

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

Школа – Инженерная школа энергетики

Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение школы (НОЦ) – Отделение электроэнергетики и электротехники

Дипломный проект/работа

Тема работы
ГИСТЕРЕЗИСНЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ВЕРТОЛЕТА

УДК 629.735.4.063

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Н	Якушина Евгения Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов П. Р.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Электромагнитный расчет»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев А.Г.	Д.Т.Н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л. Ю.	К. Э. Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроэнергетика и электротехника	Тютеева П. В.	К.Т.Н., доцент		

Результаты обучения
по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники.
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P5	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.
P8	Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
P9	Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение: Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль: Электрооборудование летательных аппаратов

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

П. В. Тютеева
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Н	Якушиной Евгении Александровне

Тема работы:

Гистерезисный электродвигатель для насосной станции вертолета

Утверждена приказом директора (дата, номер)

14.02.2020 г. № 45-39/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.05.2020

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования являются вопросы проектирования синхронно-гистерезисного электродвигателя мощностью 7,0 кВт в составе вертолетного электрооборудования, с частотой сети $f=400$ Гц, частотой вращения $n=6000$ об/мин; монтажным исполнением ИМ3001 ГОСТ 2479-79; установочные и присоединительные размеры двигателя ГОСТ 18709-73, степень защиты корпуса IP54 ГОСТ14254-2015.

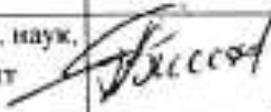
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выявления достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования; проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; комментирование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Особенности конструкции и работы гистерезисного синхронного двигателя • Электромагнитный расчёт; • Разработка и механические расчеты конструкции СГД • Технология общей сборки электродвигателя; • Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; • Социальная ответственность; • Заключение по работе.
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Сборочный чертеж СГД Чертеж вала</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

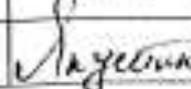
Раздел	Консультант
Основные разделы	Профессор, д.т.н. Гарганеев А.Г., доцент, к.т.н. Баранов П.Р.
Технология производства	Доцент, к.т.н. Баранов П.Р.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент, к.т.н. Спицына Л.Ю.
Социальная ответственность	Ассистент Мезенцева И.Л.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	19.09.2019
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов Павел Рудольфович	канд. техн. наук, доцент		18.09.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Н	Якушина Евгения Александровна		18.09.2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Н	Якушина Евгения Александровна

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электрооборудование летательных аппаратов

Тема ВКР:

Гистерезисный электродвигатель для насосной станции вертолета

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Гистерезисный электродвигатель для насосной станции вертолета

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:

- специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;
- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

- ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ;
- ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ;
- ГОСТ 12.0.003-2015

2. Производственная безопасность:

- 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов
- 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Вредные:

- Отклонение показателей микроклимата;
- Превышение уровня вибрации;
- Превышение уровня шума;
- Недостаточная освещенность рабочей зоны;
- Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зон

Опасные:

- Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия
- Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

3. Экологическая безопасность:

- Источники выбросов в атмосферу;
- Образование сточных вод и отходов.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

- Пожарная безопасность (на предприятии)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Н	Якушина Евгения Александровна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСО-
СБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Н	Якушиной Евгении Александровне

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электрооборудование летательных аппаратов

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта не более 173,4 тыс. руб. Затраты на оплату труда 50 тыс. руб.</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Значение показателя интегральной ресурсоэффективности - не менее 4,5 баллов из 5</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления в социальные нужды – 30%; накладные расходы – 10%;</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Планирование работ и их временных оценок</i>
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Смета затрат на проектирование</i>
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Структура, организация и график проведения этапов НИР</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

*Оценка конкурентоспособности технических решений
Матрица SWOT
Альтернативы проведения НИ
График проведения и бюджет НИ
Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л. Ю.	К. Э. Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Н	Якушина Е. А.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 72 страниц, таблиц 19, 15 иллюстрации, 28 использованных источников, 3 листа графического материала.

Ключевые слова: гистерезисный электродвигатель, синхронный двигатель, электрооборудование и электротехника, летательные аппараты, насосная станция.

Объектом проектирования является гистерезисный двигатель для насосной станции вертолета.

В процессе работы спроектирован синхронный гистерезисный двигатель для насосной станции вертолета. Выбраны главные размеры, рассчитаны обмотка статора, ротор, магнитная цепь, потери, рабочие характеристики, произведен механический расчет вала и тепловой расчет двигателя. Также разработан технологический процесс общей сборки ГД рассчитаны экономические показатели спроектированного двигателя, оценена безопасность и экологичность проекта. Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 20016, расчеты выполнены в системе компьютерной алгебры MathCAD 14, чертежи в графическом редакторе AutoCad 2016.

В результате исследования спроектирован синхронный гистерезисный электродвигатель для насосной станции вертолѐта.

Основные технико-эксплуатационные характеристики: Напряжение питания инвертора, ток двигателя номинальный, максимальный ток, частота питания, фаза по напряжению переднего фронта, фаза по напряжению заднего фронта, кратность импульса перевозбуждения.

Степень внедрения: ВКР выполнена по заданию отделения «Электроэнергетики и электротехники»

Область применения: гидравлическая система вертолѐта.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Подраздел «Нормативные ссылки»

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1 ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ; Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

2 ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

3 ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

4 ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

5 ГОСТ 12.2.009-99 Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности.

6 ГОСТ 12.4.026-2015 Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний.

7 ГОСТ 10160-75 Сплавы прецизионные магнитно-мягкие. Технические условия (с Изменениями N 1-4, с Поправкой).

8 ГОСТ 2310-77 Молотки слесарные стальные.

9 ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений;

10 ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Подраздел «Определения»

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

гистерезисный материал: магнитотвердый материал, обладающий высоким значением коэрцитивной силы.

втягивание в синхронизм: вращение ротора с частотой равной частоте вращения магнитного поля статора.

технологический процесс: часть производственного процесса, содержащая действия по изменению состояния предмета труда.

технологическая карта: Стандартизированный документ, содержащий необходимые сведения, инструкции для персонала.

ресурсоэффективность: Способность минимально возможными усилиями достигать максимальных результатов.

ресурсосбережение: Система мер по обеспечению рационального использования ресурсов.

социальная ответственность: Ответственность перед людьми и данными им обещаниями (обязательствами)

Содержание

Введение.....	12
1. Особенности конструкции и работы гистерезисного синхронного электродвигателя.	14
2. Электромагнитный расчет.....	19
2.1. Выбор главных размеров	20
2.2. Определение числа пазов сердечника статора, числа витков и выбор провода обмотки статора.....	21
2.3. Расчёт размеров зубцовой зоны сердечника статора	25
2.4. Параметры обмотки статора.....	26
2.5. Расчёт магнитной цепи и параметров намагничивания контура.....	28
2.6. Расчет потерь.....	29
2.7. Рабочие характеристики	30
2.8. Тепловой расчет обмотки статора для установившегося режима работы	33
3. Разработка и механические расчеты конструкции СГД.....	35
3.1. Механический расчет вала	35
3.2. Выбор подшипников.....	39
4. Технология общей сборки электродвигателя.....	41
4.1. Анализ конструкции электрической машины на технологичность	41
4.2. Составление схемы сборки и разработка маршрутной технологии сборки электрической машины	42
4.3. Выбор сборочного оборудования, инструмента для сборки и испытаний электрической машины	43
4.4. Нормирование сборочных работ	44
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	48
5.1. Потенциальные потребители результатов исследования	49
5.2. Анализ конкурентных технических решений	49
5.3. Технология QuaD	51

5.4. SWOT – анализ.....	53
5.5. Планирование работ и их временная оценка.....	57
5.6. Смета затрат на проектирование.....	60
5.6. Сравнительный анализ.....	64
5.7. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	64
6. Социальная ответственность.....	65
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	66
6.2. Производственная безопасность.....	67
6.3. Экологическая безопасность.....	74
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	75
Выводы по разделу.....	77
Заключение по работе.....	78
Список используемой литературы.....	80
Приложение.....	83

Графический материал

ФЮРА-525622.017.СБ Синхронный гистерезисный двигатель Сборочный
чертеж

ФЮРА-71524.001 Вал

Введение

Гидравлические системы современных летательных аппаратов обеспечивают работу значительного числа потребителей, поэтому система электродвигатель – насосная станция является неотъемлемой частью функциональной системы, в том числе системы управления летательным аппаратом. Для питания насосных станций могут использоваться асинхронные и синхронные электродвигатели переменного трехфазного тока.

К электродвигателям, используемых в приводе летательных аппаратов, предъявляются следующие критерии:

- Высокая надежность,
- Нормальная работа в условиях повышенной разреженности воздуха,
- Малые массогабаритные размеры.

Согласно представленным выше критериям, использование машин постоянного тока ограничено. Коммутация с применением щёточно-коллекторного узла сопровождается искрением, а разреженный воздух ухудшает протекание коммутации. Коммутации синхронных машин так же происходит по средствам щеточно-коллекторного узла, кроме того машины данного типа нуждаются в источнике постоянного напряжения, выступающего в качестве возбудителя. Однако, гистерезисный двигатель представляет собой бесконтактный электродвигатель синхронного типа с самовозбуждением, вращающий момент которого возникает благодаря явлению магнитного гистерезиса (перемагничивания). Таким образом, данный двигатель не нуждается в дополнительном источнике питания, его массогабаритные показатели меньше по сравнению с синхронными машинами, лишён щеточно-коллекторного узла, разрежение воздуха окружающей среды не влияет на коммутацию двигателя. Из этого следует, что данный двигатель соответствует основным требованиям, выдвигаемым электроприводу летательных аппаратов.

Гистерезисные двигатели (ГД) обладают следующими достоинствами:

- высокий пусковой момент и плавный вход в синхронизм;
- устойчивая работа в асинхронном режиме;

- симметричность конструкции, что позволяет упростить балансировку, особенно при высоких частотах вращения;
- бесшумность;
- простота конструкции и высокая надежность [17].

Главными недостатками ГД является низкий уровень энергетических характеристик и склонность ротора к качаниям. Для совершенствования работы ГД применяют различные способы и устройства перевозбуждения материала ротора.

Целью моей работы является, проектирование синхронного гистерезисного двигателя для насосной станции вертолета со следующими исходными данными:

- выходная мощность – 7,0 кВт,
- частота сети $f=400$ Гц,
- частота вращения $n=6000$ об/мин;
- монтажное исполнение ИМ3001 ГОСТ 2479-79;
- установочные и присоединительные размеры двигателя ГОСТ 18709-73,
- степень защиты корпуса IP54 ГОСТ14254-2015.

1. Особенности конструкции и работы гистерезисного синхронного электродвигателя.

Статор гистерезисного двигателя аналогичен по конструкции статору асинхронной машины, в пазах которой распределена трехфазная обмотка. Для уменьшения влияния зубцовых гармоник на эффективность работы машины, пазы выполняются полузакрытыми.

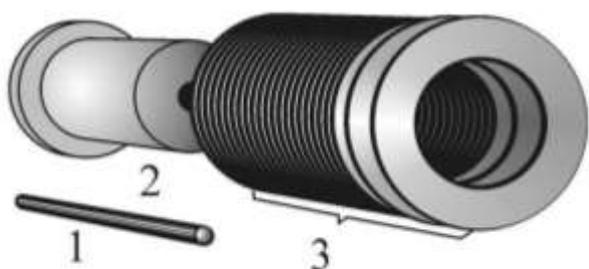


Рисунок 1.1 – ротор СГ
1 – вал, 2 – немагнитная втулка,
3 – активный слой

Особенность материала ротора заключается в том, что по своим магнитным свойствам (величине остаточной намагниченности и коэрцитивной силе) находится в промежуточном положении между магнитомягкими сталями, используемыми в сердечниках статоров, и магнитотвердыми – постоянных магнитах. Данное свойство позволяет намагнитить и перемагнитить материал ротора в магнитном поле статора.

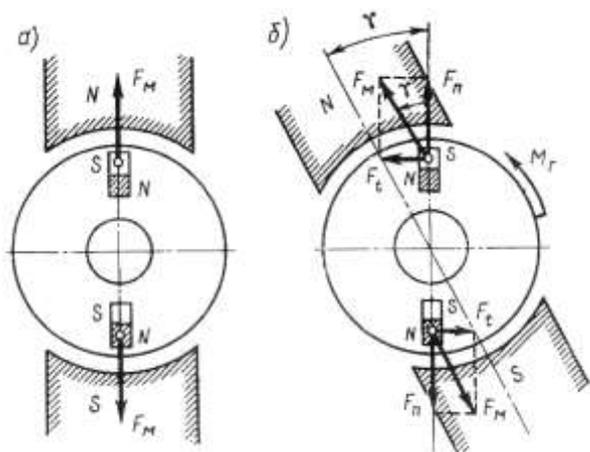


Рисунок 1.2 – принцип действия

При включении обмотки статора ГД в сеть переменного тока в обмотке статора создаётся вращающееся магнитное поле. Под действием этого поля магнитные домены активного материала, изначально находившиеся в хаотичном положении, начинают выстраиваться согласно направлению магнитного поля, действующего на них, создавая собственную намагниченность ротора. При смещении поля статора выстроенные по полю домены ротора начинают изменять своё положение согласно полю статора, но делают это с некоторым запозданием на угол γ

пазы выполняются полузакрытыми.

Ротор ГД представляет собой цилиндр. Для уменьшения стоимости ротора, активный гистерезисный слой выполняют в форме полого цилиндра и закрепляют на цилиндрической втулке (рисунок 1.1), выполненной из немаг-

нитных материалов. Особенность материала ротора заключается в том, что по своим магнитным свойствам (величине остаточной намагниченности и коэрцитивной силе) находится в промежуточном положении между магнитомягкими сталями, используемыми в сердечниках статоров, и магнитотвердыми – постоянных магнитах. Данное свойство позволяет намагнитить и перемагнитить материал ротора в магнитном поле статора.

При включении обмотки статора ГД в сеть переменного тока в обмотке статора создаётся вращающееся магнитное поле. Под действием этого поля магнитные домены активного материала, изначально находившиеся в хаотичном положении, начинают выстраиваться согласно направлению магнитного поля, действующего на

(рисунок 1.2б) из-за межкристаллического доменного трения. Преодолевая межкристаллическое трение домены продолжают следовать за вращающимся магнитным полем статора без отставания, приводя в движение тело ротора. В результате возникающей тангенсальной составляющей силы взаимодействия статора и ротора возникает гистерезисный момент [17]:

$$M = c\Phi_p F \sin\gamma, \quad (1.1)$$

где Φ_p и F - соответственно поток, обусловленный намагниченностью ротора, и магнитодвижущая сила статора; c - постоянный коэффициент.

Независимо от нагрузки ротор будет ускорять и при достижении синхронной скорости относительно поля статора «войдёт в синхронизм». Гистерезисный угол γ теперь приобретает значение угла нагрузки. Но его максимальное значение в 2-3 раза меньше значения угла $\pi/2$ неявнополюсного синхронного двигателя. Таким образом, при синхронной и асинхронной угловой скорости вращения ротора вращающий момент будет иметь единую «природу» возникновения и не зависит от скорости вращения ротора.

Форма петли гистерезиса определяет закон изменения напряженности поля активного слоя ротора от времени и при заданном изменении индукции. Кроме того, значение угла γ так же определяется петлёй гистерезиса (рисунок 1.3). Учитывая, что момент в двигателе определяется взаимодействием первых гармонических составляющих двигателя, то гистерезисной угол эквива-

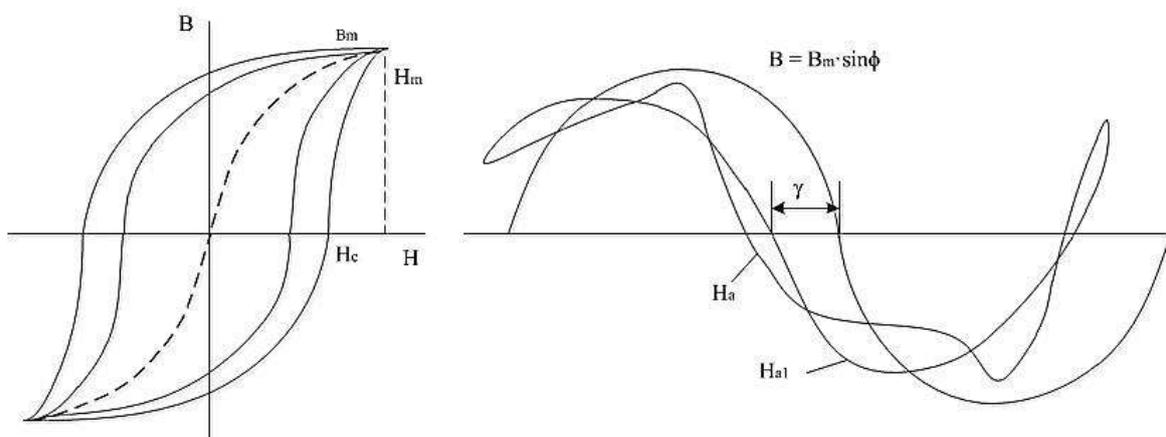


Рисунок 1.3 – Определение угла γ по петле гистерезиса

лентен углу между первыми гармониками индукции B и напряженности H_{a1} поля ротора. Так как характеристики магнитотвердых материалов нелинейны, то при синусоидальном характере $B(t)$, $H(t)$ будет иметь несинусоидальный характер и наоборот.

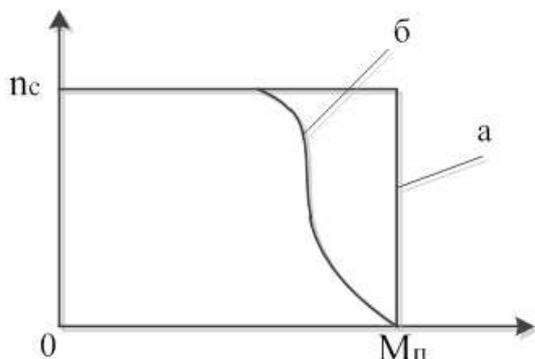


Рисунок 1.4 – механическая характеристика

Механическая характеристика реального ГД отличается от идеального тем, что имеет асинхронный участок (рисунок 1.4 б), возникающий благодаря моменту, вызванному вихревыми токами. Чтобы уменьшить это влияние активная часть ротора выполняется

шихтованной.

ГД обладает низкими энергетическими показателями, это вызвано тем, что магнитным поток ротора наведен магнитным потоком статора. Режим работы двигателя такого типа аналогичен работе синхронных машин с недовозбуждением. Однако при увеличении намагниченности ротора – введении в режим перевозбуждения можно улучшить энергетические показатели машины. Осуществление этого режима достигается путём цикла повышения и снижения напряжения питания, на рисунке 1.5 представлен процесс перевозбуждения ГД. Так в изначальном состоянии рабочая точка активного материала находилась в точке 1 при некотором значении индукции V_{m1} и напряженности

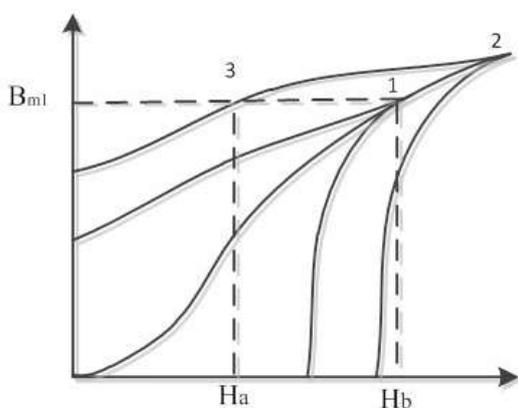


Рисунок 1.5 – процесс перевозбуждения ГД

поля H_b . С увеличением напряжения питания рабочая точка перемещается в положение 2 по основной кривой намагничивания, и при последующем уменьшении напряжения питания переходит в точку 3. Конечная точка обладает такой же индукцией V_{m1} , но существенно меньшей напряженностью

поля H_a . Так с увеличением намагниченности ротора, он больше не нуждается

в большом намагничивающем токе статора, следовательно, величина реактивного тока уменьшатся, а с ним и потери в активном сопротивлении статора, перегрузочная способность напротив увеличивается.

Намагничивание (перемагничивание) происходит в асинхронном и синхронном режимах. До включения ГД в сеть ротор полностью размагничен, и только после подачи питания материал ротора начинает намагничиваться и затем перемагничиваться. Рабочая точка в координатах В-Н движется в соответствии с рисунком 1.6а, при несимметричном изменении напряженности поля перемагничивание будет иметь несимметричный характер (рисунок 1.6б) или несимметричное по частным циклам (рисунок 1.6в). По мере увеличения скорости вращения частота перемагничивания уменьшается, и при достижении нуля двигатель входит в синхронизм. Ротор занимает положение, соответствующее моменту нагрузки, а домены активного слоя ротора принимают значения B и H согласно петле “распределения”, что эквивалентна петле перемагничивания при входе в синхронизм и характеризует магнитное состоя-

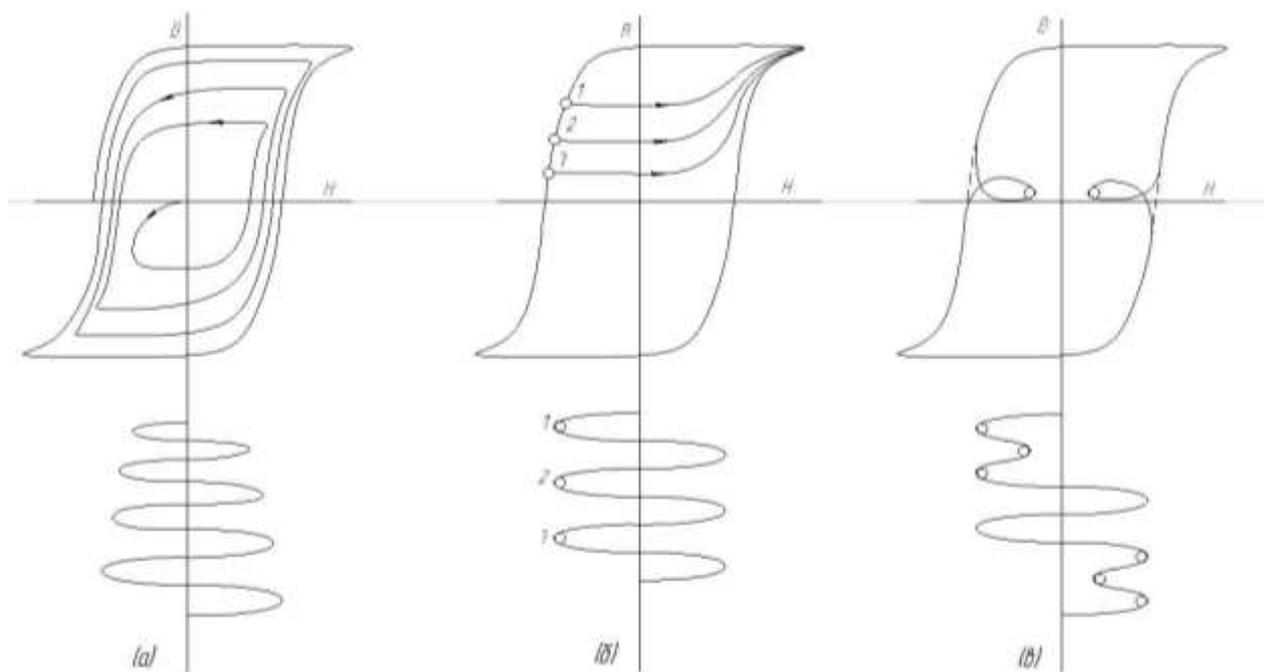


Рисунок 1.6 – траектории движения рабочей точки активного материала ротора
ние точек ротора по полюсному делению [1].

Если момент нагрузки, меньше пускового, ротор стремится занять положение ближе к продольному, соответственно положению МДС статора, а в режиме холостого хода и вовсе совпадает. При этом магнитное состояние точек ротора изменяется в соответствии с траекториями намагничивания и размагничивания, причем у одних точек ротора наблюдается увеличение напряженности поля, у других - уменьшение. В режиме холостого хода петля распределения превращается в бестелесную кривую, подобную кривой первоначального намагничивания (рисунок 1.7). Намагничивание размагниченного ротора, неподвижного относительно поля статора, вызывает намагничивание точек ротора согласно первоначальной кривой намагничивания, несколько отличающейся от кривой намагничивания в предыдущем случае. При повороте данного ротора на некоторый угол относительно поля статора состояние точек ротора также изменяется в соответствии с траекториями намагничивания и

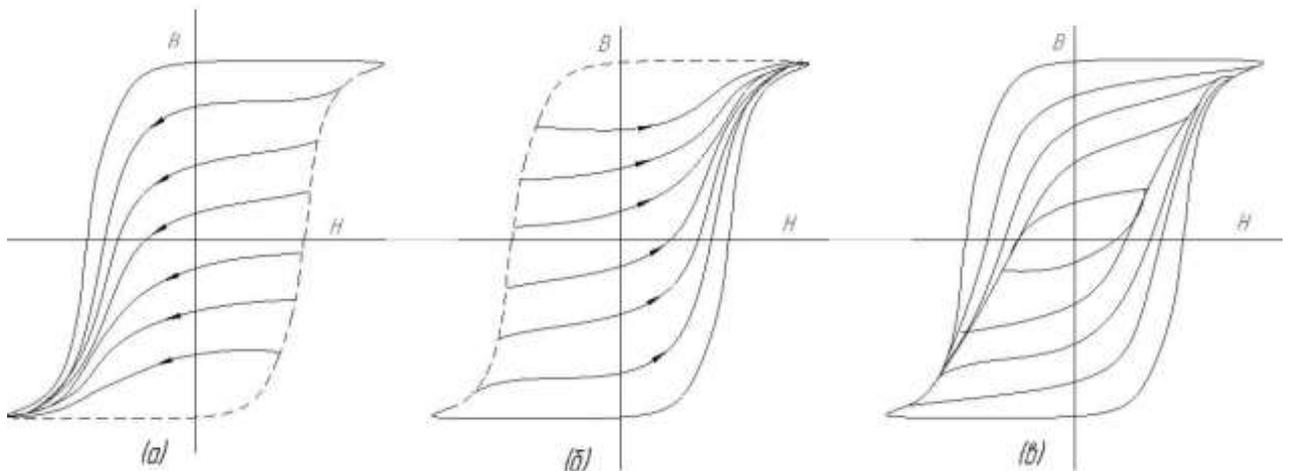


Рисунок 1.7 – Кривые намагничивания (а), размагничивания (б), перемангничивания (в) гистерезисного материала

размагничивания.

Не маловажную роль в процессе намагничивания играет конструкция ротора. Если ротор СГД выполнен из сплошного гистерезисного материала, то в нем присутствует вращательное перемангничивание. В общем случае эллиптического перемангничивания материала вводится коэффициент эллипсности как отношение тангенциальной и радиальной составляющих индукции. Если

же ротор представлен в форме полого цилиндра и насажен на немагнитную втулку, то в нем круговое перемагничивание вырождается в тангенциальное линейное – в данном случае имеет место радиальное линейное перемагничивание. Согласно исследованиям, явления гистерезиса при вращательном перемагничивании и линейном имеют принципиальные отличия.

Таким образом, результат намагничивания материала ротора зависит от режима намагничивания, предыстории его магнитного состояния и конструкции. В общем случае процесс намагничивания сложен, не описывается математическими выражениями общего вида [15].

2. Электромагнитный расчет

В качестве материала для активной части ротора используются магнитотвердые материалы с широкой петлей гистерезиса. Основным материалом, применяемым для данных машин, является сплав Fe–Co–V (викаллоу). Однако, существует сплав, обладающий лучшими магнитными свойствами: Fe–Cr–Co (рисунок. 2.1). Сплав Fe–Cr–Co имеет более широкую петлю гистерезиса при с большими значениями индукции и напряженности поля, что позволит проектировать электродвигатели для больших значений нагрузки. Кроме того, сплав Fe–Cr–Co позволяет проводить обработку как в горячем, так и в холод-

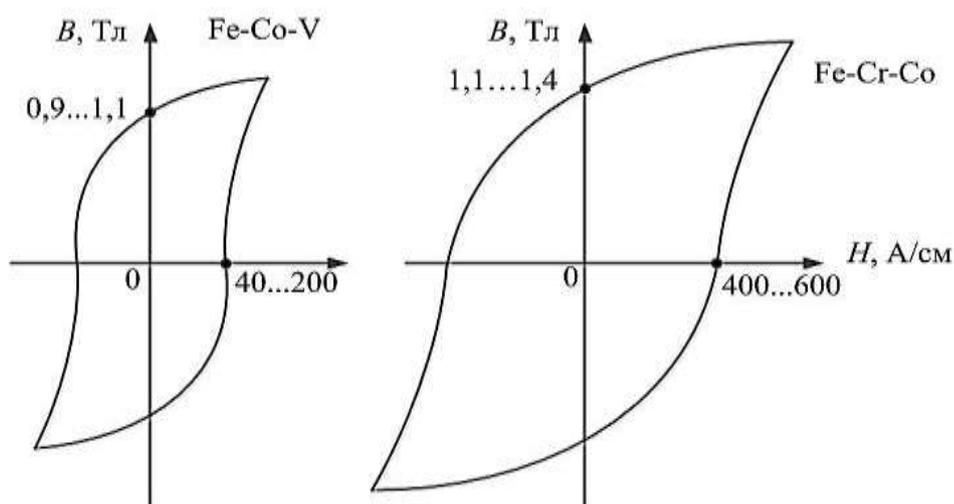


Рисунок 2.1. – Петли гистерезиса материалов Fe-Co-V и Fe-Cr-Co

ном состоянии, и обладает достаточно высокими значениями пластичности и коррозионной стойкости [27].

2.1. Выбор главных размеров

2.1.1. Выбор основных размеров ротора осуществляется на основании значения удельных потерь на гистерезис Fe-Cr-Co – $P_{zo} = 0,12 \text{ Дж} / \text{см}^3$.

Объём втулки ротора определяется по формуле [18. ф. 10.32]:

$$V_p = \frac{P}{P_{zo} \cdot f} = \frac{7000}{0,12 \cdot 400} = 145,833 \text{ см}^3, \quad [2.1]$$

где f – частота переменного тока.

Так же величина номинального момента:

$$M = \frac{P}{\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}} = \frac{7000}{\frac{2 \cdot \pi \cdot 6000}{60}} = 11,141 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad [2.2]$$

Кроме того, номинальный момент может быть рассчитан по формуле Арнольда [3. ф. 4.14]:

$$M = 0,5 \cdot \pi \cdot \alpha_a \cdot D_a^2 \cdot l_\delta \cdot B_\delta \cdot A_a, \quad [2.3]$$

так как значение момента уже известно, выразим из этой формулы размеры ротора, приняв $l_\delta = 0,75 \cdot D_a$, тогда

$D_a = 0,114 \text{ м}$ – внешний диаметр гистерезисной втулки ротора,

$l_\delta = D_a \cdot 0,75 = 0,085 \text{ м}$ – длина ротора.

при $\alpha_a = 0,8$ – коэффициент полюсности дуги,

$B_\delta = 0,8 \text{ Т}$ – магнитная индукция в воздушном зазоре,

$A_a = 10^4 \text{ А/м}$ – линейная токовая нагрузка,

Втулка ротора представляет из себя полый цилиндр, внешний диаметр которого выразим из уравнения объёма:

$$D_v = \frac{\sqrt{\pi \cdot D_a^2 \cdot l_\delta^2 + 4 \cdot V_p \cdot l_\delta}}{\sqrt{\pi \cdot l_\delta}} = 0,123 \text{ см}. \quad [2.4]$$

Дальнейший расчет будем вести согласно указаниям [16].

2.1.2. Величина воздушного зазора δ оказывает большое влияние на энергетические показатели двигателя. С увеличением воздушного зазора требуется большая величина намагничивающего тока, который увеличивает величину электрических потерь в обмотке статора и снижает КПД двигателя. Напротив, недостаточный воздушный зазор приводит к такому возрастанию амплитуды пульсаций индукции в воздушном зазоре, при котором рост поверхностных и пульсационных потерь преобладает над уменьшением электрических потерь. Поэтому чрезмерное уменьшение воздушного зазора ухудшает энергетические показатели электродвигателя. Размер воздушного зазора выбирался в диапазоне $\delta = (1 \div 0,5)$ мм. Принимаем $\delta = 0,7$ мм [16].

Тогда внутренний размер статора - $D_v = D_v + 2 \cdot \delta = 12,46$ см.

2.1.3. Внешний диаметр статора рассчитывается через соотношение его с внутренним диаметром D_v [16. ф. 9.2].

$$D = K_D \cdot D_v = 1,4 \cdot 0,125 = 0,174 \text{ м}, \quad [2.5]$$

где $K_D = 1,4$, - коэффициент принимается из диапазона $K_D = 1,38 \div 1,43$

2.1.4 Рассчитываем полюсное деление τ [16, ф. 9.3]:

$$\tau = \pi \frac{D_v}{2p} = 3,14 \frac{0,125}{2 \cdot 4} = 0,049 \text{ м}. \quad [2.6]$$

2.1.5. Критерий правильности выбора главных размеров λ [16, с. 348]:

$$\lambda = \frac{l_\delta}{\tau} = \frac{0,085}{0,049} = 1,732 \quad [2.7]$$

а также сравнивается со значением, определенным из зависимости

$\lambda = f(IP, 2p)$ [16, с.348, рис. 9.25] из диапазона $\lambda = 1,2 \div 2,4$. Расчетное значение λ находится в рекомендуемом диапазоне.

2.2. Определение числа пазов сердечника статора, числа витков и выбор провода обмотки статора

В электрических машинах с номинальным напряжением до 660 В и мощностью до 100 кВт обмотки выполняются из круглого обмоточного провода, укладываемого в трапецеидальные полужакрытые пазы.

2.2.1. Зубцовое деление сердечника статора t_{z1} [16, 352]:

$$t_z = \frac{\pi \cdot D_V}{2 \cdot p \cdot m \cdot q} = \frac{\pi \cdot 0,125}{2 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3} = 5,438 \cdot 10^{-3}, \quad [2.8]$$

где p – количество полюсов: $p = 60 \cdot f / n = 3$, m – число полюсов, q – число пазов на полюс.

2.2.2. Число пазов сердечника статора Z_1 [16, ф. 9.16]:

$$Z_1 = \frac{\pi \cdot D_V}{t_z} = \frac{\pi \cdot 0,12}{5,423 \cdot 10^{-3}} = 72. \quad [2.9]$$

Число пазов сердечника статора $Z_1 = 72$.

2.2.3. Рассчитаем номинальный ток фазы обмотки статора $I_{ном}$ [16, ф. 9.18]:

$$I_{ном} = \frac{P}{U \cdot m} = \frac{7000}{115 \cdot 3} = 20,29 \text{ А}, \quad [2.10]$$

где $U = 115$, - номинальное фазное напряжение, В.

2.2.4. Предварительное число эффективных проводников в пазу сердечника статора U_{Π} [16, ф. 9.17]:

$$U_{\Pi} = \frac{\pi \cdot D_V \cdot Aa}{I_{ном} \cdot Z_1} = \frac{\pi \cdot 0,125 \cdot 10^4}{20,29 \cdot 72} = 2,68 \quad [2.11]$$

Результирующее число эффективных проводников в пазу U_{Π} – обязательно целое число. Взаимосвязь между окончательным и предварительным числом эффективных проводников в пазе определяется [16, ф. 9.19]:

$$U_{\Pi} = a \cdot U'_{\Pi} = 3 \cdot 2,68 = 8$$

при условии $a = 3$, принимаем $U_{\Pi} = 8$.

2.2.5. Число витков в фазе обмотки статора [16, ф. 9.20]:

$$w_1 = \frac{U_{\Pi} \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = \frac{8 \cdot 72}{2 \cdot 3 \cdot 3} = 32 \text{ витков}. \quad [2.12]$$

2.2.6. Обмоточный коэффициент распределённой обмотки равен произведению коэффициентов распределения и укорочения [14, ф. 8.3-8.4].

$$k_{p1} = \frac{\sin \frac{\pi}{2 \cdot m}}{q \cdot \sin \frac{\pi}{2 \cdot m \cdot q}} = 0,96; \quad k_{p1} = \sin \frac{\pi}{2} \cdot y = 0,866 \quad [2.13-2.15]$$

$$k_{o\delta} = k_{p1} \cdot k_{p1} = 0,831.$$

где y – шаг обмотки статора (в долях полюсного деления):

$$yz = 6; \quad y = yz / t_z = 0.667 /$$

2.2.7. Уточненное значение линейной нагрузки A [16, ф. 9.21]:

$$A = \frac{2 \cdot I_{ном} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D_v} = \frac{2 \cdot 20,29 \cdot 72 \cdot 3}{\pi \cdot 0,125} = 10^4 \text{ А/м}. \quad [2.16]$$

2.2.8. Рассчитаем значение амплитуды магнитного потока [16, ф. 9.22]:

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{o\delta} \cdot f} = \frac{0,9 \cdot 115}{4 \cdot 1,11 \cdot 72 \cdot 0,892 \cdot 400} = 2,215 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}. \quad [2.17]$$

где $k_B = 1,11$ – коэффициент формы поля.

2.2.9. Определим уточненное значение индукции в воздушном зазоре B_δ [16, ф. 9.23]:

$$B_\delta = \frac{p \cdot \Phi}{D_v \cdot l_\delta} = \frac{4 \cdot 2,15 \cdot 10^{-3}}{0,125 \cdot 0,85} = 0,839 \text{ Тл}. \quad [2.18]$$

A и B_δ находятся в рекомендуемых пределах.

2.2.10. Предварительная плотность тока в обмотке статора [16 ф. 9.25]:

$$J_1 = \frac{AJ_1}{A} = \frac{160 \cdot 10^9}{10^4} = 1,6 \cdot 10^7 \text{ А/м}^2, \quad [2.19]$$

где $AJ_1 = 160 \cdot 10^9$ - произведение линейной нагрузки и плотности тока [16, рис. 9.27 б]

$AJ_1 = f(IP, h, D_a, 2p)$ из диапазона $AJ_1 = (155 \div 175) \cdot 10^9 \text{ А}^2/\text{м}^3$.

2.2.11. Предварительная площадь поперечного сечения эффективного проводника обмотки [16, ф. 9.24]:

$$q_{эф} = \frac{I_{ном}}{a \cdot J_1} = \frac{20,29}{3 \cdot 1,6 \cdot 10^7} = 4,227 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2. \quad [2.20]$$

В качестве провода для обмотки статора выбираем ПЭТВ-180 класс изоляции Н для пропитки используется лак кремнийорганический КО-916К. Выбираем $q_{\text{эф}} = 4,42 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$ и $d_{\text{неиз}} = 0,815 \text{ мм}$ [16, табл. ПЗ.1].

2.2.12. Уточненное значение плотности тока в обмотке статора [16, ф. 9.27]:

$$J_1 = \frac{I_{\text{ном}}}{a \cdot q_{\text{эф}}} = \frac{20,29}{3 \cdot 4,42 \cdot 10^{-7}} = 1,53 \cdot 10^{-7} \text{ А/м}^2. \quad [2.21]$$

2.3. Расчёт размеров зубцовой зоны сердечника статора

Всыпная обмотка укладывается в полузакрытые пазы статора (рисунок 2.2) [16, рис. 9.29].

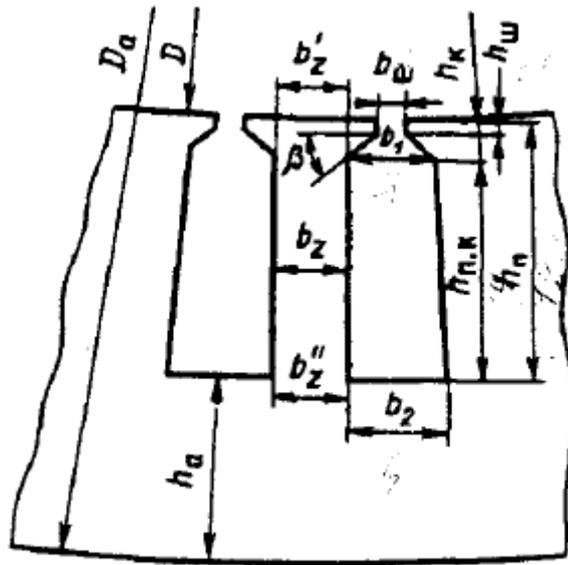


Рисунок 2.2. Выбранная конфигурация полузакрытого паза для укладки обмотки статора

2.3.1. Рекомендуемые значения индукций в зубцах B_{Z1} и ярме B_a сердечника статора [16, 8.45]: принимаем $B_{Z1} = B_a = B_1 = 1,1$ Тл,

Пакет статора выполняется из стали 49КФ [11]. Толщина листа 0,2 мм, способ изолирования листов - оксидирование, тогда коэффициент заполнения сталью будет равен $k_c = 0,91$ [16, табл. 8.2].

2.3.2. Предварительное значение ширины зубца сердечника статора b_{Z1} [16, ф. 9.37]:

$$b_{z1} = \frac{B_\delta \cdot t_z \cdot l_\delta}{B_{Z1} \cdot l_{CT} \cdot k_c} = \frac{0,839 \cdot 5,437 \cdot 10^{-3} \cdot 0,085}{1,1 \cdot 0,085 \cdot 0,91} = 0,004 \text{ м}, \quad [2.22]$$

где $l_{CT} = l_\delta = 0,085$ м- длина сердечника статора.

2.3.3. Предварительное значение высоты ярма h_a [16, ф. 9.28]:

$$h_a = \frac{\Phi}{2B_a \cdot l_{CT} \cdot k_c} = \frac{0,0022}{2 \cdot 1,1 \cdot 0,085 \cdot 0,91} = 0,013 \text{ м}. \quad [2.23]$$

2.3.4. Предварительные размеры паза сердечника статора в штампе:

Принимаем $b_{ш1} = 3 \cdot 10^{-3}$ м [16, табл. 9.16], где $b_{ш} = f(h, 2p)$.

Высота шлица $h_{ш1}$ паза сердечника принимается $h_{ш1} = 0,7 \cdot 10^{-3}$ м.

Определение размеров паза в штампе первой конфигурации [16, ф. 9.38–9.41]:

$$h_{II} = \frac{D - D_V}{2} - h_a = \frac{0,174 - 0,125}{2} - 0,13 = 0,012 \text{ м}; \quad [2.24]$$

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_V + 2 \cdot h_{ш1} - b_{ш1}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} =$$

$$= \frac{\pi \cdot (0,125 + 2 \cdot 0,0007 - 0,003) - 72 \cdot 0,0043}{72 - \pi} = 0,0009 \text{ м}, \quad [2.25]$$

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D_V + 2 \cdot h_{II})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{\pi \cdot (0,125 + 2 \cdot 0,012)}{72} - 0,0043 = 0,002 \text{ м}. \quad [2.26]$$

2.4. Параметры обмотки статора

При определении параметров обмотки статора допустимы следующие допущения:

- постоянство активного сопротивления (отсутствие вытеснения тока из-за малого сечения провода),
- постоянство индуктивного сопротивления при повышенных значениях пусковых токов [13].

2.4.1. Активное сопротивление фазы обмотки статора [14, ф. 8.31]:

$$r_1 = \sigma_{т1} \cdot \frac{2 \cdot \omega_1 \cdot l_{\omega 1}}{q_{\phi} \cdot a_1} = \frac{10^{-6}}{41} \cdot \frac{2 \cdot 32 \cdot 0,132}{4,42 \cdot 10^{-7} \cdot 3} = 0,155 \text{ Ом}, \quad [2.27]$$

$\sigma_{т1} = \frac{10^{-6}}{41}$, – удельное электрическое сопротивление меди обмотки статора для класса при $t^{\circ}\text{C} = 100^{\circ}\text{C}$ [14 табл. 5.1];

$l_{\omega 1} = l_{\delta} + l_n$ – средняя длина лобовой части [14, ф. 8.33-34];

$l_n = l_{\delta} + k_n \cdot y \cdot \tau$ – средняя длина лобовой части витка с одной стороны, коэффициент $k_n = 1,45$ для наружных статоров.

2.4.2. Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора x_1 учитывает рассеяние в пазах статора и лобовых частях обмотки и дифференциальное рассеивание, вызванное высшими гармониками, поэтому данный представим

параметр, как сумму коэффициентов магнитной проводимости каждой составляющей. Данные коэффициенты могут быть рассчитаны согласно эмпирическим значения [14, ф. 8.35-41].

2.4.3. Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния $\lambda_{\Pi 1}$ определяется формой и размерами паза и типом обмотки [14, ф. 8.38].

Для трёхфазных обмоток при $0,66 \leq y \leq 1$ [14, ф. 8.37]:

$$k_{\lambda 1} = \frac{7 + 9 \cdot y}{16} = 0,813 \quad k_{\lambda 2} = \frac{1 + 3 \cdot y}{4} = 0,875 \quad , \quad [2.28-2.29]$$

$$\begin{aligned} \lambda_{\Pi 1} &= \frac{h_{\Pi}}{3 \cdot b_2} \cdot k_{\lambda 1} + \left(0,785 - \frac{b_{uu}}{2 \cdot b_2} + \frac{h_2}{b_2} + \frac{h_{uu}}{b_{uu}} \right) \cdot k_{\lambda 2} = \\ &= \frac{11,9}{3 \cdot 4} \cdot 0,813 + \left(0,785 - \frac{3}{2 \cdot 1,98} + \frac{12,6}{4} + \frac{0,7}{3} \right) \cdot 0,75 = 6,6. \end{aligned} \quad [2.30]$$

$$h_2 = h_{\Pi} + h_{\text{ш}} = 11,9 + 0,7 = 12,6 \text{ мм} [15, \text{стр. 365}] \quad [2.31]$$

2.5.4. Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния $\lambda_{Л 1}$ [14, ф. 8.41]:

$$\lambda_{Л 1} \approx 0,57 \cdot \frac{\tau}{l_{\delta}} \cdot q \cdot \frac{3y - 1}{2} \approx 0,57 \cdot \frac{0,049}{0,085} \cdot 3 \cdot \frac{3 \cdot 0,667 - 1}{2} \approx 0,49. \quad [2.32]$$

2.4.5 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния $\lambda_{Д 1}$ [14, ф. 8.42]:

$$\lambda_{Д 1} \approx \frac{t_{z1} \cdot k_{\sigma \sigma}^2}{11,9 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \approx \frac{0,0055 \cdot 0,831^2}{11,9 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,342} \approx 0,336, \quad [2.34]$$

k_{δ} - коэффициент воздушного зазора [14, ф. 8.54]:

$$k_{\delta} = \frac{5 + \frac{b_{uu}}{\delta}}{5 + \frac{b_{uu}}{\delta} \cdot \left(1 - \frac{b_{uu}}{t_z} \right)} = 1,342. \quad [2.33]$$

2.4.6. Суммарный коэффициент магнитной проводимости [14, ф. 8.35]:

$$\sum \lambda_1 = \lambda_{\Pi 1} + \lambda_{Л 1} + \lambda_{Д 1} = 7,437 \quad [2.35]$$

2.4.7 Индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки статора x_1 [14, ф. 8.36]:

$$x_1 = 15,8 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot \omega_1^2 \cdot \frac{l_\delta}{p \cdot q} \cdot \sum \lambda_1 =$$

$$= 15,8 \cdot 10^{-8} \cdot 400 \cdot 32^2 \cdot \frac{0,085}{4 \cdot 3} \cdot 7,437 = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.} \quad [2.36]$$

2.5. Расчёт магнитной цепи и параметров намагничивания контура

Расчет магнитной цепи сводится к определению намагничивающей силы (н.с.) $F_{\delta\mu}$ (или намагничивающего тока $I_{\delta\mu}$). Для синхронных СГД $F_{\delta\mu}$ учитывается лишь падение н. .с. в воздушном зазоре и статоре [14].

2.5.1. Магнитное напряжение зубцовой зоны сердечника статора [14 ф. 8.46]:

$$F_{z1} = 2h_{z1} \cdot H_{z1} = 2 \cdot 1,19 = 11,9 \text{ А,} \quad [2.37]$$

где $h_{z1} = h_{\Pi} = 1,19$ см - расчетная высота зуба равная высоте паза.

H_{z1} – напряжение зубцовой зоны статора [14. рис. 8.2]

$H_{z1} = 5$ А /см, для $B_{z1} = 1,1$ Тл.

2.5.2. Длина средней магнитной силовой линии в спинке статора L_a [14, ф. 8.48]:

$$L_a = \frac{\pi \cdot (D - h_a)}{2p} = \frac{\pi \cdot (17,44 - 1,3)}{2 \cdot 4} = 6,34 \text{ см,} \quad [2.38]$$

Напряженность поля ярма статора принимаем $H_a = 5$ А/см по индукции B_a по кривым намагничивания [14. рис. 8.2].

2.5.3. Магнитное напряжение ярма сердечника статора F_a [14, ф. 8.47]]:

$$F_a = \xi_1 \cdot L_a \cdot H_a = 0,52 \cdot 6,34 \cdot 5 = 16,48, \quad [2.39]$$

где ξ_1 – коэффициент, учитывающий неравномерности распределения индукции в ярме, определяется по индукции B_{a1} [14, рис.8.6]:

2.5.4. Коэффициент насыщения магнитной цепи k_μ [14, ф. 8.55]:

$$k_{\mu} = 1 + \frac{F_{z1} + F_{a1}}{1,6 \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot B_{\delta} \cdot 10^4} = 1 + \frac{11,9 + 16,48}{1,6 \cdot 0,07 \cdot 1,342 \cdot 0,839 \cdot 10^4} = 1,225 \quad [2.40]$$

2.5.5. Полная н. с. Затрачиваемая на проведение потока через магнитную цепь: [14, ф. 8.55]

$$F_{\delta\mu} = 1,6 \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot k_{\mu} \cdot B_{\delta} \cdot 10^4 = 1,6 \cdot 0,07 \cdot 1,047 \cdot 1,225 \cdot 0,832 \cdot 10^4 = 1261 \text{ А.} \quad [2.41]$$

2.5.6. Намагничивающий ток I_{μ} [14, ф. 8.42]:

$$I_{\delta\mu} = \frac{p \cdot F_{\delta\mu}}{0,9 \cdot m \cdot k_{o\delta} \cdot w_1} = \frac{4 \cdot 1261}{0,9 \cdot 3 \cdot 0,831 \cdot 32} = 70,208 \text{ А.} \quad [2.42]$$

2.5.7. Относительное значение I'_{μ} [16, ф.9.131]:

$$I'_{\mu} = \frac{I_{\delta\mu}}{I_{ном}} = \frac{70,2}{20,29} = 3,46. \quad [2.43]$$

Согласно расчетным данным величина намагничивающего тока превышает значение номинального в 3,46 раз. Так как гистерезисная машина обладает не очень сильным магнитным полем, ротор машины недостаточно намагничен, и энергетические показатели довольно низкие. После проведения цикла перевозбуждения, ротор двигателя достигнет необходимого для эффективной работы уровня намагничивания, значение тока намагничивания резко уменьшится, а энергетические показатели напротив возрастут.

2.6. Расчет потерь

2.6.1. Потери в стали представляют собой сумму потерь в стали зубцов и ярма [16, ф. 8.58]:

$$\begin{aligned} \Delta P_{CT} &= p_0 k_{o\delta} \left[m_{z1} \cdot B_{z1}^2 + m_{a1} \cdot B_{a1}^2 \right] = \\ &= 12,5 \cdot 0,831 \cdot \left[2,45 \cdot 1,1^2 + 4,17 \cdot 1,1^2 \right] = 200 \text{ Вт,} \end{aligned} \quad [2.44]$$

где $p_0 = 12,5 \text{ Вт/кг}$ - удельные потери в электротехнической стали 49КФ толщиной 0,2 мм при индукции 1 Тл и частоте перемагничивания 400 Гц [11];

Массы зубцов и спинки статора определяются [16, 8.59-60]:

$$m_{z1} = h_p \cdot b_z \cdot Z_1 \cdot l_\delta \cdot k_c \cdot \gamma_c = 0,0119 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 72 \cdot 0,085 \cdot 0,96 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 2,45 \text{ кг}, \quad [2.45]$$

$$m_{a1} = \frac{\pi}{2} \cdot ((D - 2h_p) + D_V) \cdot h_a \cdot l_\delta \cdot k_c \cdot \gamma_c = \frac{\pi}{2} \cdot ((0,174 - 2 \cdot 0,0119) + 0,125) \cdot 0,013 \cdot 0,085 \cdot 0,96 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 4,17 \text{ кг}, \quad [2.46]$$

где $\gamma_c = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – удельная масса стали [16].

Коэффициент обработки $k_{об}$ учитывает увеличение потерь, вызванных обработкой железа, нарушением изоляции между пластинами и неравномерности распределения индукции. Для ГД $k_{об}$ выбирается в пределах 2-3 [16].

2.6.2. Потери в меди статора [14, ф. 10,44]:

$$\Delta P_M = m \cdot I_{\delta\mu}^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 70,2^2 \cdot 0,178 = 2640 \text{ Вт}. \quad [2.47]$$

2.6.3. Механические потери [16, 10.164]:

$$\Delta P_{MEX} = 3,68 \cdot p \cdot \left(\frac{v_p}{40}\right)^3 \cdot \sqrt{l_{wl}} = 3,68 \cdot 4 \cdot \left(\frac{39,147}{40}\right)^3 \cdot \sqrt{0,132} = 5,014 \text{ кВт}, \quad [2.48]$$

где $v_p = \frac{\pi \cdot D_V \cdot n}{60} = 39,147 \text{ м/с}$, окружная скорость ротора.

2.6.4. В результате возникновения вихревых токов при нагрузке появляются в обмотках статора возникают добавочные потери, их приближённое значение может быть рассчитано как доля от подводимой мощности: для машин менее 1000 кВА – 0,005 [16, с. 556].

Потребляемая мощность:

$$P_{номр} = (P + \Delta P_{СТ} + \Delta P_M + \Delta P_{MEX}) \cdot 0,995 = 16600 \text{ Вт}. \quad [2.49]$$

2.7. Рабочие характеристики

Расчёт механической характеристики СГД в асинхронной части вызывает в общем случае большие затруднения из-за её искажения, связанного с влия-

нием высших гармоник. В таком случае возможно оценить лишь характерные точки – в пуске и максимальной синхронной мощности.

2.7.1. Пусковой момент определяется по потребляемой мощности [14, 10.34]:

$$M_p = 9,55 \cdot \frac{P_{номп}}{n} \cdot \eta = 9,55 \cdot \frac{16600}{6000} \cdot 0,6 = 15,858 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad [2.50]$$

2.7.2. Максимальный синхронный момент [14, 10.35]:

$$M_{с.м.} = \frac{M_{II}}{c_m} = \frac{15,858}{1,108} = 14,308 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad [2.51]$$

c_m - коэффициент механической характеристики, приближенной оценивается

по [14, 7.4]:

$$c_m = 1 + 0,04 \cdot \frac{(b_u / \delta)^2}{2,5 + b_u / \delta} = 1,108. \quad [2.52]$$

Расчёт рабочих характеристик СГД в основном сводится к определению основных показателей – тока, потребляемой мощности КПД и коэффициента мощности в пусковой и рабочей точках.

2.7.3. Пусковой ток [14, 10.36-10.40]:

$$I_{1II} = \sqrt{(I_{\delta\mu} + I_{2\mu})^2 + (I_{a0} + I_{2a})^2} = \sqrt{(70,2 + 6,613)^2 + (0,638 + 8,817)^2} = 77,42 \text{ А}, \quad [2.53]$$

Намагничивающая составляющая: $I_{\delta\mu} = 70,208 \text{ А}$,

Активная составляющая:

$$I_{a0} = \frac{\Delta P_{CT}}{m \cdot k_E \cdot U} = \frac{200}{3 \cdot 0,91 \cdot 115} = 0,638 \text{ А}. \quad [2.54]$$

Составляющие тока ротора, затрачиваемого на проведение потока через ротор при пуске равны:

активная:

$$I_{2a} = 0,55 \cdot \frac{D_V \cdot (1 + \beta)}{m \cdot k_{об} \cdot w_1} \cdot \frac{H_1}{H_m} \cdot H_m \cdot \sin \gamma = 0,55 \cdot \frac{12,5 \cdot (1 + 1,182)}{3 \cdot 0,831 \cdot 32} \cdot 0,98 \cdot 60 \cdot 0,8 = 8,817 \text{ А}, \quad [2.55]$$

намагничивающая:

$$I_{2\mu} = 0,55 \cdot \frac{D_V \cdot (1 + \beta)}{m \cdot k_{об} \cdot w_1} \cdot \frac{H_1}{H_m} \cdot H_m \cdot \cos \gamma = 0,55 \cdot \frac{12,5 \cdot (1 + 1,182)}{3 \cdot 0,831 \cdot 32} \cdot 0,98 \cdot 60 \cdot 0,6 = 6,613 \text{ А}, \quad [2.56]$$

где $H_m = 60 \text{ А/см}$ – максимальная напряженность поля,

H_1 / H_m - 0,98 –относительная амплитуда первой гармоники напряженности поля [14 рис. 10.3],

γ - гистерезисный угол при пуске [14 рис. 10.3].

2.7.4. Кратность пускового тока:

$$k = \frac{I_{II}}{I_{ном}} = \frac{77,475}{20,29} = 3,8. \quad [2.57]$$

2.7.5. Потребляемая мощность при пуске [14, 10,41]:

$$P_{пуск} = (P + \Delta P_{СТ} + \Delta P_{Мн} + \Delta P_{МEX}) \cdot 0,995 = 15,4 \text{ кВт}, \quad [2.58]$$

где $\Delta P_{Мн} = m \cdot I_{II}^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 77,42^2 \cdot 0,178 = 3209 \text{ Вт}$.

2.7.6. Потребляемая мощность при номинальной нагрузке [14, 10,42]:

$$P_{ном} = (P + \Delta P_{СТ} + \Delta P_{Мн} + \Delta P_{МEX}) \cdot 0,995 = 12,37 \text{ кВт}, \quad [2.59]$$

где $\Delta P_{Мн} = m \cdot I_n^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 20,29^2 \cdot 0,178 = 220,4 \text{ Вт}$.

2.7.7. Коэффициент мощности [14, 10,45]:

$$\cos \varphi = \frac{P_n}{m \cdot U \cdot I_n} = \frac{15400}{3 \cdot 115 \cdot 20,29} = 0,511, \quad [2.60]$$

2.7.8. Коэффициент мощности в номинальном режиме [14, 10,46]:

$$\eta = \frac{P}{P_{1н}} = \frac{7000}{12370} = 0,455. \quad [2.61]$$

Значения рабочих характеристик представлены в таблице 2.1.

M, Нм	P₂, кВт	I, А	cosφ	η
0	0	22,1	0,314	0,000
1,107	698	20,3	0,341	0,077
2,215	1395	20,3	0,367	0,142
3,322	2093	20,3	0,393	0,199
4,429	2790	20,3	0,419	0,249
5,536	3488	20,3	0,445	0,293
6,644	4185	20,3	0,471	0,333
7,751	4883	20,3	0,497	0,368
8,858	5581	20,3	0,523	0,399
9,965	6278	20,3	0,549	0,428
11,073	6976	20,3	0,576	0,454

12,18	7673	22,1	0,602	0,477
-------	------	------	-------	-------

На рисунке 2.3 представлена зависимость требуемой мощности и энергетических показателей от нагрузки.

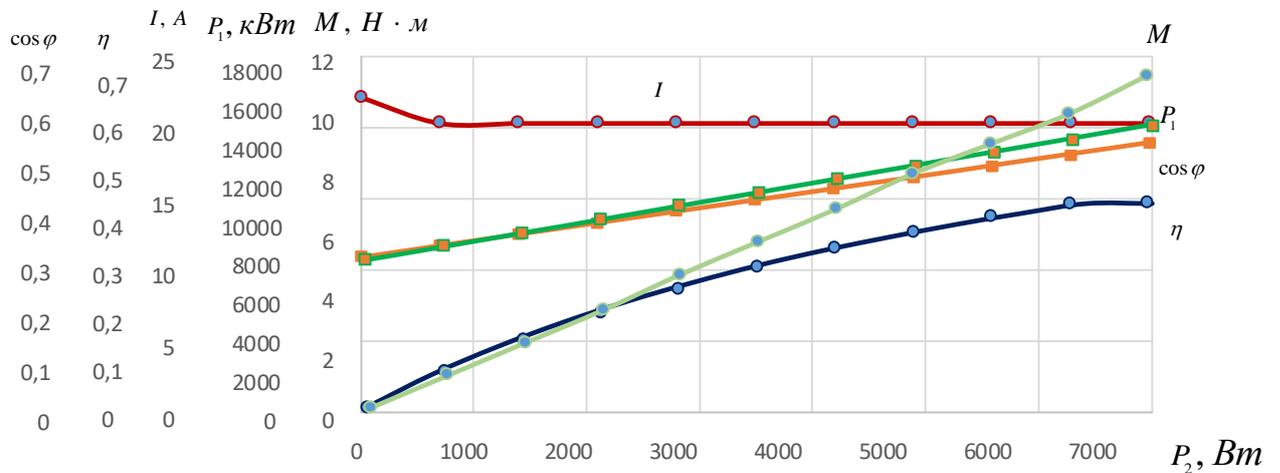


Рисунок 2.3 – Рабочие характеристик СГД.

2.8. Тепловой расчет обмотки статора для установившегося режима работы

Оценка теплового состояния обмотки статора может быть проведена по методике упрощенного расчета [15], используемой в заводской практике для синхронных машин защищенного исполнения. В данной методике учитываются следующие допущения: все потери, выделяемые в пределах активной части статора, относятся к его цилиндрической охлаждаемой поверхности, а потери на лобовых частях – к охлаждаемой поверхности этих частей.

2.8.1. Перепад температуры в изоляции обмотки статора [16, ф. 10.33]:

$$\Delta \vartheta_{\text{из}} = \frac{J_1 \cdot A \cdot k_{\phi}}{4,2 \cdot 10^{11}} \cdot \frac{t_{z1}}{2 \cdot (b_{n1} + h_{n1} - h_k)} \cdot \frac{0,5 \cdot \delta_{\text{из.п.}}}{\lambda_n} = \quad [2.58]$$

$$= \frac{1,6 \cdot 10^7 \cdot 10^4 \cdot 1,05_{\phi}}{4,2 \cdot 10^{11}} \cdot \frac{5,44 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot (0,91 + 11,9 - 1,98) \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{0,5 \cdot 0,12 \cdot 10^{-2}}{10^{-5}} = 8,164^{\circ} \text{C},$$

где $k_{\phi} = 1,03..1,1$ - коэффициент добавочных потерь;

$\lambda_n = 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ} \text{C})$ – теплопроводность изоляции.

2.8.2. Удельный тепловой поток на единицу цилиндрической внутренней поверхности статора [16, ф. 10.169]:

$$q_c = \frac{\left(P_{эл} \cdot \frac{l_\delta}{l_{cp} \cdot 0,5} + P_{доб} + \Delta P_{cm} \right) \cdot 10^3}{\pi \cdot D \cdot l} = \frac{\left(220,4 \cdot \frac{0,085}{0,264 \cdot 0,5} + 76,9 + 200,2 \right) \cdot 10^3}{\pi \cdot 0,174 \cdot 0,085} = 9013 \text{ Вт} / \text{м}^2, \quad [2.59]$$

где l_{cp} - средняя длина витка обмотки.

2.8.3. Превышение температуры охлаждаемой поверхности статора относительно температуры окружающего воздуха [16, ф. 10.170]:

$$\Delta \vartheta_{нов.с.} = q_c / [a \cdot (1 + 0,1 \cdot \nu_p)] = 9013 / [80 \cdot (1 + 0,1 \cdot 39,15)] = 22,92^\circ \text{C}, \quad [2.60]$$

где $a=80 \text{ Вт}/(^\circ \text{C} \cdot \text{м}^2)$ при $l_1 / \tau = 1,73 \leq 2$ [16, стр. 558].

2.8.4. Плотность теплового потока на единицу охлаждаемой поверхности лобовых частей: [16, ф. 10.171]

$$q_l = p_g \cdot A \cdot J_1 \cdot t_{z1} / \Pi = 2,8 \cdot 10^{-8} \cdot 10^4 \cdot 1,6 \cdot 10^7 \cdot 5,45 \cdot 10^{-3} / 0,0027 = 888,219 \text{ Вт} / \text{м}^2, \quad [2.62]$$

p_g – удельное сопротивление меди при температуре 180°C ,

Π – расчетный периметр поперечного сечения паза:

$$\Pi = 2 \cdot h_{п.к} + b_{1ст} + b_{2ст} = 2 \cdot 0,012 + 0,0091 + 0,0198 = 0,027 \text{ м}, \quad [2.61]$$

где $h_{п.к}$, $b_{1ст}$, $b_{2ст}$ - размеры паза сердечника статора в штампе, м.

2.8.5. Превышение температуры внешней поверхности лобовых частей обмотки статора над температурой охлаждающего воздуха [16, ф. 10.172]:

$$\Delta \vartheta_l = \frac{q_l}{13,3 \cdot (1 + 0,07 \cdot \nu_p)} = \frac{888,2}{13,3 \cdot (1 + 0,07 \cdot 39,15)} = 17,85^\circ \text{C}. \quad [2.63]$$

2.8.6. Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя $\Delta \vartheta'_1$ [16, ф. 10.173]:

$$\Delta \mathcal{G}_{cp} = \frac{(\Delta \mathcal{G}_{uz} + \Delta \mathcal{G}_{нов.с.}) \cdot l_{\delta} + (\Delta \mathcal{G}_{uz} + \Delta \mathcal{G}_{л}) \cdot l_{л}}{l_{\delta} + l_{л}} =$$

$$= \frac{(8,16 + 22,9) \cdot 0,085 + (8,16 + 17,85) \cdot 0,047}{0,085 + 0,047} = 29,27^{\circ}C, \quad [2.64]$$

$l_{л} = l_{cp1/2} - l_{л}$ - длина лобовых частей.

3. Разработка и механические расчеты конструкции СГД

3.1. Механический расчет вала

Спроектированный синхронный гистерезисный двигатель предназначен для питания насосной станции вертолёта, где колебания температуры и влажности воздуха существенны. Степень защиты от воздействия окружающей среды для данного двигателя – IP54, попадание пыли в электродвигатель возможно в незначительном количестве, без оказания отрицательного воздействия на работу двигателя. Режим работы двигателя продолжительный S1. Способ охлаждения двигателя С0040 — закрытая машина с естественным охлаждением без внешнего вентилятора.

Исполнение двигателя по способу монтажа IM3001 - двигатель фланцевого исполнения с горизонтальным положением вала. Фланцевое соединение является разъёмным и одним из наиболее надежных., широко используется при подключении насосного оборудования. Преимущества фланцевого соединения:

- устойчивость к резкому повышению динамических нагрузок,
- удобство сборки при ограниченном пространстве,
- простота технического обслуживания.

Для спроектированного двигателя был выбран фланец стандартного типоразмера FF-215, выполненный из алюминиевого сплава серии 7020 с целью уменьшения общей массы двигателя [29].

Вал синхронного гистерезисного двигателя с горизонтальным положением вала и фланцевым исполнением испытывает одновременно несколько воздействий во время работы [16]:

- силы тяжести ротора;

- вращающего момента двигателя;
- изгибающей силы передачи;
- силы магнитного притяжения;
- силы небаланса ротора.

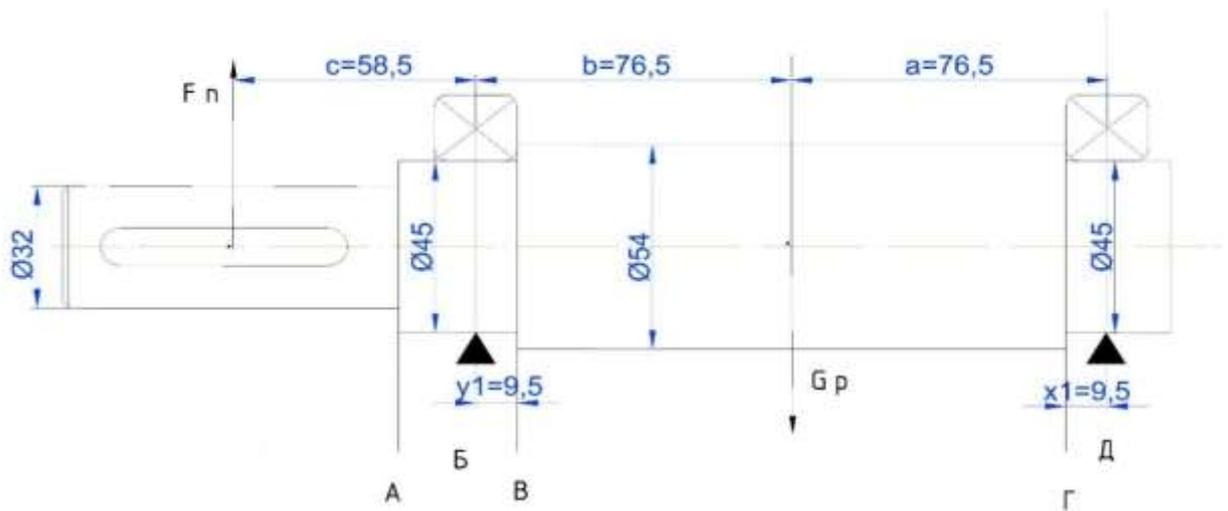


Рисунок 3.1 –к механическому расчету вала

Вал электродвигателя выполняется из стали 40Х-3 ГОСТ 4543-71, способной выдерживать довольно большие перепады температуры.

Для осуществления проверки вала на механическую прочность разбиваем вал на три участка: a , b , c (рисунок 3.1). Методика проверки вала на жесткость с системой обозначений и структурой расчета принятую представлена в [16, с.245 - 249].

3.1.1 Прогиб вала f_G , вызванный действием силы тяжести [16, ф. 8.15].

$$f_G = \frac{G_p}{3El^2} [S_b a^2 + S_a b^2] = \frac{13}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,085} [2,054 \cdot 0,076^2 + 2,054 \cdot 0,076^2] = 1,142 \cdot 10^{-11} \text{ м}, \quad [3.1]$$

где $G_p = 9,81 \cdot (m_{вт.р} + m_{акт.р}) = 9,81 \cdot (0,69 + 0,66) = 13 \text{ Н}$ - сила тяжести [15, с. 244 ф. 8.14].

3.1.2 Прогиб вала f_{II} от изгибающей силы передачи [16, ф. 8.19].

$$f_{II} = \frac{F_{II} c}{3El^2} \left[\left(\frac{3}{2} l S_0 - S_b \right) a + S_a b \right] =$$

$$= \frac{207,6 \cdot 0,059}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,085^2} \left[\left(\frac{3}{2} 0,085 \cdot 216,22 - 2,054 \right) \cdot 0,076 + 2,054 \cdot 0,076 \right] = 2,301 \cdot 10^{-9} \text{ м} \quad [3.2]$$

3.1.3. Реакция передачи [16, ф.8.22].

$$F_{II} = \frac{k_{II} M_{ном}}{R} = \frac{0,3 \cdot 11,073}{0,016} = 207,6 \text{ Н}, \quad [3.3]$$

где $M_{ном} = 11,073 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - номинальный вращающий момент,

$k_{II} = 0,3$ - коэффициент передачи.

3.1.4. Результирующий прогиб вала f учитывает существование обеих составляющих: [16, ф. 8.23].

$$f = f_G + f_{II} = 1,142 \cdot 10^{-11} + 2,301 \cdot 10^{-9} = 2,313 \cdot 10^{-9} \text{ м}. \quad [3.4]$$

Величина результирующего прогиба не превышает 1% от величины воздушного зазора $\delta = 0,7 \text{ мм}$.

Во избежание возникновения явления резонанса величина критической частоты вращения превышать значение рабочей частоты не менее чем на 30% [16, ф. 8.25]:

$$n_k = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-m}{f_G}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-3,578 \cdot 10^{-6}}{1,142 \cdot 10^{-11}}} = 8,876 \cdot 10^6 \text{ об / мин} \quad [3.5]$$

$$n_{ном} \cdot 1,3 = 7800 \text{ об / мин}.$$

Расчет вала на прочность производится по величине механических напряжений σ_{II} в сечении каждой его ступени с учётом результирующего действия напряжений изгиба и кручения. Для этого согласно ф. 8.31–8.33 [16] для каждой ступени рассчитывается изгибающий момент с учетом перегрузки M_{II} и момент сопротивления при изгибе W по формуле 8.30 [16]. Коэффициент перегрузки $k = 2$.

Для сечения А:

$$M_{IIA} = k \cdot F_{II} \cdot z_1 = 2 \cdot 207,6 \cdot 0,059 = 24,29 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad [3.6]$$

$$W_A = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,032^3 = 3,28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3, \quad [3.7]$$

$$\sigma_{npA} = \frac{1}{W_A} \sqrt{M_{IIA}^2 + (k\alpha M_{ном})^2} = \frac{1}{3,28 \cdot 10^{-6}} \sqrt{24,29^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 11,073)^2} = 9,175 \cdot 10^6 \text{ Па}. [3.8]$$

где $\alpha = 0,8$ – отношение допустимого напряжения при изгибе к удвоенному допустимому напряжению при кручении, для реверсивных машин.

Для сечения В:

$$\begin{aligned} M_{IIB} &= k \cdot F_{II} \cdot c \cdot \left(1 - \frac{y_1}{l}\right) + (G_p + T) \cdot \frac{\alpha \cdot y_1}{l} = \\ &= 2 \cdot 207,6 \cdot 0,059 \cdot \left(1 - \frac{0,0765}{0,085}\right) + (13,183 + 289) \cdot \frac{0,8 \cdot 0,0095}{0,085} = 34,106 \text{ Н} \cdot \text{м}, \end{aligned}$$

$$W_B = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,045^3 = 9,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$\sigma_{npB} = \frac{1}{W_B} \sqrt{M_{IIB}^2 + (k\alpha M_{ном})^2} = \frac{1}{9,1 \cdot 10^{-6}} \sqrt{34,106^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 11,07)^2} = 4,2 \cdot 10^6 \text{ Па} [3.9]$$

$$\text{где } T = \frac{T_0}{1 - m} = \frac{289,04}{1 - 3,578 \cdot 10^{-6}} = 289,04 \text{ Н}, \quad [3.10]$$

$$e_0 = 0,1 \cdot \delta + f_G + f_{II} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ м} \quad [3.11]$$

$$T_0 = 2,94 \cdot D_2 \cdot l\delta \cdot \frac{e_0}{\delta} = 289,04 \text{ Н}; \quad [3.12]$$

Для сечения Г:

$$\begin{aligned} M_{III} &= [k \cdot F_{II} \cdot c + (G_p + T)b] \cdot \frac{x_2}{l} = \\ &= [2 \cdot 207,6 \cdot 0,1059 + (13,183 + 289,04) \cdot 0,0765] \cdot \frac{0,0765}{0,085} = 2,133 \text{ Н}, \end{aligned} \quad [3.13]$$

$$W_G = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,45^3 = 9,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$\sigma_{npG} = \frac{1}{W_G} \sqrt{M_{III}^2 + (k\alpha M_{ном})^2} = \frac{1}{9,1 \cdot 10^{-6}} \sqrt{2,133^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 11,073)^2} = 1,958 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Расчетное значение механических напряжений $\sigma_{\text{пр}}$ не должно превышать 70% предела текучести σ_T материала вала, для стали 40 $\sigma_T=780$ МПа [16, с.250]:

$$\sigma_{\text{прА}} = 9,175 \cdot 10^6 < 0,7 \cdot 7800 \cdot 10^5 = 5,46 \cdot 10^8$$

Общая масса спроектированного двигателя представлена в виде суммы масс, каждая из которых представляется в виде произведения объема на плотность материала, где $\gamma_c = 7,5 \cdot 10^3$ кг/м³ – удельная масса электротехнической стали, $\gamma_r = 4,5 \cdot 10^3$ – плотность гистерезисного слоя, $\gamma_a = 2,8 \cdot 10^3$ – плотность алюминиевого слоя 7020 [29].

Массы зубцов и спинки статора определяются:

$$m_{z1} = 2,45 \text{ кг} , m_{a1} = 4,17 \text{ кг},$$

Масса обмотки статора:

$$M_{об} = 8,9 \cdot q_{\text{эф}} \cdot u_n \cdot Z_1 \cdot l_{cm} \cdot 0,5 \cdot 10^3 = 0,3 \text{ кг} \quad [3.14]$$

Масса активного слоя ротора: $M_{p.a.} = V_p \cdot \gamma_c = 0,656 \text{ кг} \quad [3.15]$

Масса немагнитной втулки: $M_{p.n.} = V_p \cdot \gamma_c = 0,8 \text{ кг}$

Масса вала: $M_v. = V_v \cdot \gamma_c = 3,48 \text{ кг}.$

Масса подшипников: $m_{\text{п}} = 0,8 \text{ кг}.$

Масса станины: $M_{cm.} = V_{cm} \cdot \gamma_a = 2,67 \text{ кг}.$

Масса двигателя: $M = m_{z1} + M_{об} + M_{p.a.} + M_{p.n.} + M_v. + m_{\text{п}} + M_{cm.} = 15,3 \text{ кг}.$ [3.16]

При использовании данного двигателя в гидравлической системе вертолёта и изменении размеров конца вала и крепежной системы, масса машины будет уменьшена на 20%.

3.2. Выбор подшипников

Для выбора подшипников в первую очередь определим реакции опор [16, ф. 8.36, 8.37]:

$$R_B = F_{II} \cdot \frac{c}{l} + (G_P + T_0) \frac{b}{l} = 207,6 \cdot \frac{0,059}{0,211} + (13,183 + 289,04) \cdot \frac{0,076}{0,211} = 166,814 \text{ Н}, \quad [3.17]$$

$$R_D = F_{II} \cdot \frac{1+c}{l} + (G_P + T_0) \frac{a}{l} = 207,6 \cdot \frac{1+0,059}{0,211} + (13,183 + 289,04) \cdot \frac{0,076}{0,211} = 374,43 \text{ Н}. [3.18]$$

Выбор подшипников осуществляется по величине динамической грузоподъемности С [16, ф. 8.35а], с учетом коэффициента $K_H = 1,5 \div 2,0$. - характера нагрузки. Срок службы подшипника – $17 \cdot 10^3$ ч.

$$\begin{aligned} Q_B &= Kn \cdot R_B = 1,7 \cdot 166,8 = 333,63 \text{ Н} \\ Q_D &= Kn \cdot R_D = 1,7 \cdot 374,4 = 748,85 \text{ Н} \end{aligned} \quad [3.19]$$

$$\begin{aligned} C_B &= \frac{Q_B}{25,6} (Ld \cdot n_{ном})^{1/3} = \frac{333,63}{25,6} (17000 \cdot 6000)^{1/3} = 6,089 \cdot 10^3 \text{ Н}; \\ C_D &= \frac{Q_D}{18,5} (Ld \cdot n_{ном})^{0,3} = \frac{748,85}{18,5} (17000 \cdot 6000)^{0,3} = 1,023 \cdot 10^4 \text{ Н} \end{aligned} \quad [3.20]$$

Выбор подшипников и их параметров производится согласно значению расчетной динамической грузоподъемности С [15, с.733-737 табл. П5.1–П5.3]. Для спроектированного двигателя выбираем однорядные шариковые подшипники серии 180 с резиновый-металлическим уплотнением. В этом типе подшипников смазка закладывается на весь срок службы.

Шарикоподшипник 209 - легкая серия:

Внутренний диаметр $d=45$ мм,

Наружный диаметр $D=85$ мм,

Общая ширина $B=19$ мм,

Диаметр шарика $d_{ш}=12,7$ мм,

Динамическая грузоподъемность $C=33\ 200$ Н,

Статическая грузоподъемность $C_0=21\ 600$ Н,

Частота вращения в смазке $n=7800$ об/мин,

Подшипниковые щиты и станина спроектированного двигателя выполнены из алюминиевого сплава серии 7020, эти сплавы обладают высокой проч-

ностью, и благодаря малому удельному весу применимы в авиационной и военной технике [29].

4. Технология общей сборки электродвигателя

В настоящее время основной задачей при сборке электрических машин является задача увеличения механизации и автоматизации технологических процессов с сохранением необходимого качества продукции. Новые научные технические и научные разработки позволяют создать новые технологические процессы, использование которого позволяет сократить время технологической подготовки производства и трудоемкость выпускаемых изделий.

Задачей данной части работы является разработка технологического процесса сборки синхронного гистерезисного двигателя.

Технологический процесс предусматривает серийное производство с выпуском 6500 изделий в год.

4.1. Анализ конструкции электрической машины на технологичность

Спроектированный двигатель состоит из двух самостоятельных узлов: статор (поз. 1), в сердечнике которого уложена трехфазная обмотка и ротор (поз. 2). На вал ротора напрессованы подшипники (поз. 5). Подшипники закрытые, со смазкой, заложенной в них при изготовлении на весь срок службы. Ротор ориентируется относительно расточки статора с помощью подшипникового щита (поз. 3 и 4). Подшипниковые щиты после напрессовки на станину статора крепятся при помощи замка и винтами с углублением под ключ (поз.6) с шайбами (поз. 7) в количестве шести штук со стороны выходного конца вала. Для уменьшения шума в отверстия кожуха под винты вставлены резиновые втулки. Кабельный ввод (поз. 8) вкручивается в станину, соединение с насосной станцией осуществляется шпонкой (поз. 9).

Конструкция двигателя позволяет расчленить её на самостоятельные узлы с целью обеспечения возможности их параллельной сборки, автономного

контроля, испытания, замены: статор (поз. 1), ротор (поз. 2). При этом каждый из узлов содержит не более 12 составных частей.

Для увеличения автоматизации общей сборки двигателя исключены соединения (шпоночные, шплинтовые и др.) осуществление которых вызывает затруднение.

Сопрягаемые поверхности: подшипники на валу и подшипниковые щиты в плоскостях соединения со статором и подшипниками. Стандартные изделия: винты, шайбы и подшипники. Принцип волной взаимозаменяемости позволяет осуществлять сборку двигателя без выполнения дополнительной обработки и подгонки деталей [28].

За базовую деталь принимаем статор. Для осуществления устойчивости и необходимой точности установки станина наибольшая по габаритам деталь, имеет развитые базовые опорные поверхности и позволяет проводить сборку без изменения её положения. Резьбовые соединения, используемые для фиксации фланцевого щита к станине, позволяет обеспечить возможность разборки двигателя в целях ремонта. Так для крепления фланца к станине двигателя применяются 6 винтов М6 (поз. 6), что позволяет осуществить надежное крепление деталей не увеличивая массу

Таким образом, спроектированный гистерезисный двигатель соответствует требованиям технологичности для серийного производства. Использование разъёмных соединений (замочные, винтовые) дают возможность разборки двигателя без деформации конструкции.

4.2. Составление схемы сборки и разработка маршрутной технологии сборки электрической машины

Технологическая схема сборки составляется на основании сборочных чертеже и представляет собой последовательность, выполняемых операций, элементов и их количества, необходимых для создания готового изделия.

Схема сборки двигателя представлена на рисунке 4.1. В качестве базовой детали принимаем статор, т.к. зафиксировав его в приспособлении, легко с

обеих сторон производить сборку. Вставляем внутрь статора ротор в сборе с щитом подшипниковым, т.е. на ротор надет щит подшипниковый и подшипники (предварительно нагретые (горячая запрессовка)). Затем надеваем на статор подшипниковый щит пропускаем через крепёжные отверстия шпильки с шайбами и стягиваем щиты на статоре гайками. Во избежание заклинивания, вследствие кривой посадки по вине сборщика или бракованных деталей, следует прокрутить вал в разные стороны по несколько раз. Устанавливаем шпонку, надеваем колпак на передний конец вала и отправляем на приёмосдаточные испытания.

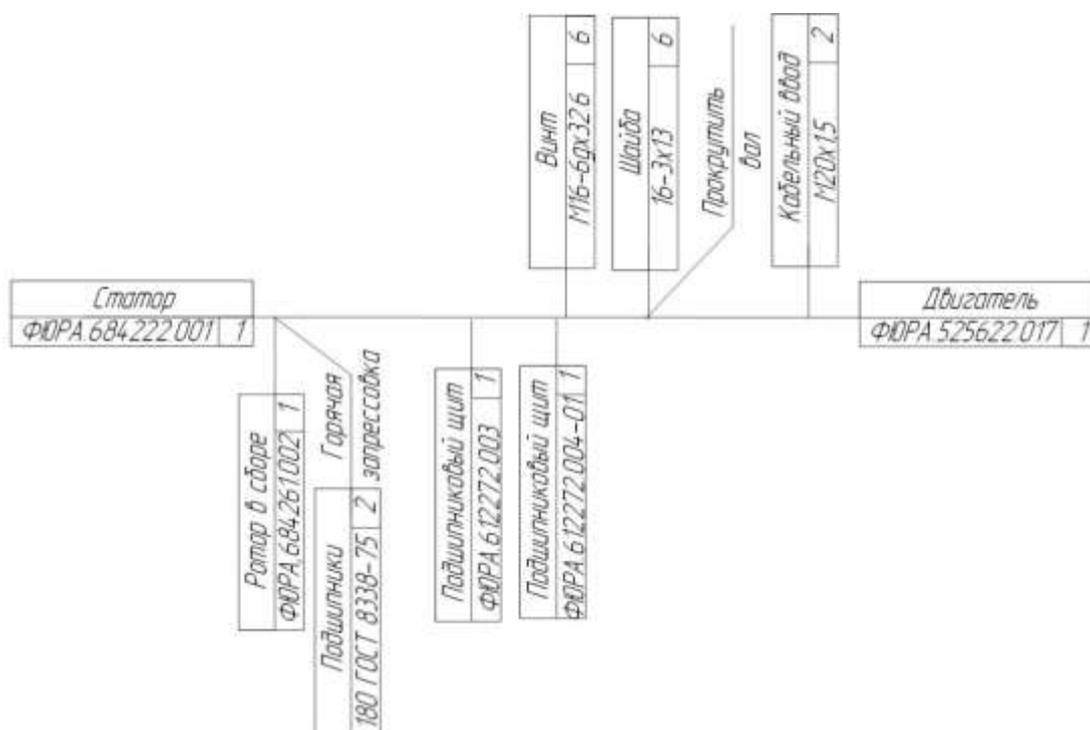


Рисунок 4.8 – Схема сборки синхронного гистерезисного двигателя

На основании выше сказанного заполним маршрутные карты (Приложение А).

4.3. Выбор сборочного оборудования, инструмента для сборки и испытаний электрической машины

Сборка узлов изделия происходит на верстаке. Для испытания двигателя на механическую прочность и работу в режимах холостого хода и короткого замыкания используем комплексный испытательный стенд ТС-16906. Для

проверки электрической прочности применим мегаомметр ЭС0202/1Г. Для нагрева подшипников применяют индукционную установку Ид-100.

Ротор и статор собирают отдельно друг от друга и затем они поступают на участок общей сборки.

Для транспортировки деталей, сборочных единиц и готовых изделий п применим механизированную линию.

Для хранения используем ящик 300×200мм.

Для подъёма, перемещения, опускания используем кран-балку Q=1т.

4.4. Нормирование сборочных работ

Технически обоснованной нормой времени называют регламентированное время выполнения технологической операции определенных организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства [28].

Штучным временем называют отношение времени выполнения технологической операции к числу изделий, одновременно собираемых на одном рабочем месте [28].

При расчетно-аналитическом методе технически обоснованную норму времени устанавливают на каждую сборочную операцию [28].

Штучное время равно

$$T_{шт} = T_о + T_в + T_{об} + T_п, \quad [4.1]$$

где $T_о$ – основное(технологическое) время

$T_в$ – вспомогательное время

Время организационного обслуживания рабочего места:

$$T_{об} = 0,05 \cdot T_{оп} \quad [4.2]$$

Время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего [28]:

$$T_п = 0,03 \cdot T_{оп} \quad [4.3]$$

Так как элементы основного и вспомогательного времени тесно связаны между собой, при сборке нормируют и оперативное время [28]:

$$T_{оп} = T_о + T_в. \quad [4.4]$$

Время перерывов в работе на отдых и личные надобности определяют по нормативам, в процентном отношении к оперативному времени (в среднем 2,5%).

При сборке изделий партиями вместо штучного времени $T_{шт}$ определяют штучно-калькуляционное $T_{шт.к.}$: $T_{шт.к.} = T_{шт} + T_{пз/п}$, с [28].

где $T_{пз} = 0,02 T_{оп}$ – подготовительно заключительное

$p = N \cdot k / 12 = 6500 \cdot 1,03 / 12 = 558$ шт/мес. – число изделий в партии;

$N = 6500$ шт/год – годовая программа выпуска;

$k = 1,03$ – коэффициент, учитывающий брак.

Подготовительно заключительным называют время, которое затрагивает сборщик на ознакомление с чертежом изделия, подготовку и наладку оборудования, приспособлений и инструментов, снятие и сдачу инструментов и приспособлений после выполненной работы, и сдачу собранных изделий [28].

Основное время учитывает изменение состояния продукта производства в процессе сборки. Оно затрачивается на выполнение соединений, регулирование, пригонку сопрягаемых деталей, подбор и размерную сортировку деталей, подготовку деталей к сборке. При слесарных работах и сборке основное время нормируют по соответствующим нормативам [28].

Вспомогательное время учитывает действия, которые сопровождают и обеспечивают выполнение основной работы. Оно включает время на установку, закрепление и снятие собираемой части изделия, управление механизмом и оборудования, а также на контроль выдерживаемых при сборке размеров. Вспомогательное время находят суммированием элементов времени на выполнение перечисленных действий по всем переходам операции, устанавливаемых по нормативам вспомогательного времени. Как и основное, вспомогательное время может быть ручным, машинно-ручным и машинным [28].

Время организационного обслуживания рабочего места учитывает затраты времени на подготовку рабочего места к началу работы, замены инструмента в процессе работы, уборку рабочего места в конце смены, смазку и чистку сборочного оборудования и приспособлений и т.п. Его определяют в

процентах от оперативного времени по нормативам (обычно в пределах 0,6-8%) [28].

Согласно изложенному, приведём пример для операции на продувочном автомате (операция №5).

$T_o = 31,0$ мин – основное время;

$T_v = 0,106$ мин – вспомогательное время;

$T_{оп} = T_o + T_v = 31,0 + 0,106 = 31,106$ мин.

Время организации обслуживания рабочего места:

$T_{об} = 0,05 \cdot T_{оп} = 0,05 \cdot 31,106 = 1,555$ мин.

Время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха:

$T_n = 0,03 \cdot T_{оп} = 0,03 \cdot 31,106 = 0,933$ мин.

Ознакомиться с чертежом, сдать готовое изделие далее:

$T_{пз} = 0,02 T_{оп} = 0,02 \cdot 31,106 = 0,622$ мин.

Штучное время:

$T_{шт} = T_o + T_v + T_{об} + T_n = 31,0 + 0,106 + 1,55 + 0,933 = 33,589$ мин.

$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз} / n = 33,589 + 0,622 / 6500 = 3,589$.

Аналогично рассчитаем другие операции и отобразим нормы времени по операциям в таблице 4.1.

Таблица 4.1. – нормы времени по операциям

Переход	№ опер	T_o	T_v	$T_{оп}$	$T_{об}$	T_n	$T_{пз}$	$T_{шт}$	$T_{шт.к}$
Сборка двигателя – Верстак	5	31	0,11	31,1	1,55	0,93	0,62	33,6	33,6
Испытания двигателя – Испытательный стенд	10	6,3	0,1	6,4	0,32	0,19	0,13	6,93	6,93
Контрольная	15	21,2	0,15	22,0	0,34	0,21	0,14	22,1	22,1

Эффективный годовой фонд времени работы одного станка при 40-часовой рабочей неделе с двумя выходными [28]:

$$F_d = [(365 - B_d - P_d) \cdot 8 - P_{pd}] \cdot Z \cdot K_p = \\ = [(365 - 104 - 14) \cdot 8 - 6] \cdot 2 \cdot 0,96 = 3782 \text{ часов}$$

$B_d=104$ – количество выходных дней в году;

$P_d=14$ – количество праздничных дней в году;

$P_{pd}=6$ – количество предпраздничных дней в году;

$K_p=0,96$ – коэффициент, учитывающий время станка в ремонте;

$Z=2$ – количество смен работы оборудования;

Расчётное число каждого из видов сборочного оборудования равно:

$$C_p = (T_{штк} \cdot N) / (60 \cdot F_d) \quad [4.5]$$

Для верстака (собрать двигатель):

$$C_{pv} = (33,59 \cdot 6500) / (60 \cdot 3782) = 0,962, \text{ принимаем: } C_{pv}=1;$$

Для испытательного стенда (испытание двигатель):

$$C_{pi} = (6,952 \cdot 6500) / (60 \cdot 3782) = 0,198, \text{ принимаем: } C_{pi}=1;$$

Контроль установочно-присоединительных размеров:

$$C_{pn} = (22,1 \cdot 6500) / (60 \cdot 3782) = 0,633, \text{ принимаем: } C_{pn}=1;$$

Таким образом коэффициент загрузки:

$$K_z = (C_p / C_{pn}) \cdot 100 \quad [4.6]$$

Для верстака (сборка двигатель):

$$K_{zv} = (0,962 / 1) \cdot 100 = 96,2 \%$$

Для испытательного стенда:

$$K_{zi} = (0,192 / 1) \cdot 100 = 19,2 \%$$

Для контроля: $K_{zn} = (0,633 / 1) \cdot 100 = 63,3 \%$

Построим график загрузки оборудования (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 - График загрузки оборудования

В данном случае самым загруженным оборудованием является верстак, на котором собирается генератор в количестве 1 штуки.

Из формулы $C_p = (T_{штк} \cdot N) / (60 + Fg)$ выразим N , подставив C_p вместо C_p .

$$N = (60 \cdot Fg \cdot C_p) / T_{штк} = (60 \cdot 3782 \cdot 1) / 33,59 = 6756 \text{ шт} / \text{год}.$$

Т.к. $6756 > 6500$, то программа выпуска выполняется.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель проекта состоит в проектировании гистерезисного электродвигателя для насосной станции вертолета [2].

Задачами данного проекта являются:

- Расчет и проектирование гистерезисного электродвигателя для насосной станции вертолета;
- Разработка технологического процесса сборки разработанного гистерезисного двигателя.

В данном разделе дипломной работы рассмотрены вопросы финансового менеджмента. Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательских работ проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию.

5.1. Потенциальные потребители результатов исследования

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

Синхронный гистерезисный двигатель (СГД), спроектированный на номинальную частоту 400 Гц и номинальное напряжение 115 В удовлетворит потребности – предприятий, сотрудничающих с предприятиями по выпуску авиационного оборудования. Питание авиационных насосных станций может осуществляться двигателями постоянного тока (ДПТ), асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором, а также может использоваться синхронный гистерезисного типа в зависимости от необходимой мощности и режима работы насосной станции.

Рассмотрим сегментирование по отрасли применения и типам используемых двигателей (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Карта сегментирования по отрасли применения и типам используемых двигателей

		Сферы промышленности	
		Самолетостроение	Вертолётостроение
Типы двигателей	ДПТ		
	АД с КЗ ротором		
	СГД		

Согласно представленной карте сегментирования видно, что использование синхронных гистерезисных двигателей в сфере вертолётостроения актуально.

5.2. 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 реали-

стично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов [2].

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, приведен в таблице 5.2. Для этого отберем следующие конкурентные разработки синхронных гистерезисных двигателей: МГ – 70/400(к1), Г304(к2), Г512УХЛ4(ф).

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 5.2, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений-

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Точность	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
2. Помехоустойчивость	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3. Безопасность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
4. Скорость вращения	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
5. Надежность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
6. Уровень шума	0,02	4	5	3	0,08	0,1	0,06

7. Энергоэкономичность	0,01	4	3	3	0,04	0,03	0,03
8. Габариты	0,01	4	5	2	0,04	0,05	0,02
9. Простота эксплуатации	0,01	4	4	4	0,04	0,04	0,04
10. Износ	0,01	4	3	3	0,04	0,03	0,03
Экономические критерии оценки эффективности							
11. Конкурентоспособность	0,06	5	4	5	0,3	0,24	0,3
12. Уровень проникновения на рынок	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
13. Цена	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
14. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,5	0,4
16. Послепродажное обслуживание	0,06	4	3	3	0,24	0,24	0,18
18. Наличие сертификата	0,06	5	5	5	0,3	0,3	0,3
Итого	1				4,28	4,33	4,16

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме составляют 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = B_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таким образом, у второго конкурента наивысшая конкурентоспособность, следовательно, у него больше преимуществ оказаться лидером на рынке.

5.3. Технология QuaD

Проведем оценку конкурентных технических решений синхронного гистерезисного двигателя (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений синхронного гистерезисного двигателя

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный	Относительное	Средневзвешенное значение
-----------------	--------------	-------	--------------	---------------	---------------------------

	рия		балл	значение (3/4)	ние (5x2)
1	2	3	4	5	6
Показатель оценки качества					
1. Энергоэффективность	0,06	76	100	0,76	4,56
2. Помехоустойчивость	0,05	74	100	0,74	3,70
3. Надежность	0,1	100	100	1,00	10,00
4. Унифицированность	0,05	83	100	0,83	4,15
5. Уровень материалоемкости разработки	0,05	57	100	0,57	2,85
6. Уровень шума	0,05	76	100	0,76	3,80
7. Безопасность	0,1	100	100	1,00	10,00
8. Функциональная мощность	0,06	68	100	0,68	4,08
9. Простота эксплуатации	0,05	85	100	0,85	4,25
10. Ремонтопригодность	0,05	72	100	0,72	3,60
Показатели оценки коммерческого потенциала					
11. Конкурентоспособность	0,05	78	100	0,78	3,9
12. Уровень проникновения на рынок	0,05	64	100	0,64	3,2
13. Перспективность рынка	0,05	82	100	0,82	4,1
14. Цена	0,06	60	100	0,6	3,6
15. Послепродажное обслуживание	0,06	76	100	0,76	4,56
16. Финансовая эффективность	0,06	43	100	0,43	2,58
19. Наличие сертификата	0,05	90	100	0,9	4,5
Итого	1				77,43

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.2)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Если значение P_{cp} получилось от 100 до 80 – разработка перспективна, от 79 до 60 – перспективность выше среднего, от 69 до 40 – перспективность средняя, от 39 до 20 перспективность ниже среднего, ниже 19 – перспективность крайне низкая [2].

Перспективность применения гистерезисного двигателя для насосной станции вертолётa выше среднего, поэтому необходимо рассматривать направление по ее дальнейшему улучшению.

5.4. 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 [2].

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап – описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде (таблица 5.4). Сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей [2].

Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Таблица 5.4 – Матрица SWOT

	Сильные стороны: С1. Использование более эффективного материала. С2. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С3. Экологичность техно-	Слабые стороны: Сл1. Недоработка эскизного проекта. Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки. Сл3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с
--	--	---

	<p>логии.</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С5. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С6. Квалифицированный персонал.</p>	<p>научной разработкой.</p> <p>Сл4. Отсутствие инженеринговой компании, способной построить производство под ключ</p> <p>Сл5. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p> <p>Сл6. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемые при проведении научного исследования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Использование инфраструктуры Института силовой электроники НГТУ, Новосибирск.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Ограничения на экспорт технологии.</p> <p>У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p> <p>У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>		

Второй этап – выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды, что поможет выявить степень необходимости проведения стратегических изменений [2].

Построим интерактивную матрицу проекта (таблица 5.5). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT [1]. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в выборе значения.

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	B1	+	+	0	+	+	+
	B2	+	+	-	+	+	+
	B3	-	+	-	0	0	0
	B4	+	-	+	0	+	0
Слабые стороны проекта							
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	Сл6
	B1	+	0	-	+	+	+
	B2	+	+	+	-	0	-
	B3	-	0	+	-	0	0
	B4	+	-	0	0	+	0
Сильные стороны проекта							
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5	C6
	У1	-	-	0	-	-	-
	У2	0	-	-	-	-	0
	У3	-	-	-	0	0	-
	У4	0	-	0	0	-	-
	У5	-	0	0	-	-	-
Слабые стороны проекта							
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	Сл6
	У1	-	0	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-	0	0
	У3	-	0	-	-	0	0
	У4	-	-	0	0	-	0
	У5	-	0	0	0	-	0

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Использование более эффективного материала.</p> <p>С2. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С3. Экологичность технологии.</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С5. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С6. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Недоработка эскизного проекта.</p> <p>Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p>Сл3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p> <p>Сл4. Отсутствие инженеринговой компании, способной построить производство под ключ</p> <p>Сл5. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.</p> <p>Сл6. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2. Использование инфраструктуры Института силовой электроники НГТУ, Новосибирск.</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследованиях.</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Использование возможности В1 положительно сказывается на сильных сторонах С1, С2, С4, С5, С6. Соответственно В2 на С1, С2, С4, С5, С6; В3 на С2; В4 на С1, С3, С5.</p>	<p>Использование возможности В1 положительно сказывается на слабых сторонах Сл1, Сл4, Сл5, Сл6. Соответственно В2 на Сл1, Сл2, Сл3; В3 на Сл3; В4 на Сл1, Сл5.</p>

<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Ограничения на экспорт технологии. У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции. У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>Угроза У1 негативно сказывается на сильных сторонах проекта С1, С2, С4, С5, С6; Аналогично У2 на С2, С3, С4, С5; У3 на С1, С2, С3, С6; У4 на С2, С5, С6; У5 на С1, С4, С5, С6.</p>	<p>Угроза У1 негативно сказывается на слабых сторонах проекта Сл1, Сл3, Сл4, Сл5, Сл6; Аналогично У2 на Сл2, Сл4, Сл1, Сл3; У3 на Сл1, Сл3, Сл4; У4 на Сл1, Сл2, Сл5, Сл6; У5 на Сл1, Сл5.</p>
---	---	--

5.5. Планирование работ и их временная оценка

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического задания;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения работ.

Этапы проектирования и соответствующие виды выполняемых работ представлены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – план разработки выполнения этапов проекта

№	Наименование работ	Исполнители	Кол-во, дней
1	Разработка технического задания	Руководитель,	1
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	2
3	Изучение технической документации	Инженер	1
4	Календарное планирование работа	Руководитель, инженер	1 1
5	Электромагнитный расчет двигателя	Инженер	10
6	Проверка выполненных расчетов	Руководитель	1
7	Разработка чертежей	Инженер	4
8	Расчет технологической части проекта	Инженер	5

9	Разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Инженер	6
10	Разработка раздела «Социальная ответственность»	Инженер	4
11	Оформление пояснительной записки	Инженер	4
12	Проверка пояснительной записки и чертежей	Руководитель	1
	Итого	Руководитель	4
		Инженер	37

Примечание: инженер —проектировщик, руководитель — научный руководитель проекта.

По данным таблицы 5.7 можно выделить занятость исполнительней: научный руководитель занят 4 дней, инженер – 37 дня.

На основе таблицы 5.7 строим календарный план-график (таблица 5.8).

5.6. Смета затрат на проектирование

При планировании бюджета научно-исследовательской работы должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [2].

Расчет плановых затрат на выполнение проекта выполняется по следующей формуле:

$$\sum K_{\text{проекта}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/п}} + K_{\text{со}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \quad (5.3)$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты необходимые для реализации проекта;

$K_{\text{ам}}$ – амортизация на компьютерную технику;

$K_{\text{з/п}}$ – затраты на заработную плату;

$K_{\text{со}}$ – затраты на социальные нужды;

$I_{\text{ам}}$ – амортизационные издержки;

$K_{\text{пр}}$ – прочие издержки;

$K_{\text{накл}}$ – накладные расходы.

Материальные затраты

Материальные затраты включают в себя стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта, такие как бумага, ручка, тетрадь, картридж для принтера. Принимаем величину материальных затрат в размере 1000руб. на канцелярские товары.

Амортизация компьютерной техники

Основной объём работ по разработке проекта был выполнен на персональном компьютере первоначальной стоимостью 30 тыс. рублей.

Амортизация вычисляется по следующей формуле:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.км}}}{T_{\text{кал}}} \cdot Ц_{\text{км}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \quad (5.4)$$

где $T_{исп.кт}$ – время использования компьютерной техники (35 дней);

$T_{кал}$ – календарное время (365 дней);

$C_{кт}$ – цена компьютерной техники (40 тыс. руб.);

$T_{сл}$ – срок службы компьютерной техники (5 лет).

$$K_{ам} = \frac{35}{365} \cdot 40000 \cdot \frac{1}{5} = 767 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата исполнителей

Расчет заработной платы разработчиков. Основная заработная плата исполнителей определяется на основе численности специалистов, соответствующих тарифных ставок и фонда рабочего времени и рассчитывается по следующей формуле:

$$ЗП = ЗП_о \cdot k_1 \cdot k_p, \quad (5.5)$$

где $ЗП_о$ – месячный оклад исполнителей;

$k_1 = 1,1$ – коэффициент, учитывающий неотработанное время (отпуск);

$k_p = 1,3$ – районный коэффициент для Томска.

Заработная плата для каждого из исполнителей:

Зарплата инженера:

$$ЗП_{инж} = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.}$$

Зарплата научного руководителя в месяц:

$$ЗП_{нр} = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата:

$$ЗП_ф = \frac{ЗП_м}{21} \cdot n_ф, \quad (5.6)$$

где $ЗП_м$ – месячная зарплата исполнителя;

$n_ф$ – фактическое количество дней, потраченных на разработку проекта.

Фактическая заработная плата для научного руководителя:

$$ЗП_{фнр} = \frac{37609}{21} \cdot 4 = 7166 \text{ руб.}$$

Фактическая заработная плата для инженера:

$$ЗП_{финж} = \frac{24310}{21} \cdot 37 = 40\,284 \text{ руб.}$$

Итого затраты на заработную плату:

$$K_{з/н} = ЗП_{финж} + ЗП_{фнр}; \quad (5.7)$$

$$K_{з/н} = 7\,166 + 42\,834 = 50\,000 \text{ руб.}$$

Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные нужды относятся к обязательным отчислениям. К ним относятся отчисления в пенсионный фонд, в фонд социального страхования, в фонд занятости и в фонд обязательного медицинского страхования. Отчисления производятся предприятиями за счет себестоимости продукции (т.е. относятся к затратам на производство) по нормам, установленным в законодательном порядке, в процентах к фактически начисленной сумме средств на оплату труда основного персонала.

Затраты на социальные нужды составляют 30% от основной заработной платы:

$$K_{co} = 0,3 \cdot k_{з/н}; \quad (5.8)$$

$$K_{co} = 0,3 \cdot 50\,000 = 15\,000 \text{ руб.}$$

Прочие затраты

Прочие неучтенные прямые затраты включают в себя все расходы, связанные с налоговыми сборами (не предусмотренными в предыдущих статьях), отчисления внебюджетные фонды, платежи по страхованию, оплата услуг связи, представительские расходы, затраты на ремонт и прочее. Принимаем размер прочих затрат как 10% от суммы расходов на материальные затраты, услуги сторонних ор-

ганизаций, амортизации оборудования, затрат на оплату труда, отчисления на социальные нужды.

Прочие затраты рассчитываются по формуле:

$$K_{np} = 0,1 \cdot (K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{со}); \quad (5.9)$$

$$K_{np} = 0,1 \cdot (1000 + 767 + 50\,000 + 15\,000) = 6\,677 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы составят 200% от фонда заработной платы. Они включают в себя затраты на хозяйственное обслуживание помещения, обеспечение нормальных условий труда, оплату за энергоносители и другие косвенные затраты.

Накладные расходы рассчитываются по формуле:

$$K_{накл} = 2 \cdot K_{з/пл}; \quad (5.10)$$

$$K_{накл} = 2 \cdot 50\,000 = 100\,000 \text{ руб.}$$

Итоговый расчет плановых затрат на выполнение проекта:

$$K_{проекта} = 1000 + 767 + 50\,000 + 15\,000 + 6\,677 + 100\,000 = 173\,444 \text{ руб.}$$

На основании рассчитанных величин затрат на выполнение работы составляется таблица 7.

Таблица 5.9 – Смета затрат на проект

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	1000
Затраты на амортизацию компьютерной технике	767
Затраты по основной заработной плате исполнителей	50 000
Затраты на социальные нужды	15 000
Прочие расходы	6 677
Накладные расходы	100 000
Итого	173 444

5.6. Сравнительный анализ

Сравнительный анализ спроектированного гистерезисного двигателя с уже существующим двигателем Г512УХЛ4. Критерии сравнения представлены в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Характеристики синхронных гистерезисных двигателей

Характеристики	Проектируемый двигатель	Г512УХЛ4
Номинальная мощность, кВт	7	3
Напряжение питания, В	115	115
Масса, кг	3	4,2
Частота вращения, об/мин	6000	1500
КПД, %	60	33,3
Коэффициент мощности, %	60	0,59
Номинальный ток, А	20,3	19,1

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

Рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности трёх исполнений (исп. 1-3) проектируемого двигателя в форме таблицы (табл. 5.11).

Таблица 5.11 – сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проектов

	Весовой коэффициент параметра	Проектируемый двигатель	Г512УХЛ4
1. Способствует росту производительности труда	0,1	5	3
2. Удобство эксплуатации	0,15	5	5
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4
4. Энергоснабжение	0,20	4	4
5. Надежность	0,25	5	4
6. Материалоемкость	0,15	4	4
ИТОГО	1	4,5	4,0

Сравнительный анализ всех показателей и результаты представлены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 - Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Проектируемый двигатель	Г512УХЛ4
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,9	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,0
3	Интегральный показатель эффективности	5,43	4,65
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,34	1,23

Таким образом, можно сделать вывод, что данный спроектированный гистерезисный двигатель для насосной станции вертолёта эффективен для применения с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Для выпуска на рынок научно-исследовательской работы финансовые затраты на реализацию исследования - проектирование синхронного гистерезисного двигателя для насосной станции вертолёта – составят не более 173,4 тыс. руб. в ценах текущего года.

6. Социальная ответственность

Введение

Деятельность человека связана со средой, что окружает его, поэтому всегда следует учитывать это воздействие и постараться минимизировать его последствия. Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на работника, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды во время технологического процесса общей сборки синхронного гистерезисного двигателя для насосной станции вертолёта.

Для осуществления технологического процесса общей сборки синхронного гистерезисного двигателя для насосной станции вертолѐта применяется следующее оборудование, инструменты и приспособления: верстак Р776Е, индукционная печь RGZC-0., мегаомметр ЭС0202/1Г, пневмопресс МХ-145, ключи инструментальные, молоток 7805-0103 ГОСТ 2310-77 [12]. Технологический процесс сборки включает в себя работу с механизированным ручным инструментом с устройством продувки деталей и транспортными приспособлениями.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ТК РФ, Статья 219 [26] право работника на труд в условиях, отвечающих требованиям охраны труда – каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Так как общей сборки электродвигателя подразумевает возможное наличие угроз жизни и здоровья, следует обеспечить работника всеми необходимыми

средствами индивидуальной защиты – рабочими перчатками (для уменьшения травм от острых краёв металла); очками (для исключения попадания инородных тел в глаза и область глаз); спец. Одеждой (как мерой индивидуальной защиты работника) и другими мерами защиты в зависимости от выполняемой работы. Каждому работнику должно быть предоставлено рабочее место с учётом специфики работы – если это сборочное место, то оно должно быть оснащено всем необходимым для сборки инструментом, должно быть удобным и освещённым в зависимости от размера собираемой детали; если это место работника-токаря, то рядом должны находиться инструментальные шкафы со всем необходимым инструментом, перед станком должна быть ровная и удобная поверхность, уровень света должен быть достаточен для работы. Рабочее помещение должно оборудоваться системами отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией. Помещения должны иметь естественное и искусственное освещение. Поверхность пола в рабочем помещении должна быть ровной, без выбоин, нескользкой, удобной для очистки и влажной уборки, обладать антистатическими свойствами. В помещении должны находиться аптечка первой медицинской помощи.

6.2. Производственная безопасность

Анализ опасных и вредных производственных факторов

Обеспечение безопасности труда обязательно на любом предприятии, важно создать такие условия труда для работников, при которых риски вреда здоровью и будут сведены к минимуму.

При общей сборке может возникнуть ряд вредных и опасных производственных факторов (таблица 6.1).

Таблица 6.1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 [7])	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра- ботка	Изго- товле- ние	Экс- плуа- тация	
1. Отклонение	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96"

показателей микроклимата				Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений" [21]
2. Превышение уровня вибрации		+	+	СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [22]
3. Превышение уровня шума		+	+	СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». [20]
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [11]
5. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны		+		ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [12]
6. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия		+	+	ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [5]
7. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [23], Правила устройства электроустановки (ПУЭ) [19]

Обоснование мероприятий по защите персонала предприятия от действия опасных и вредных факторов

Отклонение показателей микроклимата. Деятельность человека находится под воздействием каких-либо метеорологических условий: температура воздуха, относительная влажность, скорость движения воздуха.

Работа при пониженных температурах провоцирует сердечно-сосудистые, простудные заболевания, оказывает пагубное влияние на позвоночник и суставы. Повышенные температуры ухудшают работоспособность, может вызывать головные боли, слабость, интенсивное потоотделение, повышение артериального давления, тепловые удары. Влажность воздуха оказывает влияние на терморегуляцию организма. Повышенная влажность ($\varphi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию

вследствие снижения испарения пота, а слишком низкая влажность ($\phi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих места производственных помещений представлены в таблице 6.2 [22]. Работа в производственном цеху относится к средней тяжести – Па.

Таблица 6.2 – Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхности, °С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха	
	оптим.	допуст.	оптим.	допуст.	оптим.	Допуст.	оптим.	допуст.
Холодный	19-21	16-27	18-22	17-24	60-40	15-75	0,2	0,1-0,2
Теплый	20-22	15-22	13-23	12-24	60-40	15-75	0,2	0,1-0,2

Для поддержания необходимых показателей среды могут использоваться следующие меры:

- рациональное планирование производственных зданий – расположение сооружений с учетом розы ветров;
- применение дистанционного управления позволяет проводить операции в цехе с повышенной температурой без прямого воздействия человека;
- защита работающих органов/рабочих различными видами экранов;
- рациональная система вентилирования, отопления и кондиционирования воздуха, позволяющая поддерживать комфортный уровень температуры и влажности в помещении независимо от погодных условий и времени года.

Кроме того, необходимо учесть индивидуальную защиту: спецодежда, спецобувь, средства защиты рук и головы [1].

Причиной **повышенной запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны** на этапе проектирования может быть: офисная бумага, а также принтеры и ксероксы; на этапе производства возникает на участках производства и лакировки обмоток, при механической обработки материалов (статора, станины и др.), при продувке деталей перед сборкой.

Взвешенные в воздухе частицы, попадая в организм, приводят к острым и хроническим отравлениям. На рассматриваемом участке при механической обработке происходит образование пыли и других вредных факторов, предельно, допустимые значения которых представлены в таблице 6.3 [19].

Таблица 6.3 Предельно допустимые значения вредных веществ

Вещества	ПДК, %	Класс опасности	Агрегатное состояние
СО	20	4	газ
Пыль	6	4	аэрозоль
Вредные вещества	6	4	аэрозоль

Уменьшить содержание вредных веществ в воздушной среде и сохранить необходимую концентрацию газов помогут профилактические мероприятия использование фильтров, качественная герметизация оборудования, использование увлажнителей при работе с сыпучими веществами, - общей и местной вытяжной вентиляции помещений и рабочих мест, а также применение индивидуальных средств защиты рабочими.

Производственное освещение одна из неотъемлемых составляющих комфортной рабочей среды, при правильной организации которой обеспечивает сохранность качества зрения и нормального состояния нервной системы, кроме того безопасность во время выполнения работ.

Плохое освещение рабочих мест является одной из причин низкой производительности труда: глаза работающего напряжены, при этом сложно отличить обрабатываемые предметы, снижается темп работы, ухудшается общее состояние организма человека [1].

Рекомендуемая освещенность рабочей зоны представлена в таблице 6.4 [12]

Таблица 6.4 - освещенность в электротехнической промышленности

Наименование зрительной работы и вида деятельности	Изготовление кабелей и проводов	Намотка катушек			Пропитка катушек	Монтажные операции				Испытания, контроль
		большие	средние	малые		грубые	Средней т.	Высокой т.	сверхточные	
$E_{экс}, ЛК$	300	300	500	750	300	300	500	700	1000	1500

Освещение не должно вызывать напряжение глаз и быть достаточным для выполнения работы без возникновения ошибочных действий. Следует учитывать возможность создания равномерного и устойчивого освещения, защиту глаз работника от прямых солнечных лучей. В светлое время суток преобладает естественное освещение (через оконные проёмы), при его отсутствии/недостатке необходимо использование искусственного освещения. Наиболее благоприятным является использование люминесцентных ламп, так как их свечение близко к естественному.

Превышение уровня шума так же относится к вредным факторам производства.

Источниками шума при осуществлении общей сборки и проведении испытательных работ могут являться: работающие механизмы и аппараты (пневмопресс, шпильковерт), система вентилирования и кондиционирования воздуха, соударение металлических деталей при сборке, шум в подшипниках.

Шумом могут являться различные виды звуков вызывающие неприятные ощущения и отвлекающие от нормальной деятельности человека. Источниками шума могут являться Предельно допустимые эквивалентные уровни звука представлены в таблице 6.5 [21].

Таблица 6.5 – Предельно допустимые эквивалентные уровни звука, дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категории тяжести трудового процесса		
	Легкая и средняя физическая нагрузка	Тяжелый труд I степени	Тяжелый труд II степени
Напряженность легкой и средней степени	70-80	75	75
Напряженный труд 1 степени	60	65	65
Напряженный труд 2 степени	50	-	-

Повышенный уровень вибрации оказывает разрушающее воздействие не только на состояние машин и механизмов, но и организм человека: ухудшение состояния нервной и костно-суставной системы, повышение артериального давления, повышение энергетических затрат организма.

Источниками вибрации при осуществлении общей сборки и проведении испытательных работ могут являться работающие механизмы (пневмопресс, шпильковерт).

Для уменьшения влияния шумов и вибраций на состояние работников необходимо:

- качественное изготовление деталей и станков;
- использование неметаллических деталей вместо металлических;
- применение звукоизолирующих и звукопоглощающих преград;
- правильная планировка и расположение цехов;
- применение амортизации, виброгасителей;
- правильная организация труда и отдыха;
- оснащение работников средствами индивидуальной защиты (наушники, беруши, противозумные каски, одежда).

Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия.

Подвижными частями оборудования являются:

- подвижные стойки станков;
- вращающиеся шпиндели с закрепленным в них инструментом;
- ходовые винты;
- транспортные устройства (кран-балка).

Основной параметр, характеризующей опасность подвижных частей, является скорость их перемещения. Согласно ГОСТ 12.2.009-99 [8] опасной скоростью перемещения подвижных частей оборудования, способных травмировать ударом, является скорость более 0,15 м/с. Движущиеся части оборудования представляют опасность возникновения травмы рабочего в виде ушибов, порезов, переломов, - могут привести к потере трудоспособности.

В соответствии с ГОСТ 12.2.003-91 [5] движущие части производственного оборудования, являющиеся источником опасности, должны быть ограждены, с

целью защиты работников за исключением без ограничения работоспособности механизма.

Для уменьшения риска проводятся следующие мероприятия:

- установка защитных устройств (местные ограждения, крышки, кожуха);
- нанесение предупреждающего знака на наружной стороне ограждений по ГОСТ 12.4.026-2015 [9];
- установка предохранительных и блокирующих устройств, предотвращающих самопроизвольное опускание рабочих частей (головок, шпинделей, бабок);
- использование автоматических устройств при установке заготовок и снятии деталей для исключения соприкосновения рук станочников с движущимися приспособлениями и инструментом;

Электробезопасность – система мер по защите человека от вредного и опасного воздействия электрического тока при работе с электрическим оборудованием следует помнить, что прямое взаимодействие с токоведущими частями, оказавшимися под напряжением может привести к необратимым воздействиям на организм. Электрический ток, проходя через организм, оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое действие выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, нервов и других тканей. Электролитическое действие выражается в разложении крови и других органических жидкостей, что вызывает значительные нарушения их физико-химических составов. Биологическое действие является особым специфическим процессом, свойственным лишь живой материи. Оно выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма, а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в нормально действующем организме и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями. В результате могут возникнуть различные нарушения в организме, в том числе нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения. Раздражающее действие тока на ткани организма может быть прямым, когда ток прохо-

дит непосредственно по этим тканям, и рефлекторным, т.е. через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этих тканей [1].

Для обеспечения безопасной работы с электрическими установками, допуск к работе осуществляется только после проведения первичного инструктажа (и повторным через интервал времени), завершения стажировки на рабочем месте под руководством специалиста и в специальной одежде.

Защита от поражения электрическим током проводится следующим образом [20]:

- Использование изоляции для токоведущих частей;
- Блокировочные устройства, автоматически отключающие установку при снятии с них защитных кожухов;
- Заземление и зануление корпусов рабочих установок;
- Предупреждающая сигнализация, предупреждающая при появлении потенциала на корпусе установки.

6.3. Экологическая безопасность

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилия учёных многих специальностей. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий, является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это требует решения целого комплекса сложных технологических и конструктивных задач, основанных на исследовании новейших научно-технологических достижений.

Важными направлениями следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в окружающую среду, замену и по возможности широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

В качестве дополнительных средств защиты применяют аппараты и системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей, глушителей шума, виброизоляторы технологического оборудования. Важную роль в защите окружаю-

щей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

На обмоточном участке в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

Вследствие использования работниками душевых и туалетов образуются жидкие отходы, удаление которых происходит по средствам канализационной системы.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – обстановка на определённой территории, возникшая в результате аварии, катастрофы, которые могут вызвать жертвы, значительные материальные потери и нарушение жизнедеятельности людей, нанести ущерб окружающей среде. Основные усилия направлены на предупреждение данной ситуации. При возникновении аварийной ситуации в первую очередь необходимо информировать работников предприятия и населения, живущего неподалёку. Если есть пострадавшие, им нужно сразу оказать первую медицинскую помощь, доставить в лечебные учреждения и продолжить спасательные работы.

А для того, чтобы такие ситуации не были непредвиденными, на потенциально опасных предприятиях создается план локализации и ликвидации опасных ситуаций (ПЛАС), и персонал должен быть обучен работе с ним. Именно грамот-

ные действия персонала в аварийной ситуации приобретают первостепенную важность.

Пожарная безопасность

Участок общей сборки согласно НПБ 105-03 [19] относится к категории «Д», т.е. это производство, в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Лица, не прошедшие противопожарный инструктаж к работе не допускаются. Каждый работающий на предприятии, независимо от занимаемой должности должен знать и строго соблюдать установленные правила пожарной безопасности, не допускать действий, могущих привести к пожару или загоранию.

Лица, виновные в нарушении настоящих правил, в зависимости от характера нарушений и их последствий, несут ответственность в установленном законом порядке - в дисциплинарном, административном или судебном.

Противопожарная защита имеет своей целью изыскание наиболее эффективных, экономически целесообразных и технически обоснованных способов и средств предупреждения пожаров и их ликвидации с минимальным ущербом при наиболее рациональном использовании сил для ликвидации горения.

Лица, не прошедшие противопожарный инструктаж к работе не допускаются. Каждый работающий на объединении, независимо от занимаемой должности должен знать и строго соблюдать установленные правила пожарной безопасности, не допускать действий, которые могут привести к возгоранию.

Первичные средства пожаротушения (относятся все виды переносных и передвижных огнетушителей, оборудование пожарных кранов, ящики с порошковыми составами и огнестойкие ткани) должны размещаться в легкодоступных местах и не должны быть помехой и препятствием при эвакуации персонала из помещений. Допускается установка огнетушителей в тумбах или шкафах, конструкция которых должна позволять визуально определить тип огнетушителя и осуществить быстрый доступ к нему для использования при пожаре. Каждый работаю-

щий на объединении должен знать пути эвакуации из помещения и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения.

Пример плана эвакуации представлен на рисунке 6.1.

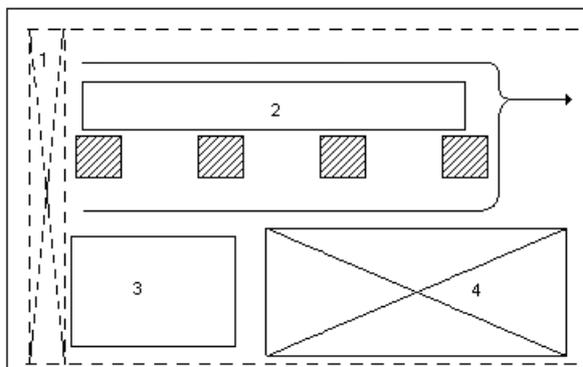


Рисунок 6.1 – план эвакуации в случае чрезвычайной ситуации

1 – кран-балка, 2 – верстак для сборки двигателей, 3 – испытательный стенд, 4 – места складирования

Выводы по разделу

В разделе социальной ответственности был проведён анализ основных правовых и организационных вопросов обеспечения безопасности на предприятии, опасных и вредных факторов, экологической безопасности данного производства и меры предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Анализ вредных и опасных факторов, а также мер по уменьшению их влияния на работников, позволит создать более и безопасную обстановку на производстве при осуществлении сборки гистерезисных двигателей.

Учёт влияния на окружающую среду даёт возможность рассмотрения и применения мер по уменьшению данного воздействия, использованию систем очистки и переработки.

Выявление и применение мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций, а также планирования мер по их ликвидации с минимальными последствиями позволяет свести к минимуму риски возникновения чрезвычайных ситуаций, количество жертв и ущерб, нанесённый предприятию.

Заключение по работе

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы был спроектирован трехфазный синхронный гистерезисный двигатель для насосной станции вертолета, согласно технического задания: выходная мощность $P_2 = 7 \text{ кВт}$, частота сети $f=400$ Гц, частота вращения $n=6000$ об/мин.

В электромагнитном расчёте были выбраны главные размеры, параметры машины, масса активных материалов, потери и рассчитаны пусковые и рабочие характеристик. Кратность намагничивающего тока превышает значение номинального и 3,46, в что становится причиной высоких электрических потерь. Однако, после проведения цикла перевозбуждения, ротор достигнет необходимого уровня намагниченности, значение намагничивающего тока значительно уменьшится, и энергетические показатели электродвигателя увеличатся.

Для обмотки статора выбран провод ПЭТ-180 с изоляцией класса Н, термические свойства провода позволяют подвергать его при длительных перегрузках и воздействию высоких температур.

Согласно механическому расчету жесткость, прочность и критическая частота вращения двигателя находятся в допустимых пределах. В данном двигателе применяются однорядные шариковые подшипники серии 180 с резиновым-металлическим уплотнением. В этом типе подшипников смазка закладывается на весь срок службы (10 000 часов), что обеспечивает высокую долговечность и надежность.

По результатам теплового расчета двигатель обладает запасом по температуре нагрева обмотки статора относительно окружающей среды, и естественного охлаждения достаточно для нормальной работы двигателя.

В разделе «Технология общей сборки электродвигателя» была проведена оценка технологичности конструкции, выбрано оборудование и оснастка, определены нормы времени для выполнения программы выпуска, а также разработана технология общей сборки СГД.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» освещены вопросы технико-экономического обоснования производства синхронного гистерезисного двигателя. Произведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения инженерных решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ опасных и вредных факторов и меры по сокращению их влияния. Освещены вопросы, связанные с чрезвычайной ситуацией, охраной окружающей среды.

Спроектированный двигатель отвечает поставленным в техническом задании требованиям.

Список используемой литературы

11 Беляков, Геннадий Иванович. Охрана труда и техника безопасности [Электронный ресурс]: учебник для прикладного бакалавриата / Г. И. Беляков. — 3-е изд., перераб. и доп. — Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740МВ). — Москва: Юрайт, 2016. — 1 Мультимедиа CD-ROM. — Бакалавр. Прикладной курс. — Электронные учебники издательства "Юрайт". — Электронная копия печатного издания. — Системные требования: Pentium 100 MHz, 16 Mb RAM, Windows 95/98/NT/2000, CDROM, SVGA, звуковая карта, Internet Explorer 5.0 и выше. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2015/FN/fn-89.pdf>.

12 Видаев И. Г., Серикова Г. Н., Гаврикова Н. А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие./, Г. Н. Серикова, Н. А. Гаврикова, Н. В. Шаповалова, Л. Р. Тухватулина, З. В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск; Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36.

13 Вольдек А. И. – Электрические машины. Учебник для студентов высш. Техн. учебн. Заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978. – 832., ил.

14 ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ; Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

15 ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

16 ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

17 ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

18 ГОСТ 12.2.009-99 Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности.

19 ГОСТ 12.4.026-2015 Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила

применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний.

20 ГОСТ 10160-75 Сплавы прецизионные магнитно-мягкие. Технические условия (с Изменениями N 1-4, с Поправкой).

21 ГОСТ 2310-77 Молотки слесарные стальные.

22 ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений;

23 ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

24 Делекторский Б.А., Мастяев Н.З., Орлов И.Н. проектирование гироскопических электродвигателей. – М.: Машиностроение, 1968. -252 с.

25 Заявка № 2615972, МКИ, НО2Р 7/42. Verfahren und Anordnung zum Ansteuerung var Hysteregemotoren / М.Куню, S.Yasuyuki, O. Hiromori (Япония). – 14с., 3 с. ил.

26 Копылов И. П., Клоков Б. К., Морозкин В. П., Токарев Б. Ф. Проектирование электрических машин: учебник для вузов /; Под ред. И.П.Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш.шк., 2002. – 757 с.: ил.

27 Мастяев Н. З., Орлов И. Н Гистерезисные электродвигатели, ч. I Вопросы теории и применения, МЭИ, 1963

28 Мастяев Н. З., Орлов И. Н Гистерезисные электродвигатели, ч. II Вопросы проектирования, МЭИ, 1963

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

30 Правила устройства электроустановки (ПУЭ).

31 СанПиН 2.2.4.3359-16 под названием «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

32 СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

33 СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

34 СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий.

35 СТО ТПУ 2.5.01–2006. Стандарт организации. Система образовательных стандартов. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления.

36 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).

37 Устюхин А.С., Вомпе Т.А., Миляев И.М., Зелевский В.А. Исследование магнитных гистерезисных свойств Fe-26Cr-16Co порошковых сплавов в зависимости от условий спекания и термообработки // Ученые записки ЗабГУ. Серия: Физика, математика, техника, технология. – 2015. – Ч. 135. – № 3. – С. 112–119.]

38 Чесалин А. Д., Баранов П. Р. Курсовое проектирование по технологии производства электрических машин и аппаратов: учебное пособие / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 148 с.

39 Aluminum and Aluminum Alloys /J. R. Davis, ASM, 1993

Приложение

Дуб									
Вза									
Под									

ФЮРА.525622.017	89	83
-----------------	----	----

ТПУ

ФЮРА.525622.017

Приложение А

Комплект документов
на технологический процесс
сборки синхронного гистерезисного двигателя

ТЛ

Дуб																				
Вза																				
Под																				
										ФЮРА.525622.017					89		84			
Разра	Якушина Е. А.						ТПУ		ФЮРА.525622.017											
Пров	Баранов П. Р.																			
М0																				
М0	Код	Е	МД	ЕН	Н.рас	КИ	КОД загот.	Профиль и размеры			КД	М								
А	пе	У	Р	Оп	Код, наименование операции			Обозначение документа												
Б	Код, наименование оборудования						Проф.	Р	УТ	К	КО	ЕН	ОП	К	Тп.з	Т шт.				
к/м	Наименование детали, сб. единицы или материала						обозначение , код			ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх						
01																				
А02	05 Сборочная											33,59								
Б03	Индукционная печь Ид-100; Универсальный верстак Р776Е ГОСТ 16371-93																			
К04	Костюм МИ ГОСТ 27578-87; Ботинки кожаные Мун ГОСТ 28507-90; Фартук Б ГОСТ 12.4.029-76																			
05																				
М06	Ёмкость																			
007																				
О08	Расконсервировать обработанные поверхности деталей и узлов																			
09																				
Б10	Индукционная печь RGZC-0																			
11																				
К12	Ротор в сборе (поз. 2); подшипники 180209 (поз. 5).																			
13																				
О14	Нагреть подшипники (поз. 5), в индукционной печи до 80°C в течении 3 минут и по снятию запрессовать на ротор (поз. 2) до																			
МК																				

Дуб			
Вза			
Под			

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

85

ФЮРА.525622.017

А	пе	У	Р	Оп	Кол	наименование	операции	Обозначение документа									
Б	Код, наименование оборудования							Проф.	Р	УТ	К	КО	ЕН	ОП	К	Тп.з	Т шт.
к/м	Наименование детали, сб. единицы или материала					обозначение, код					ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх		

T01	Кузнечные клещи, молоток															
02																
K03	Ротор с запрессованными подшипниками (поз. 5); статор (поз 1); щит подшипниковый (поз. 3 и 4); кабельный ввод (поз. 7);															
04	Винты (поз.6), шайбы (поз. 7), шпонка (поз. 9)															
O05	На ротор надеть щиты подшипниковые (поз 3 и 4) и поместить ротор в статор. станут равномерно винтами (поз. 6) на															
O06	Провернуть ротор в разные стороны по несколько раз (должно быть свободное вращение).															
O07	Установить кабельный ввод (поз.8) и шпонку (поз. 9)															
08																
T09	Электрогайковерт ИЭ 3113, ключи инструментальные, ключи шестигранные, молоток															
10																
A11	10	Контрольная										6,925				
B12	Верстак, вертикальная стойка, тиски															
K13	Халат МИ 12.4.131 – 83; Перчатки трикотажные Ми ГОСТ 5007-75; Тапочки Мп ГОСТ 28507-90; Диэлектрический коврик															
14																
O15	Проверить высоту центра и непараллельность оси вращения вала..															
T16	Шаблон 125 _{0,5} ТИ-7429															
T17	Штативы ГОСТ 10197-70, Индикаторы часового типа ич-10, центрирующий паз калибра с шаблоном, линейка,															
МК																

Дуб			
Вза			
Под			

3

ФЮРА.525622.017

А	пе	V	P	Op	Код	наименование	операции	Обозначение документа											
Б	Код, наименование оборудования							Проф.	P	УТ	К	КО	ЕН	ОП	К	Тп.з	Т шт.		
к/м	Наименование детали, сб. единицы или материала							обозначение, код			ОП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх				

A0	15	Приёмо-сдаточные испытания														22,1	
B02	Испытательная станция СКП-1																
03	Халат МИ 12.4.131-83; Перчатки трикотажные Ми ГОСТ 5007-75; Тапочки Мп ГОСТ 28507-90; Диэлектрический коврик																
04																	
O05	Проверить качество сборки электродвигателей – 100%																
K06	Испытательный стенд ТС-1690б приспособление ТВ-10879, внешний осмотр																
07																	
O08	Испытать по программе приёмосдаточных испытаний по ГОСТ 183-74 – 100%																
09																	
O10	Определение тока и потерь XX																
11																	
O12	Определение направления вращения																
13																	
O14	Испытание изоляции повышенным напряжением																
15																	
O16	Измерить сопротивления изоляции обмоток																
17																	

МК

Дубл.																				
Взам.																				
Подп.																				

4

ФЮРА.525622.017

А	пех	Уч	Рм	Опер	Кол.	наименование	Обозначение документа										
Б	Код, наименование оборудования						Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	К	Тп.з	Т шт.	
к/м	Наименование детали, сб. единицы или материала					обозначение, код	ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх						
001	Проверить ток и потери КЗ при неподвижном роторе																
02																	
003	Проверить уровень шума																
04																	
005	Проверить эл. двигатель на вибрацию. Допустимая эффективная вибрационная скорость 1.8мм/с – 1																
К06	Мегаомметр U=500В, электрические зажимы, приспособление ТП – 5383																
07																	
OK8	Результаты испытаний занести в специальный журнал																
09																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
МК																	

				ФЮРА.525622.017		89	88
Разраб.	Якушина Е. А.			ТПУ	ФЮРА.525622.017		
Провер.	Баранов П. Р.						
				Синхронный гистерезисный двигатель			

