

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Синхронный двигатель с высококоэрцитивными постоянными магнитами
УДК 621.313.323:621.318.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Э1	Петров Виталий Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев А.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Криницына З.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Технология производства электрических машин»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов П.Р.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютева П.В.	к.т.н.		

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Тютеева П.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Э1	Петрову Виталию Владимировичу

Тема работы:

Синхронный генератор для зарядки емкостного накопителя	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	17.04.2019 № 3042/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	<i>31.05.2019 г.</i>
--	----------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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.).</p>	<p>Объектом исследования является синхронный двигатель на постоянных магнитах мощностью 5,5 кВт с частотой вращения $n=1000$ об/мин и частотой сети $f = 50$ Гц.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>Произвести электромагнитный расчет синхронного двигателя с выбором основных размеров и характеристик. Используя программу ELCUT, провести магнитостатическое исследование проектированной электрической машины. Разработать технологию общей сборки синхронного двигателя.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Сборочный чертеж синхронного двигателя.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Электромагнитный расчет синхронного двигателя, магнитостатическое исследование в ELCUT	Доцент Киселев А.В.
Технологический процесс общей сборки синхронного двигателя	Доцент Баранов П.Р.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент Криницына З.В.
Социальная ответственность	Ассистент Алексеев Н.А.
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	5.03.19 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютева П.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Э1	Петров Виталий Владимирович		

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

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 Отделение школы (НОЦ) Электроэнергетики и электротехники
 Уровень образования: Бакалавриат
 Период выполнения: Весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.19
--	-----------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
5.03.2019	Цели и задачи исследования, аналитический обзор источников по теме исследования.	10
9.03.2019	Сбор необходимых данных для проектирования двигателя на постоянных магнитах	5
15.03.2019	Электромагнитный расчет синхронного двигателя на постоянных магнитах	25
04.04.2019	Магнитостатическое исследование синхронного двигателя на постоянных магнитах	15
12.04.2019	Разработка технологического процесса сборки синхронного двигателя на постоянных магнитах	15
23.04.2019	Подготовка сборочного чертежа двигателя, маршрутных карт сборки	15
4.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	5
15.05.2019	Социальная ответственность	5
25.05.2019	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселев А.В.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руклвдитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Тютева П.В.	к.т.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Э1	Петрову Виталию Владимировичу

Школа	ИШЭ	Отделение	ЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника/Электромеханика

Исходные данные к разделу «Технологический процесс общей сборки синхронного генератора»:

1. Сборочный чертеж синхронного двигателя, спецификация
2. Годовая программа выпуска изделия 4200 штук

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

- | | |
|---|---|
| 1. Анализ конструкции электрической машины на технологичность | 2. Составление схемы сборки электрической машины |
| 3. Выбор оборудования, приспособлений для сборки, инструментов и оснастки | 4. Разработка маршрутной технологии сборки электрической машины |
| 5. Определить нормы времени на операции и оборудование | 6. Построение графика загрузки оборудования |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Комплект маршрутных карт и карты эскизов (в приложении)
2. График загрузки оборудования
3. Схема сборки электрической машины

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов П.Р.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Э1	Петров Виталий Владимирович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Э1	Холмуродов Фазлиддин Низомиддин угли

Школа	ИШЭ	Отделение	ЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника/Электромеханика

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материалов, технического оборудования; - квалификация исполнителей, информационных и человеческих ресурсов.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>- отчисления во внебюджетные страховые фонды 30,2 % от заработной платы</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Определение конкурентоспособности проекта, анализ рынка продукта</i>
<i>2. Оценка целесообразности производства генератора</i>	<i>Определение себестоимости производства</i>
<i>3. Оценка ресурсной эффективности продукции</i>	<i>Расчет интегральных показателей эффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына З.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Э1	Петров Виталий Владимирович		

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 116 страниц, 25 рисунков, 20 таблиц, 37 источников, 3 приложения.

В данной работе представлена разработка синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов малой мощности с заданными первичными параметрами.

Ключевые слова: ротор, статор, постоянный магнит, индукция, обмотка, паз, зубец, спинка статора, виток, полюс, фаза, виток, напряжение, напряженность, линейная нагрузка, индуктивность.

Целью работы является расчет всех параметров синхронного двигателя, необходимых для его конструирования и последующей эксплуатации, магнитостатическое исследование в разрезе активной части электрической машины, разработка технологии общей сборки двигателя.

В работе определяются электромагнитные характеристики машины, размеры и материалы для конструирования электромагнитной цепи двигателя и электрической машины в целом.

Бакалаврская работа выполнена с применением пакета программ Microsoft Office: текстовый редактор Word, табличный процессор Excel, графическое приложение Visio.

Содержание

Введение	5
1. Электромагнитный и механический расчет	8
1.1. Выбор постоянных магнитов	8
1.2. Выбор конструкции ротора	10
1.3. Определение главных размеров	12
1.4. Расчёт обмотки и геометрии магнитопровода статора	13
1.5. Расчет геометрии ротора	18
1.6. Расчёт магнитной цепи	21
1.7. Характеристика короткого замыкания	28
1.8. Построение диаграммы магнита и вольтамперной характеристики синхронного двигателя	30
1.9. Определение массы, потерь и КПД двигателя	34
1.10. Тепловой и вентиляционный расчет	36
1.11. Механический расчет двигателя	39
1.12. Заключение по главе	45
2 Магнитостатическое исследование синхронного двигателя на постоянных магнитах в программе «Elcut»	46
2.1. Введение	46
2.2. Создание геометрической модели	46
2.3. Расчет и анализ модели	51
2.4. Заключение по главе	56
3 Технология общей сборки синхронного двигателя	57
3.1. Введение	57
3.2. Краткое описание конструкции	57
3.3. Оценка технологичности конструкции	58
3.4. Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки	60
3.5. Выбор сборочного оборудования и оснастки	63
3.6. Нормирование сборочных работ и расчет количества технологического оборудования для обеспечения заданной программы	65
3.7. Заключение по главе	69
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	70
4.1. Проектные риски	71
4.2. План выполнения этапов проекта	73
4.3. Определение себестоимости проектирования двигателя	74

4.4.	Определение материальных расходов для производства двигателя	79
4.5.	Расходы на электроэнергию	80
4.6.	Заработная плата технологических рабочих и администрации управления предприятием	81
4.7.	Накладные расходы	83
4.8.	Расходы на подготовку конструкторской документации и разработку программ станков с ЧПУ	83
4.9.	Оценка конкурентоспособности создаваемого продукта	84
4.10.	Заключение по разделу	87
5	Социальная ответственность	89
5.1.	Анализ опасных и вредных факторов	89
5.2.	Производственная санитария и микроклимат	90
5.3.	Расчет искусственного освещения	95
5.4.	Промышленная безопасность	99
5.5.	Пожарная безопасность	102
5.6.	Содержание зданий и помещений	103
5.7.	Охрана окружающей среды	105
5.8.	Чрезвычайная ситуация	106
5.9.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	110
5.10.	Заключение по главе	111
	Заключение по работе	113
	Список использованных источников	114
	Приложение 1. Сборочный чертеж. 1 лист А1	
	Приложение 2. Спецификация на сборочный чертеж. 2 листа А4	
	Приложение 3. Комплект документов на технологический процесс сборки синхронного двигателя. 5 листов А4	

Введение

В настоящее время промышленность может производить постоянные магниты с довольно высокими характеристиками – магниты стали обладать высокой удельной магнитной энергией и превосходной способностью к сопротивлению размагничивания (срок эксплуатации более 50 лет).

Такое достижение незамедлительно было применено при создании электрических машин с использованием таких магнитов. В нашей жизни появились синхронные генераторы и двигатели с возбуждением от постоянных магнитов, расположенных на роторе электрической машины. Ведь известно, что синхронные двигатели обладают низким удельным весом, более высоким, по сравнению с асинхронным двигателем, КПД. С магнитами на роторе вместо обмотки конструкция электрической машины становится проще, нет необходимости в системах управления возбуждением.

Из-за простоты конструкции электрической машины многие умельцы переделывают асинхронные электродвигатели на генераторы. Для этого порой достаточно выточить разы в роторе (или же использовать пазы «Беличьей клетки»), установить в них магниты, перемотать обмотку. «Беличья клетка» на роторе должна быть удалена.

Также такая конструкция может работать в переменном двигательном-генераторном режиме. Именно это качество синхронной машины отражено в конструкции электроприводов колес в гибридных автомобилях.

Из-за отсутствия скольжения синхронный двигатель не имеет начального пускового момента, и это свойство фактически является самым серьезным недостатком всех синхронных двигателей. То есть, если подать переменное напряжение на обмотку статора при наличии постоянного магнитного поля ротора, то вращения не будет, так как за один период изменения тока электромагнитный момент будет два раза изменять свое направление и средний момент за период будет равным нулю и поэтому ротор не будет вращаться. А стоит ротор немного раскрутить, он будет вращаться с той частотой, какую задали этой раскруткой.

Способы пуска синхронных двигателей

Таким образом, чтобы двигатель стал вращаться на заданной частоте, его нужно предварительно разогнать или сделать так, чтобы он запускался со скольжением как асинхронный двигатель.

В настоящее время известны следующие способы пуска:

Асинхронный пуск.

Если в ротор синхронного двигателя заложить обмотку ротора как у асинхронного двигателя типа «беличья клетка» то двигатель сам разгонится до подсинхронной частоты. Чтобы сопротивление обмотки было достаточным, ее изготавливают из латуни. Также можно замкнуть имеющуюся обмотку возбуждения на сопротивление, а после разгона переключить ее на станцию возбуждения. При таком разгоне машина достигает синхронной частоты вращения за счет синхронизирующего момента, который втягивает ротор в синхронизм.

Пуск при помощи вспомогательного двигателя. Двигатель вначале разгоняется как генератор от постороннего источника угловой скорости (разгонный привод, например асинхронный двигатель с большим числом пар полюсов). Как только двигатель разгонится до синхронной частоты, на обмотку возбуждения подается ток возбуждения, и возбужденная машина включается в сеть через синхронизатор (в точности как генератор синхронизируется в сеть), а разгонный привод отключается. Такой способ применяется редко и только для машин малой мощности, т.к. крайне невыгодно иметь для разгона мощного синхронного двигателя привод сопоставимой мощности.

Частотный пуск. Для частотного пуска синхронного двигателя питание на обмотку статора подается через частотный преобразователь с плавным подъёмом частоты от нуля до частоты сети. При этом ротор будет набирать обороты синхронно с магнитным полем статора. Недостатками такого пуска является высокая стоимость преобразователя частоты и сложность реализации законов регулирования исходного напряжения и частоты в

процессе разгона двигателя. Такой способ пуска широко применяется в приводах специальных установок и он особенно эффективен, когда один частотный преобразователь работает с группой приводов

Достоинства и недостатки синхронных двигателей

Достоинства синхронные двигателей:

- возможность работы при $\cos \varphi = 1$. Если двигатель не потребляет реактивную мощность, то и его рабочий ток будет ниже, чем у аналогичного асинхронного двигателя. Также уменьшатся габариты, будет больше удельная мощность машины. А если машину перевозбудить, то она будет генерировать реактивную мощность, тем самым улучшая $\cos \varphi$ сети.
- меньшая чувствительность к колебаниям напряжения. Это связано с тем, что максимальный момент у синхронной машины пропорционален напряжению в первой степени, а не квадрату напряжения, как у асинхронного двигателя.
- точная частота вращения вала двигателя независимо от нагрузки на валу.

К недостаткам синхронных двигателей можно отнести:

- сложность конструкции ротора у двигателя с возбуждением от станции возбуждения или автоматического контроллера управления возбуждением.
- усложнение конструкции для возможности запуска двигателя.
- некоторые сложности с регулированием частоты вращения на запуске, хотя в последнее время системы частотного пуска становятся дешевле и доступнее.

Эти недостатки синхронных двигателей практически полностью нивелируются у крупных машин (более 100 кВт) за счет своей экономичности и удельной мощности.

Рассмотрим синхронную машину с возбуждением от постоянных магнитов. Здесь, за счет отсутствия обмотки возбуждения, системы управления током возбуждения, простота конструкции двигателя на постоянных магнитах, а также постоянное удешевление и оптимизация

технологии частотно-регулируемого пуска, удешевление технологии производства высококоэрцитивных магнитов делает такой двигатель наиболее экономически выгодным вариантом, особенно если необходима точная частота вращения, а также возможность работы в двигательном-генераторном режиме.

Техническое задание на проектирование

В настоящее время выбор синхронных двигателей с постоянными магнитами достаточно ограничен, и не только из-за ограничений по мощности. Рынок предлагает двигатели на напряжение сети 220 или 380 В, с частотой вращения 1000, 1500 об/мин. Спроектируем такой двигатель с номинальной мощностью $P_H = 5,5$ кВт на напряжение сети 380 В. Требуемая точная частота вращения $n = 1000$ об/мин, коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,85$, коэффициент полезного действия, % не менее $\eta = 0,88$, количество фаз - $m = 3$.

Глава 1. Электромагнитный и механический расчет

1.1 Выбор постоянных магнитов

В настоящее время в качестве постоянных магнитов используется множество типов сталей, различных сплавов и композиций, которые отличаются не только магнитными свойствами, но и технологией производства [1].

По технологическому признаку постоянные магниты разделяются на:

- ковкие, закаливаемые на мартенсит стали;
- ковкие безуглеродистые стали на основе α железа;
- железокобальтомолибденовые сплавы, имеющие $H_{cB} = 12 \div 28$ кА/м и максимальное энергетическое произведение $(BH)_{\max} = 10$ Тл·кА/м;

- литые сплавы на основе систем железо-никель-алюминий и железо-никель-алюминий-кобальт. Эти магниты имеют максимальное энергетическое произведение до 96 Тл·кА/м;
- сплавы с драгоценными материалами. В сплавах на основе железа и кобальта максимальное энергетическое произведение достигает 76 Тл·кА/м;
- прессованные постоянные магниты из порошков системы железо-никель-алюминий-кобальт. Имеют низкие показатели в сравнении с литыми магнитами;
- металлокерамические постоянные магниты из сплавов системы железо-никель-алюминий-кобальт. Эти магниты изготавливаются методами порошковой металлургии, и магнитные свойства их несколько хуже, чем у литых;
- постоянные магниты на основе интерметаллических соединений кобальта с редкоземельными элементами. Эти постоянные магниты имеют высокую коэрцитивную силу по индукции и по намагниченности и максимальное энергетическое произведение до 240 Тл·кА/м.
- магнитопласты и магнитоэласты. Самые плохие магниты, но очень технологичны;
- постоянные магниты на основе интерметаллических соединений кобальта с редкоземельными элементами.

Наиболее выгодными по отношению «цена-качество» являются магниты 7-го класса. К таким магнитам относятся соединения лантана, самария, празеодима, церия, неодима, тербия, европия и других редкоземельных металлов с кобальтом. Данный тип магнитов обладает большим максимальным энергетическим произведением. Например, для сплавов $SmCo_5$ достигнуто значение $(BH)_{\max} = 190.5$ Тл·кА/м. особенности характерные для всех высококоэрцитивных редкоземельных постоянных магнитов:

- Постоянный магнит имеет высокие значения коэрцитивных сил по индукции и намагниченности;

- Коэрцитивная сила по индукции приближается к своему максимальному значению, равному $B_r / \mu_0 = 650$ кА/м;
- Намагниченность постоянного магнита при изменении напряженности магнитного поля от 0 до H_{cB} практически постоянна;
- Магнитная проницаемость на большей части кривой размагничивания незначительно отличается от магнитной проницаемости воздуха;
- Магнит имеет высокое максимальное энергетическое произведение: $(BH)_{\max} = 130$ Тл·кА/м;
- Кривые возврата совпадают (практически) с кривой размагничивания, что при проектировании машин позволяет принимать во внимание кратковременные увеличения размагничивающего магнитного поля.

Достоинством этих магнитов является высокая температурная стабильность. Так как точка Кюри, например, для $LaCo_5$ соответствует 570 °С .

1.2. Выбор конструкции ротора

Ротор типа звездочка [2] с призматическими магнитами и полюсными башмаками представлен на рисунке 1.

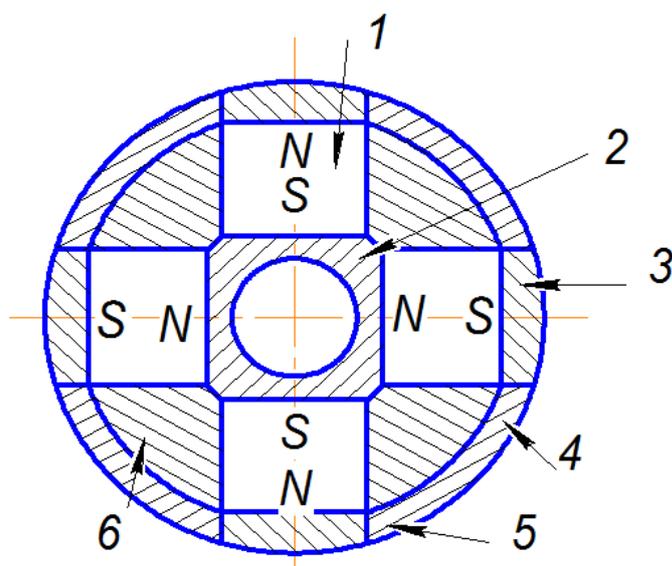


Рисунок 1. Ротор типа звездочка.

- 1 - постоянный магнит,
- 2- втулка из магнитомягкого материала,
- 3- полюсный башмак,
- 4 – немагнитные вставки,
- 5 – сварка места стыка
- 6 - компаунд

Недостатки конструкции:

- не полностью реализованы высокие удельные энергетические показатели редкоземельных магнитов, т.е. объем ротора использован не весь;

- конструкция ротора не технологична, т.к. содержит много конструктивных элементов;
- наличие полюсных башмаков обеспечивает снижение воздушного зазора, но увеличивает индуктивность машины, что снижает жесткость внешней характеристики и усложняет совмещение двигательного и генераторного режимов.

Ротор коллекторного типа [2] представлен на рисунке 2.

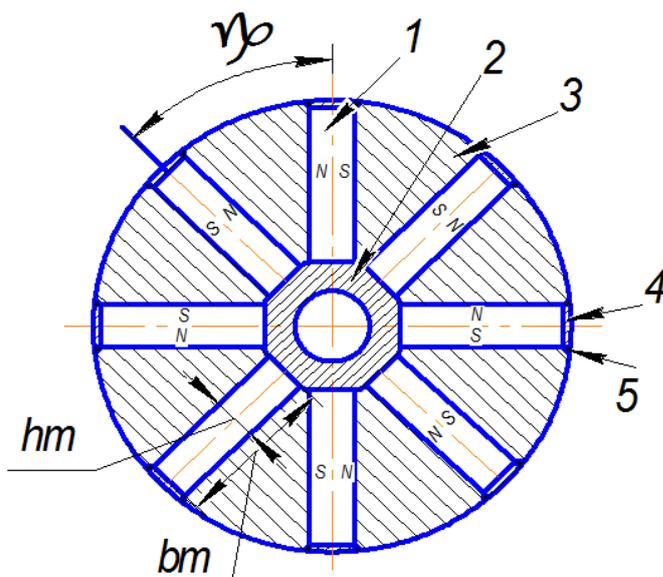


Рисунок 2. Ротор коллекторного типа.

- 1 - призматический магнит,
- 2- втулка из немагнитного материала,
- 3- полюсы из магнитной стали,
- 4 – немагнитные вставки,
- 5 – сварка места стыка

Основным достоинством коллекторной конструкции ротора является максимальное использование энергии магнита.

К достоинствам электрических машин с коллекторными роторами следует отнести возможность использования призматических постоянных магнитов с высокой удельной энергией (высокое значение намагниченности благодаря простой форме), большие диаметры, а следовательно, возможность разработки машин большой мощности. В настоящее время коллекторные роторы являются по существу единственной конструкцией ротора для применения в двигателях мощностью свыше 60 кВ·А. Однако, несмотря на все преимущества коллекторных роторов у них есть и свои недостатки, а именно:

- несмотря на высокое использование объема собственно магнита, их доля в объеме ротора относительно невелика, поэтому интегральное значение удельной энергии ротора значительно ниже удельной энергии магнита;
- наличие полюсов из магнитомягкой стали увеличивает индуктивность и, следовательно, снижает жесткость внешней характеристики, усложняет совмещение двигательного и генераторного режимов;
- сложность конструкции;
- наличие паразитных воздушных зазоров между полюсами и магнитами.

Указанные недостатки сглаживаются с уменьшением диаметра ротора, а паразитные зазоры могут быть заполнены немагнитным порошком из окиси алюминия с вибрационным уплотнением порошка в пазе [3].

1.3. Определение главных размеров

Расчеты ведем по методике, предложенной в [4, гл.7], а также используя методики из [5, 6, 7, 8, 9].

К главным размерам электрической машины относятся диаметр расточки статора и расчетная длина воздушного зазора.

Расчетная полная мощность двигателя [5, с.19]:

$$S_p = \frac{P_n \cdot k_E}{\eta \cdot \cos \varphi} = \frac{5,5 \cdot 1,15}{0,88 \cdot 0,85} = 7,441 \text{ кВА},$$

где P_n - номинальная мощность, Вт; η - коэффициент полезного действия, о.е; $\cos \varphi$ - коэффициент мощности; k_E - коэффициент учитывающий разницу между ЭДС и напряжением. По рекомендациям [4, стр 167] $k_e = 1,15$

$$\text{Фазное напряжение: } U_\phi = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,732} = 219,4 \text{ В.}$$

$$\text{Фазный ток: } I_\phi = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{7441}{1,732 \cdot 380} = 11,31 \text{ А.}$$

Для такой мощности и числа пар полюсов для $n=1000$ об/мин $2p = 6$

по [2, рис 7,8б], а также с учетом схожести конструкций с асинхронными двигателями по [5, табл. 9.2, 9.3], а также имеющимся аналогом (синхронный двигатель WEG Wmagnet 132M/L-6-5,5), принимаем $D_H = 0,23$ м

$$D = 0,61 \cdot D_H - 0,004 = 0,61 \cdot 0,23 - 0,004 = 0,136 \text{ принимаем } D = 0,13 \text{ м}$$

$$\text{Полусное деление: } \tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,13}{2 \cdot 3} = 0,068 \text{ м;}$$

$$\text{Величина воздушного зазора: } \delta = (0,25 + D) \cdot 10^{-3} = (0,25 + 0,13) \cdot 10^{-3} = 0,38 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$\text{Принимаем с учетом механической прочности } \delta = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$\text{Отношение: } \delta / \tau = 0,5 \cdot 10^{-3} / 0,068 = 0,0074 .$$

Расчетная длина воздушного зазора:

$$l_\delta = \frac{6,1 \cdot S_p}{\alpha_\delta \cdot k_B \cdot k_{ob} \cdot A \cdot B_\delta \cdot D^2} = \frac{6,1 \cdot 7,441}{0,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 0,78 \cdot 0,13^2} = 0,137 \text{ м,}$$

где α_δ - расчетный коэффициент полюсного перекрытия, по [4, рис 7.21а]

$$\alpha_\delta = 0,7$$

k_B - коэффициент формы поля, по [4, рис. 7.21а] $k_B = 1,2$;

k_{ob} - обмоточный коэффициент. Предварительно принимаем, что в статор закладывается однослойная обмотка, с одним пазом на полюс и фазу, без скосов и укорочения. $k_{ob} = 1$ [6, с.254];

A – линейная нагрузка, А/м;

$B_\delta = (0,6 \div 0,8) \cdot B_r = 0,8 \cdot 1,3 = 0,78$ - индукция в воздушном зазоре, характерная при использовании высококоэрцитивных магнитов, Тл;

Для выбранного магнита с $B_r = 1,3$ Тл и $H_0 = 650$ А/м.

Как правило, при выборе руководствуются произведением $A \cdot B_\delta$,

характеризующем активный объем машины. Для воздушного охлаждения

$$A \cdot B_\delta = 25 - 40 \text{ Тл} \cdot \text{кА/м [4. Стр. 167]}. \text{ Принимаем } 30 \text{ Тл} \cdot \text{кА/м.}$$

1.4. Расчёт обмотки и геометрии магнитопровода статора

Расчет обмотки статора определяет число пазов статора, геометрические размеры пазов, зубцов магнитопровода, спинки статора, число витков в фазе и сечение и количество проводников обмотки.

Количество витков в фазе обмотки статора должно быть таким, чтобы линейная нагрузка двигателя и индукция в воздушном зазоре как можно более близко совпадали со значениями, которые принимаются предварительно при выборе главных размеров, число пазов статора должно обеспечивать максимально равномерное распределение катушек обмотки.

Также расчетом необходимо добиться оптимального заполнения паза для возможности укладки обмотки как вручную, так и механизированными способами.

Сталь для статора примем 2411, толщина листа $\Delta_n=0,5$ мм.

Коэффициент заполнения пакета сталью $k_c=0,95$ [4].

Магнитный рабочий поток (предварительно), Вб:

$$\Phi = \alpha_\delta \cdot \tau \cdot l_\delta \cdot B_\delta = 0,7 \cdot 0,068 \cdot 0,137 \cdot 0,78 = 5,08 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Зубцовый шаг на статоре, м: } t_1 = \frac{\pi \cdot D}{Z_1} = \frac{3,14 \cdot 0,13}{18} = 0,0227,$$

где Z_1 - количество пазов на статоре (выбирается по рекомендации).

$$\text{ЭДС холостого хода, В: } E_0 = k_E \cdot U_\phi = 1,15 \cdot 219,4 = 252,31,$$

где U_ϕ - фазное напряжение, В.

Выбираем для данного вида машины трапецеидальные пазы полузакрытые.

Магнитный поток, соответствующий ЭДС в режиме нагрузки, Вб:

$$\Phi_\sigma = k_e \cdot \alpha_\delta \cdot \tau \cdot l_\delta \cdot B_\delta = 1,15 \cdot 0,7 \cdot 0,068 \cdot 0,137 \cdot 0,78 = 5,84 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Предварительное число витков: } W = \frac{E_0}{4 \cdot k_e \cdot k_0 \cdot f \cdot \Phi_\sigma} = \frac{252,31}{4 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 5,84 \cdot 10^{-4}} = 180.$$

Получилось ровное число витков. Поэтому уточнения Φ_σ , B_δ не требуется.

Ранее было принято, что в статор закладывается однослойная обмотка с одним пазом на полюс и фазу $q=1$, без скосов и укорочения.

Принимаем число параллельных ветвей $a = 1$.

Число эффективных проводников в пазу: $n_n = \frac{W_\phi \cdot a}{q \cdot p} = \frac{180 \cdot 1}{1 \cdot 3} = 60$.

Уточненное значение линейной нагрузки:

$$A = \frac{Z \cdot n_n \cdot I_\phi}{\pi \cdot D \cdot a} = \frac{18 \cdot 60 \cdot 11,31}{3,14 \cdot 0,13 \cdot 1} = 29912 \text{ А/м.}$$

Уточненное значение линейной нагрузки не должно отличаться от рекомендуемого (предварительного) значения более чем на 10 %.

$$\Delta A\% = \frac{A - A_1}{A_1} \cdot 100\% = \frac{29912 - 30000}{30000} \cdot 100\% = 0,3\% < 10\% .$$

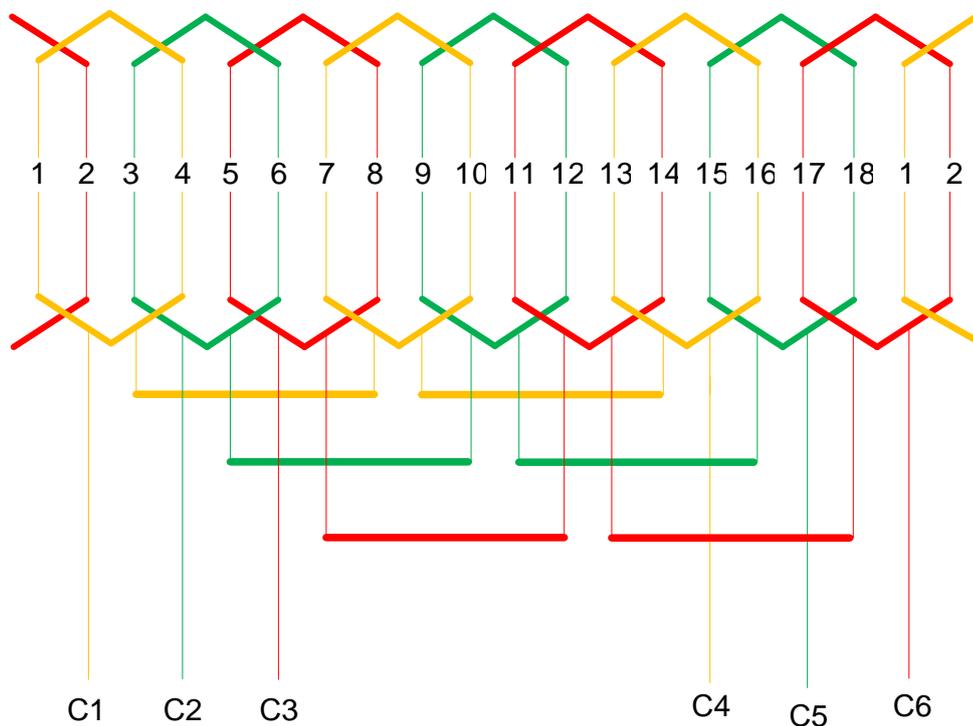


Рисунок 3. Развернутая схема обмотки статора, $Z=18$, $2p=6$, $q=1$, $a=1$.

При выборе размеров пазов в электрических машинах необходимо учитывать такие факторы:

- площадь паза должна соответствовать количеству и размерам размещаемых в нём проводников обмотки с учётом всей изоляции.

- значения индукции в зубцах и ярме статора должны находиться в определённых допустимых пределах, зависящих от типа, мощности, исполнения машины и от марки электротехнической стали сердечника.

В связи с тем, что обмоточный провод круглого сечения, то он может быть уложен в пазы произвольной конфигурации. Поэтому размеры зубцовой зоны при насыпной обмотке выбираем так, чтобы зубцы имели параллельные грани. Тогда зубцы будут иметь постоянное, не изменяющееся с высотой зубца, поперечное сечение, тогда индукция по высоте зубца не будет меняться, магнитное напряжение зубцов с параллельными гранями также меньше. Обмотку статора укладываем в трапециевидные полузакрытые пазы.

Минимальная ширина зубца. [5, ф. 9-23]:
$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_l}{B_z \cdot k_c} = \frac{0,78 \cdot 0,0227}{1,7 \cdot 0,95} = 0,011 \text{ м,}$$

где B_z – индукция в зубцах статора, для стали 2411 B_z варьируется в пределах $B_z = 1,6 \dots 1,9$ Тл. Примем $B_z = 1,8$ Тл. Принимаем $b_{z1} = 11$ мм.

Высота ярма статора. [5, ф.9-24]:
$$h_a = \frac{\Phi_{\delta}}{2 \cdot B_{c1} \cdot l_{\delta} \cdot k_c} = \frac{0,00584}{2 \cdot 1,4 \cdot 0,137 \cdot 0,95} = 0,016 \text{ м,}$$

где B_{c1} – индукция в спинке статора. Принимаем для $h = 132$ мм $B_c = 1,4$ Тл [5, тал. 9.13].

Высота паза. [5, табл. 9-13.9-25]:
$$h_n = \frac{D_H - D}{2} - h_c = \frac{0,23 - 0,13}{2} - 0,016 = 0,034 \text{ м.}$$

Высота шлица. [5, с. 131]: $h_{u1} = 0,5 \text{ мм.}$

Среднее значение односторонней толщины изоляции. [5, с. 131]: $b_{u1} = 0,2 \text{ мм.}$

Предварительное значение ширины шлица. [5, с. 131]:

$$b_{u1} = 0,3 \cdot \sqrt{h} = 0,3 \cdot \sqrt{0,132} \cdot 10^{-3} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Принимаем $b_{u1} = 3,4 \text{ мм.}$

Большая ширина паза. [5, ф. 9-27]:

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_n)}{Z_1} - b_{z1} = \frac{3,14 \cdot (0,13 + 2 \cdot 0,034 - 0,0034)}{18} - 0,011 = 0,023 \text{ м.}$$

Меньшая ширина паза. [5, ф. 9-26]:

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_u - b_{u1})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{3,14 \cdot (0,13 + 2 \cdot 0,005 - 0,034)}{18} - 0,011 = 0,011 \text{ м.}$$

Площадь поперечного сечения паза в штампе. [5, ф. 9-29]:

$$S_{n1} = \frac{b_1 + b_2}{2} \cdot \left(h_n - h_{u1} - \frac{b_2 - b_{u1}}{2} \right) = \frac{0,023 + 0,011}{2} \cdot \left(0,034 - 0,0005 - \frac{0,011 - 0,0034}{2} \right) = 5,07 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Припуски на сборку сердечников статора и ротора с $h = 132$ мм по высоте $h_c = 0,1$ мм, по ширине $b_c = 0,1$ мм [5, стр. 131].

Площадь поперечного сечения паза в свету. [5, ф. 9-30]:

$$S'_{n1} = \left(\frac{b_1 + b_2}{2} - b_c \right) \cdot \left(h_n - h_{u1} - \frac{b_1 - b_{u1}}{2} - h_c \right) = \left(\frac{0,023 + 0,011}{2} - 0,0001 \right) \cdot \left(0,034 - 0,0005 - \frac{0,023 - 0,0034}{2} - 0,0001 \right) = 4,02 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения корпусной изоляции. [5, ф. 9-31]:

$$S_u = b_{u1} \cdot (2 \cdot h_n + b_1 + b_2) = 0,1 \cdot (2 \cdot 0,034 + 0,023 + 0,011) = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Суммарная площадь поперечного сечения прокладок [5, ф. 9-32]:

$$S_{np} = 0,5 \cdot b_1 + 0,75 \cdot b_2 = 0,5 \cdot 0,023 + 0,75 \cdot 0,011 = 2,85 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения паза, занимаемая обмоткой [5, ф. 9-33]:

$$S''_{n1} = S'_{n1} - S_u - S_{np} = (4,02 - 0,1 - 0,285) \cdot 10^{-4} = 3,63 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Количество элементарных проводников $c = 3$.

Предварительное значение коэффициента заполнения паза. [5, с.132]. $k'_n = 0,73$

Диаметр изолированного обмоточного провода:

$$d' = \sqrt{\frac{k'_n \cdot S''_{n1}}{n_n \cdot c}} = \sqrt{\frac{0,73 \cdot 3,63 \cdot 10^{-4}}{60 \cdot 3}} = 0,001214 \text{ м или } 1,21 \text{ мм}.$$

Принимаем к намотке провод ПЭТ-155 с сечением $S_{np} = 0,984 \text{ мм}^2$, диаметром $d_{np} = 1,192 \text{ мм}$ и диаметром медной проволоки $d_{мпр} = 1,12 \text{ мм}$

Коэффициент заполнения паза. [5, ф. 9-35]:

$$k_n = \frac{n_n \cdot c \cdot d'^2}{S''_{n1}} = \frac{60 \cdot 3 \cdot (1,192 \cdot 10^{-3})^2}{3,63 \cdot 10^{-4}} = 0,704.$$

Коэффициент заполнения паза находится в оптимальных пределах для ручной и механизированной укладки провода.

Плотность тока в обмотке статора. [5, ф. 9-39]:

$$J_1 = \frac{I_\phi}{c \cdot a \cdot S} = \frac{11,31}{3 \cdot 1 \cdot 0,984} = 3,83 \text{ A/мм}^2.$$

Величина плотности тока в обмотке статора соответствует малым синхронным машинам с самовентиляцией.

Уровень удельной тепловой нагрузки статора характеризуется произведение линейной нагрузки на плотность тока в обмотке:

$$A_1 \cdot J_1 = 29912,4 \cdot 3,83 = 1145,6 \text{ A}^2/\text{см} \cdot \text{мм}^2$$

По [5, рис. 9-8] для $D_{н1} = 230$ мм, системы охлаждения ICO141 и исполнения по защите IP44, однослойной обмотке и полуоткрытых пазов и изоляции класса F предельное значение $A_1 \cdot J_1 = 2100 \text{ A}^2/\text{см} \cdot \text{мм}^2$.

$$1145,6 \text{ A}^2/\text{см} \cdot \text{мм}^2 < 2100 \text{ A}^2/\text{см} \cdot \text{мм}^2.$$

Обмотка статора при работе на номинальной нагрузке не будет перегреваться даже при некотором ухудшении вентиляции статора.

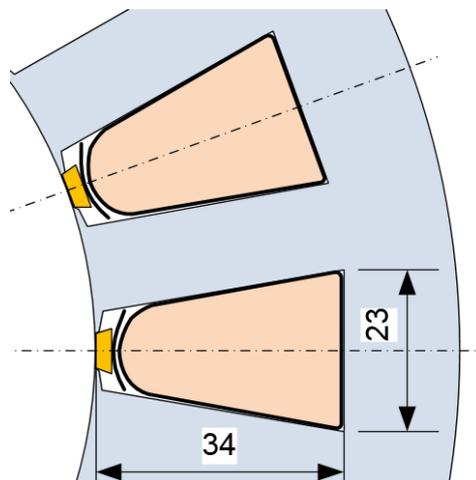


Рисунок 4. Пазы статора с изоляцией однослойной всыпной обмотки.

1.5. Расчет геометрии ротора

Принимаем коэффициенты исходя из типа и заданных параметров электрической машины.

Коэффициент, учитывающий падение магнитного напряжения в магнитной цепи в долях МДС реакции якоря $\beta i = 1,1 \dots 1,5$. Примем $\beta i = 1,2$ [6, с. 206]. Коэффициент рассеяния магнита в режиме холостого хода для $2p = 6$ $\sigma_p = 1,15 \div 1,2$ [6, с. 171]. Примем $\sigma_p = 1,2$. Коэффициент приведения МДС

реакции якоря по продольной оси к МДС возбуждения $k_{ad} = 0,82 \dots 0,87$.
Примем $k_{ad} = 0,82$ [6, стр. 171].

Индукция при х.х. в нейтральном сечении для высококоэцитивных магнитов: $B_{m0} = (0,8 \dots 0,9) Br$ [6, с.206]. Примем $B_{m0} = 0,8 \cdot Br = 0,8 \cdot 1,3 = 1,04$ Тл.

Напряженность поля в высококоэцитивном магните в режиме КЗ [6, с.206]:
 $H_{mk} = 0,5 \cdot H_C = 0,5 \cdot 650000 = 325000$ А/м

$k_{кз}$ – кратность тока КЗ, принимаем $k_{кз} = 3$; f – частота сети. $f = 50$ Гц

$$\text{Объём магнитов. [6, с.169]: } V_M = \frac{0,225 \cdot S_p \cdot \beta_i \cdot \sigma_p \cdot k_{ad} \cdot k_{кз}}{k_\phi \cdot f \cdot B_{m0} \cdot H_{mk} \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\cos \varphi}{k_{кз}}\right)^2 - \frac{\sin \varphi}{k_{кз}}}} =$$

$$= \frac{0,225 \cdot 7441 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,82 \cdot 3}{1,2 \cdot 50 \cdot 1,04 \cdot 325 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0,85}{3}\right)^2 - \frac{0,527}{3}}} = 3,39 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Ширина тангенциального намагниченного магнита предварительно. [6, с.171].

$$b_M = 0,5 \cdot (\alpha_p - \Delta^*) \cdot D = 0,5 \cdot (0,7 - 0,1) \cdot 0,13 = 0,039 \text{ м},$$

Где α_p – конструктивный коэффициент перекрытия $\alpha_p = 0,7$;

Δ^* - относительный показатель, характеризующий зазор между внутренними торцами соседних магнитов. Принимаем равным $\Delta^* = 0,1$.

Длину магнита в аксиальном направлении приравниваем длине сердечника статора. $l_M = l_C = 0,137$ м.

При условии равенства длины магнита и якоря высота магнита [6, с.171]:

$$h_M = \frac{V_M}{2p \cdot l_M \cdot b_M} = \frac{3,39 \cdot 10^{-4}}{6 \cdot 0,137 \cdot 0,039} = 0,0106 \text{ м.}$$

Минимальная высота магнита:

$$h_{M \min} = 0,9 \cdot \pi \cdot \beta_i \cdot k_{ad} \cdot k_0 \cdot k_{кз} \cdot D_1 \cdot A / (2p \cdot H_{mk}) =$$

$$h_{M \min} = 0,9 \cdot 3,14 \cdot 1,2 \cdot 0,82 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 0,13 \cdot 30000 / (6 \cdot 325 \cdot 10^3) = 0,01668 \text{ м.}$$

Принимаем $h_M = 17$ мм.

Тогда ширина тангенциального намагниченного магнита:

$$b_M = \frac{V_M}{2p \cdot l_M \cdot h_M} = \frac{3,39 \cdot 10^{-4}}{6 \cdot 0,137 \cdot 0,017} = 0,0243 \text{ м.}$$

Конструктивный коэффициент полюсного перекрытия. [6, с. 174]:

$$\alpha_i = \frac{\tau - h_M}{\tau} = \frac{0,068 - 0,017}{0,068} = 0,75.$$

Диаметр немагнитной втулки для прямоугольных магнитов. [6, с.172].

$$D_{em} = D - 2 \cdot (\delta + b_M) = 0,13 - 2 \cdot (0,5 + 24) \cdot 10^{-3} = 0,0804 \text{ м.}$$

Предварительное значение диаметра вала: $D_{вал} = 0,3 \cdot D = 0,3 \cdot 0,13 = 0,039$ мм.

Диаметр вала по условиям механической прочности. Принимаем для вала конструкционную углеродистую сталь Ст10Н с пределом прочности на кручение при набросе нагрузки с нуля до максимума $\delta_{вал} = 30$ МПа.

$$D_{вал} \geq \sqrt[3]{9,55 \cdot k_{зап} \cdot S_p / (2\pi \cdot n \cdot \delta_{вал})} =$$

$$\sqrt[3]{9,55 \cdot 3 \cdot 7441 / 2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 30 \cdot 10^6} \geq 0,0305 \text{ м ;}$$

$k_{зап}$ – коэффициент запаса, принимаем равным $k_{зап} = 3$.

Принимаем $D_{вал} = 35$ мм

Сердечник закреплён на немагнитной втулке (рисунок 5), которая насаживается на гладкий вал при помощи горячей посадки. Внутренний диаметр втулки равен диаметру вала.

Высота спинки немагнитной втулки.

$$h_{em} = \frac{D_{em} - D_{вал}}{2} = \frac{0,0804 - 0,035}{2} = 0,0227 \text{ м;}$$

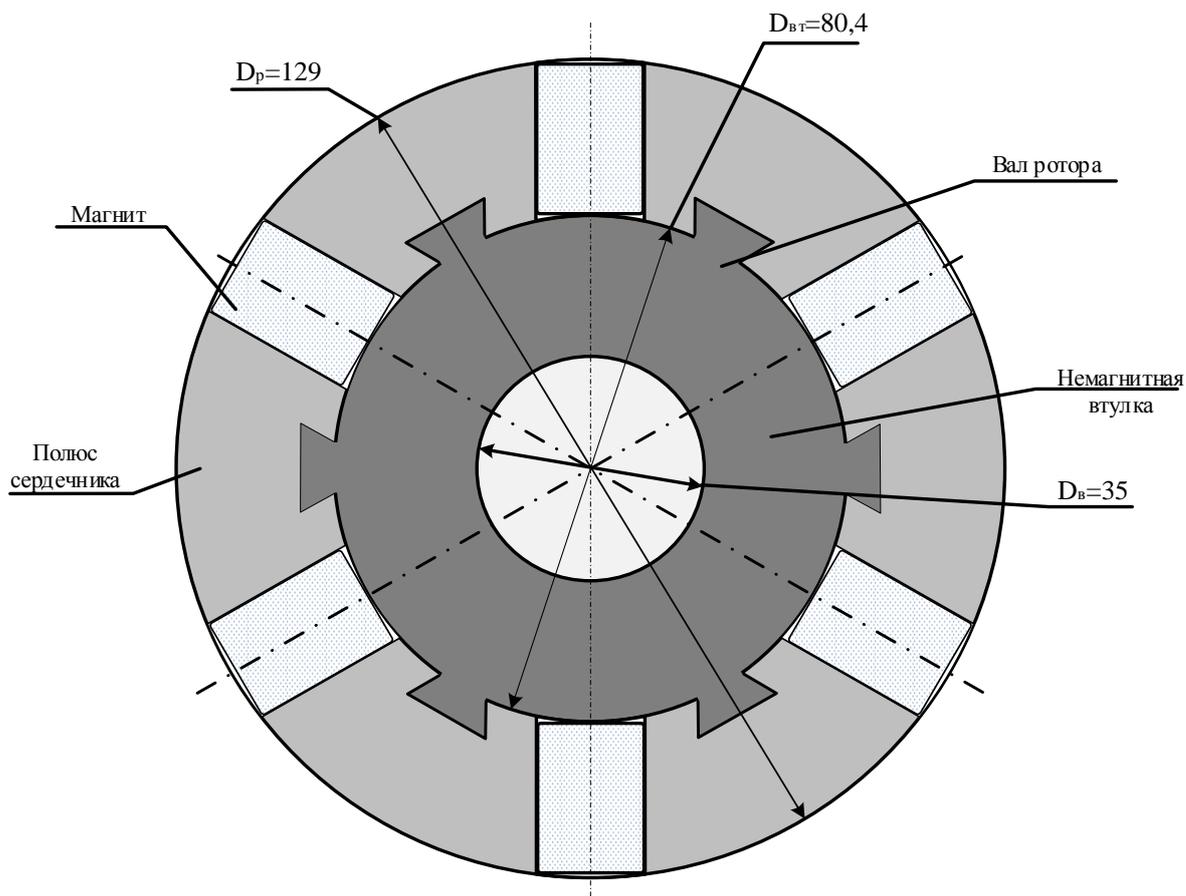


Рисунок 5. Ротор синхронного двигателя с постоянными магнитами.

1.6. Расчёт магнитной цепи

Расчёт намагничивающего тока будем проводить для режима холостого хода двигателя, при котором, для синхронных машин, характерно сильное насыщение стали зубцов статора и ротора.

Индукция в зубцах статора окончательно: $B_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1}{b_{z1} \cdot k_c} = \frac{0,78 \cdot 0,0227}{0,011 \cdot 0,95} = 1,693 \text{ Тл.}$

Индукция в ярме статора окончательно [3]:

$$B_a = \frac{\Phi_{\delta}}{2 \cdot h_c \cdot l_{\delta} \cdot k_c} = \frac{0,00584}{2 \cdot 0,016 \cdot 0,137 \cdot 0,95} = 1,406 \text{ Тл.}$$

Коэффициент воздушного зазора.

Из-за зубчатой формы статора магнитное сопротивление участков по периметру воздушного зазора в поперечном сечении электрической машины

будет различаться, соответственно и распределение индукции по площади воздушного зазора будет неравномерным. Над коронками зубцов магнитные линии потока будут гуще, а над прорезями пазов плотность линий потока будет меньше. В связи с этим кривая индукции в воздушном зазоре будет иметь неравномерность в виде провалов. Магнитное сопротивление и магнитное напряжение воздушного зазора при неравномерной индукции, как следствие, возрастают.

Для учета увеличения магнитного напряжения вводим коэффициент воздушного зазора, который определяется по формуле [7, с.262]:

$$k_{\delta} = \frac{t_1 + \frac{5 \cdot t_1 \cdot \delta}{b_{u1}}}{\left(t_1 + \frac{5 \cdot t_1 \cdot \delta}{b_{u1}}\right) - b_{u1}} = \frac{0,0227 + \frac{5 \cdot 0,0227 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{0,0034}}{\left(0,0227 + \frac{5 \cdot 0,0227 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{0,0034}\right) - 0,0034} = 1,095$$

$$\delta' = k_{\delta} \cdot \delta = 1,095 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Определяем параметры схемы замещения. [7, с.264]:

$$\text{Длина лобовой части: } l_{л} = 1,4 \cdot \tau = 1,4 \cdot 0,068 = 0,0952 \text{ м.}$$

$$\text{Средняя длина витка: } l_{cp} = 2 \cdot (l_{л} + l_{\delta}) = 2 \cdot (0,0952 + 0,137) = 0,464 \text{ м.}$$

$$\text{Активное сопротивление фазы обмотки якоря [7]: } r_a = \rho_0 \cdot k_t \cdot \left(\frac{l_{cp} \cdot w_{\phi}}{q_d \cdot a}\right),$$

где $\rho_0^{20^{\circ}\text{C}} = 1,75 \cdot 10^{-8}$ Ом/мм² - удельное сопротивление меди;

$k_t = 1,2$ - температурный коэффициент, учитывающий рабочий нагрев машины при работе (предварительно, т.к. рабочую температуру не знаем);

Площадь сечения эффективного проводника:

$$q_d = \pi \cdot c \cdot \frac{d_{мп}^2}{4} \cdot 10^{-6} = 3,14 \cdot 3 \cdot \frac{1,12^2}{4} \cdot 10^{-6} = 2,95 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2.$$

$$r_a = 1,75 \cdot 10^{-8} \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{0,464 \cdot 180}{2,95 \cdot 10^{-6} \cdot 1}\right) = 0,594 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки якоря [7, с.265]:

$$x_{\sigma} = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot \mu_0 \cdot f \cdot w_{\phi}^2}{p \cdot q}\right) \cdot [(\lambda_n + \lambda_{\delta}) \cdot l_{\delta} + \lambda_n \cdot l_{л}],$$

где $\lambda_n, \lambda_o, \lambda_l$ удельные проводимости пазового, дифференциального и лобового рассеяния соответственно для обмотки без укорочения.

$k_{y1} = 1$ и $k_{y2} = 1$ – коэффициенты, учитывающие укорочение обмотки [7].

$h_k = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м – высота клина.

$$\lambda_n = \left(\frac{k_{y1} \cdot (h_{n1} - h_k)}{3 \cdot h_{n1}} \right) + \frac{k_{y2} \cdot h_k}{b_{u1}} = \left(\frac{1 \cdot (0,034 - 0,0005)}{3 \cdot 0,034} \right) + \frac{1 \cdot 0,0005}{0,0034} = 0,475$$

$$\lambda_o = \left(\frac{\delta' \cdot \alpha_i'}{b_{u1} + 0,8 \cdot \delta'} \right) = \left(\frac{1 \cdot 0,882}{4,3 + 0,8 \cdot 1} \right) = 0,109$$

$$\lambda_l = \frac{0,34 \cdot q \cdot (l_l - 0,64 \cdot \tau)}{l_\delta} = \frac{0,34 \cdot 1 \cdot (0,0952 - 0,64 \cdot 0,068)}{0,137} = 0,129$$

$$x_\sigma = \left(\frac{16 \cdot \pi^2 \cdot 50 \cdot 180^2}{10^7 \cdot 3 \cdot 1} \right) \cdot [(0,475 + 0,109) \cdot 0,137 + 0,129 \cdot 0,0952] = 0,785 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление якоря по продольной X_{ad} и поперечной X_{aq} осям.

$\mu_M = 1,26$ – магнитная проницаемость возврата материала [6].

Коэффициенты магнитной проводимости полюса в продольном и поперечном направлении [6]:

$$\lambda_{nd} = \frac{\mu_M \cdot b_M \cdot l_\delta}{h_M} = \frac{1,26 \cdot 0,0243 \cdot 0,137}{0,017} = 0,246$$

$$\lambda_{nq} = \frac{\mu_M \cdot \tau \cdot l_\delta}{h_M} = \frac{1,26 \cdot 0,068 \cdot 0,137}{0,017} = 0,689$$

Коэффициенты магнитной проводимости воздушного зазора по продольной и поперечной оси [6]:

$$\lambda_{\delta d} = \frac{\tau \cdot l_\delta}{k_{nd} \cdot \delta'} = \frac{0,068 \cdot 0,137}{1,2 \cdot 0,00055} = 14,15,$$

где $k_{nd} = 1,2$ – коэффициент, учитывающий насыщение магнитной цепи машины по продольной оси [6, с. 266]:

$$\lambda_{\delta q} = \frac{(\tau - h_M) \cdot l_\delta}{k_{nq} \cdot \delta'} = \frac{(0,068 - 0,017) \cdot 0,137}{1,35 \cdot 0,00055} = 12,582$$

где $k_{nq} = 1,35$ – коэффициент, учитывающий насыщение магнитной цепи машины по поперечной оси [6]

Коэффициент реакции якоря по продольной оси [6, с.267]:

$$k_{ad} = \frac{\alpha_i \cdot \pi + \sin(\alpha_i \cdot \pi)}{4 \cdot \sin\left(\alpha_i \cdot \frac{\pi}{2}\right)} = \frac{0,765 \cdot 3,14 + \sin(0,765 \cdot \pi)}{4 \cdot \sin\left(0,765 \cdot \frac{\pi}{2}\right)} = 0,825.$$

Коэффициент реакции якоря по поперечной оси [6]:

$$k_{aq} = \frac{\alpha_i \cdot \pi + \sin(\alpha_i \cdot \pi) + \frac{2}{3} \cos\left(\alpha_i \cdot \frac{\pi}{2}\right)}{4 \cdot \sin\left(\alpha_i \cdot \frac{\pi}{2}\right)} =$$

$$= \frac{0,765 \cdot 3,14 + \sin(0,765 \cdot \pi) + \frac{2}{3} \cdot \cos\left(0,765 \cdot \frac{\pi}{2}\right)}{4 \cdot \sin\left(0,765 \cdot \frac{\pi}{2}\right)} = 0,889.$$

Коэффициенты проводимости машины по продольной и поперечной осям [6]:

$$\lambda_{ad} = k_b \cdot k_{ad} \cdot \frac{\lambda_{\delta d} \cdot \lambda_{nd}}{\lambda_{\delta d} + \lambda_{nd}} = 1,11 \cdot 0,825 \cdot \frac{14,15 \cdot 0,246}{14,15 + 0,246} = 0,222.$$

$$\lambda_{aq} = k_b \cdot k_{aq} \cdot \frac{\lambda_{\delta q} \cdot \lambda_{nq}}{\lambda_{\delta q} + \lambda_{nq}} = 1,11 \cdot 0,889 \cdot \frac{12,582 \cdot 0,689}{12,582 + 0,689} = 0,645.$$

где $k_d = 1,11$ - коэффициент формы поля возбуждения.

Индуктивное сопротивление якоря по продольной X_{ad} и поперечной X_{aq} осям:

$$x_{ad} = \left(\frac{4\mu_0}{\pi \cdot p}\right) \cdot m \cdot f \cdot (w_\phi k_o)^2 \cdot \lambda_{ad} = \left(\frac{16 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{\pi \cdot 3}\right) \cdot 3 \cdot 50 \cdot (180 \cdot 1)^2 \cdot 0,222 = 0,575 \text{ Ом.}$$

$$x_{aq} = \left(\frac{4\mu_0}{\pi \cdot p}\right) \cdot m \cdot f \cdot (w_\phi k_o)^2 \cdot \lambda_{aq} = \left(\frac{16 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{\pi \cdot 3}\right) \cdot 3 \cdot 50 \cdot (180 \cdot 1)^2 \cdot 0,645 = 1,671 \text{ Ом,}$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость в вакууме.

Полные индуктивные сопротивления обмотки якоря по продольной и поперечной осям [4]:

$$x_d = x_{ad} + x_\sigma = 0,575 + 0,785 = 1,359 \text{ Ом.}$$

$$x_q = x_{aq} + x_\sigma = 1,671 + 0,785 = 2,456 \text{ Ом.}$$

Расчет проводимостей рассеяния ротора [6].

Полная проводимость рассеяния ротора состоит из проводимости самого магнита λ_{sm} , проводимостей рассеяния полюсов $\lambda_{сп}$. В свою очередь,

проводимость рассеяния магнита λ_{SM} состоит из боковых $\lambda_{SM\delta}$ и торцевых λ_{SMT} проводимостей рассеяния на один магнит (рисунок 6).

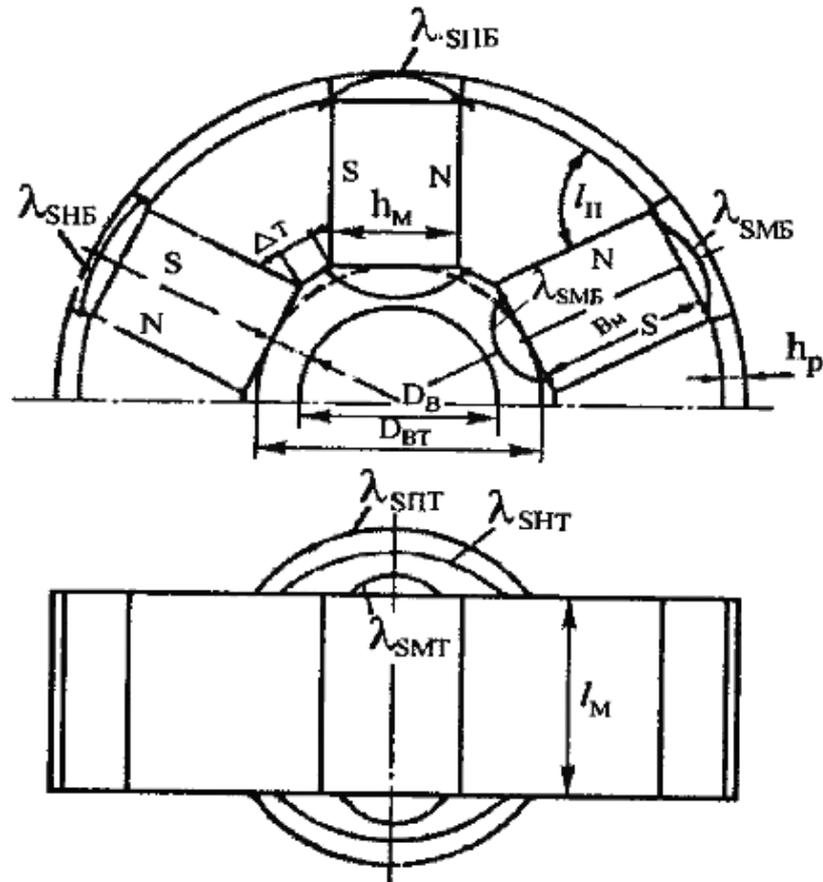


Рисунок 6. Проводимости рассеяния в индукторе коллекторного типа.

$k_\lambda = 0,35$ - отношение проводимости рассеяния магнита к проводимости рассеяния эквивалентного электромагнита [4].

$\mu_r = 1,1$ - относительная магнитная проницаемость немагнитной втулки.

Торцевая проводимость магнита [4]:

$$\lambda_{SMT} = k_\lambda \cdot \mu_0 \cdot b_M = 0,35 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,0243 = 1,07 \cdot 10^{-8} \text{ Гн}$$

Боковая проводимость магнита:

$$\lambda_{SM\delta} = k_\lambda \cdot \mu_0 \cdot \frac{l_\delta}{2} (\mu_r + 1) = 0,35 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{0,137}{2} \cdot (1,1 + 1) = 6,31 \cdot 10^{-8} \text{ Гн}$$

Итоговая проводимость рассеяния магнита:

$$\lambda_{SM} = 2 \cdot \lambda_{SM\delta} + 2 \cdot \lambda_{SMT} = 2 \cdot 6,31 \cdot 10^{-8} + 2 \cdot 1,07 \cdot 10^{-8} = 1,475 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$$

Проводимость рассеяния полюсов λ_{SP} состоит из проводимостей бокового рассеяния полюсов $\lambda_{SP\delta}$, торцевого рассеяния полюсов λ_{SPT} .

Минимальное расстояние между полюсами двух соседних полюсов:

$$C_p = (1 - \alpha_i) \cdot \frac{\pi \cdot D}{2p} = (1 - 0,765) \cdot \frac{3,14 \cdot 0,137}{6} = 0,016 \text{ м};$$

Минимальное расстояние между магнитами вдоль окружности немагнитной втулки:

$$\Delta = \left(\frac{\tau}{2}\right) - \frac{h_M}{2} = \left(\frac{0,068}{2}\right) - \frac{0,017}{2} = 0,034 \text{ м};$$

Проводимость бокового рассеяния полюсов:

$$\lambda_{sn\bar{o}} = 2\mu_0 \cdot l_\delta \cdot \left[\ln \left(1 + \frac{\Delta}{l_\delta \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2p}\right)} + \ln \left(1 + \frac{C_p - h_M}{l_\delta} \right) \right) \right] =$$

$$2 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,137 \cdot \left[\ln \left(1 + \frac{0,034}{0,137 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{6}\right)} + \ln \left(1 + \frac{0,016 - 0,017}{0,137} \right) \right) \right] = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ Гн.}$$

Проводимость торцевого рассеяния полюсов:

$$\lambda_{snT} = \frac{2 \cdot \mu_0 \cdot h_M}{\pi^2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2p}\right)} \cdot (\gamma \cdot \ln \gamma - \gamma' \cdot \ln \gamma' - \gamma'') \text{ Гн, где}$$

$$\gamma' = 1 + \left(\frac{0,5 \cdot \pi \cdot \Delta}{h_M}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2p}\right) = 1 + \left(\frac{0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,034}{0,017}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = 2,57$$

$$\gamma'' = \left(\frac{\pi \cdot b_M}{h_M}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2p}\right) = \left(\frac{3,14 \cdot 0,0243}{0,017}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = 2,245$$

$$\gamma = \gamma' + \gamma'' = 2,57 + 2,245 = 4,815$$

$$\lambda_{snT} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,017}{3,14^2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6}\right)} \cdot (4,815 \cdot \ln 4,815 - 2,57 \cdot \ln 2,57 - 2,245) = 2,511 \cdot 10^{-8} \text{ Гн.}$$

Проводимость рассеяния полюсов:

$$\lambda_{sn} = \lambda_{sn\bar{o}} + 2 \cdot \lambda_{snT} = 1,25 \cdot 10^{-7} + 2 \cdot 2,511 \cdot 10^{-8} = 1,75 \cdot 10^{-7} \text{ Гн.}$$

Проводимость рассеяния ротора:

$$\lambda_s = \lambda_{sM} + \lambda_{sn} = 1,475 \cdot 10^{-7} + 1,75 \cdot 10^{-7} = 3,224 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$$

Магнитное напряжение воздушного зазора [7, с.271]:

$$F_{\delta 0} = 0,8 \cdot B_{\delta} \cdot \delta' \cdot 10^6 = 0,8 \cdot 0,78 \cdot 0,55 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 = 342 \text{ А.}$$

Напряженность поля в зубце, при индукции 1,693 Тл [4, табл.П21]:

$$H_z = 12500 \text{ А/м.}$$

Напряженность поля в спинке якоря, при индукции 1,406 Тл [4, прил. 1]:

$$H_a = 1750 \text{ А/м.}$$

МДС, необходимая для проведения потока через зубцовую зону:

$$F_{z0} = h_n \cdot H_z = 0,034 \cdot 12500 = 425 \text{ А.}$$

Средняя длина силовой линии в спинке якоря:

$$L_a = \frac{\pi \cdot (D + 2h_n + 2h_a)}{2p} = \frac{3,14 \cdot (0,13 + 2 \cdot 0,034 + 2 \cdot 0,016)}{6} = 0,12 \text{ м.}$$

МДС на проведение потока через спинку якоря:

$$F_{da} = L_a \cdot H_a = 0,12 \cdot 1750 = 210,6 \text{ А.}$$

Суммарная МДС на пару полюсов, необходимая для проведения магнитного потока:

$$F_{1,0} = 2 \cdot F_{\delta 0} + 2 \cdot F_{z0} + F_{da} = 2 \cdot 342 + 2 \cdot 425 + 210,6 = 1744 \text{ А.}$$

Поток рассеяния между двумя половинами полюсов [7, с.188]:

$$\Phi_{sn} = (F_{1,0}) \cdot (\lambda_{sn}) = (970) (9,43 \cdot 10^{-8}) = 9,145 \cdot 10^{-5} \text{ Вб.}$$

МДС полюсов [4]:

$$B_n = \frac{0,5 \cdot \Phi_{\delta 0} + \Phi_{sn}}{S_n} - \text{индукция полуполюса,}$$

где S_n - площадь поперечного сечения магнитного потока полуполюса [4]:

$$S_n = l_{\delta} \cdot \frac{b_M + 0,5 \cdot b_p}{2} = 0,137 \cdot \frac{0,0243 + 0,5 \cdot 0,051}{2} = 3,41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

где $b_p = \tau - h_M = 0,068 - 0,017 = 0,051 \text{ м}$ – ширина полуполюса между соседними магнитами.

$$B_n = \frac{0,5 \cdot 0,00584 + 9,145 \cdot 10^{-5}}{3,41 \cdot 10^{-3}} = 0,947 \text{ Тл.}$$

Средняя длина силовой линии на полуполюсе:

$$l_n = \sqrt{\left(\frac{h_M}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_p}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,017}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,051}{2}\right)^2} = 0,026 \text{ мм}$$

Напряженность полуполюса [4, приложение 1]:

$$H_n = 220 \text{ А}; F_n = l_n \cdot H_n = 0,026 \cdot 220 = 7,07 \text{ А.}$$

Индукция в стыке магнита с полюсом [4]: $B_{\delta_{ст.м.к}} = \frac{(0,5 \cdot \Phi_{\delta 0} + \Phi_{sn})}{S_M}$, где

$$S_M = b_M \cdot l_{\delta} = 0,0243 \cdot 0,137 = 3,32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2,$$

$$B_{\delta_{ст.м.к}} = \frac{(0,5 \cdot 0,00584 + 9,145 \cdot 10^{-5})}{3,32 \cdot 10^{-3}} = 0,97 \text{ Тл.}$$

МДС стыка магнита с полюсом [1]:

$$F_{\delta_{ст.м.к}} = 0,8 \cdot B_{\delta_{ст.м.к}} \cdot \delta_{ст.м} \cdot 10^6 = 0,8 \cdot 0,97 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 = 38,82 \text{ А.}$$

Поток рассеяния магнита [1]:

$$\Phi_{\delta_{м.к}} = (F_{1,0} + 2F_n + F_{\delta_{ст.м.к}}) \cdot \lambda_{\delta_{м}} = (1744 + 2 \cdot 7,07 + 38,82) \cdot 1,475 \cdot 10^{-7} = 2,65 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Магнитный поток и МДС магнита при холостом ходе:

$$\Phi_{\delta_{мо}} = 0,5 \cdot \Phi_{\delta 0} + \Phi_{ст} = 0,5 \cdot 0,00584 + 3,05 \cdot 10^{-4} = 3,225 \cdot 10^{-3} \text{ Вб},$$

$$F_{\delta_{мо}} = F_{1,0} + 2 \cdot F_n + 2 \cdot F_{\delta_{ст.м.к}} = 1744 + 2 \cdot 7,07 + 2 \cdot 38,82 = 1796,6 \text{ А.}$$

Коэффициент рассеяния магнита:

$$\sigma_0 = \frac{2 \cdot \Phi_{\delta_{мо}}}{\Phi_{\delta 0}} = \frac{2 \cdot 3,225 \cdot 10^{-3}}{0,00584} = 1,104$$

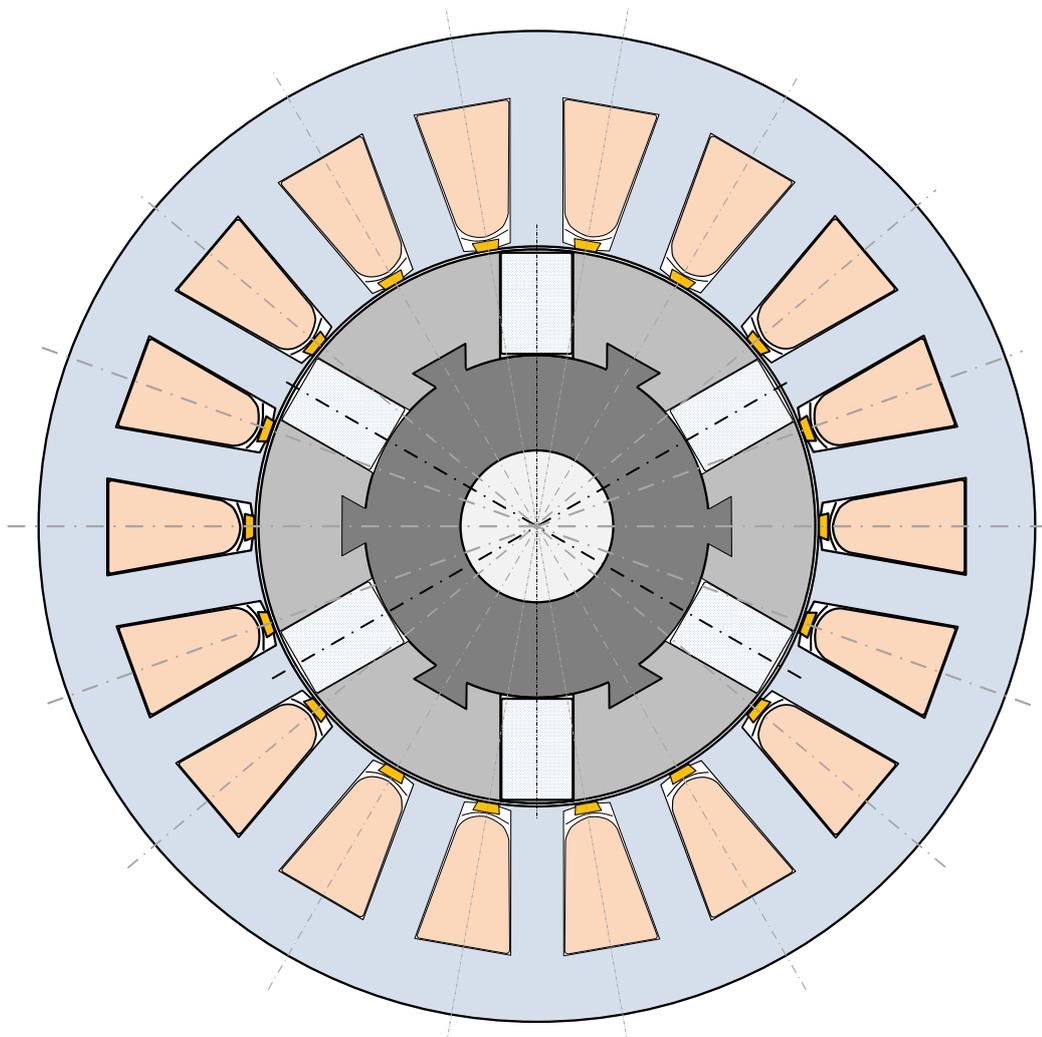


Рисунок 7. Поперечное сечение активной части электрической машины.

1.7. Характеристика короткого замыкания

Характеристика КЗ является зависимостью потока в магнитной системе Φ_k от МДС F_k при КЗ якоря. Расчет по методике [2, с.192].

Задаемся расчетным продольным током КЗ:

$$I_{dkp} = (2 \div 4) I_{нф} ; I_{dkp} = 4 \cdot 11,31 = 45,22 \text{ А}$$

Расчетное сопротивление продольного тока КЗ:

$$X'_s = x_\sigma + \frac{r_a^2}{X_q} = 0,785 + \frac{0,594^2}{2,456} = 0,928 \text{ Ом.}$$

ЭДС при КЗ:

$$E_{dk} = I_{dkp} \cdot x_s = 45,22 \cdot 0,928 = 41,98 \text{ В.}$$

Магнитный поток КЗ в якоре:

$$\Phi_{dk} = \frac{(\Phi_{\delta o} \cdot E_{dk})}{E_o} = \frac{(0,00584 \cdot 41,98)}{252,31} = 9,72 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

МДС реакции якоря:

$$F_a = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{m \cdot w_{\phi} \cdot k_o}{p} \cdot I_{нф} \cdot k_a = \frac{\sqrt{2}}{3,14} \cdot \frac{3 \cdot 180 \cdot 1}{3} \cdot 11,31 \cdot 1,1 = 1008,06 \text{ А.}$$

где $k_a = 1,1$ – отношение основной волны потока реакции якоря к полному потоку реакции якоря.

МДС продольной реакции якоря при КЗ (на один полюс):

$$F_{ak} = \frac{F_a \cdot I_{dkp}}{I_{нф}} = \frac{1008,06 \cdot 45,22}{11,31} = 4032,2 \text{ А.}$$

Магнитное напряжение цепи якоря при КЗ:

$$F_{1k} = F_{1,0} \cdot \frac{E_{dk}}{E_o} = 1744 \cdot \frac{41,98}{255,31} = 290,13 \text{ А.}$$

Поток дифференциального рассеяния при КЗ:

$$\Phi_{\delta o} = \left(\frac{\Phi_{\delta o} \cdot F_{ak}}{F_{1,0}} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{k_a \cdot k_{\phi, \delta}} \right) = \left(\frac{0,00584 \cdot 4032,2}{1744} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{1,1 \cdot 0,95} \right) = 5,82 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

где $k_{\phi, \delta} = 0,95$.

МДС полюса:

$$\Phi_{\text{шк}} = (F_{1,0} + 2 \cdot F_{ak} + 2 \cdot F_n) \cdot \lambda_{\text{шн}} = (1744 + 2 \cdot 4032,2 + 2 \cdot 7,07) \cdot 1,75 \cdot 10^{-7} = 1,718 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

$$B_{\text{нк}} = \frac{0,5 \cdot \Phi_{\delta k} + \Phi_{\text{шк}}}{S_n} = \frac{0,5 \cdot 9,72 \cdot 10^{-4} + 1,718 \cdot 10^{-3}}{3,41 \cdot 10^{-3}} = 0,65 \text{ Тл.}$$

$$H_{\text{нк}} = 128 \text{ А/м. [3, прил. 21]}$$

$$F_{\text{нк}} = l_n \cdot H_{\text{нк}} = 0,026 \cdot 128 = 3,27 \text{ А}$$

МДС стыка полюса с магнитом при КЗ:

$$B_{\delta \text{ст.м.к}} = \frac{0,5 \cdot \Phi_{\delta k} + \Phi_{\text{ш.к}}}{S_M} = \frac{0,5 \cdot 9,72 \cdot 10^{-4} + 1,718 \cdot 10^{-3}}{3,32 \cdot 10^{-3}} = 0,663 \text{ Тл.}$$

$$F_{\delta \text{ст.м.к}} = 0,8 \cdot B_{\delta \text{ст.м.к}} \cdot \delta_{\text{ст.м}} \cdot 10^6 = 0,8 \cdot 0,663 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 = 26,53 \text{ А.}$$

Поток рассеяния магнита:

$$\Phi_{\text{см.к}} = (F_{1k} + 2 \cdot F_{ak} + 2 \cdot F_{\text{н.к}}) \cdot \lambda_{\text{см}} = (290,13 + 2 \cdot 4032,2 + 2 \cdot 3,27) \cdot 1,475 \cdot 10^{-7} = 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

Расчетный поток рассеяния ротора при КЗ:

$$\Phi_{sk} = \Phi_{sn,k} + \Phi_{sm,k} = 1,718 \cdot 10^{-3} + 1,23 \cdot 10^{-3} = 2,95 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

Поток магнита при КЗ:

$$\Phi_{mk} = \Phi_{ок} + \Phi_{so} + \Phi_{sk} = 9,72 \cdot 10^{-4} + 5,82 \cdot 10^{-4} + 2,95 \cdot 10^{-3} = 4,51 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

МДС магнита при КЗ:

$$F_{mk} = F_{lk} + 2 \cdot F_{ak} + 2 \cdot F_{mk} = 290,13 + 2 \cdot 4032,2 + 2 \cdot 3,27 = 8361,1 \text{ А.}$$

1.8. Построение диаграммы магнита и вольтамперной характеристики синхронного двигателя

При использовании магнитов из редкоземельных материалов кривая размагничивания будет совпадать с прямой возврата. Ввиду линейной зависимости её можно получить по двум точкам: по остаточному потоку Φ_r и коэрцитивной силе - МДС H_c .

На диаграмму наносится точка Φ_{mo} , соответствующая расчетному потоку магнита. Пересечение характеристики КЗ с прямой возврата определяет точку режима КЗ, а пересечение характеристики холостого хода с прямой возврата даст точку режима холостого хода. Если на диаграмме провести прямую суммарного потока рассеяния Φ_s , то по принципу графического вычитания можем получить линию продольного потока Φ_d , или полезного потока. Построение диаграммы и внешней характеристики выполняем по методике из [6].

Для индуктора коллекторного типа. [6, с.189]:

$$\Phi_r = 2 \cdot B_r \cdot b_M \cdot l_\delta = 2 \cdot 1,3 \cdot 0,024 \cdot 0,137 = 0,0086 \text{ Вб}$$

$$\text{По: } F_c = H_c \cdot h_M = 650000 \cdot 0,017 = 11050 \text{ А}$$

Данные для построения диаграммы.

$$\Phi_{mo} = 3,225 \cdot 10^{-3} \text{ Вб; } F_{mo} = 1796,6 \text{ А}$$

$$\Phi_{sk} = 2,95 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

Особенностью двигателей с возбуждением от постоянных магнитов является то, что с изменением тока нагрузки меняется состояние магнитов и

значение полезного потока в воздушном зазоре машины. Поэтому внешние характеристики строят с использованием рабочей диаграммы магнитов.

Пользуясь диаграммой состояния магнитов индуктора, можно для любого режима работы синхронной машины найти значения магнитного потока Φ_δ в воздушном зазоре и продольной составляющей реакции якоря F_{ad} . При увеличении тока нагрузки рабочая точка машины смещается по линии влево – вниз (см. рисунок 8).

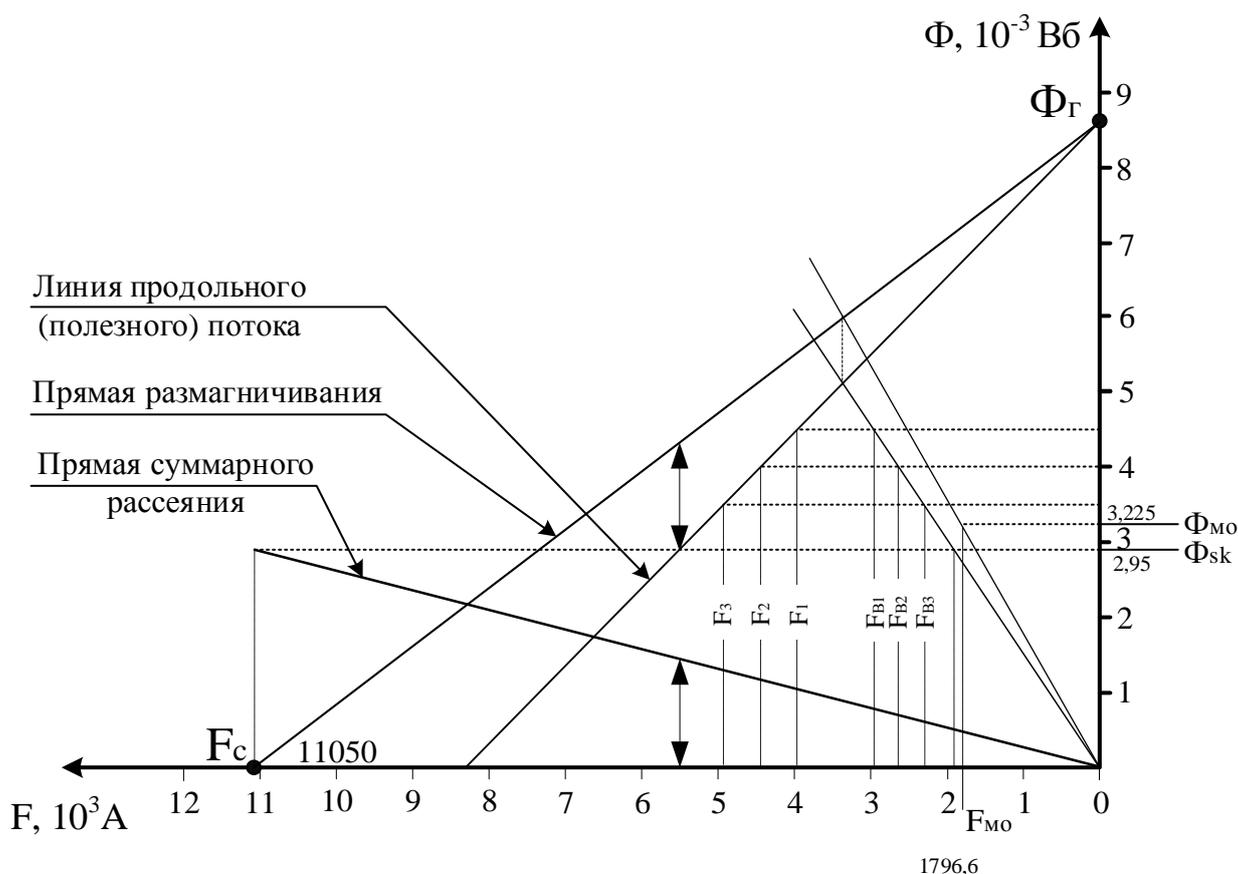


Рисунок 8. Рабочая диаграмма магнита.

Зададимся несколькими рабочими точками, на указанной прямой, и определим соответствующие этим режимам значения тока нагрузки и напряжения двигателя. Например, в первой точке соответствует значение потока в воздушном зазоре $\Phi_{\delta 1}$ и некоторое значение МДС F_1 , расходуемой на проведение этого потока по магнитной цепи двигателя и преодоление размагничивающей продольной составляющей реакции якоря F_{ad} .

Находим данные, необходимые для построения внешней характеристики. (см. рис.1.6).

$$\Phi_{\delta 1} = 0,0045 \text{ Вб} ; F_1 = 3990 \text{ А} ; F_{B1} = 2990 \text{ А} ; F_{ad1} = 1000 \text{ А} ;$$

$$\Phi_{\delta 2} = 0,004 \text{ Вб} ; F_2 = 4420 \text{ А} ; F_{B2} = 2700 \text{ А} ; F_{ad2} = 1720 \text{ А} ;$$

$$\Phi_{\delta 3} = 0,0035 \text{ Вб} ; F_3 = 4900 \text{ А} ; F_{B2} = 2300 \text{ А} ; F_{ad} = 2600 \text{ А} ;$$

Значения ЭДС[4, стр. 201]:

$$E_0 = 252,31 \text{ В} ; E = 4,44 \cdot k_o \cdot W_\phi \cdot f \cdot \Phi_{\delta i} , \text{ В} ;$$

$$E_1 = 4,44 \cdot 1 \cdot 180 \cdot 50 \cdot 0,0045 = 211,82 \text{ В} ;$$

$$E_2 = 4,44 \cdot 1 \cdot 180 \cdot 50 \cdot 0,004 = 198,32 \text{ В} ;$$

$$E_3 = 4,44 \cdot 1 \cdot 180 \cdot 50 \cdot 0,0035 = 161,86 \text{ В} ;$$

Величина тока при нагрузке:

$$I = \frac{F_{adi}}{S_1 \cdot \sin(\varphi)} , \text{ где } S_1 = 0,9 \cdot m \cdot k_o \left(\frac{w_\phi}{p} \right) k_{ad} = 0,9 \cdot 3 \cdot 1 \cdot \left(\frac{180}{3} \right) \cdot 0,825 = 133,6 ;$$

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{\sin(\varphi)}{\cos(\varphi)} = \frac{0,527}{0,85} = 0,62 .$$

Поправочные коэффициенты:

$$q_i = \frac{X_q - r_a \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{\left(S_1 \cdot \frac{E_i}{F_{adi}} \right) - x_\sigma + r_a \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}$$

$$q_1 = \frac{X_q - r_a \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{\left(S_1 \cdot \frac{E_1}{F_{ad1}} \right) - x_\sigma + r_a \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} = \frac{2,456 - 0,594 \cdot 0,62}{\left(133,6 \cdot \frac{211,82}{1000} \right) - 0,785 + 0,594 \cdot 0,62} = 0,088 ;$$

$$q_2 = \frac{X_q - r_a \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{\left(S_1 \cdot \frac{E_2}{F_{ad2}} \right) - x_\sigma + r_a \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} = \frac{2,456 - 0,594 \cdot 0,62}{\left(133,6 \cdot \frac{198,32}{1720} \right) - 0,785 + 0,594 \cdot 0,62} = 0,174 ;$$

$$q_3 = \frac{X_q - r_a \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{\left(S_1 \cdot \frac{E_3}{F_{ad3}} \right) - x_\sigma + r_a \cdot \operatorname{tg}(\varphi)} = \frac{2,456 - 0,594 \cdot 0,62}{\left(133,6 \cdot \frac{161,86}{2600} \right) - 0,785 + 0,594 \cdot 0,62} = 0,308 ;$$

Фазовый угол между током и ЭДС:

$$\psi = \arctg \left(\left[\frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot (1+q)}{2} \right] + \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \varphi^2 \cdot (1+q)^2}{4} + q} \right);$$

$$\psi_{10} = \arctg \left(\left[\frac{0,62 \cdot (1+0,088)}{2} \right] + \sqrt{\frac{0,62^2 \cdot (1+0,088)^2}{4} + 0,088} \right) = 38,2^\circ;$$

$$\psi_{20} = \arctg \left(\left[\frac{0,62 \cdot (1+0,174)}{2} \right] + \sqrt{\frac{0,62^2 \cdot (1+0,174)^2}{4} + 0,174} \right) = 42,6^\circ;$$

$$\psi_{30} = \arctg \left(\left[\frac{0,62 \cdot (1+0,308)}{2} \right] + \sqrt{\frac{0,62^2 \cdot (1+0,308)^2}{4} + 0,308} \right) = 47,6^\circ.$$

Данные для определения точки внешней характеристики в режиме КЗ:

$$F_{ad} = 0,5 \cdot F_c = 0,5 \cdot 11050 = 5525 \text{ А};$$

$$\psi_\kappa = \arctg(x_q / R_a) = \arctg(2,456 / 0,594) = 76,5^\circ$$

Токи внешней характеристики:

$$I = \frac{F_{ad}}{S_1 \sin(\psi)};$$

$$I_1 = \frac{1000}{133,6 \cdot \sin(38,2^\circ)} = 14,1 \text{ А}; \quad I_2 = \frac{1720}{133,6 \cdot \sin(42,6^\circ)} = 19,04 \text{ А};$$

$$I_3 = \frac{2600}{133,6 \cdot \sin(47,6^\circ)} = 26,37 \text{ А}; \quad I_\kappa = \frac{5525}{133,6 \cdot \sin(76,5^\circ)} = 42,5 \text{ А}.$$

Фазные напряжения для точек внешней характеристики:

$$U = \frac{E - I \cdot (x_\sigma \cdot \sin \psi + R_a \cdot \cos \psi)}{\cos(\psi - \varphi)};$$

$$U_1 = \frac{179,82 - 12,1 \cdot (0,785 \cdot \sin 38,2^\circ + 0,594 \cdot \cos 38,2^\circ)}{\cos(38,2^\circ - 31,79^\circ)} = 201,06 \text{ В};$$

$$U_2 = \frac{159,84 - 19,04 \cdot (0,785 \cdot \sin 42,6^\circ + 0,594 \cdot \cos 42,6^\circ)}{\cos(42,6^\circ - 31,79^\circ)} = 176,93 \text{ В};$$

$$U_3 = \frac{139,86 - 26,37 \cdot (0,785 \cdot \sin 47,6^\circ + 0,594 \cdot \cos 47,6^\circ)}{\cos(47,6^\circ - 31,79^\circ)} = 148,47 \text{ В}.$$

По данным расчета строим внешнюю характеристику магнитоэлектрической синхронной машины $U=f(I)$ (рисунок 9).

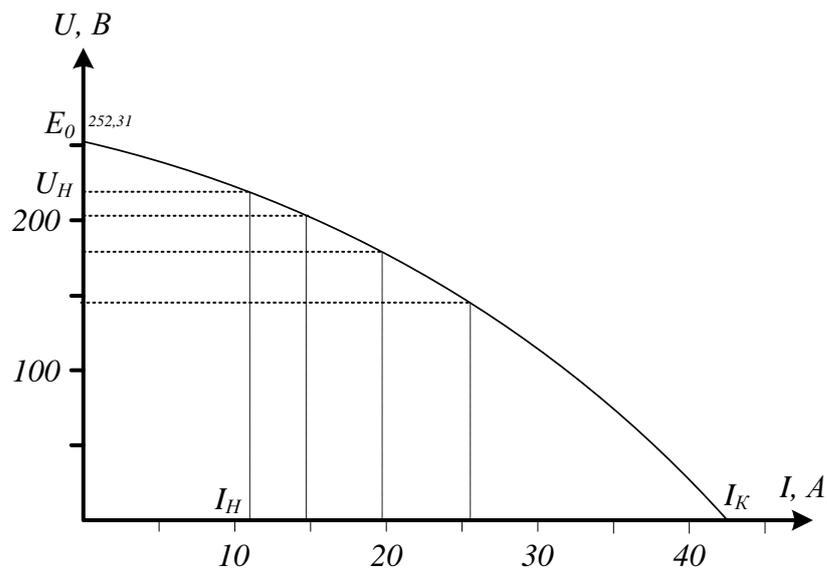


Рисунок 9. Вольтамперная характеристика синхронного двигателя.

1.9. Определение массы, потерь и КПД двигателя

Работа синхронного двигателя, как и любой электрической машины с вращающимися частями, сопровождается расходом части подводимой мощности на нагрев проводников, перемагничивание сердечника, создание необходимого для охлаждения потока воздуха, трение вращающихся частей о воздух, трение в подшипниках и т.д.

Потери в синхронных машинах подразделяются на потери в стали (основные и добавочные), электрические потери, вентиляционные, механические и добавочные потери при нагрузке.

Расчет производится по методике, изложенной в [6].

Масса меди обмотки якоря:

$$M_{оя} = m \cdot W_{\phi} \cdot l_{cp} \cdot c \cdot S_{np} \cdot \gamma_M \text{ где } \gamma_M - \text{плотность меди } \gamma_M = 8,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3,$$

S_{np} - площадь поперечного сечения провода обмотки фазы якоря.

ПЭТ-155 $d_{мпр} = 1,12 \text{ мм} = S_{np} = 0,984 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, $c = 3$ – количество элементарных проводников, $l_{cp} = 0,464 \text{ м}$ – средняя длина витка.

$$M_{оя} = 3 \cdot 180 \cdot 0,464 \cdot 3 \cdot 0,984 \cdot 10^{-6} \cdot 8,3 \cdot 10^3 = 6,139 \text{ кг.}$$

$$\text{Масса зубцов якоря: } M_Z = \left[\frac{\pi}{4} \cdot \left[(D_1 + 2h_n)^2 - D_1^2 \right] - Z_1 \cdot b_1 \cdot h_n \right] \cdot l_s \cdot k_c \cdot \gamma_{ст},$$

где γ_{CT} -плотность стали $\gamma_{CT}=7,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

$$M_Z = \left[\frac{\pi}{4} \left[(0,13 + 2 \cdot 0,034)^2 - 0,13^2 \right] - 186 \cdot 0,023 \cdot 0,034 \right] \cdot 0,137 \cdot 0,95 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 3,476 \text{ кг.}$$

Масса спинки якоря: $M_a = \pi (D_1 + 2h_n + h_a) h_a \cdot l_\delta \cdot k_c \cdot \gamma_{CT} =$
 $= 3,14 \cdot (0,13 + 2 \cdot 0,034 + 0,016) \cdot 0,016 \cdot 0,137 \cdot 0,95 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 10,886 \text{ кг.}$

Масса активных материалов статора:

$$M_1 = M_{оя} + M_Z + M_a = 6,139 + 3,476 + 10,886 = 20,501 \text{ кг.}$$

Масса постоянных магнитов:

$$M_{nm} = 2p \cdot b_M \cdot h_M \cdot l_\delta \cdot \gamma_{nm} = 6 \cdot 0,024 \cdot 0,017 \cdot 0,137 \cdot 7,5 \cdot 10^3 = 2,543 \text{ кг.}$$

где γ_{nm} - плотность магнита (Nd₂Fe₁₄B), $\gamma_{nm}=7,5 \cdot 10^3$ кг/м³.

Масса полюсов: $M_n = \left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot \left[(D_1 - 2 \cdot \delta)^2 - (D_1 - 2 \cdot \delta - 2 \cdot b_M)^2 - 2p \cdot h_M \cdot b_M \right] \cdot l_\delta \cdot \gamma_{CT} =$
 $= \left(\frac{\pi}{4} \right) \left[(0,13 - 2 \cdot 0,0005)^2 - (0,13 - 2 \cdot 0,0005 - 2 \cdot 0,024)^2 - 6 \cdot 0,017 \cdot 0,024 \right] \cdot 0,137 \cdot 7,8 \cdot 10^3 =$
 $= 8,521 \text{ кг.}$

Масса активных материалов ротора: $M_2 = M_{nm} + M_n = 2,543 + 8,521 = 11,064 \text{ кг.}$

Масса активных материалов двигателя: $M_{ам} = M_1 + M_2 = 20,501 + 11,064 = 31,564 \text{ кг.}$

Полная масса двигателя: $M_\sigma = \kappa_{кон} M_{ам} = 1,5 \cdot 31,564 = 47,35 \text{ кг,}$

где $\kappa_{кон} = 1,5$ - конструктивный коэффициент для двигателей с возбуждением от постоянных магнитов.

Потери и КПД двигателя определяют для номинального режима его работы.

Потери в меди обмотки якоря: $P_M = m \cdot I_{нф}^2 \cdot r_a = 3 \cdot 11,31^2 \cdot 0,594 = 227,669 \text{ Вт.}$

Потери в стали ярма якоря:

$$P_a = \rho_0 \cdot \kappa_{та} \cdot B_a^2 \cdot \left(\frac{f}{50} \right)^{0,2} \cdot M_a = 1,6 \cdot 1,5 \cdot 1,406^2 \cdot \left(\frac{50}{50} \right)^{0,2} \cdot 10,886 = 51,65 \text{ Вт.}$$

где $\rho_0 = 1,6$ -удельные потери в стали при 50 Гц.

$\kappa_{та} = 1,5$ - технологический коэффициент для спинки якоря, учитывающий увеличение потерь.

Потери в зубцах якоря:

$$P_Z = \rho_0 \cdot \kappa_{tz} \cdot B_{z1}^2 \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^{0.2} M_Z = 1,6 \cdot 2 \cdot 1,693^2 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{0.2} \cdot 3,476 = 31,866 \text{ Вт}$$

$\kappa_{tz} = 2$ - технологический коэффициент для зубца якоря, учитывающий увеличение потерь.

Потери в стали: $P_{CT} = P_a + P_Z = 51,65 + 31,866 = 83,516 \text{ Вт}$.

Механические потери: $P_{\text{мех}} = 0,02 \cdot P \cdot \cos \varphi = 0,02 \cdot 5500 \cdot 0,85 = 93,5 \text{ кВт}$.

Добавочные потери, обусловленные высшими гармониками магнитного поля, вихревыми токами: $P_\delta = 0,01 \cdot P \cdot \cos \varphi = 0,01 \cdot 5500 \cdot 0,85 = 46,75 \text{ Вт}$

Суммарные потери:

$$\Sigma P = P_M + P_a + P_Z + P_{\text{мех}} + P_\delta = 227,669 + 51,65 + 31,866 + 93,5 + 46,75 = 451,435 \text{ Вт}$$

Коэффициент полезного действия двигателя:

$$\eta = \frac{P \cdot \cos(\varphi)}{P \cdot \cos(\varphi) + \Sigma P} = \frac{5500 \cdot 0,85}{5500 \cdot 0,85 + 451,435} = 0,912 = 91,2\%$$

1.10. Тепловой и вентиляционный расчет

На первоначальной стадии проектирования достаточно достоверную оценку теплового режима двигателя даёт приближённый метод теплового расчёта, основанный на упрощённом представлении о характере тепловых связей между элементами электрической машины. В нём используются средние значения коэффициентов теплоотдачи с поверхности и теплопроводности изоляции, характерные для определённой конструкции и технологии производства двигателей данного типа.

Тепловой расчёт будем проводить только для статора. При расчёте используются потери, полученные для номинального режима, но потери в обмотке статора несколько увеличиваются по сравнению с расчётными. Предполагается, что обмотка может быть нагрета до предельно допустимой для принятого класса изоляции температуры.

Данный раздел работы рассчитывается по методике изложенной [5].

Электрические потери в обмотке статора в пазовой части:

$$P'_{эн} = \kappa_p \cdot P_M \cdot \frac{2 \cdot l_\delta}{l_{cp}} = 1,15 \cdot 227,669 \cdot \frac{2 \cdot 0,137}{0,464} = 154,203 \text{ Вт},$$

где $\kappa_p = 1,15$ – коэффициент увеличения потерь.

Электрические потери в обмотке статора в лобовой части:

$$P'_{эл} = \kappa_p \cdot P_M \cdot \frac{2 \cdot l_{л1}}{l_{cp}} = 1,15 \cdot 227,669 \cdot \frac{2 \cdot 0,095}{0,464} = 107,49 \text{ Вт}$$

Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри машины:

$$\Delta\theta_{нов} = K \cdot \frac{P'_{эн} + P_{СТ}}{\pi \cdot D_1 \cdot l_\delta \cdot \alpha_1} = 0,16 \cdot \frac{154,203 + 107,49}{3,14 \cdot 0,13 \cdot 0,137 \cdot 60} = 11,4 \text{ }^\circ\text{С}.$$

где $K = 0,16$ – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину в окружающую среду;

$\alpha_1 = 60 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{С}$ – коэффициент теплоотдачи с поверхности сердечника статора.

Расчётный периметр поперечного сечения паза статора:

$$P_n = 2 \cdot h_n + b_1 + b_2 = 2 \cdot 0,034 + 0,023 + 0,011 = 0,102 \text{ м}.$$

Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора:

$$\Delta\theta_{из.л} = \frac{P'_{эн}}{Z_1 \cdot P_n \cdot l_\delta} \cdot \left(\frac{b_u}{\lambda_{эКВ}} + \frac{b_1 + b_1}{16 \cdot \lambda'_{эКВ}} \right) = \frac{154,203}{18 \cdot 0,102 \cdot 0,137} \cdot \left(\frac{1 \cdot 10^{-4}}{0,16} + \frac{0,023 + 0,011}{16 \cdot 1,3} \right) = 1,4 \text{ }^\circ\text{С}, \text{ где}$$

$\lambda_{эКВ} = 0,16 \text{ Вт/м} \cdot \text{ }^\circ\text{С}$ – средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции;

$\lambda'_{эКВ} = 1,3 \text{ Вт/м} \cdot \text{ }^\circ\text{С}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности внутренней изоляции катушек всыпной обмотки из эмалированных проводников с учётом неплотности прилегания проводников друг к другу при $d/d_{из} = 0,931$.

Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей:

$$\Delta\theta_{из.л} = \frac{P'_{эл}}{2 \cdot Z_1 \cdot P_{л1} \cdot l_{л1}} \cdot \left(\frac{b_{из.л}}{\lambda_{эКВ}} + \frac{h_n}{12 \cdot \lambda'_{эКВ}} \right) = \frac{107,49}{2 \cdot 18 \cdot 0,102 \cdot 0,095} \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,16} + \frac{0,034}{12 \cdot 1,3} \right) = 1,6 \text{ }^\circ\text{С}.$$

где $\Pi_L \approx \Pi_n = 0,102$ м – периметр условной поверхности охлаждения лобовой части одной катушки;

$b_{из.л} = 0,5$ мм – односторонняя толщина изоляции лобовой части катушки.

Превышение температуры наружной поверхности изоляции лобовых частей обмотки над температурой воздуха внутри машины:

$$\Delta\theta_{нов.л} = \frac{K \cdot P'_{эл}}{2 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot l_L \cdot \alpha_1} = \frac{0,16 \cdot 156,02}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,13 \cdot 0,095 \cdot 60} = 3,69 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри машины:

$$\begin{aligned} \Delta\theta' &= \frac{(\Delta\theta_{нов} + \Delta\theta_{из.л}) \cdot 2 \cdot l_\delta}{l_{cp}} + \frac{(\Delta\theta_{из.л} + \Delta\theta_{нов.л}) \cdot 2 \cdot l_L}{l_{cp}} = \\ &= \frac{(11,4 + 1,4) \cdot 2 \cdot 0,137}{0,464} + \frac{(1,6 + 3,69) \cdot 2 \cdot 0,095}{0,464} = 9,7 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Эквивалентная поверхность охлаждения корпуса:

$$S_{кор} = (\pi \cdot D_{н1} + 8 \cdot \Pi_p) \cdot (l_\delta + 2 \cdot l_L) = (3,14 \cdot 0,23 + 8 \cdot 0,32) \cdot (0,137 + 2 \cdot 0,095) = 1,074 \text{ м}^2,$$

где $\Pi_p = 0,32$ м – условный периметр поперечного сечения рёбер станины [5].

Сумма потерь отводимых в воздух внутри двигателя:

$$\begin{aligned} \Sigma P'_B &= \Sigma P' - (1 - K) \cdot (P'_{эл} + P_{СТ}) - 0,9 \cdot P_{мех} = \\ &= 485,585 - (1 - 0,16) \cdot (154,203 + 83,516) - 0,9 \cdot 93,5 = 201,8 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

где $\Sigma P' = \Sigma P + (k_p - 1) \cdot P_M = 451,435 + (1,15 - 1) \cdot 227,669 = 485,585 \text{ Вт}$.

Превышение температуры воздуха внутри машины над температурой окружающей среды:

$$\Delta\theta_B = \frac{\Sigma P'_B}{S_{кор} \cdot \alpha_B} = \frac{201,8}{1,074 \cdot 9} = 20,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

где $\alpha_B = 9$ – коэффициент подогрева воздуха.

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды:

$$\Delta\theta = \Delta\theta' + \Delta\theta_B = 9,7 + 20,9 = 30,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Полученное значение превышения температуры существенно ниже допустимого превышения температуры для принятого класса изоляции F (135°C).

Вентиляционный расчёт синхронного двигателя, так же как и тепловой, на первоначальном этапе проектирования, может быть выполнен приближённым методом. Метод заключается в сопоставлении расхода воздуха, необходимого для охлаждения двигателя и расхода, который может быть получен при данной конструкции и размерах двигателя.

Коэффициент, учитывающий изменение условий охлаждения по длине поверхности корпуса, обдуваемого наружным вентилятором:

$$\kappa_m = m \cdot \sqrt{\frac{n}{100} \cdot D_{\text{вн1}}} = 1,8 \cdot \sqrt{\frac{1000}{100} \cdot 0,23} = 2,73,$$

где $m = 1,8$ – коэффициент для двигателя с $2p = 6$ при $h = 132$ мм [4].

Требуемый для охлаждения расход воздуха:

$$Q_B = \frac{\kappa_m \cdot \Sigma P'_B}{1100 \cdot \Delta \theta_B} = \frac{2,73 \cdot 201,8}{1100 \cdot 20,9} = 0,024 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором:

$$Q'_B = 0,6 \cdot D_{\text{вн1}}^3 \cdot \frac{n}{100} = 0,6 \cdot 0,23^3 \cdot \frac{1000}{100} = 0,317 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

$Q'_B > Q_B$, необходимое условие для охлаждения машин выполнено.

Нагрев частей двигателя находится в допустимых пределах. Вентилятор обеспечивает необходимый расход воздуха.

1.11. Механический расчет двигателя

Расчет вала на прочность

Двигатель имеет горизонтальное расположение вала. В этом случае вал нагружен всей массой вращающихся частей, и именно через него передаётся вращающий момент машины. При сочленении двигателя с нагрузкой на вал дополнительно действуют изгибающие силы. Также на вал действуют и силы одностороннего магнитного притяжения, вызванные

магнитной несимметрией, усилия, обусловленные возможным небалансом вращающихся частей, а также усилия, возникающие при появлении крутильных колебаний. Правильно спроектированный вал должен обеспечивать достаточную прочность и выдерживать все действующие на него нагрузки без каких-либо остаточных деформаций. Вал должен также иметь жёсткость, достаточную для того, чтобы при работе ротор не задевал о статор. Критическая частота вращения вала должна быть значительно больше рабочих частот вращения машины.

Рассчитываем усилия и изгибы по методике [6, с.244].

Ротор машины от опоры А до опоры Б состоит из:

- сплошных цилиндров $d = 35, 30, 25$ мм с плотностью металла 8300 кг/м^3 ., образующих вал ротора. Бурты для фиксации активной части ротора учитываем в сечении 30 мм.

$$M_{\text{вал}} = 0,25 \cdot \pi \cdot \rho_{\text{вал}} \cdot (D_{\text{вал}}^2 \cdot l_{\delta} + D_{30}^2 \cdot l_{30} + D_{25}^2 \cdot l_{25}) =$$

$$= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 8300 \cdot (0,035^2 \cdot 0,137 + 0,03^2 \cdot 0,08 + 0,025^2 \cdot 16) = 1,62 \text{ кг}$$

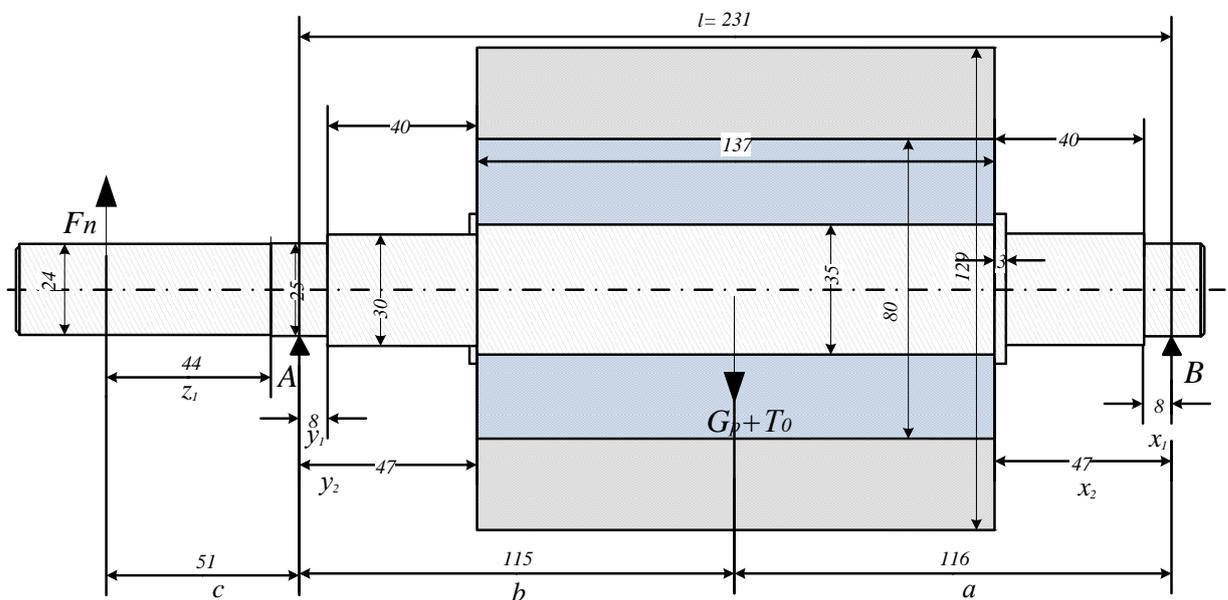


Рисунок 10. Эскиз вала с размерами и обозначением опор.

- немагнитной втулки диаметром 80 мм, насаженной на вал. Немагнитным материалом в данном случае является алюминиевый сплав плотностью 2700

кг/м³. Втулка имеет 12 пазов типа «ласточкин хвост». Принимаем высоту трапеции $h_{лх} = 6$ мм, основания трапеции $b_{лх1} = 14$ мм, $b_{лх2} = 10$ мм.

Сечение крепления «ласточкин хвост»:

$$S_{лх} = \frac{b_{лх1} + b_{лх2}}{2} \cdot h_{лх} = \frac{14 + 10}{2} \cdot 6 \cdot 10^{-6} = 7,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

$$\begin{aligned} \text{Масса втулки: } M_{вм} &= 0,25 \cdot \pi \cdot \rho_{вм} \cdot l_{\delta} \cdot (D_{вм}^2 - D_{вал}^2) - 2p \cdot l_{\delta} \cdot S_{лх} \cdot \rho_{вм} = \\ &= 0,25 \cdot 3,14 \cdot 2700 \cdot 0,137 \cdot (0,08^2 - 0,035^2) - 2p \cdot 0,137 \cdot 7,2 \cdot 10^{-5} \cdot 2700 = 1,31 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Масса магнитомягких полюсов: $M_{п} = 8,521$ кг.

Масса постоянных магнитов: $M_{пм} = 2,543$ кг.

Тогда сила тяжести ротора:

$$G_p = 9,81 \cdot (M_{вал} + M_{вм} + M_n + M_{пм}) = 9,81 \cdot (1,62 + 1,31 + 8,521 + 2,543) = 137 \text{ Н}.$$

Номинальный вращающий момент:

$$M_n = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9,55 \cdot \frac{5500}{1000} = 52,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определим поперечную силу, приложенную к выступающему концу вала.

Момент на вал двигателя передается через упругую втулочно-пальцевую муфту МУВП-4-24. Диаметр по центрам пальцев $D_{п} = 0,065$ м

$$F_n = k_n \cdot \frac{M_{ном} \cdot 2}{D_n} = 0,3 \cdot \frac{52,5 \cdot 2}{0,065} = 484,8 \text{ Н},$$

где $k_n = 0,3$ – коэффициент передачи для соединения на полумуфту.

Вал разбиваем на три участка а, б, с – это расстояния от места приложения силы до ближайшей опоры: $a = 0,116$ м, $b = 0,115$ м, $c = 0,051$ м.

Прогиб вала посередине сердечника под действием силы тяжести:

$$f_q = \frac{G_p}{3 \cdot E \cdot J^2} \cdot (S_A \cdot a^2 + S_B \cdot b^2),$$

Где $E = 2,06 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ - модуль упругости стали [5, стр.36].

$$S_A = \sum \frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i}; S_B = \sum \frac{y_i^3 - y_{i-1}^3}{J_i}; J_i = \pi \cdot d_i^4 / 64.$$

Далее расчет S_A и S_B сводим в таблицы 1, 2 и 3.

Таблица 1. Участок «а»

$d_i, \text{мм}$	$J_i, \text{мм}^4$	$x_i, \text{мм}$	$x_i^3, \text{мм}$	$x_i^3 - x_{i-1}^3, \text{мм}$	$\frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i}, \text{мм}^{-1}$
25	1,92E+04	8	512	512	0,027
30	3,97E+04	47	103823	103311	2,600
35	7,36E+04	116	1560896	1457073	19,791
					22,417

Таблица 2. Участок «b»

$d_i, \text{мм}$	$J_i, \text{мм}^4$	$y_i, \text{мм}$	$y_i^3, \text{мм}$	$y_i^3 - y_{i-1}^3, \text{мм}$	$\frac{y_i^3 - y_{i-1}^3}{J_i}, \text{мм}^{-1}$
25	1,92E+04	8	512	512	0,027
30	3,97E+04	47	103823	103311	2,600
35	7,36E+04	115	1520875	1417052	19,247
					21,873

$$f_q = \frac{137}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,231^2} \cdot (22,417 \cdot 0,116^2 + 21,873 \cdot 0,115^2) = 2,46 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

Прогиб вала посередине магнитопровода ротора от поперечной силы муфты.

$$f_n = \frac{F_n \cdot c}{3 \cdot E \cdot l^2} ((1,5 \cdot S_C - S_B) \cdot a + S_A \cdot b) \text{ где } S_C = \sum \frac{y_i^2 - y_{i-1}^2}{J_i}$$

Таблица 3. Участок «с»

$d_i, \text{мм}$	$J_i, \text{мм}^4$	$y_i, \text{мм}$	$y_i^2, \text{мм}$	$y_i^2 - y_{i-1}^2, \text{мм}$	$\frac{y_i^2 - y_{i-1}^2}{J_i}, \text{мм}^{-1}$
25	1,92E+04	7	49	49	0,0026
24	1,63E+04	44	1936	1887	0,116
					0,118

$$f_n = \frac{484,8 \cdot 0,051}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,231^2} \cdot ((1,5 \cdot 0,118 - 21,873) \cdot 0,116 + 22,417 \cdot 0,115) = 4,6 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

Первоначальное смещение ротора:

$$e_0 = 0,1 \cdot \delta + f_q + f_n = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} + 2,46 \cdot 10^{-8} + 4,6 \cdot 10^{-11} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Начальная сила одностороннего магнитного притяжения:

$$T_0 = 2,94 \cdot D_p \cdot l_\delta \cdot \frac{e_0}{\delta} \cdot 10^5 = 2,94 \cdot 0,129 \cdot 0,137 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-5}}{0,0005} \cdot 10^5 = 518 \text{ Н.}$$

Прогиб вала от силы T_0 :

$$f_m = \frac{f_q \cdot T_0}{G_p} = \frac{2,45 \cdot 10^{-9} \cdot 518}{137} = 9,3 \cdot 10^{-9} \text{ м.}$$

Установившийся прогиб вала от одностороннего момента притяжения:

$$f_M = \frac{f_m}{1-m} = \frac{9,3 \cdot 10^{-9}}{1-1,86 \cdot 10^{-4}} = 9,3 \cdot 10^{-9} \text{ м,}$$

$$\text{где } m = \frac{f_m}{e_0} = \frac{9,3 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-5}} = 1,86 \cdot 10^{-4}.$$

Суммарный прогиб посередине магнитопровода ротора:

$$f = f_M + f_q + f_n = 9,3 \cdot 10^{-9} + 2,45 \cdot 10^{-9} + 4,6 \cdot 10^{-11} = 1,2 \cdot 10^{-8} \text{ м.}$$

Суммарный прогиб в % от воздушного зазора:

$$f\% = \frac{f}{\delta} \cdot 100\% = \frac{1,2 \cdot 10^{-8}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% \approx 0 < 12\%.$$

Диаметр вала соответствует условию прогиба.

Критическая частота вращения:

$$n_k = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-m}{f_q}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-1,86 \cdot 10^{-4}}{2,45 \cdot 10^{-9}}} = 6,51 \cdot 10^5 \text{ об/мин.}$$

Подбор материала вала начинается с расчета на прочность. Исходя из воспринимаемых валом нагрузок, его размеров, намеченных предварительно, и допустимых напряжений, подбирают материал, который удовлетворяет предъявляемым требованиям. Материал вала электрической машины испытывает знакопеременные напряжения от изгиба вследствие вращения при постоянно направленных нагрузках.

Расчет ведется исходя из теории максимальных напряжений. Вал рассчитываем на участке «с» в наиболее нагруженном сечении А выступающего конца вала, уменьшенному на высоту шпонки. На остальных участках вала напряжения будут ниже. [5, стр. 38]

Изгибающий момент в расчетном сечении:

$$M_{uA} = k \cdot F_n \cdot z = 2 \cdot 484,8 \cdot 0,044 = 42,7 \text{ Н·м,}$$

где $k = 2$ - коэффициент нагрузки, $z = 0,044$ см. рисунок 10.

Момент сопротивления при изгибе:

$$W_A = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,024^3 = 1,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

где $d = 0,024$ м – диаметр выходного конца вала.

Напряжение изгиба:

$$\sigma_{np} = \frac{1}{W_A} \cdot \sqrt{M_{из}^2 + (\kappa \cdot \alpha \cdot M_n)^2} = \frac{1}{1,38 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{42,7^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 52,5)^2} = 6,82 \cdot 10^7 \text{ Па},$$

где $\alpha = 0,8$ - отношение допустимого напряжения при изгибе к удвоенному до пускаемому напряжению при кручении.

$$\sigma_{npA} < 0,7 \cdot \sigma_{np.тек} \text{ Па},$$

где $\sigma_{np.тек} = 2,3 \cdot 10^8 \text{ Па}$ - предел текучести для стали 30.

$$\sigma_{npA} = 6,82 \cdot 10^7 < 0,7 \cdot 2,3 \cdot 10^8 = 1,61 \cdot 10^8 \text{ Па}$$

Условие прочности выполняется. Следовательно, вал с заданными размерами можно использовать в данной электрической машине.

Выбор подшипников

Для подбора подшипников, насаживаемых на шейки вала электрической машины необходимо определить реакции опор.

При определении радиальных нагрузок на подшипники исходим из наихудшего случая.

Радиальные нагрузки для опоры А:

$$R_A = F_n \cdot \frac{c+l}{l} + (G_p + T_o) \cdot \frac{b}{l} = 848,8 \cdot \frac{0,051+0,231}{0,231} + (137+518) \frac{0,115}{0,231} = 918 \text{ Н}.$$

Приведенная динамическая нагрузка:

$$Q_A = k_n \cdot R_A = 1,5 \cdot 918 = 1377 \text{ Н}.$$

$L_D = 18000 \text{ ч}$ – срок службы подшипника в часах.

Динамическая грузоподъемность шарикоподшипника:

$$C_A = \frac{Q_A}{25,6} (L_D \cdot n)^{0,333} = \frac{1377}{25,6} (18000 \cdot 1000)^{0,333} = 14 \text{ кН}.$$

Радиальные нагрузки для опоры В:

$$R_B = F_n \cdot \frac{c}{l} + (G_p + T_o) \cdot \frac{a}{l} = 484,8 \cdot \frac{0,051}{0,231} + (137+518) \frac{0,116}{0,231} = 436 \text{ Н}.$$

Коэффициент учитывающий характер нагрузки $k_n = 1,5$ (при нагрузках с умеренными толчками).

Приведенная динамическая нагрузка:

$$Q_B = k_n \cdot R_B = 1,5 \cdot 436 = 654 \text{ Н.}$$

Динамическая грузоподъемность шарикоподшипника:

$$C_B = \frac{Q_B}{25,6} \cdot (L_D \cdot n)^{0,333} = \frac{654}{25,6} (18000 \cdot 1000)^{\frac{1}{3}} = 6,7 \text{ кН.}$$

При диаметре шейки вала 25 мм, из конструктивных соображений и обеспечения запаса надежности, по ГОСТ 8338-75, выбираем радиальные шарикоподшипники закрытого исполнения средней серии 180305, $C=22,5$ кН.

1.12. Заключение по главе

В данной главе по заданными первичным параметрам синхронного двигателя с возбуждением от высококоэрцитивных магнитов были определены основные параметры и размеры электрической машины. В итоге рассчитанная активная часть имеет простую однослойную обмотку на 18 пазов, а габаритные размеры сопоставимы с серийными аналогами.

Глава 2. Магнитостатическое исследование синхронного двигателя на постоянных магнитах в программе «Elcut»

2.1. Введение

ELCUT - это интегрированная диалоговая система программ, позволяющая решать плоские и осесимметричные задачи следующих типов:

1. Расчет электрического поля:

- электростатическое поле;
- электрическое поле постоянных токов;
- электрическое поле переменных токов;
- нестационарное электрическое поле.

2. Расчет магнитного поля:

- магнитостатическое поле;
- магнитное поле переменных токов (с учетом вихревых токов);
- магнитное нестационарное поле (с учетом вихревых токов и нелинейных материалов).

3. Задачи теплопередачи (расчет температурного поля):

- стационарная теплопередача
- нестационарная теплопередача (тепловые переходные процессы).

4. Задачи механической прочности:

5. Линейный анализ напряженно-деформированного состояния [9].

В этой главе заданием определено решить задачу магнитостатики, а в частности исследовать распределение магнитных полей рассчитанного синхронного двигателя с возбуждением на постоянных магнитах. Задачу исполняем в плоской постановке.

2.2. Создание геометрической модели

Для создания плоской модели используем ранее определенные размеры конструктивных элементов двигателя (рисунки 5, 7):

Вал двигателя - стальной. Данный элемент является механической основой электрической машины и не участвует в создании и проведении магнитного поля. Диаметр вала в активном сечении - 35 мм. Для построения модели – сечения будем описывать вокруг вала окружности других соосных элементов. Наименование элемента в геометрической модели – «Вал». Заданная относительная магнитная проницаемость $\mu = 1$.

Немагнитная втулка: алюминиевый немагнитный сплав (дюралюминий) - основа для установки полуполюсов и постоянных магнитов, посажена на вал ротора, внешний диаметр 80 мм. Наименование – «Немаг. втул DA1». Заданная относительная магнитная проницаемость $\mu = 1,1$.

Магнитный полуполюс: изготовлены из электротехнической листовой стали 2411, с толщиной листов 0,5 мм. Листы сшихтованы между собой под прессом и склеены электротехническим лаком. Количество сегментов – 6. Закреплены в немагнитной втулке креплением «ласточкин хвост» (в модели не учитываем для упрощения модели), внешний диаметр – 129 мм. Наименование в модели – «полуполюс». Магнитная проницаемость задана кривой В-Н (рисунок 11).

Постоянный магнит: 6 магнитов прямоугольного сечения 17x24 мм на основе сплава $SmCo_5$, намагничены тангенциально, справочная относительная магнитная проницаемость $\mu = 1,05$. Наименование – «магнит». Магниты установлены между полуполюсами таким образом, чтобы грани одного тангенциального направления (в модели: ребра) примыкали к одному полуполюсу: сторона S - $H_c = 650$ кА/м, сторона N - $H_c = -650$ кА/м.

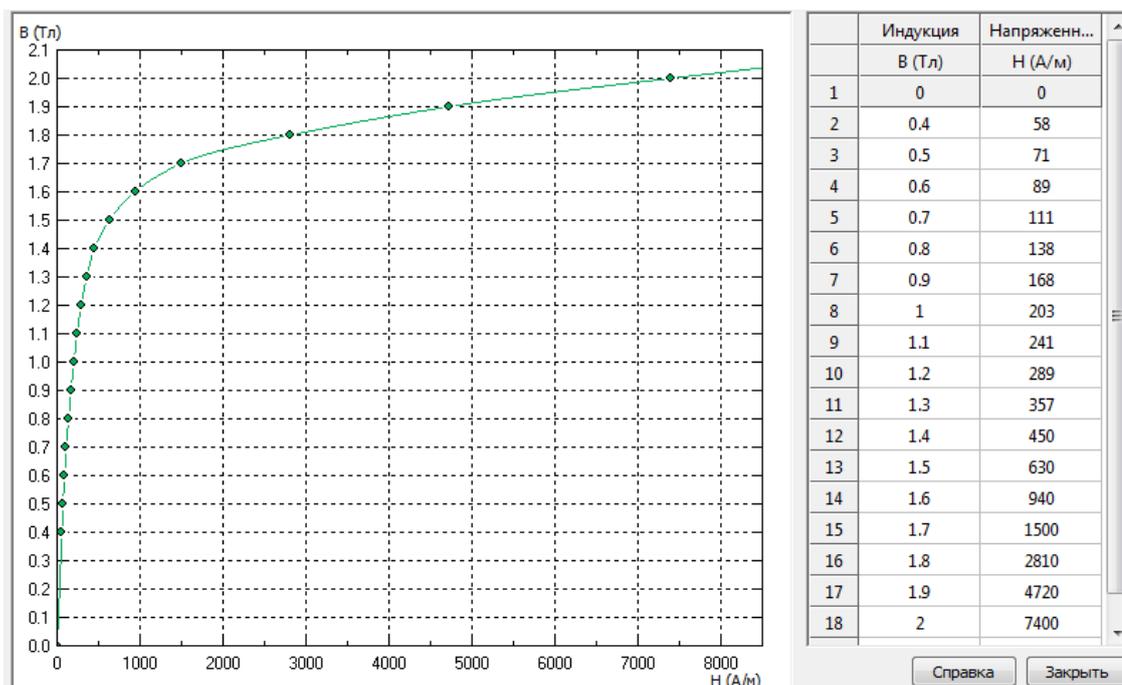


Рисунок 11. Кривая В-Н стали полу полюса.

Спинка и зубья статора: изготовлены из электротехнической листовой стали 2411, с толщиной листов 0,5 мм. Листы сшитованы между собой под прессом и склеены электротехническим лаком. Количество пазов для укладки обмотки – 18. Внутренний диаметр – 130 мм, внешний диаметр – 230 мм. Наименования в модели – «Спинка ст2411» и «Зубец ст2411». Магнитная проницаемость задана кривыми В-Н для спинки и зубцовой зоны (рисунки 12 13).

Воздух: воздушный зазор между статором и ротором. Ширина – 0,5 мм. Заданная относительная магнитная проницаемость $\mu = 1$.

Обмотка: Распределяется пофазно в соответствии со схемой обмотки. Действующее значение плотности тока $j = 4,74 \text{ А/мм}^2$ или $4,74 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$.

Для произвольного момента времени:

$$j_A = \sqrt{2} \cdot j \cdot \cos(0^\circ) = \sqrt{2} \cdot 3,83 \cdot 1 = 5,42 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2;$$

$$j_B = \sqrt{2} \cdot j \cdot \cos(-120^\circ) = \sqrt{2} \cdot 3,83 \cdot (-0,5) = -2,71 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2;$$

$$j_C = \sqrt{2} \cdot j \cdot \cos(120^\circ) = \sqrt{2} \cdot 3,83 \cdot (-0,5) = -2,71 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2;$$

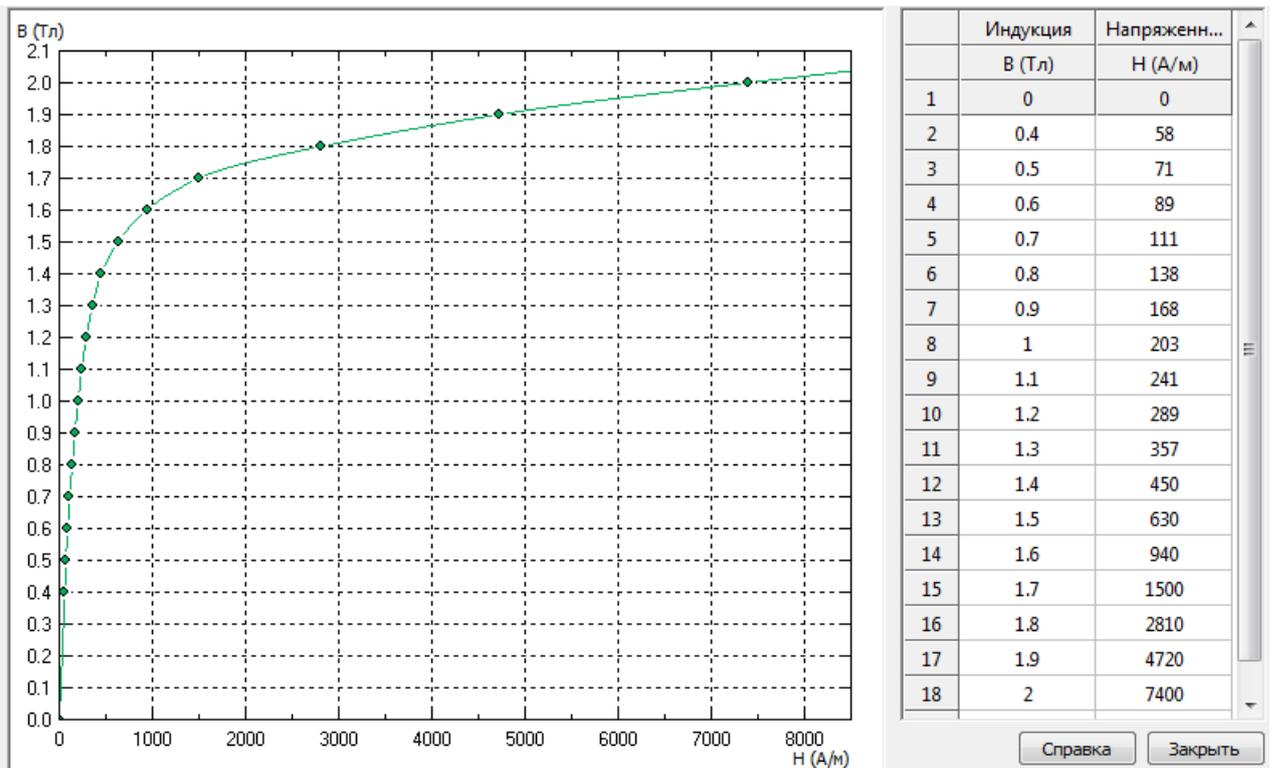


Рисунок 12. Кривая В-Н стали спинки статора.

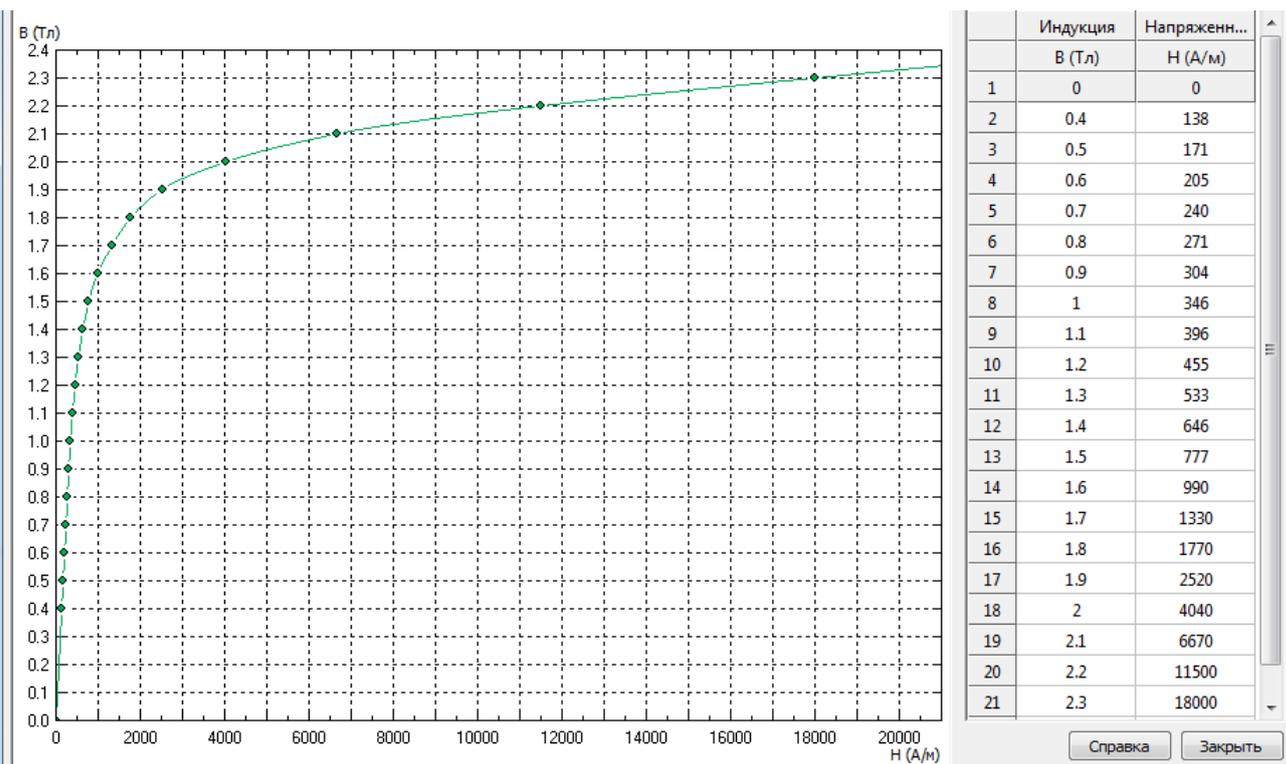


Рисунок 13. Кривая В-Н стали зубьев статора.

Направления и величины плотностей токов в пазах:

Фаза А:

Прямое направление - 1, 7, 13 - $j_A = 5,42 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$;

Обратное направление - 4, 10, 16 - $j_A = -5,42 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$;

Фаза В:

Прямое направление - 5, 11, 17 - $j_B = -2,71 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$;

Обратное направление - 2, 8, 14 - $j_B = 2,71 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$;

Фаза С:

Прямое направление - 3, 9, 15 - $j_C = -2,71 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$;

Обратное направление - 6, 12, 18 - $j_C = 2,71 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$;

Все характеристики элементов модели определены. Создаем модель двигателя в разрезе.

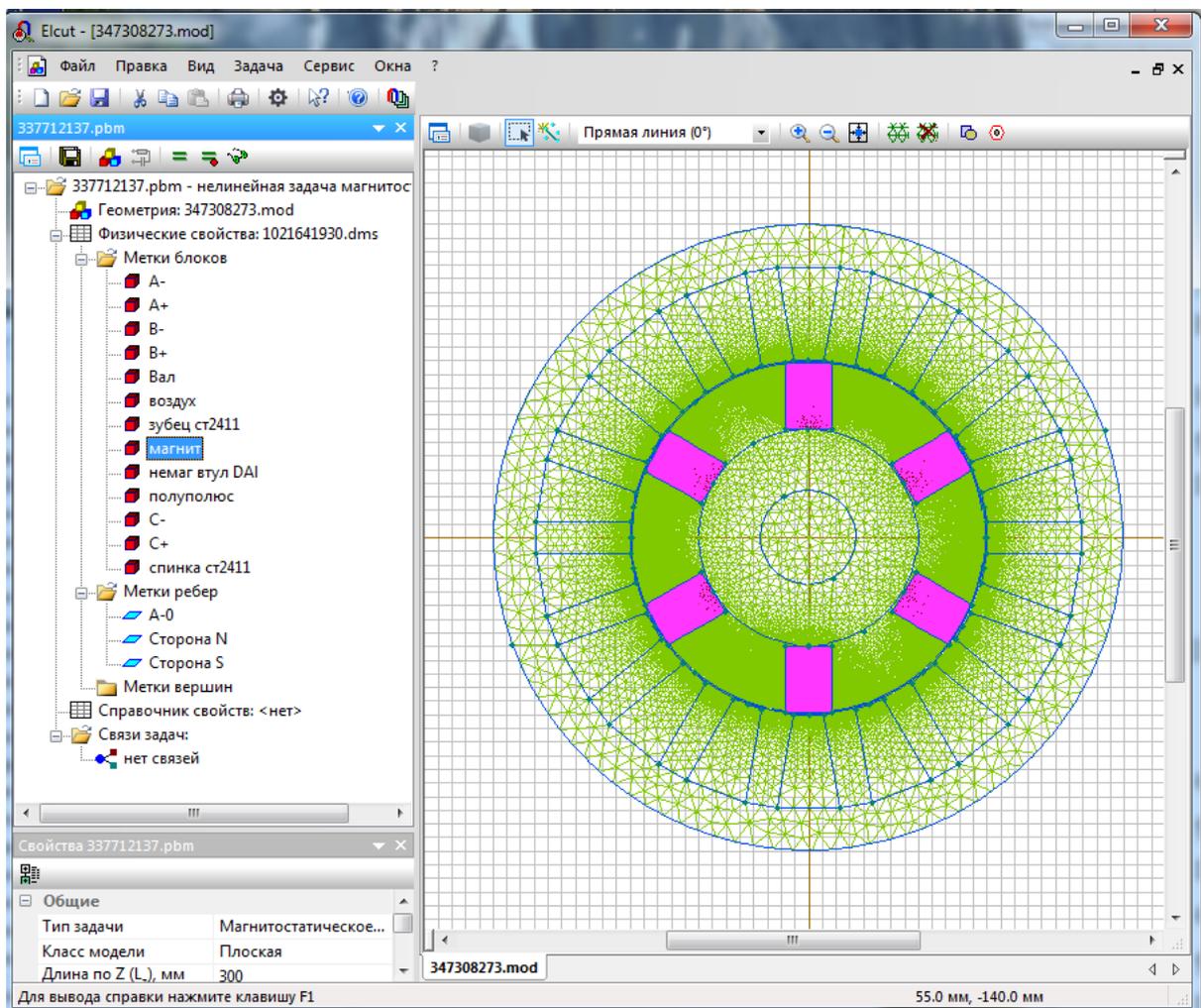


Рисунок 14. Модель двигателя в ELCUT с построенной сеткой конечных элементов (выделены постоянные магниты).

2.3. Расчет и анализ модели

Выполним решение задачи магнитостатического моделирования с представлением картин полей и проанализируем полученные результаты.

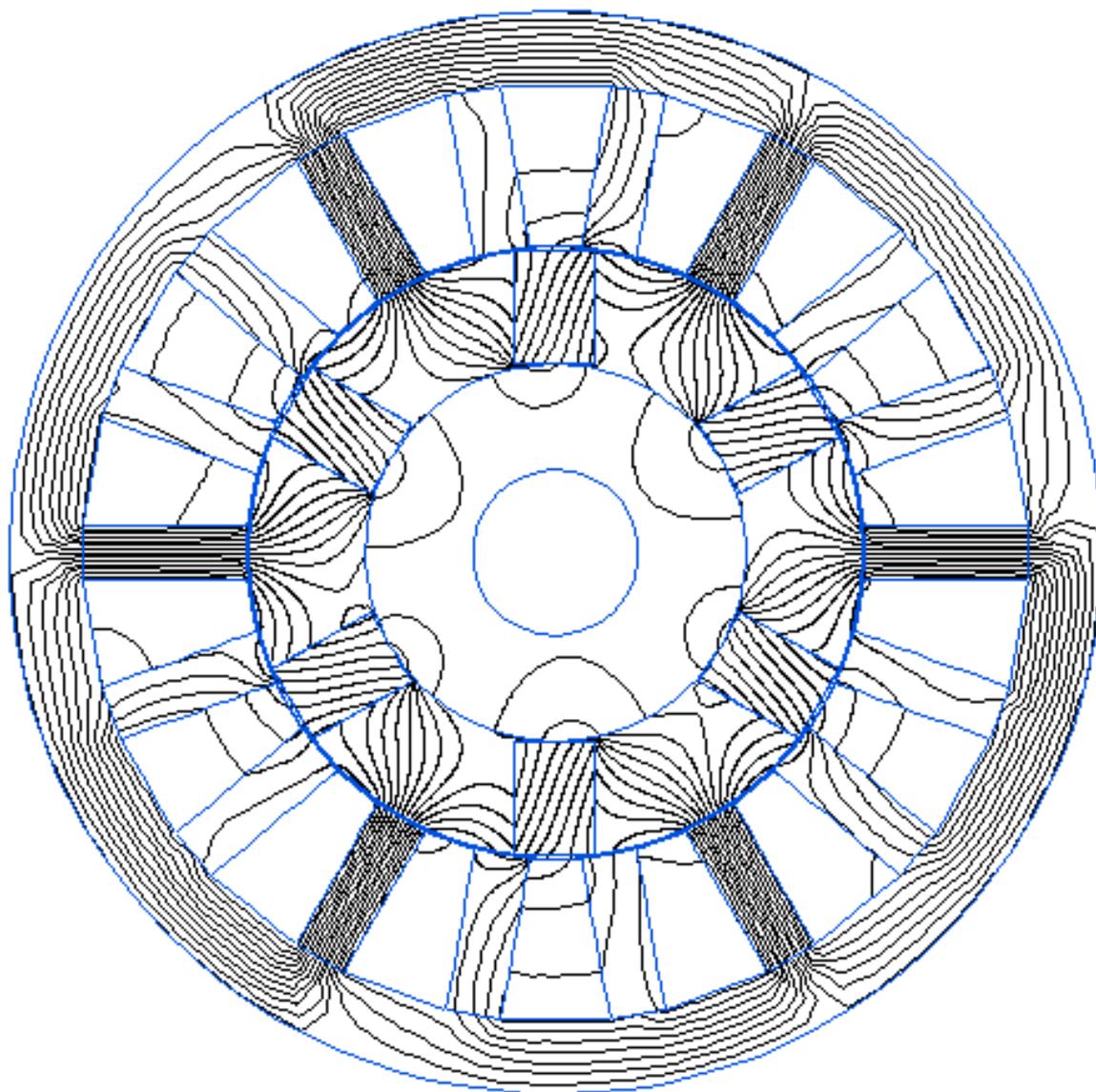


Рисунок 15. Распределение силовых линии магнитной индукции

На рисунке 15 изображена картина распределения силовых линий магнитного поля. Чем плотнее силовые линии, тем больше величина магнитной индукции. Используя калькулятор локальных значений, можно определить значения в каждой точке модели. Магнитная индукция в немагнитной втулке и пазах обмотки находится в диапазоне значений от 0,02

до 0,07 Тл, в спинке статора – от 1 до 1,4 Тл, в зубцах – от 0,6 до 2,4 Тл, в магнитах и полуполюсах – от 0,1 до 1,0 Тл. Величина магнитной индукции в каждой конкретной точке зависит от взаимного расположения постоянных магнитов и полуполюсов относительно зубцов статора, а также от заданной мгновенной величины и направления тока, протекающего в пазу.

Направления векторов магнитной индукции для данного положения ротора относительно статора представлены на рисунке 16. Здесь длина вектора характеризует величину магнитной индукции.

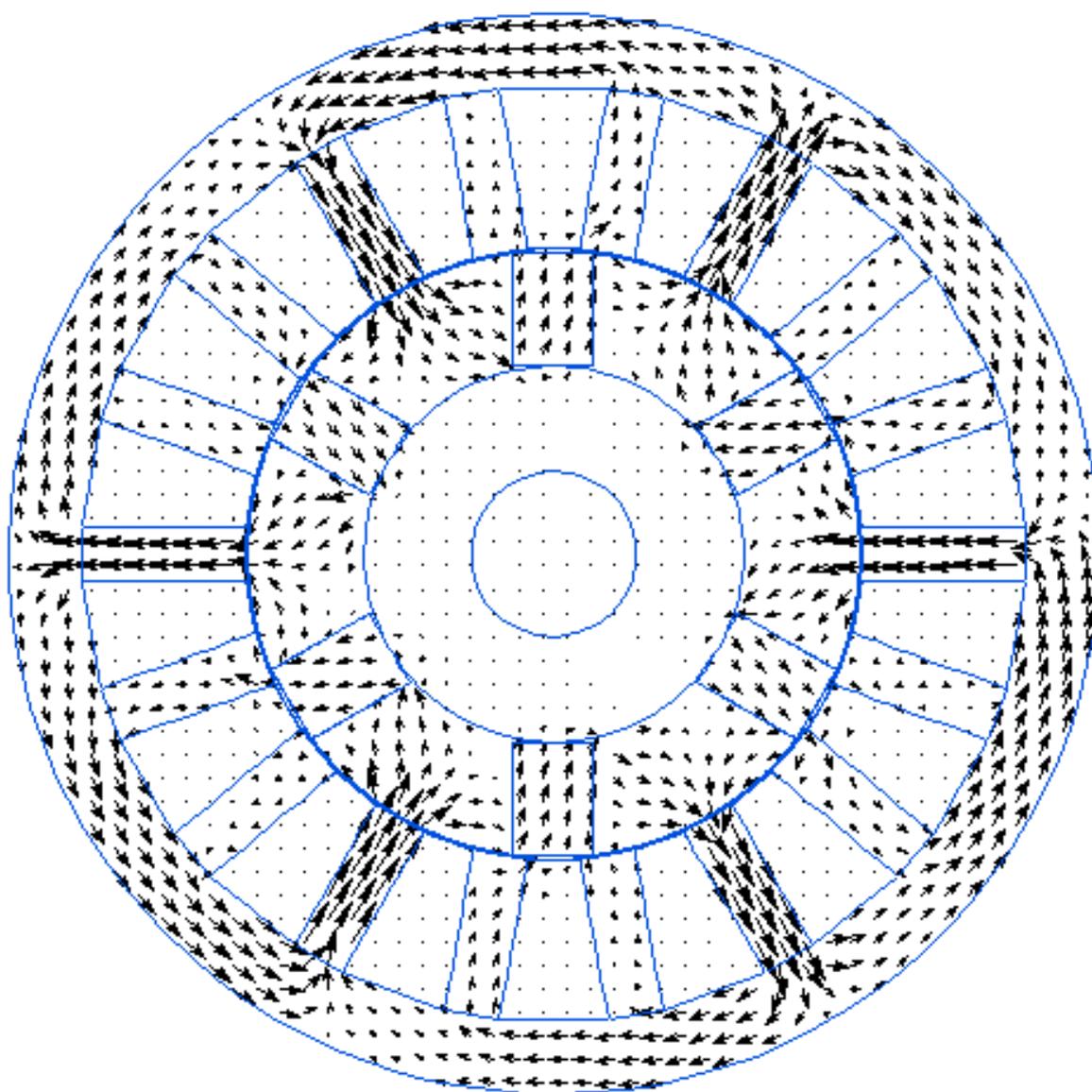


Рисунок 16. Распределение векторов магнитной индукции

Картина распределения векторов магнитной индукции показывает, что величина и направление векторов индукции зависит от величины и направления тока в пазах, полярности расположенного в непосредственной близости полюса и магнитов, их взаимного расположения. Дополнительно на рисунке 17 представим цветовую картину распределения магнитной индукции.

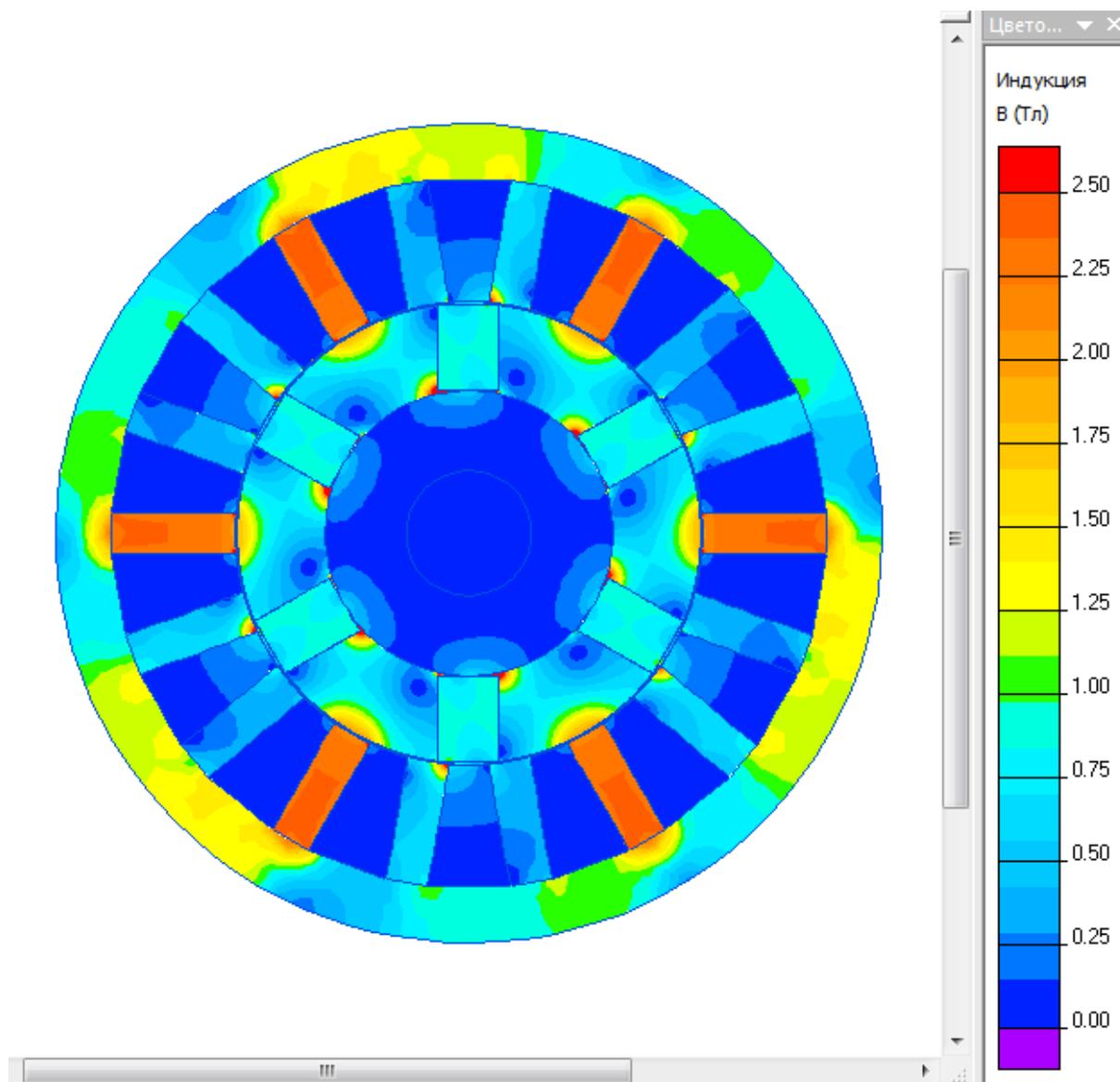


Рисунок 17. Распределение магнитной индукции в цветовой гамме

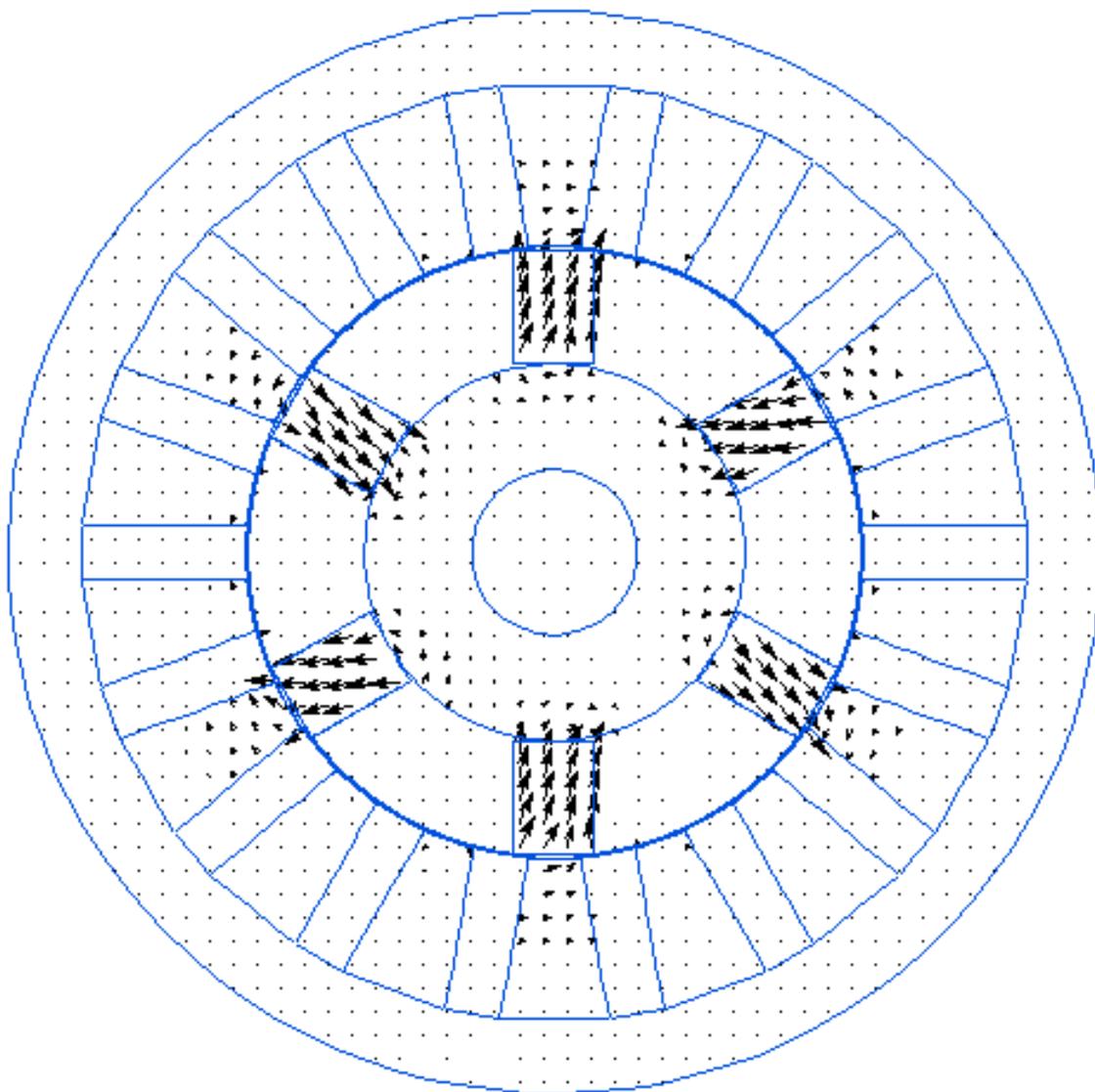


Рисунок 18. Распределение векторов напряженности магнитного поля

Картина распределения векторов напряженности на рисунке 18 показывает, что наибольшая напряженность магнитного поля фиксируется в магнитах как источниках магнитного поля. Величина напряженности магнитов – от 55000 до 670000 А/м, что соответствует их коэрцитивной силе. Направления векторов характеризуют полярность установки магнитов. Наименьшая напряженность магнитного поля отмечена в спинке статора, от 0 до 500 А/м. Причем эта величина уменьшается по мере удаления от источников магнитного поля. Для лучшей визуализации распределения напряженности магнитного поля на рисунке 19 представим в цветовой гамме.

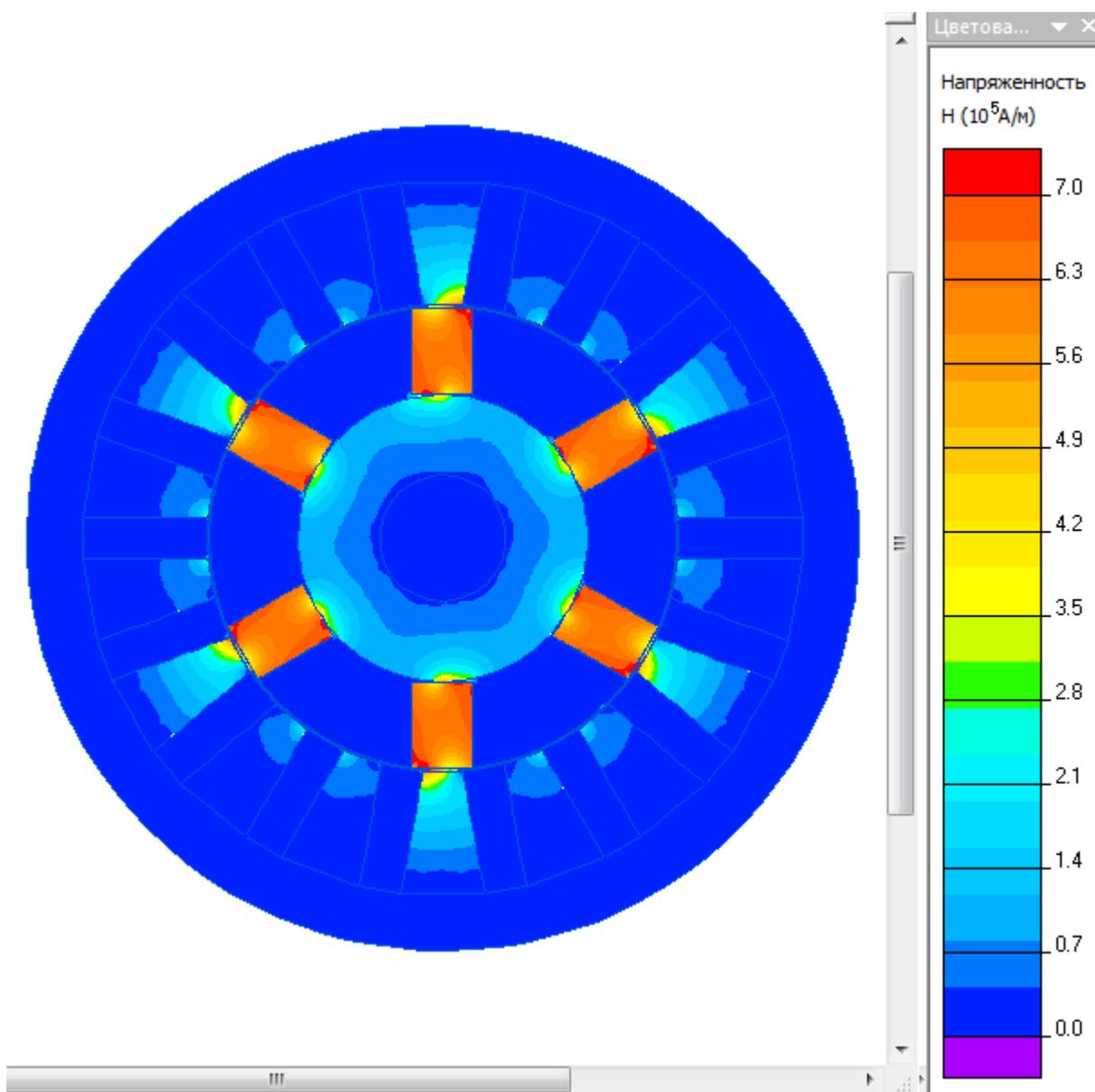


Рис. 19. Распределение напряженности магнитного поля в цветовой гамме.

На рисунке 20 представлена цветовая картина распределения векторного потенциала A магнитного поля. Физически эта величина характеризует величину магнитного потока по контуру. Как видим, модуль этой величины напрямую зависит от плотности тока в паза обмотки статора, а элементы конструкции, не участвующие в проведении электромагнитного поля обладают нулевым потенциалом A .

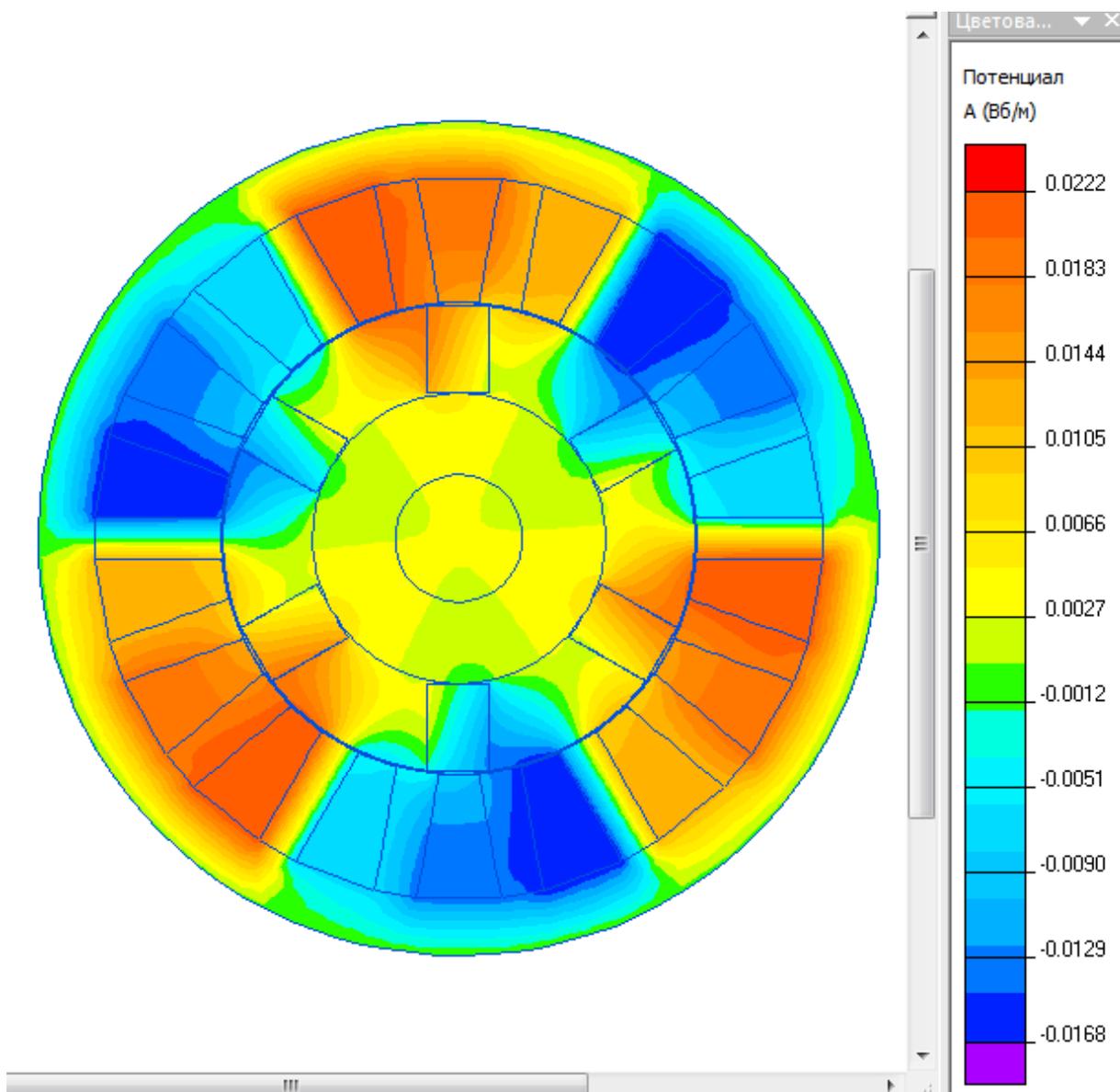


Рисунок 20. Распределение векторного потенциала магнитного поля

2.4. Заключение по главе

В настоящей главе была создана плоская модель проектируемого синхронного двигателя на постоянных магнитах в программе ELCUT и решена задача магнитостатики. Проведен анализ силовых полей, действующих в двигателе в определенный момент времени.

Глава 3. Технология общей сборки синхронного двигателя

3.1. Введение

Процесс создания электрической машины от задания до серийного выпуска высококачественной продукции достаточно долг и трудоемок.

В настоящее время разработка проекта электрической машины ведется с помощью специальных программных средств, которые позволяют оттачивать характеристики машины с помощью точных математических моделей, достигать максимального эффекта от вложенных в ее производство средств и материалов. Произведенный электромагнитный расчет фактически выполняется с множеством переменных величин, путем большого количества итераций достигается оптимальное соотношение параметров.

Далее для полученной модели машины разрабатывается станина в зависимости от способа установки (на лапы, фланцевое и т.д.), детали подшипниковых узлов, подбирается крепеж. В конструкторском бюро все детали проектируются с учетом расчетных механических нагрузок и необходимого ресурса изделия.

Для разработки полной технологии сборки двигателя определяются следующие производственные стадии: отливка и обработка деталей, сборка статора с коробкой выводов, изготовление статорной обмотки, сборка ротора, общая сборка.

В настоящем разделе работы разработаем технологию общей сборки проектируемого двигателя для серийного выпуска по 4200 шт/год, сборочный чертеж двигателя (Приложение А), спецификацию для общей сборки (Приложение Б), маршрутные карты (В).

3.2. Краткое описание конструкции

Проектируемый синхронный двигатель выполнен в корпусе из алюминиевого сплава, имеющем горизонтальное оребрение. Подшипниковые щиты также изготовлены из алюминиевого сплава, ступица под посадку подшипников армирована стальной втулкой. Лапы отлиты заодно с

корпусом. Коробка выводов расположена сверху и обеспечивает подвод питания с любой из боковых сторон двигателя. Кожух вентилятора стальной, вентилятор из морозостойкого полипропилена.

Ротор двигателя представляет собой вал с напрессованной на него по шпонке дюралюминиевой втулкой с пазами под крепление «ласточкин хвост». В эти пазы впрессовываются полуполюса, набранные из листовой электротехнической стали. В зазоры между полуполюсами фиксируются постоянные магниты.

Сердечник статора набран из листов электротехнической стали, обмотка трехфазная. Обмотка выполнена эмалированным проводом.

В целях уменьшения размеров электрической машины, а также упрощения ее конструкции, подшипниковые щиты не имеют внутренних подшипниковых крышек, на внешних крышках подшипников уплотнения по валу отсутствуют, на электродвигатель устанавливаются радиальные шарикоподшипники закрытого исполнения.

3.3. Оценка технологичности конструкции

Конструктор, придавая конструкции изделия в процессе ее разработки необходимые свойства, выражающие полезность изделия, придает ей и такие конструктивные свойства, которые определяют уровень затрат ресурсов на создание, изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия.

Совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ, представляет собой технологичность конструкции изделия (ТКИ).

ТКИ выражает не функциональные свойства изделия, а его конструктивные особенности. Конструкцию изделия характеризуют в общем случае состав и взаимное расположение его составных частей, схема устройства изделия в целом, форма и расположение поверхностей деталей и

соединений, их состояние, размеры, материалы и информационная выразительность.

Конструкция двигателя позволяет расчленить её на самостоятельные узлы с целью обеспечения возможности их параллельной сборки, автономного контроля, испытания, замены. Такими узлами этой электрической машины являются статор в сборе (поз. 1) и ротор в сборе (поз. 2). Каждый из узлов содержит не более 12 составных частей. Данные узлы на участок общей сборки поступают в собранном виде.

Из стандартных составных частей в двигателе только метизы (болты, винты, шайбы), подшипники.

. Для выпуска серии необходимо унифицировать:

- подшипниковые щиты (поз. 3);
- крышку коробки выводов (поз. 6) с прокладкой (поз. 5);
- кожух вентилятора (поз. 7);
- вентилятор (поз. 4).

В конструкции двигателя исключена необходимость проведения промежуточной разборки и повторной сборки его составных частей.

Конструкция двигателя позволяет выполнить общую сборку по методу полной взаимозаменяемости.

Конструкция двигателя обеспечивает свободный доступ сборочных инструментов к соответствующим местам соединения деталей.

Конструкция двигателя позволяет выполнить сборку вдоль главной оси симметрии и сверху.

Плоскости разъёмов подшипниковых щитов со станиной двигателя расположены перпендикулярно к главной базовой оси симметрии, что упрощает ориентирование при сборке.

В конструкции двигателя есть базовая деталь (статор в сборе), являющаяся основой для установки остальных составных частей. Для обеспечения устойчивости и необходимой точности установки станина наибольшая по габаритам деталь, не деформирующаяся под действием

сборочных усилий, имеет развитые базовые опорные поверхности и позволяет проводить сборку в основном без изменения её положения.

Для разборки двигателя при его обслуживании и ремонте предусмотрены в зоне болтов, крепящих подшипниковые щиты к станине, зазоры, позволяющие отжать щит с помощью отвертки или монтажки.

Применение резьбовых соединений для фиксации щитов на станине снижает технологичность конструкции, но обеспечивает возможность разборки двигателя, например, для ремонта.

3.4. Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки

Схема сборки позволяет отразить маршрут сборки изделия, выделить составные части изделия, которые можно собрать отдельно (организовать параллельную сборку составных частей), оценить предварительно трудоемкость сборки отдельных составных частей, иногда выявить конструктивные неувязки, выявить и сравнить варианты технологического процесса.

На базе схемы сборки, разрабатывается маршрутная технология, устанавливающая последовательность и содержание операций.

Маршрутный технологический процесс фиксируется на маршрутных картах, форма и содержание которых определена в ГОСТ 3.1118-82.

После изучения сборочного чертежа и точностного анализа конструкции необходимо разбить изделие на сборочные единицы – составные части. Это основная работа при проектировании технологического процесса сборки при выполнении этой работы целесообразно исходить из следующих принципов.

1. Сборочная единица не должна быть слишком большой по габаритным размерам и массе или состоять из большого количества деталей и сопряжений. В то же время излишнее «дробление» машины на сборочные единицы не рационально, так как это усложняет процесс комплектования при сборке, создает дополнительные трудности в организации сборочных работ.

2. Если в процессе сборки требуется проведение испытаний, обкатка, специальная слесарная пригонка узла машины, то он должен быть выделен в особую сборочную единицу.

3. Сборочная единица при монтаже ее в машине не должна подвергаться какой-либо разборке, а если этого избежать нельзя, то соответствующие разборочные работы необходимо предусмотреть в технологии.

4. Большинство деталей машины, исключая её базовые детали (станину, раму и пр.), а также детали креплений резьбовых соединений, должны войти в те или иные сборочные единицы, чтобы сократить количество отдельных деталей, подаваемых на общую сборку.

5. Трудоемкость сборки должна быть примерно одинакова для большинства сборочных единиц составных частей машины.

Последовательность сборки в основном определяется конструкцией изделия компоновкой деталей и методами достижения требуемой точности и может быть представлена в виде технологической схемы сборки.

Схема сборки, являясь первым этапом разработки технологического процесса, в наглядной форме отражает маршрут сборки изделия и его составных частей. Технологическую схему сборки составляют на основе сборочных чертежей изделия. Схема сборки представлена на рисунке 21.

На базе схемы сборки разрабатывается маршрутная технология, устанавливающая последовательность и содержание операций.

Маршрутная технология сборки в приложении В.

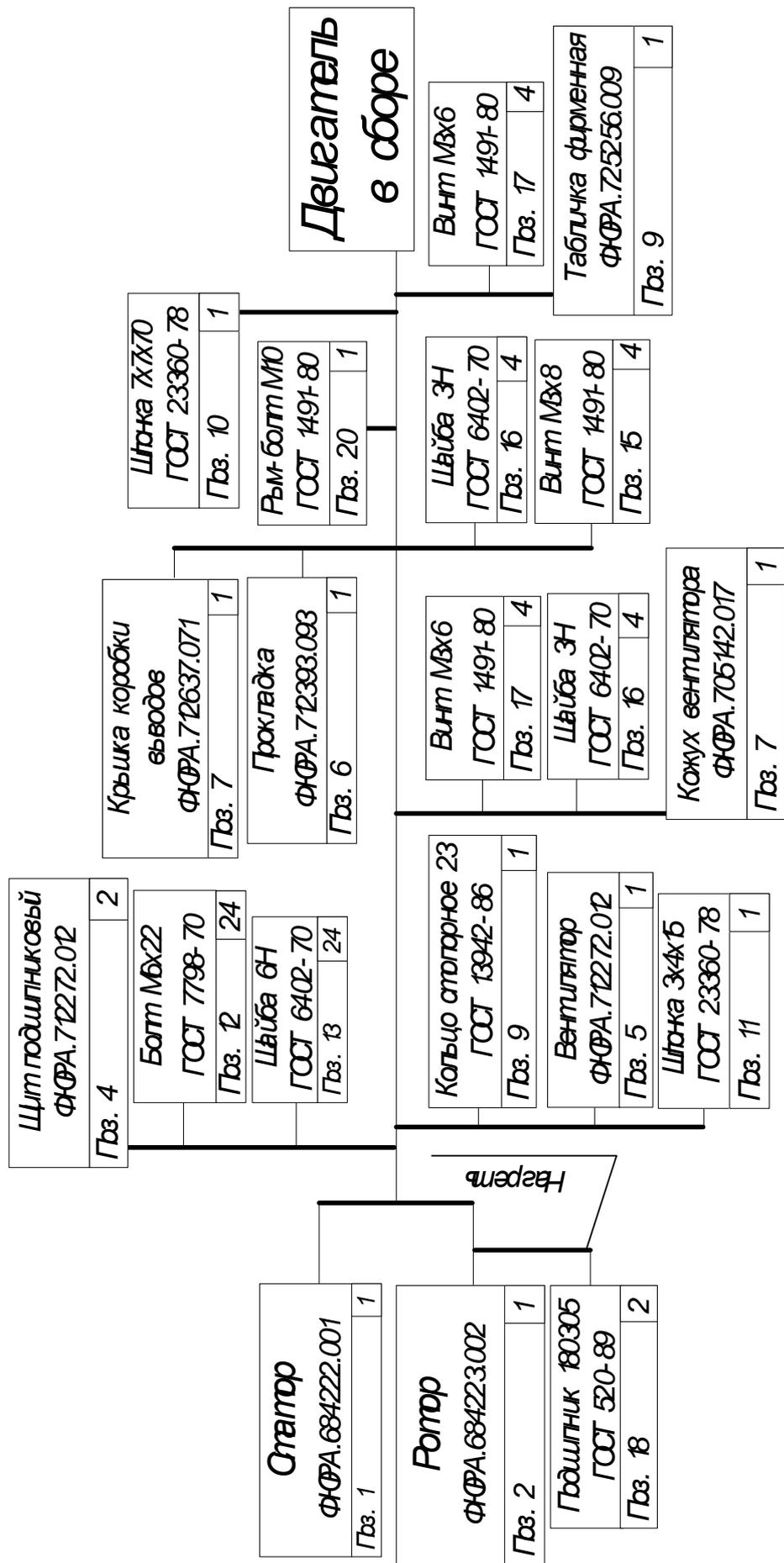


Рисунок 21. Схема сборки двигателя.

3.5. Выбор сборочного оборудования и оснастки

Содержание операции определяют тип, основные размеры и технологическую характеристику сборочного оборудования, технологической оснастки (приспособлений, рабочего и измерительного инструмента) и подъемно-транспортных средств. При серийном производстве технологическое оборудование и оснастку применяют универсального, переналаживаемого типа. В массовом производстве преимущественно применяют специальное оборудование и оснастку. Тип, основные размеры и грузоподъемность подъемно-транспортных средств определяют по установленной организационной форме сборки, размерной характеристике изделия и его массе.

К технологическому оборудованию, предназначенному непосредственно для выполнения работ по осуществлению подвижных или неподвижных сопряжений деталей, их регулировке и контролю в процессе узловой и общей сборки обычно относят прессы, оборудование для балансировки, мойки, нагрева, клеймения, заправки смазками, сборочные стенды. Для выполнения пригоночных работ могут быть применены различные виды металлорежущего оборудования.

Приспособления, применяемые при сборке, по степени специализации разделяют на универсальные и специальные; по степени автоматизации - на ручные, механизированные, полуавтоматические и автоматические; по типу привода - на механические, пневматические, гидравлические и пневмогидравлические; по назначению - на установочно-зажимные, для точной и быстрой фиксации сопрягаемых деталей, для предварительного деформирования упругих элементов, для захвата, подъема и перемещения деталей и сборочных единиц. По виду выполняемых работ их разделяют на приспособления для запрессовки, клепки, развальцовки, свинчивания, гибки, пайки и др.

Инструменты, применяемые при сборке делят на ручной слесарно-сборочный инструмент и ручные машины для слесарно-пригоночных и

сборочных работ. К ручному инструменту относят различного назначения и конструкции гаечные ключи, шпильковерты, щипцы, кусачки, плоско- и круглогубцы, слесарные молотки, напильники, керны, зубила. Основным средством механизации слесарно-пригоночных работ являются ручные машины, повышающие производительность труда в 3-10 раз по сравнению с ручным инструментом. Ручные машины (механизированный инструмент) - группа технологических машин со встроенными двигателями, масса которых (обычно 1,5-10 кг) полностью или частично воспринимается руками оператора, управляющего машиной. Для приведения в движение рабочего органа в ручных машинах используют пневматические, электрические и реже гидравлические приводы. По назначению различают ручные машины общего применения (сверлильные, шлифовальные и полировальные, фрезерные), для слесарно-доводочных работ (развальцовочные, развертывающие, зенковальные, опиловочные, ножницы, кромкорезы, шаберы, пилы по металлу, зачистные и рубильные молотки), для сборочных работ (резьбозавертывающие, резьбонарезные, клепальные молотки, скобозабивные).

Для сборки узлов изделия в целом применяют механизированную линию. Для испытания двигателя на механическую прочность и работу в режимах холостого хода и короткого замыкания используют испытательный стенд. Для проверки электрической прочности применяется высоковольтная испытательная установка. Для нагрева подшипников применяют индукционную установку.

Таким образом, исходя из массы двигателя в 47,35 кг и условий обеспечения максимальной механизации производства для проведения сборки двигателя и его последующего испытания необходимы следующие инструменты и средства:

- верстак слесарный металлический с экраном для сборки;
- установка индукционного нагрева;
- устройство выемки/установки роторов массой до 100 кг;

- молоток слесарный;
- испытательный стенд;
- плита поверочная (чугунная) 400x400;
- винтогайковерт;
- набор шаблонов для выверки размеров для данного двигателя.

3.6. Нормирование сборочных работ и расчет количества технологического оборудования для обеспечения заданной программы

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

Штучным временем называют отношение времени выполнения технологической операции к числу изделий одновременно собираемых на одном рабочем месте. При расчетно-аналитическом методе технически обоснованную норму времени устанавливают на каждую сборочную операцию.

Для неавтоматизированного производства штучное время равно:

$$T_{шт} = T_o + T_e + T_{об} + T_n, \text{ где}$$

T_o - основное (технологическое) время, мин. Для операции по сборке электрической машины основное время тратится на выполнение соединений, пригонку сопрягаемых деталей (при соединении).

T_e - вспомогательное время, мин. Тратится на установку, закрепление и снятие собираемой части изделия, управление механизмом и оборудования.

$T_{об}$ - время организационного обслуживания рабочего места, мин. Принимается равным 6% от оперативного времени.

T_n - время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего, мин. Определяется как 3% от оперативного времени ($T_{оп}$)

Так как элементы основного и вспомогательного времени тесно связаны между собой, при сборке нормируют и оперативное время.

$$T_{он} = T_o + T_в$$

При сборке изделий партиями в серийном производстве вместо штучного времени $T_{шт}$ определяют штучно-калькуляционное $T_{шт.к}$.

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{нз}}{n}, \text{ мин, где}$$

$T_{нз}$ - подготовительно заключительное время, в данном случае затрачивается для снятия и сдачи инструментов после выполненной работы. Принимаем равным 2% от оперативного времени.

n - число изделий в партии. Годовой выпуск - 4200 штук/год.

Сборка двигателя осуществляется в 4 операции, при этом считаем, что колодка клеммная установлена, обмотка статора подключена к выводам колодки, гермоввод и заглушка установлены в коробке выводов при сборке статора. Нормирование работ ведём с учетом укрупненных норм, реальных размеров и веса деталей, характеристик и уровня механизации используемой оснастки и оборудования:

Расконсервация:

- складировать все детали, сборочные единицы для начала работы, ($T_{оп} = 0,7$);

Слесарно-сборочная:

- нагрев и установка подшипников на вал ротора - для выбранной установки малой мощности и размера посадочного диаметра подшипника 25 мм, нахождением установки в составе верстака) принимаем $T_{оп} = 2,3$;

- установка ротора в статор, $T_{оп} = (0,55)$;

- установка подшипниковых щитов на подшипник и станину с креплением болтами по плоскости установки к станине, скользящая посадка ($T_{оп} = 3,9$);

- установка подшипниковых крышек с креплением болтами по плоскости установки к подшипниковому щиту, скользящая посадка ($T_{оп} = 1,6$);

- установка вентилятора, шпонок, кожуха вентилятора, крышки коробки выводов через прокладку, фирменной таблички ($T_{оп} = 3,6$);

Контрольная. $T_{оп} = 1,2$

Испытания. $T_{оп} = 6,2$

Расчеты ведем в таблице 4.

Таблица 4. Нормирование сборочных работ

Операция	$T_{оп}$, МИН	$T_{об}$, МИН	$T_{п}$, МИН	$T_{пз}$, МИН	$T_{шт}$, МИН	$T_{шт.к}$, МИН
Расконсервация	0,7	0,042	0,021	1,500	0,763	0,763
Сборка	9,65	0,579	0,29	4,900	10,519	10,519
Контроль	1,2	0,072	0,036	2,500	1,308	1,308
Испытания	6,2	0,372	0,186	0,400	6,758	6,758

Определим эффективный годовой фонд производственного времени

$$F_{\partial} = \left[(365 - B_{\partial} - P_{\partial}) \cdot 8 - P_{нд} \right] \cdot K_p$$

$$F_{\partial} = \left[(365 - 104 - 11) \cdot 8 - 9 \right] \cdot 0,94 = 1871 \text{ час,}$$

где B_{∂} – количество выходных дней в году;

P_{∂} – количество праздничных дней в году;

$P_{нд}$ – количество предпраздничных дней в году;

K_p – коэффициент, учитывающий время пребывания единицы оборудования в ремонте.

В качестве оборудования для осуществления технологического процесса сборки применяются сборочный верстак, установка индукционного нагрева, испытательный стенд.

Расчетное число C_p для сборочного верстака

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}} = \frac{10,519 \cdot 4200}{60 \cdot 1871} = 0,393$$

где N – годовая программа выпуска изделий.

Тогда коэффициент загрузки сборочного верстака

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{II}} \cdot 100\% = \frac{0,393}{1} \cdot 100\% = 39,3\% ,$$

где C_n – принятое число оборудования.

Расчетное число C_p для испытательного стенда

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}} = \frac{6,758 \cdot 4200}{60 \cdot 1871} = 0,253$$

Коэффициент загрузки испытательного стенда

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{II}} \cdot 100\% = \frac{0,253}{1} \cdot 100\% = 25,3\%$$

Расчетное число C_p для установки индукционного нагрева

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}} = \frac{2,507 \cdot 4200}{60 \cdot 1871} = 0,094$$

Коэффициент загрузки установки индукционного нагрева

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{II}} \cdot 100\% = \frac{0,094}{1} \cdot 100\% = 9,4\%$$

По расчетным данным построена диаграмма, показывающая коэффициенты загрузки для различных типов оборудования, участвующего в процессе общей сборки синхронного двигателя на постоянных магнитах.

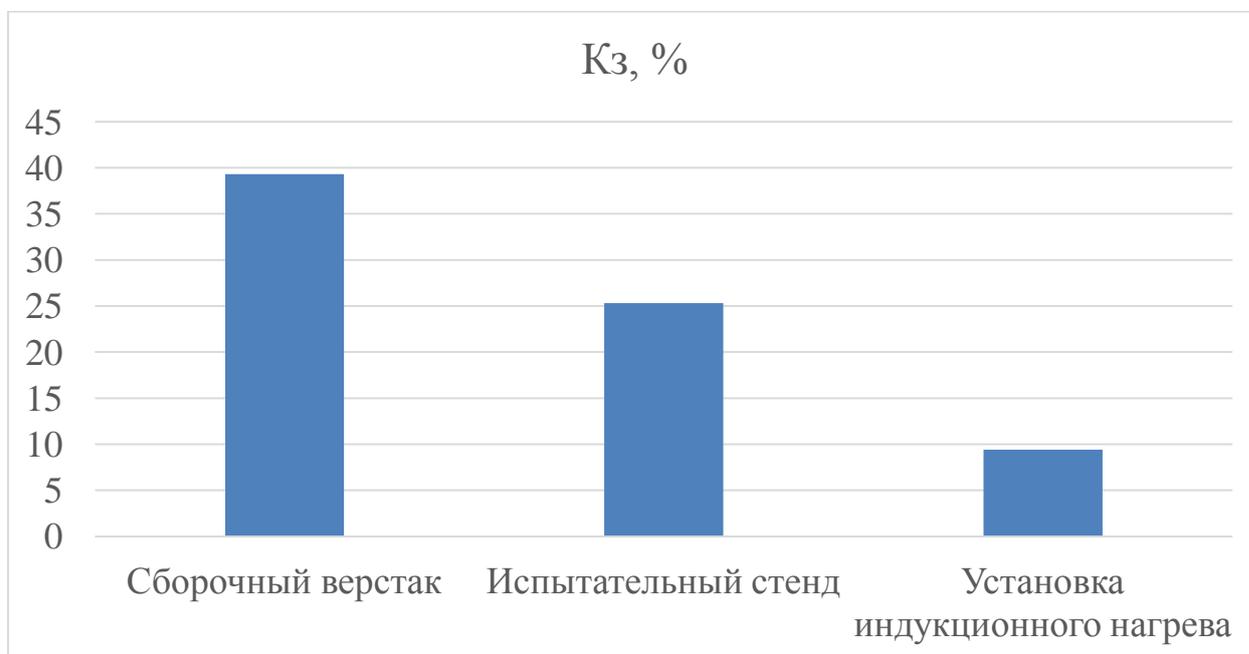


Рисунок 22. График загрузки оборудования

3.7. Заключение по главе

При выполнении данной работы была разработана конструкция синхронного электродвигателя на постоянных магнитах и его составных частей, определено основное назначение сборочных единиц и деталей машины, технические требования к сборке машины и ее узлов по данным сборочного чертежа, технических условий или стандартов, требования к испытаниям и приемке составных частей машины и машины в целом. Оценена технологичность конструкции электрической машины. При использовании выбранного оборудования и простоты деталей технология сборки понятна и проста.

Также, зная производственную программу по сборке данных двигателей в условиях конкретного производства, смогли определить состав и количество оборудования и оснастки. При этом следует отметить, что некоторое оборудование недогружено и может быть использовано в составе других производственных линий.

После изучения сборочных чертежей разбили изделие на сборочные единицы - составные части. Это основная работа при проектировании технологического процесса сборки, который впоследствии был составлен.

Провели нормирование сборочных работ, что позволило определить количество оборудования для выполнения заданной производственной программы.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В экономической части настоящей работы определяется себестоимость проектных работ, проводимых в рамках настоящей работы, освещены вопросы технико-экономического обоснования производства синхронного двигателя на постоянных магнитах.

Для достижения цели необходимо решить экономические задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения проектирования двигателя;
- определение возможных альтернатив проведения проектирования двигателя, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- проектирования двигателя;

Ресурсосбережение — система мер по обеспечению рационального использования ресурсов, удовлетворению прироста потребности в них народного хозяйства, главным образом за счет экономии.

Обеспечение ресурсосбережения — обязательное все более жесточающееся требование к технике, технологии, организации производства. Новая техника должна требовать минимального расхода ресурсов как в процессе ее производства, так и в процессе эксплуатации. Новая технология должна быть безотходной или малоотходной, малооперационной.

Ресурсоэффективность позволяет с помощью определённых преобразований достигнуть оптимального результата, получить желаемый итог. Для такого похода характерны:

- преобладающее внимание экономической и технологической полезности (выгодности) определённых действий;
- экономия финансовых ресурсов;
- контроль над рынком и активизация бизнеса;
- многократное использование ограниченных ресурсов;

- повышение безопасности;
- обеспечение равенства и занятости.

4.1. Проектные риски

Так как рынок сбыта прибывает в постоянном движении, то у каждого предприятия могут возникать проектные риски. Для устранения проектных рисков систематически проводят анализ конкурирующих разработок существующих на рынке сбыта. Под проектными рисками понимается, как правило, предполагаемое ухудшение итоговых показателей эффективности проекта, возникающее под влиянием неопределенности.

Таким образом, реализация проекта идет в условиях неопределенности и рисков и эти две категории взаимосвязаны. Неопределенность в широком смысле это неполнота или неточность информации об условиях реализации проекта, в том числе связанных с ними затратах и результатах.

На данный момент единой классификации проектных рисков предприятия не существует. Однако можно выделить следующие основные виды рисков, присущие практически всем проектам:

- маркетинговый риск;
- риск несоблюдения графика проекта;
- риск превышения бюджета проекта;
- общеэкономические риски.

Маркетинговый риск – это риск недополучения прибыли в результате снижения объема реализации или цены товара. Этот риск является одним из наиболее значимых для большинства инвестиционных проектов. Причиной его возникновения может быть неприятие нового продукта рынком или слишком оптимистическая оценка будущего объема продаж. Ошибки в планировании маркетинговой стратегии возникают главным образом из-за недостаточного изучения потребностей рынка: неправильного позиционирования товара, неверной оценки конкурентоспособности рынка

или неправильного ценообразования. Также, к возникновению риска могут привести ошибки в политике продвижения, например, выбор неправильного способа продвижения, недостаточный бюджет продвижения и так далее.

Риски несоблюдения графика и превышения бюджета проекта. Причины возникновения таких рисков могут быть объективными (например, изменение таможенного законодательства в момент растаможивания оборудования и, как следствие, задержка груза) и субъективными (например, недостаточная проработка и несогласованность работ по реализации проекта). Риск несоблюдения графика проекта приводит к увеличению срока его окупаемости как напрямую, так и за счет недополученной выручки.

К общеэкономическим относят риски, связанные с внешними, по отношению к предприятию, факторами, например, риски изменения курсов валют и процентных ставок, усиления или ослабления инфляции. К таким рискам можно также отнести риск увеличения конкуренции в отрасли из-за общего развития экономики в стране и риск выхода на рынок новых игроков. Стоит отметить, что данный тип рисков возможен, как для отдельных проектов, так и для компании в целом.

Оценка рисков производится в процессе планирования проекта и включает качественный и количественный анализ. Если по итогам оценки проект принимается к исполнению, то перед предприятием встает задача управления выявленными рисками. По результатам реализации проекта накапливается статистика, которая позволяет в дальнейшем более точно определять риски и работать с ними. Если же неопределенность проекта чересчур высока, то он может быть отправлен на доработку, после чего снова производится оценка рисков.

Риски и меры по ограничению их последствий сведены в таблицу 5.

Как правило, оценка показателей конкурентоспособности осуществляется по техническим и экономическим показателем товара.

Технические характеристики двигателя:

Мощность – 5500 Вт;

Номинальная частота вращения $n_n = 1000$ об/мин;

Номинальное напряжение (линейное) $U_n = 380$ В;

Частота питающей сети – 50 Гц;

Число пар полюсов – $2p=6$.

Таблица 5. Риски и меры по ограничению их последствий

Виды рисков	Меры по ограничению последствий рисков
1. Неустойчивость спроса 2. Риск, обусловленный поведением конкурентов 3. Рост налогов 4. Снижение платежеспособности потребителей 5. Инфляция 6. Изменения законодательства 7. Появление альтернативного продукта 8. Непредвиденные обстоятельства (аварии, стихийные бедствия, политическая нестабильность) 9. Небрежность и недобросовестность работников 10. Перевозка грузов 11. Рост цен на ресурсы 12. Нарушение обязательств партнерами 13. Нарушение технологии или освоение новой технологии	1. Создание резерва для покрытия непредвиденных расходов 2. Систематическое изучение конъюнктуры рынка 3. Обучение персонала работе на новом технологическом оборудовании 4. Определение мер воздействия к неисполнительным работникам 5. Активные маркетинговые действия 6. Страхование имущества и транспортных перевозок 7. Изучение изменений в российском законодательстве 8. Расширение состава поставщиков

4.2. План выполнения этапов проекта

В проектировании данного электродвигателя принимали участие два инженерных работника: научный руководитель и инженер.

Распределение работы между работниками, проектирующими синхронный двигатель, сводим в таблицу 6.

Таблица 6. План выполнения этапов проекта.

№ п/п	Перечень выполняемых работ	Исполнители		Продолж. (дней)
		Кол-во	Должность	
1	Получение тех. задания на разработку проекта	2	руководитель инженер	1
2	Сбор исходных данных	1	инженер	4
3	Ознакомление с технической документацией	1	инженер	4
4	Электромагнитный расчет двигателя	1	инженер	12
5	Общий анализ и применение работы синхронной машины	1	инженер	7
6	Расчет технологической части проекта	1	инженер	5
7	Проверка выполненных расчётов	2	руководитель инженер	2
8	Выполнение чертежей, схем	2	инженер	5
9	Технико-экономическое обоснование выбора оборудования	1	инженер	5
10	Разработка раздела социальной ответственности	1	инженер	4
11	Оформление пояснительной записки	1	инженер	12
12	Проверка пояснительной записки и чертежей	2	руководитель инженер	1
Длительность работы, дней: инженер				62
Длительность работы, дней: научный руководитель				4

4.3. Определение себестоимости проектирования двигателя

Себестоимость проектных работ складывается из нескольких статей затрат: материальные затраты, затраты на специальное оборудование для научных работ, основная и дополнительная заработная плата исполнителей, отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления), затраты на научные и производственные командировки (в данном случае отсутствуют), контрагентные расходы (отсутствуют), накладные расходы.

Материальные затраты.

К материальным затратам при выполнении проектных работ можно отнести приобретение канцелярских принадлежностей. Эти затраты невелики, принимаем равными $Z_{МЗ} = 1000$ руб.

Затраты на специальное оборудование для научных работ.

Для выполнения всего комплекса работ по проектированию инженеру требуется обеспечить современным компьютером с установленными на него необходимыми программами.

Рассчитаем затраты на арендную плату, которую принимаем равной размеру амортизационных отчислений за время подготовки проекта.

Расчет амортизационных отчислений на полное восстановление основных средств выполняется по утвержденным законодательством РФ нормативам амортизации, в зависимости от балансовой стоимости оборудования.

$$Z_{AM} = \frac{T_{И}}{T_{кал}} \cdot N_A \cdot \Phi_{П} \quad , \text{ где}$$

$\Phi_{П}$ - первоначальная стоимость оборудования, принимаем 60000 руб;

N_A - норма амортизации;

$T_{И}$ - количество дней использования оборудования;

T – количество календарных дней в году.

По данным таблицы 6, общая продолжительность проектирования составляет $T_{пр} = 62$ дня. С учетом выходных и праздничных дней (принимаем, что за период проектирования было три праздничных дня), компьютер необходимо арендовать на $T_A = 62 \cdot 7/5 + 3 = 90$ дней.

Срок службы компьютера принимаем равным 10 лет, т.е. $N_A = 10 \%$.

$$Z_{AM} = \frac{90}{365} \cdot 0,1 \cdot 60000 = 1479 \text{ руб.}$$

Заработная плата исполнителей.

Эта статья расходов является основной при формировании бюджета проекта, т.к. от заработной платы рассчитываются и другие статьи затрат.

В состав затрат на оплату труда входят:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу, исходя из расценок, тарифных ставок или должностных окладов по принятым на предприятии формам и системам оплаты труда;
- выплаты стимулирующего характера по отдельным положениям;

- выплаты, обусловленные районным коэффициентом;
- оплата очередных ежегодных и дополнительных отпусков в соответствии с Трудовым Кодексом РФ;
- другие виды выплат.

Организация заработной платы основана на тарифной системе. Она предусматривает 18 разрядов. Тарифная сетка применяется для установления соотношений в оплате труда в зависимости от квалификации рабочего определяемой присвоенным разрядом. Каждому разряду соответствует определенный тарифный коэффициент.

Месячный должностной оклад работников формируется по следующей формулы:

$$Z_M = Z_{ТС} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \text{ где}$$

$Z_{ТС}$ – заработная плата по тарифной ставке;

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томской области

Принимаем заработные платы сотрудников проектного отдела предприятия по тарифным ставкам: руководитель - 35000 руб, инженер - 20000 руб.

Коэффициенты доплат и надбавок принимаем в соответствии с опытом работы и профессиональными навыками работников:

Руководитель (старший научный сотрудник) $k_d = 0,4$;

Инженер (младший научный сотрудник) $k_d = 0,25$;

Среднедневную заработную плату можно определить по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d}, \text{ где}$$

M – количество месяцев работы за вычетом дней отпуска и проведенных на больничном рабочих дней в течение года.

Для руководителя за ненормированный рабочий день, совмещение должностей и наличие других нагрузок принимаем 44 календарных дня или 31 рабочий день отпуска в год.

Инженеру, работающему нормированный рабочий день без утяжелений – минимальная норма по трудовому законодательству – 28 дней (20 рабочих дней). Невыходы по болезни для всех принимаем 7 дней или 5 рабочих дней в год. Количество рабочих дней при пятидневной рабочей неделе при 8-мичасовом рабочем дне в 2019 году – 247 рабочих дней.

Таким образом, действительный годовой фонд рабочего времени:

Для руководителя: $F_d = 247 - 31 - 5 = 211$ раб. дней;

$$M = (365 - 44 - 7) \cdot 12 / 365 = 10,32 \text{ мес};$$

Для инженера: $F_d = 247 - 20 - 5 = 222$ раб. дней;

$$M = (365 - 28 - 7) \cdot 12 / 365 = 10,85 \text{ мес};$$

Основная заработная плата определяется по рассчитанной дневной зарплате и по количеству затраченных на проектирование дней по таблице 2.

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

Для руководителя: $Z_{M,рук} = 35000 \cdot (1 + 0,3 + 0,4) \cdot 1,3 = 77350$ руб;

$$Z_{дн,рук} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{77350 \cdot 10,32}{211} = 3783 \text{ руб};$$

$$Z_{осн,рук} = Z_{дн} \cdot T_p = 3783 \cdot 4 = 15133 \text{ руб}.$$

Для инженера: $Z_{M,инж} = 20000 \cdot (1 + 0,3 + 0,25) \cdot 1,3 = 40300$ руб;

$$Z_{дн,инж} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{40300 \cdot 10,85}{222} = 1970 \text{ руб};$$

$$Z_{осн,инж} = Z_{дн} \cdot T_p = 1970 \cdot 62 = 122116 \text{ руб}.$$

Рассчитаем дополнительную заработную плату исполнителей

Дополнительная заработная плата связана с отклонением условий труда от нормальных, при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением и т.д: $Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$

Принимаем $k_{доп} = 0,2$ для руководителя, $0,15$ – для инженера.

Полная заработная плата вычисляется по формуле: $Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$

Для руководителя: $Z_{доп.рук} = 15133 \cdot 0,2 = 3027$ руб;

$$Z_{зп.рук} = 15133 + 3027 = 18159 \text{ руб.}$$

Для инженера: $Z_{доп.инж} = 122116 \cdot 0,15 = 18317$ руб;

$$Z_{зп.инж} = 122116 + 18317 = 140434 \text{ руб.}$$

Итого фонд заработной платы:

$$Z_{ФЗП} = Z_{зп.рук} + Z_{зп.инж} = 18159 + 140343 = 158593 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{ФЗП}, \text{ где}$$

$k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

В соответствии с Федеральным законодательством установлен размер страховых взносов, равный 30,2%.

$$Z_{внеб} = 0,302 \cdot Z_{ФЗП} = 0,302 \cdot 158593 = 47895 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование графических и текстовых материалов, оплата связи, электроэнергии, тепловой энергии, обслуживание помещений и другие затраты, не вошедшие в рассчитанные статьи затрат. Для учебного проектирования принимаем рекомендованную величину накладных расходов - 16 % от суммы ранее рассчитанных статей затрат:

$$Z_{накл} = 0,16 \cdot (Z_{МЗ} + Z_{АМ} + Z_{ФЗП} + Z_{внеб}) = 0,16 \cdot (1000 + 1479 + 158593 + 47895) = 33435 \text{ руб}$$

Себестоимость (бюджет) проектирования

Сумма всех затрат и является себестоимостью или бюджетом проекта:

$$З = \sum Z = 1000 + 1479 + 158593 + 47895 + 33434 = 242402 \text{ руб}$$

4.4. Определение материальных расходов для производства двигателя

Материальные затраты – это затраты, связанные с приобретением и заготовлением материалов для изготовления единицы продукции. Представим перечень материалов, необходимых для изготовления одного образца.

Стоимость основных материалов представляет собой произведение нормы расхода каждого материала на его цену и рассчитывается по формуле:

$M_{осн} = \sum P_i \cdot Ц_{Mi}$, где P_i – норма расхода i -ого материала (вес материала), $Ц_{Mi}$ – цена i -ого материала за единицу (руб./кг).

Используя данные по массам выбранных материалов из электромагнитного расчета, составим смету на материалы для изготовления одного двигателя.

Таблица 7. Смета на материалы для двигателя.

Наименование материала	Цена, руб.	Норма расхода, кг/шт	Сумма, руб.	% от затрат
Черные металлы			1500	6
Валовая сталь, кг	32	2,1	67	
Сталь 2411, кг	60	22,883	1373	
Метизы, кг	300	0,2	60	
Сплавы и отливки формовые			11620	50
Магнит, кг	2800	2,543	7120	
Дюралюминиевые отливки сложной формы, обточенные (немагнитная втулка, станина, подшипниковые щиты и крышки). Комплект	4500	1	4500	
Подшипник 180305, шт	450	2	900	4
Кабельные изделия			9010	39
Обмоточный провод, кг	1450	6,139	8902	
Провод установочный, м	180	0,6	108	
Изоляция			298	1
Стеклотекстолит СТТ, кг	200	0,05	10	
Синтофлекс 51, кг	430	0,08	34	
Электрокартон, кг	120	0,03	4	
Пленка ПЭТ-Э, кг	410	0,06	25	
Трубка ТКР, м	62	0,6	37	
Электроизоляционный лак МЛ-92, кг	650	0,25	163	

Лакокраски, кг	260	0,1	26	
Всего			23328	100

По таблице 7 видно, что основную часть материальных затрат составляют сплавы и отливки формовые (50%). Это связано с дороговизной материала магнитов и сложной формы отливок деталей корпуса и втулки ротора. Полная стоимость сырья и материалов включает транспортные расходы на их заготовку и приобретение и рассчитывается по формуле:

$$C_m = M \cdot K_{мзр}, \text{ где}$$

$K_{мзр}$ - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Принимаем равным 1,2.

$$C_m = 23328 \cdot 1,2 = 27994 \text{ руб./шт.}$$

4.5. Расходы на электроэнергию

При производстве одного двигателя затрачивается некоторый объем электрической энергии, величина которого зависит от нескольких факторов: величины мощности, типа обмоток, использованных активных материалов и материалов деталей, сложности и точности изготовления деталей. Для полного цикла изготовления двигателя от болванок для литья и листов металла до испытаний готового изделия требуется работа целого коллектива со станочным парком, в составе которого должно быть все необходимое оборудование: токарные, обмоточные и другие станки, испытательная станция и другое необходимое вспомогательное оборудование.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{\Sigma(N \cdot t_{ум} \cdot k_3 \cdot k_{оп} \cdot k_{зд} \cdot k_{нс} \cdot \Pi_3)}{\eta}, \text{ где}$$

N – установленная потребляемая мощность станка, оборудования, кВт;

$t_{ум}$ - трудоемкость работ на данном станке, оборудовании, час;

K_3 - средний коэффициент загрузки электродвигателей по мощности, $K_3=0,65$;

$K_{оп}$ - коэффициент одновременности работы электродвигателей. $K_{оп} = 0,80$;

$K_{зд}$ - средний коэффициент загрузки электродвигателей во времени. $K_{зд} = 0,85$;

K_{nc} - коэффициент потери электроэнергии в сети, $K_{nc} = 1,05$;

$Цэ$ - цена 1 кВт·ч электроэнергии. $Цэ = 5,5$ руб. руб/кВт·ч

η - средний коэффициент полезного действия двигателей $\eta = 0,88$.

Рассчитаем затраты на силовую электроэнергию, производства проектируемого синхронного двигателя.

Таблица 8. Расчет расходов на силовую электроэнергию

Станок, оборудование	Мощность, кВт	Трудоемкость, час	Стоимость электроэнергии, руб
Токарный	7,5	1,8	75
Фрезерный	5	0,7	20
Точильный	2	0,4	4
Сверлильный	2	0,2	2
Прессовочный	3,5	1,1	21
Штамповочный	10	0,4	22
Шлифовальный	5,5	0,8	25
Станция индукционного нагрева	1,5	0,10	1
Испытательный стенд	10	0,17	9
Воздушный компрессор	1	1,20	7
Грузоподъемные механизмы	2,5	0,25	3
Всего			190

4.6. Заработная плата технологических рабочих и администрации управления предприятием

Полная заработная плата персонала, непосредственно участвующего при производстве единицы определяется по трудоёмкостям операций изготовления электрической машины. Она включает в себя тарифную заработную плату, премиальные, надбавки и выплаты по районному коэффициенту.

$$Z_{осн} = Z_T \cdot Pr \cdot Hd, \text{ где}$$

$Z_{осн}$ - основная заработная плата;

Z_T - тарифная заработная плата;

Pr - коэффициент, учитывающий премиальные выплаты; $Pr = 1,2$

Нд – надбавки. Для каждой операции надбавки зависят от квалификации работ и находятся в диапазоне от 20% до 70 % от тарифной заработной платы.

Дополнительная заработная плата начисляется рабочим и служащим за непроработанное время, предусмотренное действующим законодательством. В том числе оплата компенсаций, обучение учеников, времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей, очередных отпусков, по уходу за ребенком, выходное пособие при увольнении.

Дополнительная заработная плата учитывается так же, как и основная, и включается в фонд заработной платы предприятия. Дополнительная заработная плата составляет 15% от основной заработной платы.

Таким образом, зная заработную плату работника каждой операции, количество машин в серии (принимая $N = 6450$ шт в соответствии с технологическим разделом работы), можно определить сдельную заработную плату для каждой операции изготовления электрической машины.

Отчисления во внебюджетные фонды составляют 30,2 % от суммы основной и дополнительной заработной платы: $C_{внеб} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \cdot 0,302$.

В таблице 9 рассчитаны заработная плата рабочих пооперационно для сдельного выполнения серии в 4200 двигателей, а также объем отчислений во внебюджетные фонды для единицы и для всей серии.

Для обеспечения производства также необходимо учесть работу управленческого персонала (АУП). Принимаем, что затраты на заработную плату и отчисления во внебюджетные фонды составляют 40 % от аналогичных затрат на рабочих.

$$Z_{АУП} = 0,4 \cdot Z_{раб}$$

Таблица 9. Расчет заработных плат и отчислений.

Виды работ	Трудо- емкость, ч/шт	Тарифная ставка, руб./час	Зп по тарифу, руб./шт.	Пр	Нд	Зосн, руб	Здоп, руб	Зп за ед, руб	Зп за партию, т.руб
Заготовительные	0,9	136	122,4	1,2	1,2	176,3	26,4	202,7	1307,4
Токарные	1,8	259,5	467,1	1,2	1,6	896,8	134,5	1031,4	6652,3
Фрезерные	0,7	273	191,1	1,2	1,7	389,8	58,5	448,3	2891,7

Прессовочные	1,1	238,5	262,4	1,2	1,4	440,7	66,1	506,9	3269,2
Штамповочные	0,4	238,5	95,4	1,2	1,3	148,8	22,3	171,1	1103,9
Точильные	0,4	259,5	103,8	1,2	1,5	186,8	28,0	214,9	1385,9
Сверлильные	0,2	204	40,8	1,2	1,3	63,6	9,5	73,2	472,1

Продолжение таблицы 9

Виды работ	Трудо- емкость, ч/шт	Тарифная ставка, руб./час	Зп по тарифу, руб./шт.	Пр	Нд	Зосн, руб	Здоп, руб	Зп за ед, руб	Зп за партию, т.руб
Слесарные	1,2	173	207,6	1,2	1,4	348,8	52,3	401,1	2587,0
Намоточно- обмоточные	3,5	173	605,5	1,2	1,7	1235,2	185,3	1420,5	9162,2
Шлифовочные	0,8	204	163,2	1,2	1,5	293,8	44,1	337,8	2179,0
Сборочные	0,5	159	79,5	1,2	1,4	133,6	20,0	153,6	990,7
Отделочные	0,1	159	15,9	1,2	1,3	24,8	3,7	28,5	184,0
Проверка (ОТК)	0,2	136	27,2	1,2	1,6	52,2	7,8	60,1	387,4
Итого по сдельным расценкам			2381,9			4391,3	658,7	5050,0	32572,7
Отчисления во внебюджетные фонды 30,2 %								1525,1	9836,9
АУП	Заработная плата							2020,0	13029,1
	Отчисления во внебюджетные фонды 30,2 %							610,0	3934,8
Итого затраты на персонал (Зп + Звнеб)								9205,2	59373,5

4.7. Накладные расходы

Для упрощения расчета, а также ввиду отсутствия полной информации о конкретном производстве и его структуре, в накладные расходы включаем все другие расходы, связанные с обеспечением производства: электроэнергия на работу АУП, вспомогательных систем производственных цехов, складов, арендные обязательства, затраты на содержание производственной базы, связь и транспорт и т.д.

Накладные расходы в данном случае целесообразно принять в размере 100 % от затрат на заработную плату персонала.

4.8. Расходы на подготовку конструкторской документации и разработку программ станков с ЧПУ

Необходимый для производства объем проектирования составляет существенно больший объем работ, чем был выполнен в настоящей работе, поэтому принимаем, что бюджет проекта для серии в 4200 шт составляет

десятикратную стоимость рассчитанного в данной работе бюджета проектного отдела, т.е. $Z_{\text{проект}} = 2424$ т.руб.

Также учитываем затраты на подготовку программ работы станочного парка. $Z_{\text{прог}} = 500$ т.руб.

Суммируя рассчитанные статьи затрат, определим производственную себестоимость, а с учетом 5% расходов на продажу (реклама и маркетинг), получим полную себестоимость продукции.

Заложив небольшую рентабельность в 15% определяем коммерческую стоимость продукции. Расчеты производим в таблице 10.

Таблица 10. Расчет коммерческой стоимости

Наименование	Сумма тыс. руб.		Удельный вес, %
	на единицу	на партию	
Расходы на основные материалы	27,994	117575	59,4
Расходы на электроэнергию	0,190	799	0,4
Полная заработная плата	7,070	29694	15,0
Отчисления в социальные фонды	2,135	8968	4,5
Накладные расходы	7,070	29694	15,0
Расходы на подготовку конструкторской документации	0,577	2424	0,8
Расходы на разработку программ станков с ЧПУ	0,119	500	0,2
Итого производственная себестоимость	45,156	189654	95
Расходы на продажу (5%)	2,258	9483	5
Итого полная себестоимость	47,413	199137	100
Рентабельность (15%)	7,112	29870	
Итого коммерческая стоимость единицы/партии	54,526	229007	

4.9. Оценка конкурентоспособности создаваемого продукта

В мировой промышленности имеется достаточно много производителей синхронных электрических машин на постоянных магнитах. Все двигатели изготавливаются по современным технологиям и обладают высокими надежностью и энергетическими характеристиками. Изучив имеющуюся коммерческую и техническую информацию по данной теме, проведем анализ конкурентоспособности по интегральным показателем эффективности, которые определяются по финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель получим в ходе сравнения двигателей, обладающих подобными свойствами и функциями (синхронная машина на постоянных магнитах равных мощностей, частоты вращения и напряжения).

Интегральный финансовый показатель определяется по формуле

$$I_{финi} = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}}, \text{ где}$$

$I_{финi}$ - интегральный показатель i -того двигателя, Φ_i - стоимость i -того двигателя,

Φ_{max} - максимальная стоимость двигателя из выбранных к рассмотрению.

Зная коммерческую стоимость электрических машин, определим интегральные финансовые показатели

Таблица 11. Интегральные финансовые показатели.

Производитель	Стоимость	Интегральный финансовый показатель
Проектируемый двигатель	54232	0,67
Dyneo	76000	0,94
WEG	68000	0,84
Elprom	81000	1,00
Leroy Somer	75000	0,93
JVL	67000	0,83

По результатам расчетов, интегральный финансовый показатель проектируемого двигателя самый низкий. Это связано с тем, что конкурирующие изделия представлены лишь зарубежными производителями, и их стоимость будет выше вследствие наличия в цене таможенного сбора и торговой надбавки.

Рассчитаем интегральные показатели ресурсоэффективности для выбранных производителей.

$$I_{pi} = \sum_n a_i \cdot b_i, \text{ где}$$

I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент i -того варианта;

b_i – бальная оценка i -того варианта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводим в таблице 12. Двигатели оцениваем по 5-тибальной шкале.

Таблица 12. Интегральные показатели ресурсоэффективности.

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Проект	Dyneo	WEG	Elprom	Leroy Somer	JVL
Габаритные размеры, компактность	0,1	2	4	5	3	4	3
Масса	0,05	3	5	3	4	5	4
Расчетный ресурс до ремонта	0,2	3	4	4	5	5	4
КПД	0,3	2	3	5	4	3	4
Качество рабочих характеристик	0,2	3	4	4	5	4	3
Коэффициент мощности	0,1	4	4	5	5	3	4
Система сервиса и поддержки	0,05	5	4	3	4	3	2
Итого:	1	2,8	3,55	4,40	4,40	3,80	3,60

По интегральному показателю ресурсоэффективности двигатели от Elprom и WEG опережают конкурентов. Эти производители давно зарекомендовали себя на мировом рынке, а также имеют производственные мощности в России. Проектируемый двигатель имеет самый низкий показатель, т.к. процесс проектирования проводился без тщательного подбора параметров электрической машины, требуется проведение комплексной оптимизации с применением высокотехнологичных средств проектирования, с испытанием и доводкой проектного образца до серийного производства.

Интегральные показатели эффективности МПУ определим на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя.

$$I_i = \frac{I_{pi}}{I_{финi}}$$

Таблица 13. Расчет интегральных показателей эффективности.

Показатель	Проект	Dyneo	WEG	Elprom	Leroy Somer	JVL
Интегральный показатель ресурсоэффективности	2,8	3,55	4,4	4,4	3,8	3,6
Интегральный финансовый показатель	0,67	0,94	0,84	1,00	0,93	0,83
Интегральный показатель эффективности	4,18	3,78	5,24	4,40	4,09	4,34

По интегральному показателю эффективности электродвигатель от WEG типа Wmagnet 132M/L-6-5,5 самый эффективный.

4.10. Заключение по разделу

Как показали расчеты настоящего раздела, проектирование и производство электрических машин требует вложения немалых финансовых средств. Для проектирования требуется иметь штат соответствующих специалистов, современное программное обеспечение. Поэтому в первую очередь был определен состав специалистов, последовательность и трудоемкость работ. По трудоемкости и принятой системе оплаты труда, учитывая необходимые отчисления и затраты, определена себестоимость проектных работ. Конечно, данная работа не охватывает всего цикла проектирования, однако используя данную методику можно определить смету бюджета проекта или работы любой сложности – главное учесть и предусмотреть все статьи затрат и правильно оценить их величину.

Электромагнитным расчетом были определены практически все важные ресурсы для производства двигателя, что позволило составить смету на материалы. Технологическим разделом работы определена трудоемкость операций общей сборки двигателя и, оценив время работы на других операциях, получили трудоемкости и время работы соответствующего

оборудования производства. Эти значения легли в основу определения затрат на производство двигателя.

Итогом расчетов явилась себестоимость одного изделия с учетом производства серии из 4200 штук.

По анализу интегральных показателей проектируемый двигатель получился самым дешевым, но не самым ресурсоэффективным. Это связано с неточным, учебным проектированием машины.

Глава 5. Социальная ответственность

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 и жизнедеятельности в целом.

Охрана труда и промышленная безопасность представляет собой систему организационных технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие опасных производственных факторов, которые приводят к несчастным случаям на производстве.

Производственная санитария представляет собой систему организационных, гигиенических и санитарно-технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие вредных производственных факторов, которые приводят к профессиональному заболеванию.

В этой главе рассмотрим вопросы технологического процесса сборки синхронного двигателя с постоянными магнитами.

Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование: транспортная система, ручные инструменты. Технологический процесс сборки включает в себя следующие виды работ: продувку, нагрев деталей, работу с транспортными приспособлениями.

5.1. Анализ опасных и вредных факторов

При сборке электрических двигателей возникает ряд вредных и опасных производственных факторов [30].

Опасные факторы, возникающие при данном технологическом процессе:

- поражение электрическим током при работе испытательной станции.

- получение механических и термических травм при слесарно-сборочных работах. (возможность падения с высоты различных деталей и предметов, оборудование работающее под давлением выше атмосферного, пневмоинструмент, перегрев подшипников при индукционном нагреве, глазной травматизм, стружка).
- пожар (наличие открытого огня при проведении сварочных и других работ на смежных участках, короткое замыкание и другие причины).

Наряду с опасными факторами можно выделить вредные факторы, которые приводят к нарушению нормального режима работы. К вредным факторам относятся:

- отклонение параметров микроклимата на участке общей сборки двигателя от установленных норм.
- шум, при работе с ручным механизированным инструментом.
- вибрация, при работе с ручным механизированным инструментом.
- недостаточная освещенность рабочей зоны

Контролем содержания вредных примесей в воздухе и на рабочих местах занимается санитарная лаборатория. С учётом предельно-допустимых концентраций вредных веществ, эти участки выполняются с вытяжной вентиляцией.

5.2. Производственная санитария и микроклимат

В результате гигиенических исследований установлено, что шум и вибрация [17, 18, 19] ухудшают условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека.

При длительном воздействии шума на организм человека происходят нежелательные явления:

- снижается острота зрения, слуха;
- повышается кровяное давление;
- снижается внимание.

Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно сосудистой и нервной систем. Измерение шума проводят с целью оценки его на рабочих местах или рабочих зонах для сопоставления с требованиями санитарных норм, а также для оценки шумовых характеристик машин и оборудования, с целью разработки мероприятий по борьбе с шумом. Для оценки шума используют частотный спектр измеренного уровня звукового давления, выраженного в децибелах в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром [17].

При нормировании шума используют два метода: нормирование по предельному спектру шума, нормирование уровня звука в дБА.

В таблице 14 приведем уровни звукового давления, измеренные в девяти октавных полосах со среднегеометрическими частотами.

Таблица 14. Уровни звукового давления.

Уровни звукового давления Дб, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами										Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Гц	80
107	99	92	86	83	80	78	78	74	дБА	

Измерение вибрации производится прибором ВШВ-003, снабженным датчиком вибрации.

Таблица 15. Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации согласно [19].

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X _л , Y _л , Z _л			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с ²	дБ	м/с*10 ⁻²	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	235	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109

1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112

Меры для снижения шума и вибраций - всё оборудование, применяемое на участке сборки, для снижения шума установлено на виброопорах, и имеет шумоизолирующие кожухи. На данном участке, при выполнении мероприятий по сокращению проникновения шумов за пределы участка, в световых проёмы целесообразно устанавливать шумоизолирующие окна.

На рассматриваемом участке при сборке происходит образование пыли и других вредных факторов, согласно заводской лаборатории и [21].

Таблица 16. Концентрация вредных веществ.

Вещества	ПДК, мг/м	Класс опасности	Агрегатное состояние
СО	20	4	газ
Пыль свинцовая	4	2	аэрозоль
Пыль	6	4	аэрозоль

Периодический контроль содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ осуществляется силами заводской лаборатории или санитарно-гигиенической станции. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу вытяжные вентиляционные системы оборудуют фильтрами.

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях, в частности в рабочих зонах. Рабочей зоной называется пространство, высотой до 2-х метров над уровнем пола или площадки на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих (более 2-х часов непрерывно). Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96 [22].

Санитарные правила устанавливают гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с

учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы, периодов года и содержат требования к методам измерения и контроля микроклиматических условий.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения.

Эти требования устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны помещения, нормируемые следующими параметрами: температура, оптимальная влажность, скорость движения воздушного потока. Работа относится к средней тяжести - Па. Значения перечисленных параметров непосредственно к проектируемому участку приведены в табл. 17 и 18, согласно [23].

Таблице 17. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Параметр	Сезон года	
	Холодный	Тёплый
Температура воздуха, °С	19-21	20-22
Температура поверхностей, °С	18-22	19-23
Относительная влажность, %	60-40	60-40
Скорость движения воздуха, м/с	0,2	0,2

Таблице 18. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Параметр		Сезон года	
		Холодный	Тёплый
Температура	диапазон ниже оптимальных величин	17-18,9	18-19,9

воздуха, °С	диапазон выше оптимальных величин	21,1-23	22,1-27
Температура поверхностей, °С		16-24	17-28
Относительная влажность, %		15-75	15-75
Скорость движения воздуха, м/с	для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	0,1	0,1
	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более	0,3	0,4

Нормирование теплового инфракрасного излучения. Нормирование ИК-излучения осуществляется по интенсивности допустимых интегральных потоков излучения с учетом спектрального состава, размера облучаемой площади, защитных свойств спецодежды для продолжительности действия более 50% смены. Интегральная допустимая интенсивность теплового облучения не должна превышать 258 Вт/м² [(2,1 Дж/(см² · мин.))].

Для оценки сочетанного воздействия параметров микроклимата в целях осуществления мероприятий по защите работающих от возможного перегревания рекомендуется использовать интегральный показатель тепловой нагрузки среды.

Тепловая нагрузка среды (ТНС) - сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое облучение), выраженное одночисловым показателем в градусах Цельсия. Значения ТНС-индекса не должны выходить за пределы величин, рекомендуемых в таблице 19 по [22].

Таблица 19. Значения ТНС.

Категория работ по уровню энергозатрат (Дж/с)	Ia (до139)	Iб (140... 174)	IIa (175... 232)	II б (233... 290)	Более III (290)
Величина интегрального показателя, °С	22,2... 26,4	21,5... 25,8	20,5... 25,1	19,5...23,9	18,0...

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.), должны соответствовать значениям, приведенным ниже.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.), не должны превышать 140 Вт/ м². При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Таблица 20. Значения ТНС

Облучаемая поверхность тела, %	50 и более	25...50	Не более 50
Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более	35	70	100

По [22] температура наружных поверхностей технологического оборудования и ограждений на рабочем месте не должна превышать 45 °С.

5.3. Расчет искусственного освещения

Верно спроектированное и выполненное освещение на предприятиях машиностроительной индустрии, гарантирует возможность нормальной производственной работы.

Задачи расчета искусственного освещения, считается определение количества осветительных приборов, их типа, мощности источников света [23, 24, 25, 26].

5.3.1. Выбор источников света

К числу источников света массового внедрения относятся лампы накаливания, лампы ДРЛ, люминесцентные лампы, при этом активно внедряются высокоэкономичные светодиодные осветительные системы.

Лампам накаливания и газонаполненным лампам приходят на смену LD-лампы. Такие лампы и светильники в настоящее время изготавливаются для эксплуатации в любой среде, в том числе и во взрыво-пожароопасных зданиях, в сырых помещениях, в зданиях с химически интенсивной средой. Поэтому выбираем светодиодные потолочные светильники.

5.3.2. Выбор системы освещения

Использование на рабочих местах одного местного освещения не допускается. Общее же равномерное освещение используется для тех помещений, где работа производится по всей площади, и нет надобности в наилучшем освещении отдельных участков. Система совокупного локализованного освещения используется в тех случаях, когда в производственном помещении есть участки, на которых ведутся работы с высоким зрительным напряжением.

Система комбинированного освещения используется в помещении, где производятся точные зрительные работы; в случае необходимости определённого, изменяемого в процессе работы направления света, а так же в помещениях с не высокой плотностью распределения рабочих мест.

Для сборочного участка используем комбинированную систему освещения. Участок по возможности должен иметь широкие оконные проемы, приняты меры по недопущению бликования и ослепления солнцем (тонировка).

5.3.3. Выбор коэффициента запаса

Полученная из таблиц [24] величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп освещённость снижается.

Для светодиодной системы освещения, при постоянном техническом обслуживании светильников, для помещения со средним запылением принимаем коэффициент запаса 1,5.

5.3.4. Размещение осветительных приборов

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

- обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослеплённости и необходимой направленности света на рабочие места;
- наиболее экономичное создание нормированной освещенности.

Как показали исследования, в зависимости от типа светильников существует наивыгоднейшее расстояние между светильниками:

$L/h = \lambda$, где

L - расстояние между рядами светильников;

h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью. Принимаем, что светильники укреплены непосредственно на потолок. Высота помещения $H = 3,4$ м, высота рабочей поверхности $h_p = 0,9$ м, тогда $h = H - h_p = 3,4 - 0,9 = 2,5$ м.

Расстояние от стен помещения до крайних светильников рекомендуется брать $L/3$.

Выбираем светильник ПВЛ со светодиодной лампой (длина светильника $l_{св} = 1,23$ м), $\lambda = 1,5$ размеры помещения $a = 15$ м, $b = 10$ м, ширина между рядами светильников $L = \lambda \cdot h = 1,5 \cdot 2,5 = 3,75$ м, $L/3 = 1,25$ м.

Исходя из расчета, светильники располагаются в три ряда по 8 светильников в ряду с расстоянием между светильниками $0,38$ м. Общее число светильников в помещении: $N_{св} = 24$ шт. В каждом светильнике установлено по две лампы, $N_{л} = 48$.

На рисунке 23 изобразим план расположения светильников.

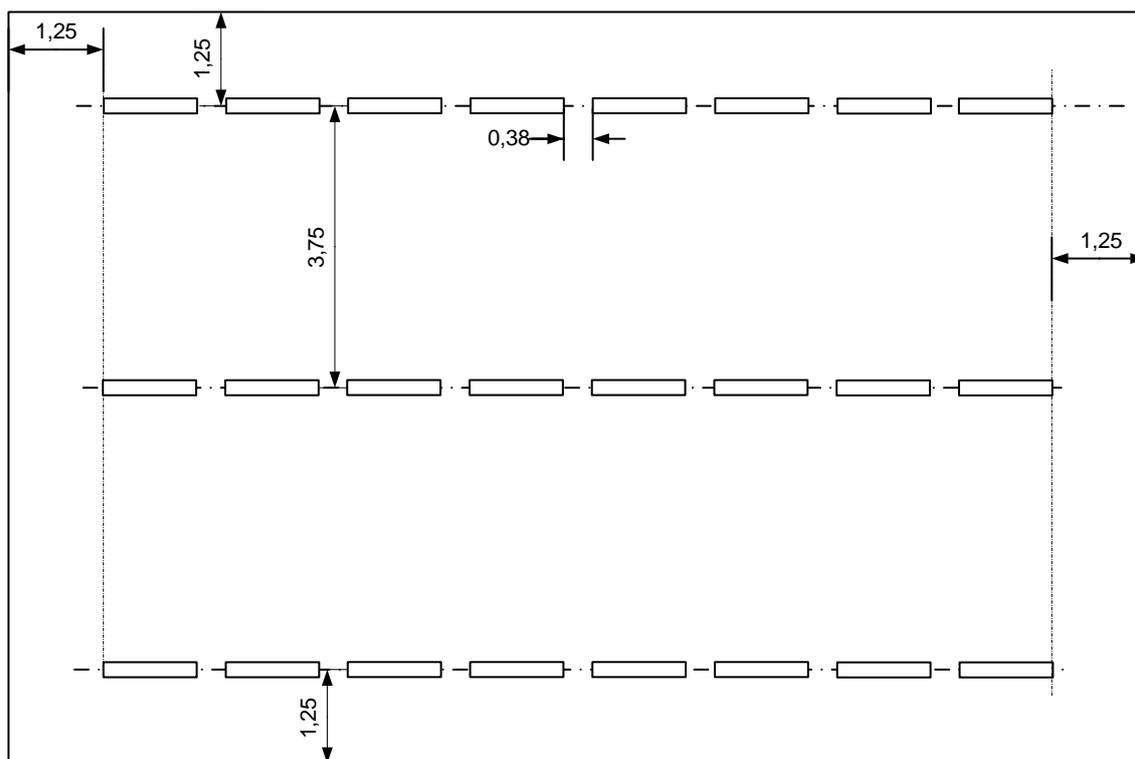


Рисунок 23. План расположения светильников.

5.3.5. Расчет осветительной установки

Принципиальной задачей на производстве, считается создание лучших условий для видения. Данную задачу можно решить лишь осветительной системой. В данных нормах рекомендуется освещённость участков, содержащих необходимое оборудование, должна быть не менее 300 лк [25].

Расчет делается способом коэффициента применения. Применяя данный способ можно найти световой поток лампы, нужный для создания заданной освещенности горизонтальной плоскости с учетом света, отражённого стёклами и потолками. Способ коэффициента использования применяется только при расчете общего равномерного освещения.

Величина светового потока лампы: $F = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{N_L \cdot \eta}$, где

E - минимальная освещённость, лк; k - коэффициент запаса, 1,5; S - площадь помещения, м²; N - число ламп освещения; η - коэффициент использования

светового потока. Для светодиодных ламп и принятых светильников равен 0,6; Z - коэффициент неравномерности освещения.

Коэффициент использования светового потока η - отношение полного светового потока, достигающего освещаемой поверхности, к полному световому потоку в помещении.

$$\text{Индекс помещения: } i = \frac{S}{h_p \cdot (A+B)} = \frac{150}{2,5 \cdot (15+10)} = 2,4$$

коэффициенты отражения:

$f_n = 50\%$ - состояние потолка (чистый бетонный),

$\rho_0 = 30\%$ - состояние стен (бетонный с окнами).

Коэффициент неравномерности Z введен в формулу светового потока, потому что освещенность, подсчитанная без этого коэффициента, является не минимальной, как требуют нормы, а средней. Введением коэффициента Z это несоответствие устраняется.

Для ламп $Z = 0,9$, $E = 300$ лк – минимальная нормативная освещённость, для разряда зрительных работ средней точности [24, табл. 8.4].

$$F = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 150 \cdot 0,9}{48 \cdot 0,6} = 2109 \text{ Лм.}$$

По полученному потоку подбираем мощность ламп светильника. К установке принимаем линейные светодиодные лампы на напряжение 220В. Современные линейные светодиодные лампы, предназначенные для замены ламп ЛБ-40, ЛД-40, обладают удельным световым потоком 100-120 Лм/Вт. Выбираем лампу с параметрами 2000 люмен, 6500К, 20Вт, 170-265В).

Проверим выбранные светильники и их лампы на соответствие произведенному расчету:

$$F = \frac{F_n - F}{F_n} \cdot 100\% = \frac{2000 - 2109}{2000} \cdot 100\% = -5,5\% < 20\%$$

Освещение участка сборки выбрано правильно.

5.4. Промышленная безопасность

Цех относится к помещениям с повышенной опасностью поражением людей электрическим током, характеризуется наличием следующих условий согласно ПУЭ 1.1.13 [27]:

- токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные);
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединения с землёй металлоконструкциям зданий, механизмов, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

К самостоятельной работе допускаются лица прошедшие медицинское освидетельствование, курсовое обучения по теоретическим знаниям и практическим навыкам в работе в объёме программы, аттестацию квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте.

Первичный инструктаж рабочий получает на рабочем месте до начала производственной деятельности. Первичный инструктаж производит мастер цеха. Повторный инструктаж рабочий получает - ежеквартально. После первичного инструктажа в течение первых двух – пяти смен должен выполнять работу под наблюдением мастера, либо наставника, после чего оформляется допуск к самостоятельной работе, который фиксируется датой и подписью инструктирующего и инструктируемого в журнале инструктажа.

Рабочий должен работать в спецодежде:

- Костюм ХБ ГОСТ 27575-87 ;
- Перчатки ХБ вязанные ГОСТ 5007-87 ;
- Ботинки кожаные с металлическим носком ГОСТ 28807-90 ;
- Рукавицы комбинированные ГОСТ 124010-75.

Защита от электростатического электричества осуществляется:

- уменьшение генерации электрических зарядов;
- устранение уже образовавшихся зарядов (защитное заземление);
- нейтрализаторы статического электричества;
- увлажнение воздуха;
- обувь на кожаной подошве или подошве из электропроводной резины;

Опасным производственным фактором (ОПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Травма — это повреждение тканей организма и нарушение его функций внешним воздействием. Травма является результатом несчастного случая на производстве, под которым понимают случай воздействия опасного производственного фактора на работающего при выполнении им трудовых обязанностей или заданий руководителя работ.

К опасным производственным факторам следует отнести:

- электрический ток определенной силы;
- возможность падения с высоты самого работающего либо различных деталей и предметов;
- загазованность помещения;
- оборудование, работающее под давлением выше атмосферного;

- вращающиеся механизмы;
- раскаленные тела, и т.д.;

Основные мероприятия по предотвращению травматизма предусмотрены: в системе нормативно-технической документации по безопасности труда [31]; в организации обучения и обеспечения работающих безопасными средствами защиты; в прогнозировании производственного травматизма; рациональном планировании средств и определении экономической эффективности от запланированных мероприятий.

Все мероприятия по предотвращению производственного травматизма можно разделить на организационные и технические.

Организационные мероприятия, способствующие предотвращению травматизма: качественное проведение инструктажа и обучение, привлечение их к работе по специальности, осуществление постоянного руководства и надзора за работой, организация рационального режима труда и отдыха, обеспечение рабочих спецодеждой, спецобувью, личными средствами защиты, выполнение правил эксплуатации оборудования.

К техническим способам обеспечения безопасности протекания технических процессов и работы оборудования относятся механизация и автоматизация технологических процессов, дистанционное наблюдение и управление, блокировка и сигнализация, надежность и прочность оборудования, особые средства тех. безопасности (ограждение, заземление, амортизация, герметизация, экранирование и т. п.).

В частности основными мероприятиями для защиты от глазного травматизма считаются установка экранчиков и щитков на станках, ношение корректирующих очков, также приспособление при работах, требующих большой точности, оптимального местного освещения на станках.

Также пневматический зажим для закрепления деталей при обработке их на револьверных станках исключает совершенно ручной труд и делает его безопасным. Делает менее опасным и существенно облегчает труд сборщиков

устройство специального приспособления для подвешивания ручного электрифицированного пневматического инструмента, например для подвески электрических гайковертов и дрелей (на радиальное плечо).

Механизация - эффективное средство по предотвращению несчастных случаев, облегчению физического труда.

5.5. Пожарная безопасность

Причинами возникновения пожаров могут быть нарушение технологических процессов и неисправность оборудования, в частности несвоевременный ремонт оборудования, нарушение технологических инструкций, введение в технологию производства материалов без учета их пожароопасных свойств, образование значительных электростатических зарядов. Пожары возможны в результате нарушения правил технической эксплуатации электроустановок, например перегрузок электрических сетей и коротких замыканий в них, недопустимых сопротивлений в местах соединения и контактов проводников, искрения, применения электрооборудования не соответствующего классу пожарной зоны.

Участок общей сборки двигателя, согласно [32], 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 объединении, не зависимо, 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 порядке.

5.6. Содержание зданий и помещений

На входных дверях производственных помещений, складах должны быть вывешены категории взрывопожароопасности.

Все производственные и вспомогательные помещения должны 1 раз в смену очищаться от промышленных отходов и горючих материалов.

Проходы, тамбуры, выхода, коридоры, лестничные клетки не разрешается загромождать.

Все выхода должны открываться по направлению из здания, помещения.

Хранение в цехах сырья, полуфабрикатов, горючих жидкостей разрешается только не более суточной, сменной потребности.

Использовать ГЖ (горюче-смазочная жидкость) и ЛВЖ (легковоспламеняющаяся жидкость) для мойки деталей и узлов запрещается.

Для использованных обтирочных материалов должны быть установлены металлические ящики с крышкой. По окончании смены они должны очищаться.

Сварочные работы, и другие огневые работы в складах и производственных помещениях должны производиться только по письменному разрешению и согласовываться с пожарной охраной, с соблюдением всех указанных мероприятий.

Спецодежду следует хранить в специальных кабинках, изолированных от складских помещений и производственных помещений. В карманах не должны храниться промасленная ветошь. Спецодежда должна своевременно стираться.

На производственной территории и в помещениях запрещается:

- загромождать различными предметами и оборудованием, готовой продукцией и заготовками проходы, выхода, коридоры, лестничные проемы и подходы;
- хранить специальную одежду и другие сгораемые материалы на радиаторах, вешать на производственное оборудование, электроприборы;

- курить, пользоваться открытым огнем, не предусмотренным спецтехнологией, разводить костры;
- производить уборку помещений, оборудования с применением ЛВЖ и ГЖ;
- скапливать на рабочем месте мусор, промасленную ветошь;
- использовать не по назначению противопожарный инвентарь;
- загромождать различными предметами проходы, выхода;
- самовольно подключать в электросеть электронагревательные приборы, пользоваться неисправными, кустарного производства электроприборами.
- оставлять включенными станки, электроприборы без просмотра.
- при работе с огнеопасными жидкостями использовать инструмент могущий вызвать искрообразование;
- соприкосновение промасленной одежды, масел и др. жиров с арматурой кислородных баллонов.

Каждый работающий производства должен знать:

- при обнаружении пожара или загорания вызвать пожарную помощь по телефону и принять меры у ликвидации очага пожара или действовать по указанию старшего начальника или начальника ДПД;
- знать пути эвакуации из помещения;
- знать пожароопасность своего цеха, участка и при обнаружении нарушений противопожарного характера устранить их или сообщить начальнику цеха;
- знать и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения.

На данном участке для тушения очагов пожара применяются:

- Огнетушители типа ОП-5, ОП-2, ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8;
- Стационарная пенная установка;
- Пожарные гидранты с пожарными рукавами.

Огнетушители ОП-5, ОП-2 - порошковые, предназначены для тушения загорания установок под напряжением до 1000В.

Огнетушитель ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 - углекислотные, применяются для тушения электрооборудования под напряжением до 1000 В. и др. предметов.

Стационарная пенная установка - предназначена для тушения загорания различных веществ, за исключением щелочных и щелочноземельных веществ.

Пожарный гидрант – труба, по которой подается вода с разъемом для подключения пожарного рукава. Водой можно тушить очаги пожара за исключением электроустановок под напряжением, ГСМ и химических очагов.

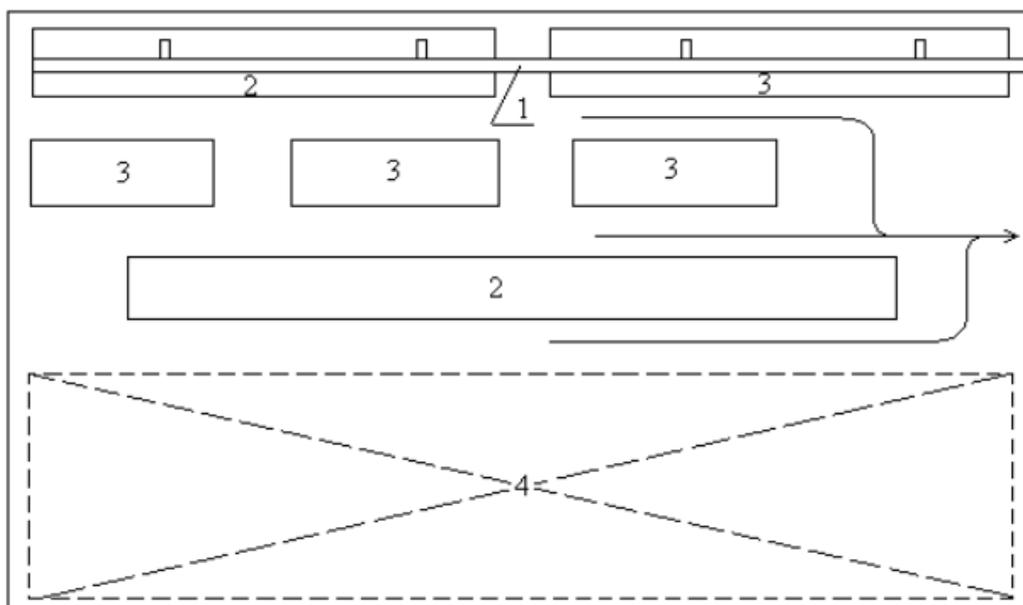


Рисунок 24. План эвакуации сборочного участка.

1 – монорельс; 2 – верстак для сборки двигателей; 3 – верстак для комплектации; 4 – места складирования деталей и заготовок.

5.7. Охрана окружающей среды

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 системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей, глушителей шума, виброизоляторы технологического оборудования. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

Вследствие использования работниками душевых и туалетов образуются жидкие отходы для удаления, которых применяют канализационную систему.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, так же твердые отходы являются обрезки кабелей, а также вышедшие из строя оборудование, которое направляется на заводы для переработки. Для оставшихся отходов предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются классы опасности.

Эти классы установлены федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим государственное регулирование в области охраны окружающей среды. Есть на пять классов опасности:

I класс - чрезвычайно опасные отходы;

II класс - высокоопасные отходы;

III класс - умеренно опасные отходы;

IV класс - малоопасные отходы;

V класс - практически неопасные отходы.

Представим графически классификацию отходов на рисунке 25. Вершина данной пирамиды – отходы I класса опасности, основание – V – класс опасности.

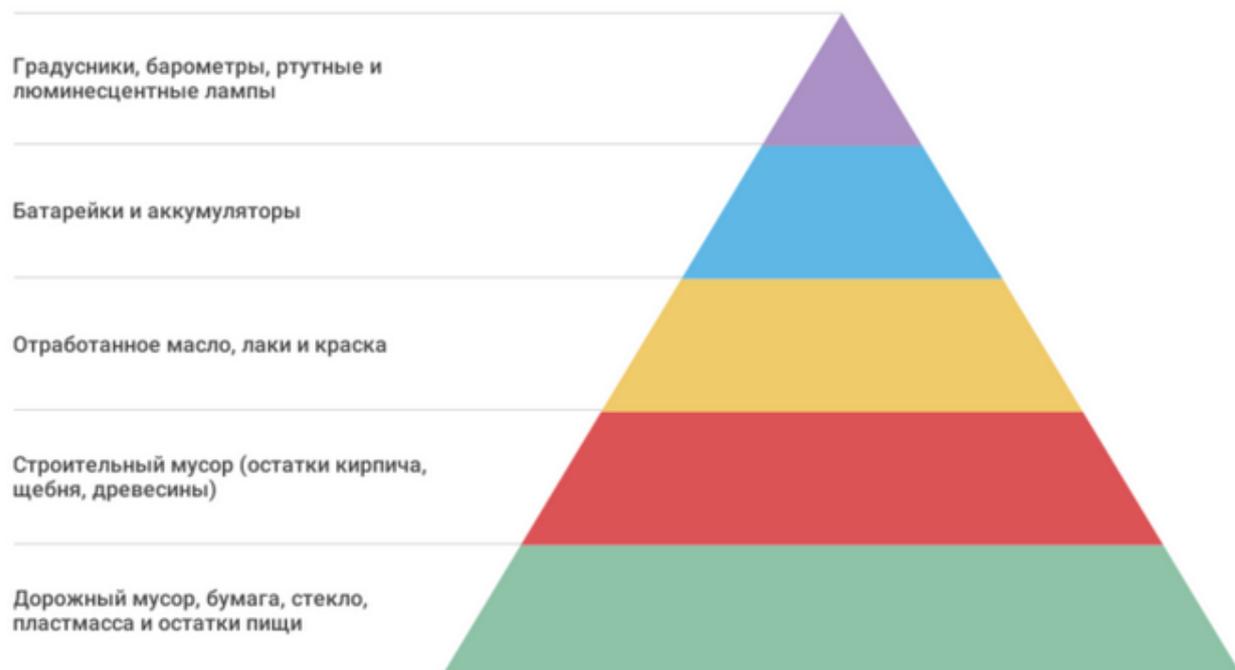


Рисунок 25. Классы опасности отходов.

5.8. Чрезвычайная ситуация

Современное высокоразвитое индустриальное общество требует все большего усложнения технологии производства, что неизбежно ведет к росту возможностей возникновения аварий и катастроф. Каждый год на территории России возникают сотни чрезвычайных ситуаций.

Чрезвычайная ситуация - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Необходимо предупреждение чрезвычайных ситуаций - комплекс мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально возможное уменьшение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, а также на сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба

окружающей природной среде и материальных потерь в случае их возникновения.

Ликвидация чрезвычайных ситуаций - это аварийно-спасательные и другие неотложные работы, проводимые при возникновении чрезвычайных ситуаций и направленные на спасение жизни и сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь, а также на локализацию зон чрезвычайных ситуаций, прекращение действия характерных для них опасных факторов.

Чрезвычайные ситуации классифицируются по следующим основным признакам:

- По сфере возникновения (технологические, природные, экологические, социально-политические и т.д.);
- По ведомственной принадлежности (в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, на транспорте и т.д.).
- По масштабу возможных последствий (глобальные, региональные, местные).
- По масштабу и уровням привлекаемых для ликвидации последствий сил, средств и органов управления.
- По сложности обстановки и тяжести последствий.
- По характеру лежащих в ее основе явлений и процессов.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в мирное время в результате производственных аварий, катастроф, стихийных бедствий, сопровождаются разрушением зданий, сооружений, инженерных коммуникаций, промышленных и энергетических объектов, гибелью и поражением людей, оборудования, материальных ценностей. Уменьшить потери, спасти пострадавших, восстановить нормальные условия жизнедеятельности людей, предприятий, учреждений можно только принятием экстренных мер.

На предприятии возможны следующие чрезвычайные ситуации:

- Результат стихийных бедствий и особо опасных инфекций.

- Воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижение их физико-механических показателей.
- Проектно-производственные дефекты сооружений.
- Воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, высокие температуры, скорость, вибрация).
- Нарушение правил эксплуатации сооружений и технических процессов.
- Нарушение правил техники безопасности при ведении работ и технологических процессов.
- Ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и их некомпетентностью и безответственностью.

Устойчивость – это способность продолжать работу в чрезвычайной ситуации и выпускать в необходимых размерах нужную продукцию.

Под увеличением устойчивости функционирования организации в ЧС понимается комплекс мер по предупреждению либо ограничению опасности жизни и здоровью персонала и живущего поблизости населения и материального вреда в чрезвычайной ситуации, а также подготовке к проведению спасательных и прочих неотложных работ в зоне ЧС.

Под подготовкой объекта к работе в ЧС понимается заблаговременно проводимые организационные, инженерно-технические и специальные мероприятия их работы с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций.

На устойчивость объекта влияют следующие факторы:

- Регион размещения, присущие данной местности опасные стихийные бедствия.
- Метеорологические особенности региона.
- Социально-экономическая ситуация.

- Условия размещения объекта, рельеф местности, характер застройки, насыщенность транспортными коммуникациями, наличие потенциально опасных предприятий радиационного, химического, биологического и взрывоопасного характера.

Внутренние условия, влияющие на устойчивость:

- численность работающих, уровень их компетентности и дисциплины;
- размеры и характер объекта, выпускаемая продукция;
- характеристика зданий и сооружений;
- особенности производства, применяемых технологий и материальных веществ;
- потребность в основных видах энергоносителей и воде, наличие своих ТЭЦ (котельных);
- количество и суммарная мощность трансформаторов, газораспределительных станций (пунктов) и системы канализации.

Так, при размещении производства по серийному выпуску электрооборудования, при строительстве объекта необходимо учитывать регион расположения по сейсмической активности, ветровой нагрузке, возможных очагов развития природных пожаров, наличия по близости опасных производственных объектов, грозовой активности. Здания и корпуса проектируются с необходимым запасом устойчивости к возможному развитию чрезвычайных ситуаций. Администрация должна проводить с работниками тренировки по эвакуации, противоаварийные тренировки, организовывать собственные добровольные пожарные дружины, обеспечивать поддержание зданий и сооружений в надлежащем состоянии.

5.9. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Конструкция рабочего места, его размеры и взаимное расположение элементов обеспечивает безопасность при использовании производственного оборудования [33].

На рабочих местах имеются средства пожаротушения и других средств, используемых в аварийных ситуациях, должна быть установлена в стандартах, технических условиях и эксплуатационной документации на производственное оборудование.

Требования безопасности во время работы

- одеть рабочую обувь и одежду;
- заизолировать имеющиеся повреждения кабелей, соединений, зажимов и заземления;
- работать только исправными, заизолированными инструментами;
- убрать посторонние предметы, мешающие свободному перемещению;
- не допускать присутствия посторонних лиц при электромонтажных и других работах;
- не привлекать к работе лиц, не имеющих необходимой группы допуска по электробезопасности;
- работать только в диэлектрических перчатках;
- при использовании лестницы привлекать подсобного рабочего;
- пользоваться постоянными и предупредительными плакатами: предостерегающими «Под напряжением - опасно для жизни», запрещающими «Не включать - работают люди», разрешающими «Работать здесь», напоминающими «Заземлено»;
- не допускать замазывания кабелей, попадания на них искр, воздействия высокой температуры и падения тяжёлых предметов.

На предприятии все работники проходят проверки на выполнение всех вышеуказанных требований безопасности. Также перед допуском к оборудованию каждый работник проходит соответствующие инструктажи.

5.10. Заключение по главе

В данной главе были рассмотрены меры по обеспечению безопасного производства работ на участке по сборке синхронных двигателей. Раскрыты вопросы производственной санитарии, рассчитано освещение участка для

обеспечения достаточной освещенности рабочих поверхностей. Все принимаемые меры необходимо постоянно поддерживать, т.к. меры по обеспечению безопасности работ и купированию опасных и вредных факторов нацелены на самое главное – сохранение здоровья работника и недопущения его постепенного или резкого ухудшения. Рабочая среда должна такой, чтобы обеспечивался максимальный комфорт, что обязательно скажется на производительности труда и в итоге на успешность производственной деятельности предприятия в целом. Разработка мер экологической безопасности призваны максимально сократить воздействие производства на окружающую среду, а профилактика чрезвычайных ситуаций и пожарная безопасность позволят избежать ущерба как здоровью работников, так и экономике предприятия.

Заключение по работе

Целью данной работы является разработка синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов. Разработка данной темы включает в себя выполнение электромагнитного расчета электрической машины, в результате проведения которого были получены все необходимые характеристики электрической машины, ее геометрические размеры. По результатам этого расчета, используя программу по моделированию физических полей, была получена визуализация электромагнитных полей в разрезе активной части двигателя. Полученные расчетами размеры активной части машины легли в основу разработки сборочного чертежа, по которому разработана технология общей сборки. Экономической частью работы был проведен комплексный экономический анализ полученного продукта, рассчитана себестоимость двигателя. Следует отметить, что достижение наибольшего экономического эффекта неразрывно связано с глубиной проработки конструкции электрической машины, когда вложения средств в технологию проектирования окупаются при производстве и последующей эксплуатации двигателя, т.к. тщательно спроектированная электрическая машина будет иметь неоспоримые конкурентные преимущества. В части социальной ответственности рассмотрены вопросы охраны труда, промышленной безопасности, меры по обеспечению производственной санитарии, экологической безопасности и охраны окружающей среды и другие вопросы, направленные на обеспечение сохранения жизни и здоровья работников.

Перечень использованных источников

1. Постоянные магниты: Справочник/Альтман А. Б., Герберг А. Н., Гладышев П. А. и др; Под ред. Ю. М. Пятина. —2-е изд., перераб. и доп. —М. Энергия, 1980.— 488 с, ил.
2. В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев Электрические генераторы с постоянными магнитами.-М.: Энергоатомиздат, 1988.-280. ил.
3. <http://bd.patent.su/2383000-2383999/pat/serv1/servlet5fa.html>
4. Проектирование электрических машин: учебник для бакалавров / под ред. /И. П. Копылов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2015.- 767 с. – Серия :Бакалавр. Углубленный курс.
5. О.Д. Гольдберг, Я.С. Гурин, И.С. Свириденко. Проектирование электрических машин. Издание второе, переработанное. Москва «Высшая школа». 2001
6. Неисчерпаемая энергия.кн. 1. Ветроэлектрогенераторы/ В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. Учебник-Харьков. Нац. аэрокосм. ин-т «Харьковский авиастр. ин-т», Севастополь 2003.-400с.
7. Неисчерпаемая энергия.кн. 2. Ветроэлектрогенераторы/ В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. Учебник-Харьков. Нац. аэрокосм. ин-т «Харьковский авиастр. ин-т», Севастополь 2004.–519с.
8. Балагуров В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока. М.:Высшая школа,1982.-272 с.
9. ELCUT 6.3. Руководство пользователя. ООО «Тор», СПб. – 292 с.

10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
10. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В3-х т. –М.: Машиностроение, 1982.
11. Допуски и посадки: Справочник. В 2-х ч./В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. брагинский. Ч.2.-Л.:Машиностроение. Ленинград. Отд-ние, 1983. –448 с.
12. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Высш.шк., 1985. –416 с.
13. Замятин В.К. Технология и оснащение сборочного производства машиностроения: Справочник. –М.: Машиностроение, 1995. –608 с.
14. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин. Мелкосерийное и единичное производство. М.: Машиностроение, 1974. – 220с.
15. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие/ Том. политехн. ун-т. – Томск, 2002. – 100 с.
16. Плахов А.М. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 156 с.
17. ГОСТ 12.1.003-2014. Шум. Общие требования безопасности
18. ГОСТ 12.1.012-90 - Вибрационная безопасность. Общие требования
19. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы
20. ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).
21. **ГН 2.2.5.3532-18.** Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
22. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
23. Федосова В.Д Расчет искусственного освещения. Мет. указ. - Томск: ТПУ, 1991. - 16 с.

24. Справочная книга по светотехнике / Под ред. А.Ю. Айзенберга -М.: Энергоатомиздат, 1983. - 471 с.
25. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение
26. ГОСТ ИСО 8995-2002 Освещение рабочих мест внутри зданий
27. Правила устройства электроустановок. 6-е изд. с изм. и дополн. – СПб, 1999. – 623 с.
28. ГОСТ 12.1.009-76. Электробезопасность. Термины и определения.
29. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности
30. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
31. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок, 2002.
32. НПБ 105-03 "Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности" (утв. приказом МЧС РФ от 18 июня 2003 г. N 314).
33. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности
34. Шепеленко Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии: Учебное пособие / Г. И. Шепеленко.—2-е изд., доп. и перераб.—Ростов-на-Дону: МарТ, 2000.—544 с.—ISBN 5-241-00014-3.
35. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие /Креницына З.В., Видяев И.Г.; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
36. Л. А. Михайлов, В. П. Соломин, А. Л. Михайлов, А. В. Старостенко и др.. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов / — СПб.: Питер. — 302 с.: ил.. 2006.
37. Крепша Н.В. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие для иностранных студентов/Н.В. Крепша; Национальный исследовательский

Томский политехнический университет. –Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2014. –198 с.