодные решения. Для нашего случая наиболее выгодны и целесообразны следующие решения: А1Б1В1Г2Д2Е2Ж3; А4Б2В2Г1Д3У3Ж1; А3Б4В3Г2Д1У2Ж2.

2.3 Планирование научно-исследовательских работ

Для оптимизации процесса выполнения научно-исследовательской работы, а так же эффективного использования времени, необходимо создать календарный рейтинг-план. Он не только позволит повысить качество работ, но и поможет проводить контролирующие мероприятия. Рейтинг-план ВКР представлен в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Календарный план-график выполнения ВКР

№ п/п	Вид работ	Длительность в календарных днях	Продолжительность выполнения работ													
			Февр.		Март			Апрель			Май			Июнь		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Формулировка и утверждение темы	1														
2	Анализ актуальности и новизны темы проекта	2														
3	Календарное планирование работ	2														
4	Поиск и изучение теоретического материала исследования	21														
5	Обзор научной литературы по теме	21														
6	Анализ используемых средств и методов для проектирования двигателей	14														
7	Выбор конструкторско-кинематической схемы	2														
8	Разработка сборочного чертежа	21														
9	Разработка 3D модели	21														
10	Написание дополнительных глав ВКР	14														
11	Заключение	3														
12	Предзащита	1														
13	Корректировка ВКР по результатам обсуждения на предзащите	5														

– Научный руководитель; – студент.

Глава III Социальная ответственность

3.1 Производственная безопасность

В данном пункте проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при эксплуатации объекта исследования, а именно электродвигателя постоянного тока. Факторы сведены и показаны в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Опасные и вредные факторы при эксплуатации электродвигателя постоянного тока

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015 [5])		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работы на объекте: 1. Монтаж/демонтаж электродвигателя; 2. Подключение электродвигателя к сети электропитания; 3. Эксплуатация электродвигателя по назначению; 4. Обслуживание и ремонт электродвигателя.	1. Превышение уровней шума и вибрации; 2. Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; 3. Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов.	1. СанПиН 2.2.43359-16 [6]; 2. СП 2.2.2.1327-03 [7]; 3. ГОСТ 12.1.038-82 [8]; 4. СН 2.2.4-2.1.8.566-96 [9]; 5. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [10]; 6. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [11].

Далее рассмотрим каждый фактор более подробно.

3.1.1 Превышение уровней шума и вибрации

Повышенный уровень шума и вибрации имеет один источник возникновения. А именно подвижные части двигателя, которые в следствии движения в соприкосновении с другими неподвижными частями двигателя, которые в свою очередь имеют макро и микро неровности, создают вибрации. Вибрации способны передаваться от части к части двигателя и следовательно

на смежное оборудование, с которыми может контактировать человек. Шум, в частности имеющий природу вибродвижений масс воздуха, возникает так же от подвижных частей оборудования.

На рабочем месте нормируются следующие показатели шума:

- Эквивалентный уровень шума А за рабочую смену;
- Максимальные уровни звука А, измеренные с временными коррекциями S и I;
- Пиковый уровень звука С.

Превышение любого из вышеперечисленного параметра, является превышение ПДУ.

Максимальные уровни звука А, измеренные с временными коррекциями S и I, не должны превышать 110 дБА и 125 дБА соответственно. Пиковый уровень звука С не должен превышать 137 дБС.

По СанПиН 2.2.4.3359-16 «Для отдельных отраслей (подотраслей) экономики допускается эквивалентный уровень шума на рабочих местах от 80 до 85 дБА при условии подтверждения приемлемого риска здоровью работающих по результатам проведения оценки профессионального риска здоровью работающих, а также выполнения комплекса мероприятий, направленных на минимизацию рисков здоровью работающих.»

Для минимизации воздействия шума на организм человека целесообразно применять средства индивидуальной защиты, такие как противοшумные наушники, беруши. А так же средства коллективной защиты, такие как звукоизолирующие и звукопоглощающие кожухи, акустические экраны, облицовки, создание шумозащищенных зон и так далее.

На рабочем месте нормируются показатель вибрации, такой как эквивалентное скорректированное виброускорение за рабочую смену. Норма локальной вибрации по СанПиН 2.2.4.3359-16 составляет 126 дБ или $2,0 \text{ м/с}^2$, для общей вибрации это значение не должно превышать 115 дБ или $0,56 \text{ м/с}^2$ для первой категории вибрации, 109 дБ или $0,28 \text{ м/с}^2$ для второй категории, 100 дБ или $0,1 \text{ м/с}^2$ для 3а, 92 дБ или $0,04 \text{ м/с}^2$ для 3б, 83 дБ или $0,014 \text{ м/с}^2$ для 3в.

Для сведения до минимума влияние вибрации на организм человека, необходимо использовать СИЗ, такие как защитные перчатки, рукавицы, специальная виброзащищенная обувь или стельки. А так же и средства коллективной защиты, например вибродемпфирование, виброизоляция рабочих мест.

3.1.2 Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования

Острые кромки, заусенцы и шероховатости на оборудовании и инструментах появляются вследствие обработки поверхностей для получения необходимой формы и размеров.

Необработанные или недостаточно обработанные углы металлов и других материалов и поверхностей могут нести опасность для жизни и здоровья работающих. Поэтому необходимо использовать защитную одежду и обувь, специальные кожухи и ограждения.

3.1.3 Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования

Электродвигатель – это оборудование, которое имеет в составе движущиеся части, которые несут опасность для рабочих, при несоблюдении техники безопасности или неправильной эксплуатации.

Для того, чтобы обеспечить безопасность работы с оборудованием, имеющим вращающиеся или движущиеся механизмы, необходимо использовать ограждения, системы автоматического отключения двигателя при попадании в рабочую область постороннего предмета, а так же средства индивидуальной защиты, такие как специальная одежда с манжетами на рукавах.

3.1.4 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Электрические машины работают от сети электропитания, поэтому при аварийной или штатной ситуации есть вероятность замыкания электрической цепи через человека, которое может привести к травмам или смерти.

Нормируется предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 3.2 [8].

Таблица 3.2 – Максимальные значения напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека

Род тока	U, В	I, mA
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Для предотвращения пагубного влияния напряжения и тока на человека, необходимо использовать диэлектрические боты и перчатки, изолирующие коврики и подставки, заземление оборудования, предупреждающие таблички.

3.1.5 Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов

Из-за теплонагруженных элементов электродвигателя, таких как обмотки статора и/или ротора, тепло передается на корпус машины, тем самым нагревая его. Прикосновение незащищенным участком кожи может привести к ожогам разной степени.

Для того, чтобы обеспечить минимизацию термического воздействия нагретых частей электродвигателя на человека, необходимо использовать защитные рукавицы и спец одежду, а так же защитные кожухи и экраны.

3.2 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.

Электродвигатель работает непосредственно от сети электропитания. Это несет дополнительную нагрузку на сеть и электростанции, которые с каждым годом вынуждены повышать производительность и мощность. Так как такие станции используют различные топлива, которые в свою очередь загрязняют окружающую среду после отработки своего ресурса, необходим поиск и использование альтернативных экологически чистых источников электрической энергии. Во многих странах используются такие альтернативные источники, как ветряные мельницы, солнечные панели и водяные мельницы.

В данном электродвигателе используются неодимовые магниты, технический процесс производства которого довольно сложный и долгий. При изготовлении такого магнита образуются отходы, которые необходимо утилизировать по специальным инструкциям.

При эксплуатации электродвигателя возможны влияния на окружающую среду, такие как вибрации, выброс тепла, шум, а так же попадание масел в гидросферу. Для минимизации влияния факторов вибрации, шума и избыточного тепла, необходимо использовать специальные экранирующие средства, а так же средства охлаждения и шумопоглощения. Для исключения выброса смазочных материалов в гидросферу, необходимо эксплуатировать электрическую машину согласно соответствующим инструкциям.

Стоит заметить, что электрические двигатели являются на порядок более экологичные, чем другие типы двигателей.

При анализе жизненного цикла электродвигателя, показанного на рисунке 3.1, можно утверждать, что максимальный вред окружающей среде будет нанесен на этапах производства и утилизации.

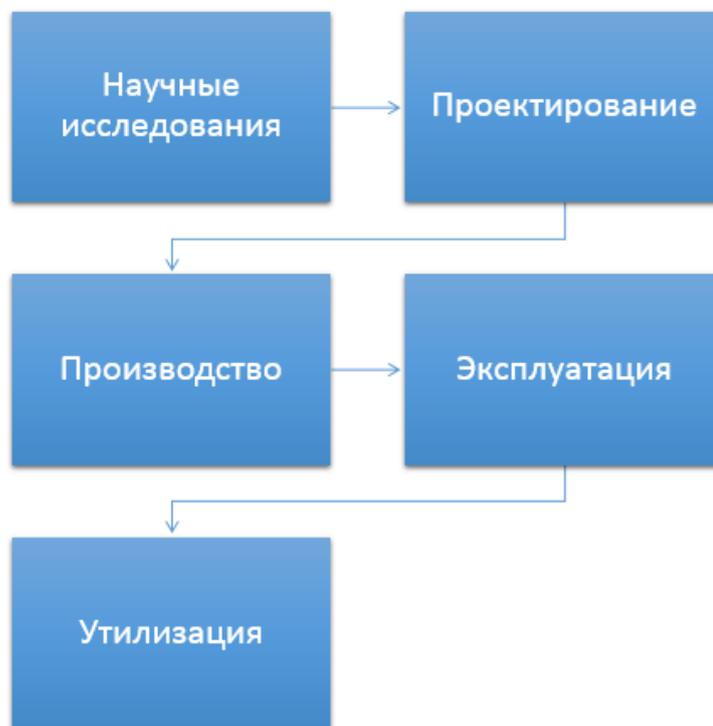


Рисунок 3.1 – Жизненный цикл электродвигателя

На этапе производства наибольшую экологическую опасность несет выплавка деталей и компонентов электродвигателя. Эти процессы требуют затраты большого количество энергии невозобновляемых ресурсов.

Так как большинство составляющих конструкции состоят из металлов и их сплавов, на этапе утилизации есть возможность отправить выработавший ресурс двигатель на переработку для вторичного использования материалов.

3.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данном подразделе рассматриваются вероятные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

При разработке электродвигателя возможно возникновение чрезвычайной ситуации, а именно пожара, так как производство включает в себя работу с сильно нагретыми материалами и инструментами, а именно при выплавки корпуса, летящая горячая стружка при обработки на фрезерном и токарном станках, пайка схем и прочее.

Для того, чтобы избежать пожара, необходимо произвести следующие мероприятия:

- Обучение, в том числе распространение знаний пожаробезопасности среди сотрудников;
- Обеспечение переносными средствами пожаротушения в помещении;
- Установка автоматических систем пожаротушения;
- Установка защитных теплостойких экранов в местах термообработки материалов и изделий.

Так же для предупреждения пожара необходимо следовать правилам пожарной безопасности, которые регламентированы в ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования».

При возникновении пожара необходимо эвакуировать персонал и при возможности локализовать горение с помощью ручных огнетушителей или других средств. Так же необходимо знать, что при горении электрооборудования или проводки, необходимо использовать углекислотные или порошковые огнетушители.

3.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

3.4.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Правовой основой законодательства в области обеспечения безопасности жизнедеятельности, в том числе и в техносфере, является Конституция – основной закон государства. Законы и иные правовые акты, принимаемые в Российской Федерации, не должны ей противоречить.

Другими источниками права в области обеспечения безопасности жизнедеятельности в техносфере являются:

- Федеральные законы;
- Указы Президента Российской Федерации;
- Постановления Правительства Российской Федерации;
- Приказы, директивы, инструкции, наставления и другие нормативные акты министерств и ведомств;
- Правовые акты субъектов Российской Федерации и муниципальных образований (указы, постановления):
- Приказы (распоряжения) руководителя.

3.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Государственный надзор и контроль в организациях осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

Законодательством РФ регулируются отношения между организацией и работниками, касающиеся оплаты труда, трудового распорядка, социальных отношений, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и др.

Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Для работников до 16 лет – не более 24 часов в неделю, от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы. Для работников,

работающих на местах, отнесенных к вредным условиям труда 3 и 4 степени – не более 36 часов.

Организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Работнику в течение рабочего дня должен предоставляться перерыв не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Всем работникам предоставляются выходные дни, работа в выходные дни производится только с письменного согласия работника.

3.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рабочее место при эксплуатации электродвигателя необходимо оборудовать исходя из соображений техники безопасности.

Вблизи электродвигателя необходимо установить кнопку аварийного отключения питания. Открытые вращающиеся части электродвигателя необходимо огородить. Для монтажа, разборки, сборки и починки электродвигателей необходимо предусмотреть передвижное или стационарное специализированное место. Территорию вблизи электродвигателей необходимо оборудовать средствами пожаротушения. Также необходимо повесить предупреждающие таблички. Для предупреждения поражения электрическим током, провести заземление электродвигателя. Также на рабочем месте не должны находиться лишние, не имеющие отношение к эксплуатации электродвигателя, приборы и инструменты. В рабочей зоне необходимо обеспечить достаточную освещенность.

Заключение

В результате выполнения данной ВКР был спроектирован электродвигатель, обладающий улучшенными виброшумовыми характеристиками и массогабаритными показателями, чем электрическая машина соответствующей мощности, находящаяся в эксплуатации на сегодняшний день.

Для достижения этих показателей был применен физический эффект, называемый магнитной сборкой Халбах. Он позволил значительно уменьшить габаритные размеры и увеличить мощность двигателя.

Так же была рассмотрена коммерческая значимость и конкурентоспособность разработки, что позволяет оценить ее рентабельность, способность выхода на рынок и возможность привлечения инвестиций в проект для его реализации.

В ходе работы были выявлены вредные факторы, которые могут воздействовать на природу и человека на различных стадиях жизненного цикла разработанного электродвигателя.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что поставленные задачи были в полной мере решены.

В дальнейшей работе представляется возможным улучшить показатели разработки, путем применения дополнительных технических решений, таких как магнитный подвес с эффектом сборки Халбах, применение новых более технологичных материалов, использование каскадов амортизации и демпфирования, усовершенствованием конструкторско-кинематической схемы.

Данный проект имеет не только большую экономическую значимость, но и социальную. Ведь при использовании технических решений, изложенных в ВКР, представляется возможным снизить пагубное влияние вибрации и шума на здоровье человека, тем самым повысить качество жизни и труда.

Список публикаций студента

1. Шарпаев И.В., Куприянова У.Е. Источники шума вентиляторов и методы борьбы с ними // Студенческий научный форум [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.scienceforum.ru/2017/2358/33821>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Куприянова У.Е., Шарпаев И.В. Малошумные двигатели для системы жизнеобеспечения подвижных объектов // Студенческий научный форум [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://www.scienceforum.ru/2018/3034/4730>, свободный. – Загл. с экрана.

Список использованных источников

1. Цзе Ф.С., Морзе И.Е., Хинкл Р.Т. Механические колебания. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1966. – 508с.
2. Казанский В.М., Основич Л.Д. Малоинерционные электродвигатели постоянного тока с печатной обмоткой. - М: Изд-во «Энергия», 1965. – 98 с.
3. Electric info. Неодимовые магниты и их использование. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://electrik.info/main/news/984-neodimovye-magnity.html>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Dura Magnetics, Inc. Benefits and Drawbacks to Using Halbach Arrays. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.duramag.com/techtalk/halbach-arrays/benefits-and-drawbacks-to-using-halbach-arrays/>, свободный. – Загл. с экрана.
5. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 16 с.;
6. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.43359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – М.: Минздрав России, 2016. – 69 с.;
7. Свод правил: СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту. – М.: Минздрав России, 2003. – 52 с.;
8. ГОСТ 12.1.038-82. Предельно допустимые значения напряжения и токов. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 7 с.;
9. Санитарные нормы: СН 2.2.4-2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданиях. – М.: Минздрав России, 1996. – 13 с.;
10. Санитарные нормы: СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Минздрав России, 1996. – 15 с.;

11. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ: Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартиформ, 2009. – 32 с.;