

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

Институт Электронного Обучения
Специальность 13.03.02 Электромеханика
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование и моделирование двигателя постоянного тока для тяжелых условий эксплуатации

УДК 621.313.2..001.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Э1	Хамдамов Уктам Абдужалилович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Падалко Дмитрий Андреевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	К.Э.Н. ДОЦЕНТ		

По разделу «Технологический часть»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов Павел Рудольфович	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Король Ирина Степановна	К.Х.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев Александр Георгиевич	Д.Т.Н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять <i>базовые и специальные</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания в <i>широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности
P2	Ставить и решать задачи <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию с <i>учетом</i> экономических, экологических, социальных и других ограничений
P4	Проводить <i>комплексные</i> инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов для достижения требуемых результатов
P5	Выбирать и использовать на основе <i>базовых и специальных</i> знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения <i>комплексной</i> практической инженерной деятельности с <i>учетом</i> экономических, экологических, социальных и других ограничений
P6	Демонстрировать особые компетенции, связанные с уникальностью задач, объектов и видов <i>комплексной</i> инженерной деятельности в <i>области специализации</i> (научно-исследовательская, производственно-технологическая, организационно-управленческая, проектная и др.) на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях, а также <i>готовность</i> следовать их корпоративной культуре
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать <i>базовые и специальные</i> знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности
P9	Эффективно работать индивидуально и <i>в качестве члена команды</i> , в том числе междисциплинарной, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач
P10	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов <i>комплексной</i> инженерной деятельности, <i>осведомленность</i> в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность</i> к <i>самостоятельному обучению</i> в течение всей жизни и непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии

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

Институт _____ Энергетический институт
Направление подготовки (специальность _____ «Электромеханика»
Кафедра _____ «Электротехнических комплексов и материалов»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Гарганеев А.Г.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студент:

Группа	ФИО
3-5Г2Э1	Хамдамов Уктам Абдужалилович

Тема работы:

Проектирование и моделирование двигателя постоянного тока для тяжелых условий эксплуатации

Утверждена приказом директора (дата, номер)

28.12.2016 №10939/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

30.05.2017

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

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

Двигатель постоянного тока:
Номинальная мощность $P_{2н}=132$ кВт;
Номинальное напряжение $U_n=440$ В;
Номинальная частота вращения $n_{ном}=1800$ об/мин;
Высота оси вращения $h=0.355$ м;
Число полюсов $2p=4$;
Степень защиты IP44;
Класс нагревостойкости F;
Режим работы - продолжительный;
Система охлаждения ПС01.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (<i>аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования</i>).	Целью данного дипломного проекта является проектирование и моделирование в программной среде MatLabSimulink двигателя постоянного тока для тяжелых условий эксплуатации, для оценивания временных и динамических характеристик впроектированногодвигателя при работе на нагрузку различного вида.
Перечень графического материала (<i>с точным указанием обязательных чертежей</i>)	Сборочный чертеж двигателя. Обмотка якоря. Паз якоря. Чертеж якоря.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Электромагнитный расчет. Специальная часть.	Падалко Д.А.
Технологическая часть	Баранов П.Р.
Социальная ответственность	Король И.С
Экономическая часть	Фигурко А.А.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Литературный обзор.
 Электромагнитный расчет (главные размеры, обмотка якоря и т.д.).
 Расчет параллельной обмотки возбуждения.
 Расчет щеточно-коллекторного узла.
 Коммутационные параметры и рабочие характеристики.
 Тепловой и вентиляционный расчет.
 Механический расчет.
 Моделирование динамических режимов работы.
 Технологическая часть.
 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.
 Социальная ответственность.
 Заключение.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	26.12.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
Ассистент	Падалко Дмитрий Андреевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Э1	ХамдамовУктамАбдужалилович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОБЩЕЙ СБОРКИ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Э1	Хамдамов Уктам Абдужалилович

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Технологический процесс общий сборки двигателя постоянного тока»:	
1. Сборочный чертеж двигатель постоянного тока спецификация;	
2. Годовая программа выпуска изделия 3500 штук	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ конструкции электрических машин на технологичность	2. Составит схему сборки электрической машины
3. Выбрать оборудования, приспособления для сборки и испытания электрической машины	4. Разобрать маршрутную технологию сборки электрической машины
5. Определить нормы времени на операции и оборудования	6. Построит график загрузки оборудования
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Комплект маршрутных карт и карты эскизов (в приложении)	
График загрузки оборудования	
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.		

Задание принял к исполнению

студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Э1	Хамдамов Уктам Абдужалилович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Э1	Хамдамов Уктам Абдужалилович

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.02. Электротехника и электроэнергетика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Проектирование двигателя постоянного тока. Алмалыкского горно-металлургического комбината. Медеплавильный завод. Механическая цех, участка.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты). 	<p><i>1 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». ГОСТ 12.0.003-74.(1999г.)</i></p> <p><i>1.1 Анализ вредных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>1.1.1 отклонение показателей микроклимата (оптимальные величины показателей микроклимата);</i> – <i>1.1.2 повышенный уровень шума на рабочем месте ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. повышенный уровень вибрации ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ</i> – <i>1.1.3 «Вибрационная безопасность. Общие требования», СанПиН РУз № 0326-16 Санитарные нормы общей и локальной вибрации на рабочих местах (80 дБ);</i> – <i>1.1.4 недостаточная освещенность рабочей зоны ГОСТ 12.4.011-89. СанПин РУз № 0209-06 Расчет искусственного освещения.</i> – <i>применение средств индивидуальной защиты. К ним относятся: спецодежда, спецобувь, средства защиты органов человека от вредных производственных факторов и предохранительные приспособления.</i> – <i>на работах с вредными условиями труда и тяжелых работах в соответствии с установленными нормами дефектоскопистам по УЗК предоставляются дополнительные отпуска.</i> <p><i>1.2 Анализ опасных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>1.2.1 движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</i> – <i>передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;</i> – <i>1.2.2 повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека,</i>

	<p>напряжение прикосновение и тока; ГОСТ 12.1.030-82 (1997г.)</p> <ul style="list-style-type: none"> – 1.2.3 применение средств индивидуальной защиты (ГОСТ 12.74.011-89) – Классификация средств индивидуальной защиты в зависимости от опасных производственных факторов-по ГОСТ 12.4.064.
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>2 Не несет опасных и вредных воздействий на атмосферу и литосферу</p> <ul style="list-style-type: none"> – мероприятия по экологической безопасности регламентируются ГОСТ 27384-202. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений », СанПиНРУз№0164-04. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<ul style="list-style-type: none"> – 3 Возможные ЧС на объекте: - производственные аварии и пожарыППБ-79; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС: в помещений где идет обслуживания и эксплуатация оборудования, установлены огнетушители типа ОУ-5, ОП-5 а так же, звуковая и световая пожарная сигнализация(ГОСТ №2853а-2014)
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - 4.1 Требование ТБ на рабочих местах перед началом работе. - 4.2 требование ТБ после окончание работе. – 4.3 Правило внутреннего трудового распорядка Медеплавильный завод – 4.4 Организационные мероприятий при компоновке рабочей зоны (ГОСТ 12.02.033-78)

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	Кандидат химических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Э1	ХамдамовУктамАбдужалилович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Э1	Хамдамов Уктам Абдужалилович

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу

«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): <i>материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- стоимость материалов и оборудования; - квалификация исполнителей; - трудоёмкость работы....
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- нормы амортизации;
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- отчисления в социальные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	- Технико-экономическое обоснование, оценка научно-технического уровня
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	- планирование выполнения проекта, формирование бюджета
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	- расчёт капитальных вложений в основные средства

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 кафедры менеджмента	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Э1	Хамдамов Уктам Абдужалилович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 94 стр., 7 рисунков, 14 таблиц, 11 источник, 3 графического материала.

Ключевые слова: ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА, ЯКОРЬ, ИНДУКТОР, ГЛАВНЫЙ ПОЛЮС, КОЛЛЕКТОР, ПОЛЮСНЫЙ НАКОНЕЧНИК, НАПРЯЖЕНИЕ, ТОК, ДИАМЕТР ЯКОРЯ, ЛИНЕЙНАЯ НАГРУЗКА.

Объектом проектирования является двигателя постоянного тока для тяжелых условий эксплуатации.

В данной работе, спроектирован двигатель постоянного тока, проделан электромагнитный тепловой и вентиляционный расчет. Также разработан технологический процесс общей сборки двигателя, экономическая часть и оценить безопасность и экологичность проекта.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord2013, чертежи выполнены в графических редакторах Компас-3DV16.

Содержание

Введение	12
1. Электромагнитный расчёт	13
1.1 Выбор главных размеров	13
1.2 Выбор обмотки якоря	15
1.3 Расчет геометрии зубцовой зоны	17
1.4 Расчет обмотки якоря	20
1.5 Определение размеров магнитной цепи	21
1.6 Расчетные сечения магнитной цепи	23
1.7. Средние длины магнитных линий	24
1.8. Индукция в расчетных сечениях магнитной цепи	25
1.9. Магнитные напряжения	26
1.10. Расчет параллельной обмотки возбуждения	30
1.11. Коллектор и щетки	32
1.12. Коммутационные параметры	33
1.13 Расчет обмотки добавочных полюсов	35
1.14. Потери и КПД	37
1.15 Рабочие характеристики	39
2. Тепловой расчет	42
3. Вентиляционный расчет	47
4. Механический расчёт	49
5. Технологический часть	55
5.1 Оценка технологичности конструкции	55
5.2 Испытание электрических машин	60
5.3 Организационная форма сборки	61
5.4 Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки	62
5.5 Выбор сборочного оборудования и оснастки	63
5.6 Нормирование сборочных работ и расчет количества технологического оборудования для обеспечения заданной программы	67
6. Финансовый менеджмент	72
6.1. Смета затрат на проектирование	72
6.2 Смета затрат на подготовку проекта	73
6.3 Отчисления на социальные нужды.	75

6.4 Материальные затраты на канцелярские товары.	75
6.5 Амортизация вычислительной техники.	75
6.6 Прочие неучтенные затраты.	76
6.7 Накладные расходы.	76
6.8 Себестоимость проекта	76
6.9. Оценка технического уровня	77
7. Социальная ответственность	80
7.1 Опасные и вредные производственные факторы ГОСТ12.0.003-74.(1999г.)	80
7.2 Отклонение показателей микроклимата (оптимальные величины показателей микроклимата)	81
7.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте ГОСТ 31310- 2006	82
7.4 «Вибрационная безопасность. Общие требования», СанПиН РУз № 0326-16.	82
7.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны.	83
7.6 Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	86
7.7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	87
7.8. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	88
7.9 Требования безопасности перед началом работы	88
8. Требования безопасности по окончании работы	89
Заключение	91
Список используемых источников	93
Приложение А Рабочих характеристика	
Приложение Б Пусковых характеристика	
Приложение В Маршрутная карта	
Графические материалы:	
Сборочный чертёж. Двигатель постоянного тока.	
Паз якоря.	
Обмотка якоря.	
Чертеж якоря.	

Введение

В современной электроэнергетике используется преимущественно переменный ток, но достаточно широко используется и постоянный. Это объясняется теми достоинствами постоянного тока, которые сделали его незаменимым при решении многих практических задач. Так, среди электрических машин двигатели постоянного тока занимают особое положение.

Значительное распространение электродвигателей постоянного тока объясняется их ценными качествами: высокими пусковым, тормозным и перегрузочным моментами, сравнительно высоким быстродействием, что важно при реверсировании и торможении, возможностью широкого и плавного регулирования частоты вращения.

Электродвигатели постоянного тока используют для регулируемых приводов, например, для приводов различных станков и механизмов. Мощности этих электродвигателей достигают сотен киловатт. В связи с автоматизацией управления производственными процессами и механизмами расширяется область применения маломощных двигателей постоянного тока общего применения мощностью от единиц до сотен ватт.

1 Электромагнитный расчёт

1.1 Выбор главных размеров

1. Предварительное значение КПД двигателя выбираем по рис. 11.7:

$$\eta = 89 \%$$

2. Ток двигателя (предварительное значение):

$$I_{1ном} = \frac{P_{ном} \cdot 10^3}{\eta U_{ном}} = \frac{132 \cdot 10^3}{0,89 \cdot 440} = 337,08 \text{ А.}$$

3. Ток якоря:

$$I_{ном} = (1 - k_B) I_{1ном} = (1 - 0,005) \cdot 337,08 = 335,39 \text{ А.}$$

где $k_B = 0,005$ по табл. 11.8.

4. Электромагнитная мощность по (11.2а):

$$P' = P_{ном} \cdot \frac{100 + \eta}{2\eta} = 132000 \cdot \frac{100 + 89}{2 \cdot 89} = 140,2 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

5. Наружный диаметр машины:

$$D_n = 2 \cdot h - (8 \div 10) \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 0,355 - 10 \cdot 10^{-3} = 0,7 \text{ м,}$$

тогда диаметр якоря:

$$D = \frac{D_n}{2} = \frac{0,7}{2} = 0,35 \text{ м.}$$

6. Выбираем линейную нагрузку якоря по рис. 11.9

$$A = 6 \cdot 10^4 \text{ А/м.}$$

7. Индукция в воздушном зазоре по рис. 11.10: $B_\delta = 1,2 \text{ Тл.}$

Расчетный коэффициент полюсной дуги по рис. 11.8 $\alpha_\delta = 0,67$.

8. Расчетная длина якоря

$$l_\delta = \frac{6,1 \cdot P'}{\alpha_\delta \cdot A \cdot B_\delta \cdot D^2 n_{ном}} = \frac{6,1 \cdot 140,2 \cdot 10^3}{0,67 \cdot 6 \cdot 10^4 \cdot 1,2 \cdot 0,35^2 \cdot 1800} = 0,804 \text{ м.}$$

9. Отношение длины магнитопровода якоря к его диаметру

$$\lambda = \frac{l_\delta}{D} = \frac{0,804}{0,355} = 2,23.$$

10. Число полюсов принимаем $2p = 4$ (для машин с $D = 112 \dots 500$ мм).

11.Полюсное деление:

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi \cdot 0,35}{4} = 0,275 \text{ м.}$$

12.Расчетная ширина полюсного наконечника

$$b_{\delta} = \alpha_{\delta} \cdot \tau = 0,67 \cdot 0,275 = 0,184 \text{ м.}$$

13.Действительная ширина полюсного наконечника при эксцентричном зазоре равна расчетной ширине:

$$b_p = b_{\delta} = 0,184 \text{ м.}$$

1.2 Выбор обмотки якоря

14. Выбираем простую волновую обмотку с числом параллельных ветвей $2a = 4$, при $a = p = 2$.

15. Ток параллельной ветви:

$$I_a = \frac{I_n}{2a} = \frac{337,08}{4} = 83,85 \text{ A.}$$

16. Предварительное общее число эффективных проводников по (11.4)

$$N = \frac{\pi D A}{I_a} = \frac{\pi \cdot 0,35 \cdot 5 \cdot 10^4}{83,85} = 786,8.$$

Принимаем ближайшее целое число: $N = 786$.

17. Крайние пределы чисел пазов якоря с использованием (11.5):

$$Z_{\min} = \frac{\pi D}{t_{z1\max}} = \frac{\pi \cdot 0,35}{40 \cdot 10^{-3}} = 27;$$

$$Z_{\max} = \frac{\pi D}{t_{z1\min}} = \frac{\pi \cdot 0,355}{18 \cdot 10^{-3}} = 61.$$

Принимаем $Z = 60$; $t_{z1} = \pi D / Z = 18,32 \cdot 10^{-3}$ м.

18. Число эффективных проводников в пазу

$$N_n = \frac{N}{Z} = \frac{786}{60} = 13,1.$$

Принимаем целое четное число $N_n = 14$, тогда

$$N = N_n Z = 14 \cdot 60 = 840.$$

19. Выбираем открытый прямоугольный паз с параллельными сторонами зубца.

20. Число коллекторных пластин K для различных значений $u_n = K/Z$ выбираем, сравнивая три варианта:

№ варианта	u_n	$K = u_n Z$	$w_c = \frac{N}{2K}$	$U_{к.ср}, \text{ В}$
1	1	60	7	29,33
2	2	120	3	14,67
3	3	180	2	9,78

Поскольку напряжение между двумя соседними коллекторными

пластинами $U_{к.ср} \leq 2pU/K$ должно быть в пределах, не превышающих 15...20 В, принимаем вариант 3; в этом случае обмотка имеет целое число витков в секции $w_c = 3$, число коллекторных пластин $K = 180$, число эффективных проводников в

пазу $N_{п} = 14$, число секций в обмотке якоря $N_c = \frac{N}{2w_c} = \frac{840}{2 \cdot 3} = 140$.

21. Уточняем линейную нагрузку:

$$A = \frac{N \cdot I_a}{\pi \cdot D} = \frac{840 \cdot 83,85}{3,14 \cdot 0,35} = 6,41 \cdot 10^4 \text{ А/м.}$$

22. Корректируем длину якоря:

$$l_{\delta} = 0,804 \cdot \frac{60000}{64100} = 0,753 \text{ м.}$$

23. Наружный диаметр коллектора при открытых пазах (11.7)

$$D_k = 0,65 \dots 0,7D = (0,65 \dots 0,7) \cdot 0,35 = (0,228 \dots 0,280) \text{ м.}$$

Принимаем ближайшее значение диаметра коллектора по таблице стандартных размеров (ГОСТ 19780-81):

$$D_k = 250 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

24. Окружная скорость коллектора:

$$v_k = \frac{\pi D_k n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,250 \cdot 1800}{60} = 23,56 \text{ м/с.}$$

25. Коллекторное деление:

$$U = \frac{\pi D_k}{K} = \frac{\pi \cdot 0,250}{180} = 4,36 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

26. Полный ток пазы: $I_n = \frac{\pi D A}{Z} = \frac{\pi \cdot 0,35 \cdot 64100}{60} = 1174 \text{ А.}$

27. Предварительное значение плотности тока в обмотке якоря:

$$J_a = \frac{A J}{A} = \frac{4 \cdot 10^{11}}{64100} = 6,25 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$$

где AJ — предварительно выбираем по рис. 11.11.

1.3. Расчет геометрии зубцовой зоны

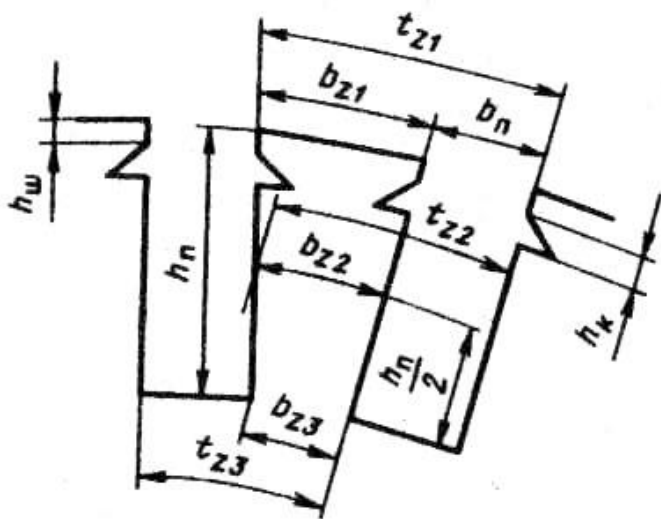


Рис. 1 Размеры пазов прямоугольной формы

28. Высота паза по рис. 11.12 (предварительно): $h_n=0,035$ м.

29. Высота шлица (предварительно): $h_w = 1$ мм.

30. Минимальная ширина зубца:

$$b_z = \frac{B'_z \cdot t_{z1}}{B_z \cdot k_c} = \frac{1,2 \cdot 18,32 \cdot 10^{-3}}{1,9 \cdot 0,95} = 12,219 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

где $B'_z = 1,9$ Тл - индукция в наиболее узком сечении зубца по табл. 11.12;

$k_c=0,95$ - коэффициент заполнения магнитопровода сталью

31. Предварительное значение ЭДС:

$$E_{ном} = U_{ном} \cdot k_d = 440 \cdot 0,95 = 418 \text{ В,}$$

где $k_d = 0,95$ по табл. 11.8.

32. Предварительное значение магнитного потока на полюс:

$$\Phi_{\delta ном} = \frac{60 E_{ном} a}{p N n_{ном}} = \frac{60 \cdot 418 \cdot 2}{2 \cdot 840 \cdot 1800} = 16,58 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

33. Высота спинки якоря:

$$h_j = \frac{\Phi}{2 \cdot l_\delta \cdot K_C \cdot B_j} = \frac{0,01658}{2 \cdot 0,753 \cdot 0,95 \cdot 1,15} = 10,08 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

где $B_j = 1,15$ Тл - индукция ярмаякоря по табл. 11.10.

Ширина паза b_n (предварительно):

$$b_n = \pi \frac{(D - 2 \cdot h_n)}{Z} - b_z = \pi \frac{(0,35 - 2 \cdot 0,035)}{60} - 12,211 \cdot 10^{-3} = 2,44 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Предварительное сечение эффективного проводника:

$$q_a = \frac{I_a}{J_a} = \frac{83,85}{6,25 \cdot 10^6} = 13,43 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Высота элементарного проводника, исходя из соображений уменьшения эффекта вытеснения тока, не должна превышать 4 мм при частоте перемещения >100 Гц, 7 мм при частоте перемещения 50 Гц, 10 мм при частоте перемещения <25 Гц. Если это условие не выполняется, эффективный проводник можно разделить по высоте на два элементарных, таким образом, чтобы высота элементарного проводника не превышала допустимой для данной частоты перемещения.

$$\text{Частота перемещения: } f_{\text{пер}} = p \cdot n_{\text{ном}} / 60 = 2 \cdot 1800 / 60 = 60 \text{ Гц.}$$

Исходя из вышеуказанных условий, принимаем число элементарных проводников $n_{\text{эл}} = 1$.

Для обмотки якоря выбираем прямоугольный провод ПЭТП-155 класса нагревостойкости F Согласно размерам изолированных проводников и толщине изоляции по табл. П.3.2 выбираем элементарный проводник со следующими размерами:

Большой размер провода: - с изоляцией $a_{\text{пр.из.эл}} = 5,6 \text{ мм}$; - без изоляции $a_{\text{пр.эл}} = 5,82 \text{ мм}$;

Меньший размер провода: - с изоляцией $b_{\text{пр.из.эл}} = 2,5 \text{ мм}$; - без изоляции $b_{\text{пр.эл}} = 2,72 \text{ мм}$;

Двухсторонняя толщина изоляции $\Delta_{\text{из}} = 0,22 \text{ мм}$;

Сечение элементарного проводника $q_{\text{эл1}} = 13,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;

Плотность тока в обмотке якоря:

$$J_a = \frac{I_a}{q_{эл} \cdot n_{эл}} = \frac{83,85}{13,45 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 6,22 \cdot 10^6 \frac{A}{M^2}$$

Удельная тепловая нагрузка якоря $A_I \cdot J_I$

$$A_I \cdot J_I = 64100 \cdot 6,22 \cdot 10^6 = 3,98 \cdot 10^{11} \frac{A^2}{M^3}$$

Данное произведение не превышает максимально допустимого значения (по рис. 11.11)

34. Высота паза:

$$h_n = 2 \cdot w_c \cdot a_{пр.из.эл} \cdot n_{эл} + h_{из} + h_{кл} + h_{ш} = 2 \cdot 2 \cdot 5,82 \cdot 1 + 4,8 + 4 + 1 = 33 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

35. Ширина паза:

$$b_n = u_n \cdot b_{пр.из.эл} \cdot b_{из} = 1 \cdot 2,5 \cdot 1 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

36. Наружное зубцовое деление якоря:

$$t_{z1} = \pi \frac{D}{Z} = \pi \frac{0,35}{60} = 18,32 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

37. Среднеезубцовое деление якоря:

$$t_{zcp} = t_{z2} = \pi \frac{D - h_n}{Z} = \pi \frac{0,35 - 33 \cdot 10^{-3}}{60} = 17,66 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

38. Зубцовое деление якоря у основания:

$$t_{z3} = \pi \frac{D - 2h_n}{Z} = \pi \frac{0,35 - 2 \cdot 33 \cdot 10^{-3}}{60} = 16,99 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

1.4. Расчет обмотки якоря

39. Длина лобовой части витка

$$l_n = (1,2 \dots 1,35) \tau = 1,35 \cdot 0,275 = 0,371 \text{ м.}$$

40. Средняя длина витка обмотки якоря по (11.22):

$$l_{\text{ср}} = 2(l_n + l_n) = 2(0,753 + 0,371) = 2,248 \text{ м.}$$

41. Полная длина обмотки якоря:

$$L_{\text{ма}} = \frac{N}{2} l_{\text{ср}} = \frac{840}{2} \cdot 2,248 = 944,14 \text{ м.}$$

42. Сопротивление обмотки якоря при $\vartheta = 20^\circ \text{ C}$:

$$R_a = \frac{L_{\text{ма}}}{57 \cdot 10^6 \cdot q_a (2a)^2} = \frac{944,14}{57 \cdot 10^6 \cdot 13,45 \cdot 10^{-6} \cdot 16} = 0,077 \text{ Ом.}$$

43. Сопротивление обмотки якоря при $\vartheta = 75^\circ \text{ C}$ (см. гл. 5):

$$R_{\text{ан}} = 1,22 \cdot R_a = 1,22 \cdot 0,077 = 0,094 \text{ Ом.}$$

44. Масса меди обмотки якоря по (11.26):

$$m_{\text{Ма}} = 8900 \cdot L_{\text{Ма}} q_a = 8900 \cdot 944,14 \cdot 13,47 \cdot 10^{-6} = 22,17 \text{ кг.}$$

45. Расчет шагов обмотки:

а) шаг по коллектору и результирующий шаг

$$y_k = y = (K \pm 1) / p = (180 - 1) / 2 = 90;$$

б) первый частичный шаг

$$y_1 = K / (2p) \pm \varepsilon = 180 / 4 + 3 / 4 = 45;$$

в) второй частичный шаг

$$y_2 = y - y_1 = 90 - 45 = 45.$$

1.5. Определение размеров магнитной цепи

46. Предварительное значение внутреннего диаметра якоря и диаметра вала

:

$$D_o = 27 \cdot \sqrt[3]{P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}}} = 27 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{132000 / 1800} = 113,01 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

где $P_{\text{ном}} = 132$ кВт; $n_{\text{ном}} = 1800$ об/мин.

По табл. 11.11 принимаем: $D_o = 112 \cdot 10^{-3}$ м.

47. Высота спинки якоря (см. рис. 11.13):

$$h_j = \frac{D - D_o}{2} - h_n = \frac{35 \cdot 10^{-3} - 112 \cdot 10^{-3}}{2} - 33 \cdot 10^{-3} = 85,04 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

48. Принимаем для сердечников главных полюсов сталь марки 3411 толщиной 0,5 мм, коэффициент рассеяния $\sigma_r = 1,15$, длину сердечника $l_r = l_\delta = 0,753$ м, коэффициент заполнения сталью по табл. 2.1 $k_c = 0,95$, ширину выступа полюсного наконечника: $b_{r.в} = 0,1 b_p = 0,1 \cdot 184 \cdot 10^{-3} = 18,4 \cdot 10^{-3}$ м.

49. Ширина сердечника главного полюса (см. рис. 11.18):

$$b_r = b_p - 2b_{r.в} = 184 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 18,4 \cdot 10^{-3} = 166 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

50. Индукция в сердечнике по (табл. 11.17):

$$B_r = \frac{\sigma_r \Phi_{\text{ном}}}{k_c \cdot b_r \cdot l_r} = \frac{1,15 \cdot 16,58 \cdot 10^{-3}}{0,95 \cdot 166 \cdot 10^{-3} \cdot 0,753} = 0,16 \text{ Тл.}$$

51. Сечение станины:

$$S_c = \frac{\sigma_r \Phi_{\text{ном}}}{2B_c} = \frac{1,15 \cdot 16,58 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,3} = 7,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

где $B_c = 1,3$ Тл (см. § 11.6).

52. Длина станины по (11.52):

$$l_c = l_r + 0,4 D = 0,753 + 0,4 \cdot 0,35 = 0,893 \text{ м.}$$

53. Высота станины (см. табл. 11.17):

$$h_c = S_c / l_c = (7,33 \cdot 10^{-3}) / (0,893) = 8,22 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

54. Внешний диаметр станины:

$$D_{\text{вн}} = 2h - (8 \dots 10) \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 0,355 - 9 \cdot 10^{-3} = 0,701 \text{ м.}$$

55. Внутренний диаметр станины:

$$d_c = D_{\text{вн}} - 2h_c = 701 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 8,21 \cdot 10^{-3} = 685 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

56. Высота главного полюса (см. рис. 11.23):

$$h_r = \frac{d_c - D - 2\delta}{2} = \frac{685 \cdot 10^{-3} - 35 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{2} = 164,28 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

где $\delta = 3 \cdot 10^{-3}$ м — воздушный зазор согласно рис. 11.17.

1.6. Расчетные сечения магнитной цепи

57. Сечение воздушного зазора (см. табл. 11.17):

$$S_{\delta} = b_p l_{\delta} = 184 \cdot 10^{-3} \cdot 753 \cdot 10^{-3} = 13,86 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

58. Длина стали якоря:

$$l_{ст} = l_{\delta} k_c = 0,753 \cdot 0,95 = 0,715 \text{ м}.$$

59. Минимальное сечение зубцов якоря (см. табл. 11.16):

$$S_z = 8,32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

60. Сечение спинки якоря (см. табл. 11.16):

$$S_j = l_{ст} h_j = 0,715 \cdot 85,04 \cdot 10^{-3} = 6,08 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

61. Сечение сердечника главного полюса (см. табл. 11.16):

$$S_{\Gamma} = k_{ст} l_{\Gamma} b_{\Gamma} = 0,95 \cdot 0,753 \cdot 166 \cdot 10^{-3} = 11,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

62. Сечение станины (см. п. 51):

$$S_c = 7,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

1.7. Средние длины магнитных линий

63. Воздушный зазор (см. рис. 11.17):

$$\delta = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

64. Коэффициент воздушного зазора, учитывающий наличие пазов на якоре, по (11.50):

$$k_{\delta a} = \frac{t_{z1} + 10\delta}{t_{z1} - b_{ц} + 10\delta} = \frac{18,32 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{18,32 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = 1,066.$$

65. Расчетная длина воздушного зазора:

$$L_{\delta} = k_{\delta a} \cdot \delta = 1,066 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 3,19 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

66. Длина магнитной линии в зубцах якоря (см. табл. 11.16):

$$L_z = h_{п} = 33 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

67. Длина магнитной линии в спинке якоря (см. табл. 11.16):

$$L_j = \frac{\pi(D_o + hj)}{4p} + \frac{hj}{2} = \frac{\pi(112 \cdot 10^{-3} + 85,04 \cdot 10^{-3})}{8} + \frac{85,04 \cdot 10^{-3}}{2} = 115,18 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

68. Длина магнитной линии в сердечнике главного полюса:

$$L_{г} = h_{г} = 164,28 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

69. Воздушный зазор между главным полюсом и станиной:

$$L_{с.п} = 2l_{г} \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-4} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

70. Длина магнитной линии в станине (табл. 11.16):

$$L_c = \frac{\pi(D_{BH} - h_c)}{4p} + \frac{h_c}{2} = \frac{\pi(701 \cdot 10^{-3} - 8,21 \cdot 10^{-3})}{4 \cdot 2} + \frac{8,21 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,276 \text{ м.}$$

1.8. Индукция в расчетных сечениях магнитной цепи

71. Индукция в воздушном зазоре (см. табл. 11.17):

$$B_{\delta_{ном}} = \frac{\Phi_{\delta_{ном}}}{S_{\delta}} = \frac{16,58 \cdot 10^{-3}}{13,86 \cdot 10^{-3}} = 1,19 \text{ Тл.}$$

72. Индукция в сечении зубцов якоря (табл. 11.16):

$$B_z = \frac{\Phi_{\delta_{ном}}}{S_z} = \frac{16,58 \cdot 10^{-3}}{8,32 \cdot 10^{-3}} = 2,09 \text{ Тл.}$$

73. Индукция в спинке якоря (табл. 11.16):

$$B_j = \frac{\Phi_{\delta_{ном}}}{2S_j} = \frac{16,58 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 6,08 \cdot 10^{-3}} = 1,36 \text{ Тл.}$$

74. Индукция в сердечнике главного полюса (см. табл. 11.16):

$$B_2 = \frac{\sigma_2 \Phi_{\delta_{ном}}}{S_2} = \frac{1,15 \cdot 16,58 \cdot 10^{-3}}{11,85 \cdot 10^{-3}} = 1,61 \text{ Тл.}$$

75. Индукция в станине (см. табл. 11.16):

$$B_c = \frac{\sigma_2 \Phi_{\delta_{ном}}}{2S_c} = \frac{1,15 \cdot 16,58 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 7,33 \cdot 10^{-3}} = 1,3 \text{ Тл.}$$

76. Индукция в воздушном зазоре между главным полюсом и станиной:

$$B_{сп} = B_{\Gamma} = 1,61 \text{ Тл.}$$

1.9. Магнитные напряжения

77. Магнитное напряжение воздушного зазора:

$$F_{\delta} = 0,8B_{\delta} \cdot L_{\delta} \cdot 10^6 = 0,8 \cdot 1,19 \cdot 3,19 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 = 3060,99A.$$

78. Коэффициент вытеснения потока:

$$k_z = \frac{t_{z1} \cdot l_{\delta}}{b_z \cdot l_{cm}} = \frac{18,32 \cdot 10^{-3} \cdot 0,753}{11,57 \cdot 10^{-3} \cdot 0,715} = 1,67.$$

79 Магнитное напряжение зубцов якоря:

$$F_z = H_z L_z = 36,6 \cdot 10^3 \cdot 33 \cdot 10^{-3} = 1462,54A.$$

$H_z = 36,6 \cdot 10^3 A/m$ определяется по приложению 1 для стали марки 2312 при индукции а зубце согласно п. 72 $B_z = 1,99 Tл$.

80. Магнитное напряжение ярма якоря:

$$F_j = H_j L_j = 9400 \cdot 115,18 \cdot 10^{-3} = 1082,74A,$$

где $H_j = 9400 A/m$ по приложению 1.

81. Магнитное напряжение сердечника главного полюса (сталь марки 3411):

$$F_{\Gamma} = H_{\Gamma} L_{\Gamma} = 1100 \cdot 164,28 \cdot 10^{-3} = 180,71A,$$

где $H_{\Gamma} = 1100 A/m$ по приложению 1.

82. Магнитное напряжение воздушного зазора между главным полюсом и станиной:

$$F_{c.п} = 0,8B_{\Gamma} \cdot L_{c.п} \cdot 10^4 = 0,8 \cdot 1,61 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 10^4 = 3,22A.$$

83. Магнитное напряжение станины (массивная сталь марки Ст3)

$$F_c = H_c L_c = 1590 \cdot 276,16 \cdot 10^{-3} = 439,1A,$$

где $H_c = 1590 A/m$ по приложению 1.

84. Суммарная МДС на полюс

$$F_{\Sigma} = F_{\delta} + F_z + F_j + F_{\Gamma} + F_{c.п} + F_c = 3060,99 + 1462,54 + 1082,74 + 180,71 + 3,22 + 439,1 = 6229,31A.$$

Расчет характеристик намагничивания машин приведен в табл. 1

85. МДС переходной характеристики

$$F_{\delta zj} = F_{\delta} + F_z + F_j = 3060,99 + 1462,54 + 1082,74 = 4605,27A.$$

Таблица 1. Расчет характеристик намагничивания машины

Расчетная величина	Расчетная формула	Единица величины	0,5 $\Phi_{\text{ОИМ}}$	0,75 $\Phi_{\text{ОИМ}}$	0,9 $\Phi_{\text{ОИМ}}$	1,0 $\Phi_{\text{ОИМ}}$	1,1 $\Phi_{\text{ОИМ}}$	1,15 $\Phi_{\text{ОИМ}}$
ЭДС	E	В	208,91	313,36	376,03	417,82	459,60	480,49
Магнитный поток	$\Phi_{\delta} = \frac{60aE}{pNn}$	Вб	8,29 Е-03	1,24 Е-02	1,49 Е-02	1,66 Е-02	1,82 Е-02	1,91 Е-02
Магнитная индукция в воздушном зазоре	$B_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{\alpha_{\delta} \tau l_{\delta}}$	Тл	0,598	0,897	1,077	1,196	1,316	1,376
Магнитное напряжение воздушного зазора	$F_{\delta} = 0,8 B_{\delta} L_{\delta} 10^6$	А	1526,41	2289,62	2747,54	3052,83	3358,11	3510,75
Магнитная индукция в зубцах якоря	$B_Z = k_Z B_{\delta}$	Тл	1,00	1,49	1,79	1,99	2,19	2,29
Напряженность магнитного поля в зубцах якоря для стали 2312	H_Z	А/м	240	1540	12800	36600	136000	216000
Ошибка!	$F_Z = L_Z H_Z$	А	9,59	61,54	511,49	1462,54	5434,56	8631,36
Магнитная индукция в стинке якоря	$B_j = \Phi_{\delta} / (2S_j)$	Тл	0,68	1,02	1,23	1,36	1,50	1,57
Напряженность магнитного поля в стинке якоря	H_j	А/м	94	252	430	780	1600	2700
Ошибка!	$F_j = L_j H_j$	А	10,83	29,03	49,53	89,84	184,29	310,99
Магнитный поток главного полюса	$\Phi_r = \sigma_r \Phi_{\delta}$	Вб	9,53Е-03	1,43Е-02	1,72Е-02	1,91Е-02	2,10Е-02	2,19Е-02

Расчетная величина	Расчетная формула	Единица величины	0,5 Фбном	0,75 Фбном	0,9 Фбном	1,0 Фбном	1,1 Фбном	1,15Фб ном
Магнитная индукция в сердечнике главного полюса	$B_r = \Phi_r / S_r$	Тл	0,80	1,21	1,45	1,61	1,77	1,85
Напряженность магнитного поля в сердечнике главного полюса для стали 3411	H_c	А/м	85	290	600	1100	3100	5900
Магнитное напряжение сердечника главного полюса	$F_c = L_c H_c$	А	13,96	47,64	98,57	180,71	509,27	969,25
Магнитная индукция в воздушном зазоре между главным полюсом и станиной	$B_{cn} = B_c$	Тл	0,80	1,21	1,45	1,61	1,77	1,85
Магнитное напряжение воздушного зазора между станиной и главным полюсом	$F_{cn} = 0,8 B_{cn} L_{cn}$	А	1,61	2,41	2,90	3,22	3,54	3,70
Магнитная индукция в станине	$B_c = \alpha \Phi \delta / (2 S_c)$	Тл	0,65	0,98	1,17	1,30	1,43	1,50
Напряженность магнитного поля в станине (для массивных станин)	H_c	А/м	535	885	1039	1590	2300	2800
Магнитное напряжение станины	$F_c = L_c H_c$	А	147,75	244,40	286,93	439,09	635,17	773,25

Расчетная величина	Расчетная формула	Единица величины	0,5 Фдном	0,75 Фдном	0,9 Фдном	1,0 Фдном	1,1 Фдном	1,15 Фдном
Сумма магнитных напряжений всех участков магнитной цепи	$\Sigma F = F\delta + Fz + Fj + Fz + Fcn + Fc$	А	1710,15	2674,64	3696,95	5228,22	10124,93	4199,30
Сумма магнитных напряжений участков переходного слоя	$F\delta + Fz + Fj$	А	1546,83	2380,18	3308,56	4605,20	8976,96	2453,10

По данным таблицы.1 строится переходная характеристика $B_{\delta} = f(F_{\delta z j})$ рис. 2 и характеристика холостого хода $B_{\delta} = f(F_{\Sigma})$

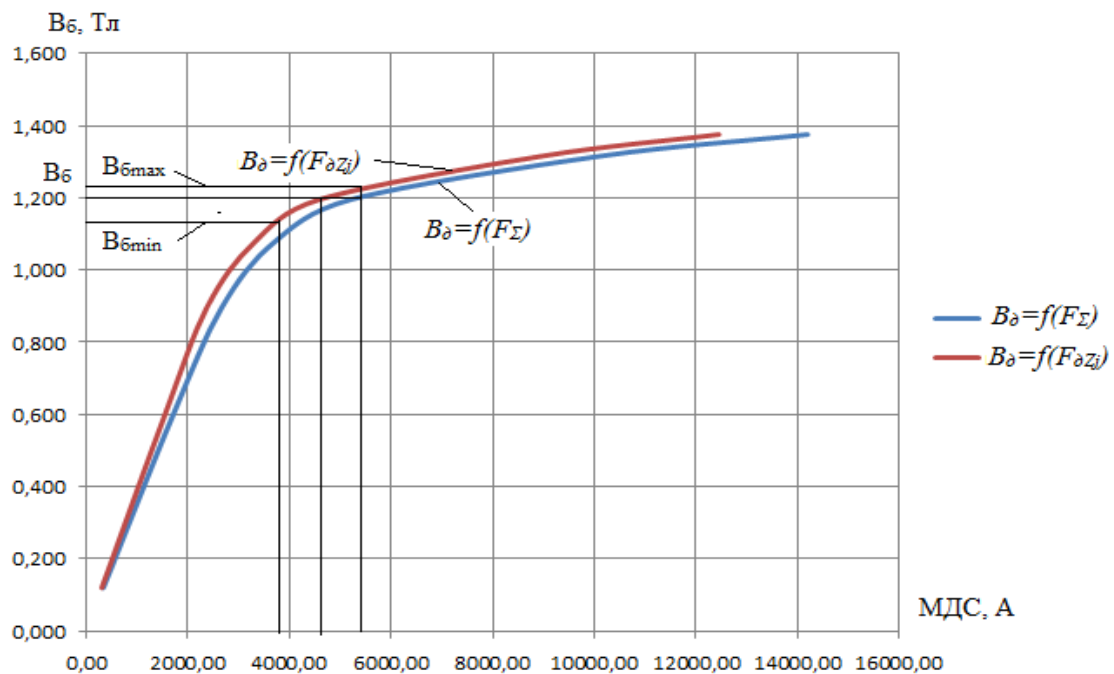


Рисунок 2 - переходная характеристика $B_{\delta} = f(F_{\delta z j})$ и характеристика холостого хода $B_{\delta} = f(F_{\Sigma})$

1.10. Расчет параллельной обмотки возбуждения

86. Размагничивающее действие реакции якоря определяют по переходной характеристике (рис. 7.1) согласно § 11.5 $F_{qd} = 550$ А.

87. Необходимая МДС параллельной обмотки:

$$F_{\sigma} = F_{\Sigma} + F_{qd} = 6229,31 + 550 = 6779,31 \text{ А.}$$

88. Принимаем предварительно ширину катушки обмотки параллельного возбуждения $b_{\text{кт.в}} = 25 \cdot 10^{-3}$ м, тогда средняя длина витка обмотки по (11.57):

$$\begin{aligned} l_{\text{ср.в}} &= 2(l_{\Gamma} + b_{\Gamma}) + \pi(b_{\text{кт.в}} + 2\Delta_{\text{из}}) = \\ &= 2 \cdot (0,753 + 166 \cdot 10^{-3}) + \pi(25 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}) = 1,91 \text{ м,} \end{aligned}$$

где $\Delta_{\text{из}} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м — односторонний зазор между катушкой и полюсом.

89. Сечение меди параллельной обмотки по (11.58):

$$\begin{aligned} q_{\sigma} &= \frac{\rho_{\sigma} \cdot k_3 \cdot 2p \cdot F_{\sigma} \cdot l_{\text{ср.в}} \cdot a}{U_{\sigma}} = \\ &= \frac{1,1 \cdot 1,22 \cdot 4 \cdot 6779,31 \cdot 1,91 \cdot 2}{57 \cdot 10^6 \cdot 440} = 2,74 \text{ мм}^2, \end{aligned}$$

где a - число параллельных ветвей обмотки параллельного возбуждения, принимаем - 2;

$k_3 = 1,1 \dots 1,2$ — коэффициент запаса, ρ_{σ} для меди — $1/57 \cdot 10^6$.

Принимаем (по табл. 11.18) круглый провод ПЭТВ, по табл. ПЗ.1 диаметр неизолированного провода $d_{\Gamma} = 1,32 \cdot 10^{-3}$ м, диаметр изолированного провода $d_{\text{из}}$ - $1,405 \cdot 10^{-3}$ м, сечение провода $S_{\text{из}} = 1,368 \text{ мм}^2$.

90. Принимаем номинальную плотность тока (для машин со степенью защиты IP44):

$$J_{\sigma} = 3 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$$

91. Число витков на полюс по (11.59):

$$w_B = \frac{F_\epsilon}{J_\epsilon q_\epsilon} = \frac{6779,31}{3 \cdot 10^6 \cdot 2,74 \cdot 10^{-6}} = 825.$$

92. Определяем номинальный ток возбуждения:

$$I_{B,НОМ} = F_B / w_B = 6779,31 / 825 = 8,21 A.$$

93. Плотность тока в обмотке:

$$j_{B,НОМ} = I_{B,НОМ} / q_B = 8,21 / 2,74 \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 10^6 A/m^2.$$

94. Полная длина обмотки:

$$L_B = 2\pi l_{ср,В} w_B = 4 \cdot 1,91^3 \cdot 825 = 6333 м.$$

95. Сопротивление обмотки возбуждения при температуре $t = 20^\circ C$:

$$R_B = \frac{L_\epsilon}{57 \cdot 10^6 \cdot q_B} = \frac{6333}{57 \cdot 10^6 \cdot 2,74 \cdot 10^{-6}} = 40,57 \text{ Ом}.$$

96. Сопротивление обмотки возбуждения при $\vartheta = 75^\circ C$:

$$R_{B75} = 1,22 R_B = 1,22 \cdot 40,57 = 49,49 \text{ Ом}.$$

97. Масса меди обмотки возбужденная:

$$m_{M,В} = 8,9 L_{B,ср} \cdot 10^{-3} \cdot q_B = 8,9 \cdot 6333 \cdot 2,74 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 = 154,37 \text{ кг}.$$

1.11. Коллектор и щетки

98. Ширина нейтральной зоны по (11.76):

$$B_{н.з.} = \tau - b_{\delta} = 0,275 - 0,184 = 0,091 \text{ м.}$$

99. Принимаем ширину щетки равной $b_{щ} = (2... 4)t_k$, по табл. П4.1 выбираем стандартные размеры щетки: $b_{щ} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $l_{щ} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

100. Поверхность соприкосновения щетки с коллектором:

$$S_{щ} = b_{щ} \cdot l_{щ} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

101. При допустимой плотности тока $J_{щ} = 11 \cdot 10^4 \text{ А/м}^2$ число щеток на болт:

$$N_{щ} = \frac{I_{ном}}{p S_{щ} J_{щ}} = \frac{335,39}{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 11 \cdot 10^4} = 6,09.$$

Принимаем $N_{щ} = 6$.

102. Поверхность соприкосновения всех щеток с коллектором:

$$\Sigma S_{щ} = 2p N_{щ} S_{щ} = 4 \cdot 6 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

103. Плотность тока под щетками:

$$J_{щ} = 2I_{ном} / \Sigma S_{щ} = (2 \cdot 335,39) / (6 \cdot 10^{-3}) = 1,11 \cdot 10^5 \text{ А/м}^2.$$

104. Активная длина коллектора по (11.80):

$$l_k = N_{щ} (l_{щ} + 8 \cdot 10^{-3}) + 10 \cdot 10^{-3} = 6(25 \cdot 10^{-3} + 8 \cdot 10^{-3}) + 10 \cdot 10^{-3} = 208 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

1.12 Коммутационные параметры

105. Ширина зоны коммутации по (11.75):

$$b_{3,к} = \left(\frac{b_{u1}}{t_{\kappa}} + u_n - \frac{a}{p} + \varepsilon_{\kappa} \right) t_{\kappa} \frac{D}{D_{\kappa}} = \left(\frac{10 \cdot 10^{-3}}{2,5 \cdot 10^{-3}} + 3 - \frac{2}{2} + \frac{3}{4} \right) \cdot 2,5 \cdot \frac{0,35}{0,250} = 23,62 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

106. Отношение $b_{3,к}/(\tau - b_{п}) = 23,62/0,091 = 0,26$

107. Коэффициент магнитной проводимости паза (11.69):

$$\lambda = 0,6 \frac{h_n}{2} + \frac{h_{u1}}{b_{u1}} + \frac{l_a}{l_a} + \frac{2,5 \cdot 10^5}{Al_{\delta} \cdot w_c \cdot v_a} \cdot \frac{a}{p} = 0,6 \cdot \frac{39,96 \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{1 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,371}{0,753} + \frac{2,5 \cdot 10^5}{64100 \cdot 0,753 \cdot 2 \cdot 32,98} \cdot \frac{2}{2} = 0,917,$$

где $v_a = \pi D n / 60 = \pi \cdot 350 \cdot 10^{-3} \cdot 1800 / 60 = 32,98 \text{ м/с}$ – скорость якоря;

$l_a = l_{\delta} = 0,753 \text{ м.}$

108. Реактивная ЭДС (11.68):

$$E_p = 2\lambda \cdot w_c \cdot l_{\delta} \cdot A \cdot v_a \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 0,917 \cdot 3 \cdot 0,753 \cdot 64100 \cdot 32,98 \cdot 10^{-6} = 5,83 \text{ В.}$$

109. Воздушный зазор под добавочным полюсом принимаем $\delta_d = (1,5 \dots 2,0)\delta$, при $\delta = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ принимаем $\delta_d = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

110. Расчетная длина воздушного зазора под добавочным полюсом:

$L_{\delta d} = k_{\delta d} \delta_d = 1,04 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 6,23 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$ где

$$k_{\delta d} = \frac{t_{z1} + 10\delta_d}{t_{z1} - b_{u1} + 10\delta_d} = \frac{18,32 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{18,32 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 1,04.$$

111. Средняя индукция в воздушном зазоре под добавочным полюсом:

$$B_{\delta d} = \frac{E'_p}{2\omega_c \cdot l_{\delta} \cdot v_a} = \frac{6,41}{2 \cdot 3 \cdot 0,753 \cdot 32,98} = 0,06 \text{ Тл,}$$

где $E'_p = 1,1 E_p = 1,1 \cdot 5,83 = 6,41 \text{ В}$ принимаем для обеспечения несколько ускоренной коммутации.

112. Расчетная ширина наконечника добавочного полюса согласно (11.82) и на основании предварительных расчетов ($b_{3,к}$ по п. 105):

$$b_{д.н} < (0,55 \dots 0,75) b_{3,к} < 0,65 \cdot 23,62 \cdot 10^{-3} = 15,21 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

113. Действительную ширину наконечника добавочного полюса принимаем в пределах в $b_{д.н} = (0,5...0,65)$ от полученного в п.112 $b_{д.н} = 8,47 \cdot 10^{-3} м$.

114. Магнитный поток добавочного полюса в воздушном зазоре:

$$\Phi_{\delta д} = B_{\delta д} l_{д.н} b_{д.н} = 0,06 \cdot 573 \cdot 10^{-3} \cdot 8,47 \cdot 10^{-3} = 0,41 \cdot 10^{-3} Вб,$$

где $l_{д.н} = l_{\delta}$.

115. Принимаем коэффициент рассеяния добавочного полюса $\sigma_d = 2,5$ (см. § 11.9), магнитный поток в сердечнике добавочного полюса:

$$\Phi_d = \sigma_d \Phi_{\delta д} = 2,5 \cdot 0,41 \cdot 10^{-3} = 1,03 \cdot 10^{-3} Вб.$$

116. Сечение сердечника добавочного полюса:

$$S_d = l_{д.н} \cdot b_{д.н} k_c = 0,753 \cdot 8,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95 = 6,06 \cdot 10^{-4} м^2.$$

Сечение сердечника <сечения наконечника добавочного полюса.

117. Расчетная индукция в сердечнике добавочного полюса:

$$B_{с.д} = \Phi_d / S_d = (1,03 \cdot 10^{-3}) / (6,06 \cdot 10^{-4}) = 1,7 Тл.$$

118. Высота добавочного полюса:

$$L_d = (D_a - 2\delta_d) / 2 = (0,35 - 2 \cdot 6 \cdot 10^{-3}) / 2 = 169 \cdot 10^{-3} м.$$

1.13. Расчет обмотки добавочных полюсов

119. МДС обмотки добавочного полюса (табл. 11.21):

$$F_{\text{д}} = (1,2 \div 1,4) \cdot A \cdot \frac{\tau}{2} = 1,2 \cdot 64100 \cdot \frac{0,275}{2} = 10564,9 \text{ А.}$$

120. Число витков обмотки добавочного полюса на один полюс по (11.87):

$$w_{\text{д}} = F_{\text{д}} / I = 10564,9 / 335,39 = 31,5,$$

принимаем $w_{\text{д}} = 32$ витков, $a_{\text{д}} = 1$.

121. Предварительное сечение проводников по (11.88):

$$q_{\text{д}} = I_{\text{ном}} / a_{\text{д}} J_{\text{д}} = 335,39 / 5 \cdot 10^{-6} = 67,08 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

При токе $I_a < 1000$ целесообразно принимать $a_{\text{д}} = 1$. Для многослойных обмоток выбираем согласно рекомендациям в § 11.9 плотность тока $J_{\text{д}} = 5 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$.

122. Принимаем проводник обмотки добавочных полюсов: прямоугольный провод марки ПЭТП-155 (табл. 11.18); больший размер провода: $a = 12,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ (см. табл. П3.1), меньший размер провода $d_{\text{из}} = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, сечение провода $q_{\text{д}} = 65,39 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

123. Принимаем сердечник добавочного полюса короче якоря на $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ с каждой стороны для создания опоры для катушки. Длина сердечника $l_{\text{д}} = l_{\delta} = 0,751 \text{ м}$.

124. Средняя длина витка обмотки добавочного полюса по (11.89):

$$l_{\text{д,ср}} = 2(l_{\text{д,с}} + b_{\text{д,с}}) + \pi(b_{\text{к.тд}} + 2\Delta_{\text{из}}) = 2(751 \cdot 10^{-3} + 11 \cdot 10^{-3}) + \pi(11 + 2)10^{-3} = 1,57 \text{ м.}$$

$\Delta_{\text{из}} = (1,7 \dots 2,2)10^{-3}$. Зазор между катушкой и сердечником принимаем $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

125. Полная длина проводников обмотки:

$$L_{\text{д}} = 2pl_{\text{д,ср}}w_{\text{д}} = 4 \cdot 1,57 \cdot 32 = 200,78 \text{ м.}$$

126. Сопротивление обмотки добавочных полюсов при температуре $\vartheta = 20^\circ \text{ С}$ по (11.90):

$$R_{\text{д}} = \frac{L_{\text{д}}}{57 \cdot 10^6 \cdot a_{\text{д}}^2 q_{\text{д}}} = \frac{200,78}{57 \cdot 10^6 \cdot 1^2 \cdot 65,39 \cdot 10^{-6}} = 0,053 \text{ Ом.}$$

127. Сопротивление обмотки добавочных полюсов при $\vartheta = 75^\circ \text{C}$

$$R_{д75} = 1,22R_{д} = 1,22 \cdot 0,053 = 0,064 \text{ мОм.}$$

128. Масса меди обмотки добавочных полюсов:

$$m_{д} = 8,9 \cdot 10^3 l_{д,ср} q_{д} = 8,9 \cdot 10^3 \cdot 1,57 \cdot 65,39 \cdot 10^{-4} = 93,64 \text{ кг.}$$

1.14. Потери и КПД

129. Электрические потери в обмотке якоря при температуре 75° С:

$$P_{\text{э.а}} = I_n^2 R_{a75} = (335,39)^2 \cdot 93,73 \cdot 10^{-3} = 10544,2 \text{ Вт}.$$

130. Электрические потери в обмотке добавочных полюсов:

$$P_{\text{э.д}} = I_n^2 R_{d75} = (335,39)^2 \cdot 64,06 \cdot 10^{-3} = 7206,6 \text{ Вт}.$$

131. Электрические потери в параллельной обмотке возбуждения:

$$P_{\text{э.в}} = I_B U_B = 8,21 \cdot 440 = 3615,2 \text{ Вт}.$$

132. Электрические потери в переходном контакте щеток:

$$P_{\text{э.щ}} = 2\Delta U_{\text{щ}} I_n = 2,5 \cdot 335,39 = 838,48 \text{ Вт},$$

где $2\Delta U_{\text{щ}} I_n = 2,5 \text{ В}$ для марки щеток ЭГ-14 по табл. П4.2.

133. Потери на трение щеток о коллектор:

$$P_{\text{т.щ}} = \Sigma S_{\text{щ}} p_{\text{щ}} f v_k = 10 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 0,2 \cdot 32,98 = 1187,5 \text{ Вт},$$

где $p_{\text{щ}}$ — давление на щетку; для щетки марки ЭГ-14 $p_{\text{щ}} = 3 \cdot 10^4 \text{ Па}$;

$f = 0,2$ — коэффициент трения щетки.

134. Потери в подшипниках и на вентиляцию определяются по рис. 11.28:

$$(P_{\text{тп}} + P_{\text{вент}}) = 400 \text{ Вт}.$$

135. Масса стали ярма якоря по (11.103):

$$m_j = 7800 \frac{\pi(D - 2h_n)^2 - D_0^2}{4} l_{\delta} k_c = 7800 \frac{\pi(0,35 - 2 \cdot 39,96 \cdot 10^{-3})^2 - (100 \cdot 10^{-3})^2}{4} \times \\ \times 0,753 \cdot 0,95 = 305,66 \text{ кг}.$$

136. Условная масса стали зубцов якоря (11.101):

$$m_z = 7800 Z b_z (h_1) l_{\delta} k_c = 7800 \cdot 60 \cdot 11,57 \cdot 10^{-3} (39,96 \cdot 10^{-3}) \times 0,753 \cdot 0,95 = 154,81 \text{ кг}.$$

137. Магнитные потери в ярме якоря:

$$P_j = m_j p_j = 305,66 \cdot 12,14 = 2287,75 \text{ Вт},$$

где $p_j = 2,3 p_{1,0/50} (f/50)^{\beta} B_j^2 = 2,3 \cdot 1,75 \cdot 1^2 \cdot 1,36^2 = 7,48 \text{ Вт/кг}$.

138. Магнитные потери в зубцах якоря:

$$P_z = m_z p_z = 154,81 \cdot 15,99 = 2476,9 \text{ Вт},$$

где $p_z = 2,3 p_{1,0/50} (f/50)^{\beta} B_z^2 = 2,3 \cdot 1,75 \cdot 1^2 \cdot 1,943^2 = 15,99 \text{ Вт/кг}$.

139. Добавочные потери:

$$P_{\text{доб}} = 0,01 UI_{\text{НОМ}} = 0,01 \cdot 440 \cdot 335,39 = 1475,7 \text{ Вт}.$$

140. Сумма потерь:

$$\begin{aligned} \Sigma P &= P_{\text{э.а}} + P_{\text{э.д}} + P_{\text{э.в}} + P_{\text{э.щ}} + P_{\text{т.щ}} + (P_{\text{т.п}} + P_{\text{вент}}) + P_j + P_z + P_{\text{доб}} = \\ &= 10544,2 + 7206,6 + 3615,2 + 838,48 + 1187,5 + 400 + 2287,75 + 2476,9 + 1475,7 = \\ &= 30032,2 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

141. Потребляемая мощность:

$$P_1 = P_{\text{НОМ}} + \Sigma P = 132000 + 30032,2 = 162032,2 \text{ Вт};$$

$$I_{\text{НОМ}} = P_1 / U_{\text{НОМ}} = 162032,2 / 440 = 368,25 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ}} = I_{1\text{н}} - I_{\text{в.н}} = 368,25 - 8,21 = 360,03 \text{ А}.$$

142. Коэффициент полезного действия:

$$\eta = P_{\text{НОМ}} / (P_{\text{НОМ}} + \Sigma P) = 132000 / 162032,2 = 0,81.$$

1.5. Рабочие характеристики

При построении рабочих характеристик двигателя и уточнении его номинальных данных принимаем, что потери холостого хода двигателя практически не меняются при изменении нагрузки и составляют:

$$P_0 = P_j + P_z + (P_{т.п} + P_{вент}) + P_{т.щ} = 2285,7 + 2476,9 + 400 + 1187,5 = 6351,19 \text{ Вт}.$$

При расчете характеристик принимаем напряжение питания $U = 440 \text{ В}$, ток возбуждения соответствует номинальному значению тока возбуждения $I_B = 8,21 \text{ А}$.

143. МДС реакции якоря. Расчеты по переходной характеристике значений F_{qd} при нескольких значениях тока якоря и графическое построение характеристики $F_{qd} = f(I)$ показывают, что эту характеристику можно аппроксимировать функцией типа: $F'_{qd} = F_{qd} (I - 15) / (I_{ном} - 15)$. Поэтому в дальнейшем будем использовать эту функцию для учета размагничивающего действия реакции якоря при построении рабочих характеристик двигателя.

144. При номинальном токе якоря $I_{ном} = 360,03 \text{ А}$. ЭДС обмотки якоря:

$$E_{ном} = U - I_{ан} (R_a + R_d) - 2U_{щ} = 440 - 360,03(0,077 + 0,053) - 2,5 = 395,93 \text{ В}.$$

145. Номинальный магнитный поток в воздушном зазоре:

$$\Phi_{ном} = \frac{60 E_{ном}}{p N \cdot n_{ном}} = \frac{60 \cdot 395,93}{2 \cdot 840 \cdot 1800} = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}.$$

146. По характеристике холостого хода (см. рис. 7.1) находим:

$$B_\delta = 1,2 \text{ Тл};$$

$$F_\Sigma = 6229,31 \text{ А}.$$

147. МДС обмотки возбуждения:

$$F_{в.н} = F_\Sigma + F_{qd} = 6229,31 + 550 = 6779,31 \text{ А}.$$

148. Номинальный ток возбуждения:

$$I_{в.ном} = F_{в.н} / w_B = 6779,31 / 825 = 8,2 \text{ А}.$$

149. Номинальный ток двигателя:

$$I_{1ном} = I_{ном} + I_{в.н} = 360,03 + 8,21 = 368,24 \text{ А}.$$

150. Полезная мощность на валу двигателя:

$$P_2 = EI_{\text{НОМ}} - P_0 - P_{\text{доб}} \left(\frac{I_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}} \right)^2 = 429,77 \cdot 368,24 - 6351,9 - 1475,7 \cdot (360,03/337,39)^2 = 134787,8 \text{ Вт.}$$

151. Коэффициент полезного действия

$$\eta = P_2/P_1 = 134787,8/162032,2 = 0,83;$$

$$P_1 = UI_{\text{НОМ}} = 440 \cdot 368,24 = 162032,2 \text{ Вт.}$$

152. Вращающий момент

$$M = 9,57P_2/n = 9,57 \cdot 162032,2/1800 = 711,38 \text{ Н·м.}$$

Результаты расчетов, выполненных по п. 148—152 для ряда значений тока якоря, сведены в табл. 1.3. Рабочие характеристики двигателя приведены на рис. 1.2.

Таблица 1.– Расчет рабочих характеристик

Величина	0,5·Iя	0,75·Iя	0,9·Iя	Iном	1,1·Iя	1,15·Iя
Iя	180,02	270,02	324,03	360,03	396,03	414,03
EНОМ	414,10	402,40	395,38	390,70	386,02	383,68
ΦНОМ	8,22E-03	7,98E-03	7,84E-03	7,75E-03	7,66E-03	7,61E-03
FΣ	8098,13	7475,20	6852,26	6229,33	5606,40	4983,46
Fв.н.	8318,13	7695,20	7072,26	6779,31	5826,40	5203,46
Iв.н.	10,08	9,33	8,57	8,22	7,06	6,31
IНОМ	190,10	279,35	332,60	368,25	403,10	420,34
P2	66868,65	100925,57	120360,15	132899,84	145098,62	151071,25
P1	83642,94	122914,01	146343,75	162028,83	177361,93	184950,36
η	0,80	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
M	355,52	536,59	639,91	706,58	771,44	803,20

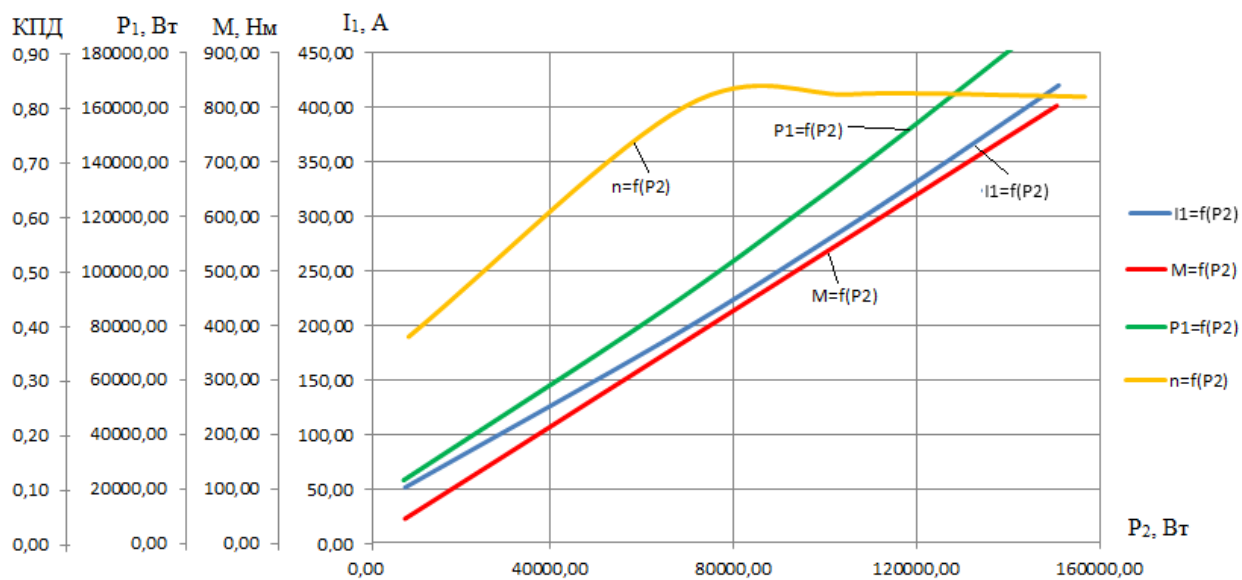


Рисунок .3. Рабочие характеристики электродвигателя

2. Тепловой расчет

Для приближенной оценки тепловой напряженности машины необходимо сопротивление обмоток привести к температуре, соответствующей заданному классу изоляции; при классе нагревостойкости Всопротивления умножаются на поправочный коэффициент $k_T = 1,15$.

153. Сопротивление обмотки якоря:

$$R_{a,T} = k_T \cdot R_a = 1,15 \cdot 0,077 = 0,088 \text{ Ом};$$

Сопротивление обмотки добавочных полюсов:

$$R_{дТ} = k_T \cdot R_{д} = 1,15 \cdot 0,053 = 0,06 \text{ Ом};$$

Сопротивление обмотки возбуждения:

$$R_{вТ} = k_T \cdot R_{в} = 1,15 \cdot 40,57 = 46,65 \text{ Ом};$$

154. Потери в обмотке якоря:

$$P_{aT} = I_H^2 \cdot R_{a,T} = 335,39^2 \cdot 0,088 = 11453,6 \text{ Вт};$$

Потери в обмотке добавочных полюсов:

$$P_{дТ} = I_H^2 \cdot R_{дТ} = 335,39^2 \cdot 0,06 = 7828,1 \text{ Вт};$$

Потери в обмотке возбуждения:

$$P_{вТ} = I_{вН}^2 \cdot R_{вТ} = 8,21^2 \cdot 46,65 = 3149,6 \text{ Вт};$$

155. где α_a - коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности якоря;
 $\alpha_a = 150 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$. Выбирается по рис.11-29:

156. Превышение температуры охлаждаемой поверхности якоря:

$$\Delta\theta_a = \frac{P_{aT} \cdot \left(\frac{l_\delta}{l_{acp}}\right) + P_M}{\pi \cdot D \cdot l_a \cdot \alpha_a} = \frac{11453,6 \cdot \left(\frac{0,753}{2,248}\right) + 1475,7}{\pi \cdot 0,35 \cdot 2,248 \cdot 120} = 17,91, ^\circ\text{С}.$$

157. Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки якоря:

$$\theta_{из.П} = \frac{P_{aT} \cdot \left(\frac{l_\delta}{l_{acp}}\right)}{Z \cdot \Pi_{П} \cdot l_\delta} \cdot \left(\frac{b_{из}}{\lambda_{ЭКВ}}\right) = \frac{11453,6 \cdot \left(\frac{0,753}{2,248}\right)}{28 \cdot 0,104 \cdot 0,753} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-3}}{0,16}\right) = 10,19, ^\circ\text{С}.$$

где Π_{Π} - периметр поперечного сечения паза.

$$\Pi_{\Pi} = 2 \cdot (b_n + h_n) = \Pi_{\Pi} = 2 \cdot (0,01207 + 0,03996) = 0,104 \text{ м.};$$

$\lambda_{\text{ЭКВ}}$ - эквивалентный коэффициент теплопроводности изоляции;
 $\lambda_{\text{ЭКВ}} = 0,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

158. Превышение температуры охлаждаемой поверхности лобовых частей обмотки якоря:

$$\Delta\theta_{\text{ПОВ.Л}} = \frac{P_{\text{аГ}} \cdot \left(1 - \frac{I_{\delta}}{I_{\text{а,ср}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot 2 \cdot l_{\text{В}} \cdot \alpha_{\text{Л}}} = \frac{11453,6 \cdot \left(1 - \frac{0,753}{2,248}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot 0,753 \cdot 150} = 15,33; ^\circ\text{C}.$$

$\alpha_{\text{Л}}$ - коэффициент теплоотдачи с лобовых поверхностей обмотки якоря;
 $\alpha_{\text{Л}} = 150 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Выбирается по рис.11-31.

159. Перепад температуры в изоляции лобовой части обмотки якоря:

$$\Delta\theta_{\text{ИЗ.Л}} = \frac{P_{\text{аГ}} \cdot \left(1 - \frac{I_{\delta}}{I_{\text{а,ср}}}\right)}{2 \cdot Z \cdot \Pi_{\text{Л}} \cdot l_{\text{Л}}} \cdot \frac{b_{\text{из}}}{8 \cdot \lambda'_{\text{ЭКВ}}} = \frac{11453,6 \cdot \left(1 - \frac{0,753}{2,248}\right)}{2 \cdot 60 \cdot 0,134 \cdot 0,753} \cdot \frac{0,2}{0,16} = 7,89, ^\circ\text{C}.$$

где $\Pi_{\text{Л}}$ - периметр поперечного сечения условной поверхности охлаждения лобовой части.

$$\Pi_{\text{Л}} = \left(1 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot (b_n + h_n) = \left(1 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot (0,01207 + 0,03996) = 0,134 \text{ м.};$$

160. Среднее превышение температуры обмотки якоря над температурой охлаждающего воздуха:

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{\text{аср}} &= (\Delta\theta_{\text{а}} + \Delta\theta_{\text{ИЗП}}) \cdot \frac{I_{\delta}}{I_{\text{а,ср}}} + (\Delta\theta_{\text{ПОВЛ}} + \Delta\theta_{\text{ИЗЛ}}) \cdot \left(1 - \frac{I_{\delta}}{I_{\text{а,ср}}}\right) = \\ &= (17,09 + 10,19) \cdot \frac{0,753}{2,248} + (15,33 + 7,87) \cdot \left(1 - \frac{0,753}{2,248}\right) = 24,85 ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

161. Сумма потерь, отводимых охлаждающим внутренним объемом двигателя воздухом:

$$\Sigma P' = \Sigma P - 0,1 \cdot (P_{\text{ВТ}} + P_{\text{ДТ}}) = 30032,2 - 0,1 \cdot (3149,6 + 7828,1) = 12893,4 \text{ Вт};$$

162. Условная поверхность охлаждения двигателя:

$$S_{\text{ОХЛ}} = \pi \cdot D_{\text{вн}} \cdot (l_{\delta} + 2 \cdot l_{\text{В}}) = \pi \cdot 0,701 \cdot (0,753 + 2 \cdot 0,705) = 4,494 \text{ м}^2.$$

163. Среднее превышение температуры воздуха внутри двигателя:

$$\Delta\theta_{\text{ВОЗ}} = \frac{\Sigma P'}{S_{\text{ОХЛ}} \cdot \alpha_{\text{Н}}} = \frac{30032,2}{4,794 \cdot 1600} = 3,63, ^\circ\text{C}.$$

Где $\alpha_{\text{Н}}$ - коэффициент подогрева воздуха; $\alpha_{\text{Н}} = 1600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Выбирается по рис. 8-32 [1]

164. Среднее превышение температуры обмотки якоря над температурой охлаждающей среды:

$$\Delta\theta'_{\text{ацр}} = \Delta\theta_{\text{ацр}} + \Delta\theta_{\text{ВОЗ}} = 24,85 + 3,63 = 28,48 ^\circ\text{C}.$$

165. Превышение температуры наружной поверхности катушки возбуждения над температурой воздуха внутри машины:

$$\Delta\theta_{\text{ПВ}} = \frac{0,9 \cdot P_{\text{ВТ}}}{2\rho \cdot S_{\text{В}} \cdot \alpha_{\text{В}}} = \frac{0,9 \cdot 3149,6}{4 \cdot 0,207 \cdot 85} = 40,27 ^\circ\text{C}.$$

Где $\alpha_{\text{В}}$ - коэффициент теплоотдачи с поверхности обмотки возбуждения $\alpha_{\text{В}} = 85 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Выбирается по рис. 8-31

$S_{\text{В}}$ - Наружная поверхность охлаждения катушки обмотки возбуждения

$$S_{\text{В}} = l_{\text{ВСР}} \cdot \Pi_{\text{В}} = 1,421 \cdot 145 \cdot 10^{-3} = 0,207 \text{ м}^2.$$

где $\Pi_{\text{В}}$ - периметр охлаждения катушки обмотки возбуждения; Находим по эскизу междуполюсного окна двигателя $\Pi_{\text{В}} = 145 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

166. Перепад температуры в изоляции катушки обмотки возбуждения:

$$\Delta\theta_{\text{ИЗ.В}} = \frac{0,9 \cdot P_{\text{ВТ}}}{2\rho \cdot S_{\text{В}}} \cdot \left(\frac{b_{\text{ИЗ}}}{\lambda_{\text{ЭКВ}}} \right) = \frac{0,9 \cdot 3149,6}{4 \cdot 0,207} \cdot \left(\frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,16} \right) = 1 ^\circ\text{C}.$$

167. Среднее превышение температуры обмотки возбуждения над температурой охлаждающей среды:

$$\Delta\theta'_{\text{СР.В}} = \Delta\theta_{\text{П.В}} + \Delta\theta_{\text{ИЗ.В}} + \Delta\theta_{\text{ВОЗ}} = 40,27 + 1 + 3,63 = 44,9 ^\circ\text{C}.$$

168. Превышение температуры наружной поверхности добавочного полюса над температурой воздуха внутри машины:

$$\Delta\theta_{\text{ПД}} = \frac{0,9 \cdot P_{\text{ДГ}}}{2p \cdot S_{\text{д}} \cdot \alpha_{\text{д}}} = \frac{0,9 \cdot 7828,1}{4 \cdot 0,042 \cdot 85} = 49,33 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Где $\alpha_{\text{д}}$ -коэффициент теплоотдачи с поверхности катушки обмотки добавочных полюсов $\alpha_{\text{д}} = 85 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$. Выбирается по рис. 10-31 [1]

$S_{\text{д}}$ - поверхность охлаждения обмотки добавочных полюсов:

$$S_{\text{д}} = l_{\text{ДСР}} \cdot \Pi_{\text{д}} = 1,275 \cdot 0,033 = 0,42 \text{ м}^2.$$

$\Pi_{\text{д}}$ - периметр охлаждения катушки обмотки добавочных полюсов;

Находим по эскизу междуполюсного окна двигателя $\Pi_{\text{д}} = 0,033 \text{ м}$.

169. Перепад температуры в изоляции катушки обмотки добавочного полюса:

$$\Delta\theta_{\text{ИЗ,Д}} = \frac{0,9 \cdot P_{\text{ДГ}}}{2p \cdot S_{\text{д}}} \cdot \frac{b_{\text{КД}}}{8 \cdot \lambda'_{\text{ЭКВ}}} = \frac{0,9 \cdot 7828,1}{4 \cdot 0,42} \cdot \frac{0,0016}{8 \cdot 1,4} = 7,04 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

где $b_{\text{КД}}$ - средняя ширина катушки обмотки добавочных полюсов.

170. Среднее превышение температуры катушки обмотки добавочных полюсов над температурой воздуха внутри машины:

$$\Delta\theta_{\text{СР,Д}}^{\text{I}} = \Delta\theta_{\text{П,Д}} + \Delta\theta_{\text{ИЗ,Д}} + \Delta\theta_{\text{ВОЗ}} = 49,33 + 7,04 + 3,63 = 60,02 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

171. Превышение температуры наружной поверхности коллектора над температурой воздуха внутри двигателя:

$$\Delta\theta_{\text{К}} = \frac{P_{\text{ЭЩ}} + P_{\text{ТЩ}}}{S_{\text{К}} \cdot \alpha_{\text{К}}} = \frac{838,48 + 1187,5}{0,06 \cdot 550} = 61,39 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Где $\alpha_{\text{К}}$ - коэффициент теплоотдачи с поверхности коллектора $\alpha_{\text{К}} = 550 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Выбирается по рис. 10-33

$S_{\text{К}}$ -площадь поверхности охлаждения коллектора:

$$S_{\text{К}} = \pi \cdot D_{\text{К}} \cdot L_{\text{К}} = \pi \cdot 0,701 \cdot 0,076 = 0,06 \text{ м}^2.$$

Таким образом, превышения температуры обмотки якоря, обмотки возбуждения и коллектора ниже предельно допустимых значений для класса

нагревостойкости изоляции F. Для проводников обмотки добавочных полюсов марки ПСД (класс изоляции F) среднее превышение температуры так же не превышает предельного допустимого значения.

3. Вентиляционный расчет

172. Необходимое количество охлаждающего воздуха:

$$Q'_{\text{воз}} = \frac{\Sigma P'}{1100 \cdot \Delta \theta'_{\text{воз}}} = \frac{28934,4}{1100 \cdot 2 \cdot 3,63} = 3,61 \text{ м}^3/\text{с}.$$

где $\Delta \theta'_{\text{воз}} \approx 2 \cdot \Delta \theta_{\text{воз}}$ - превышение температуры воздуха °С.

173. Наружный диаметр центробежного вентилятора:

$$D_{2B} = 0,9 \cdot d_c = 0,9 \cdot 0,685 = 0,616 \text{ м},$$

где d_c - внутренний диаметр станины.

$$d_c = D_n - 2 \cdot h_c = 0,701 - 2 \cdot 0,00821 = 0,685 \text{ м}.$$

174. Окружная скорость вентилятора по внешнему диаметру:

$$v_2 = \frac{\pi \cdot D_{2B} \cdot n_n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,616 \cdot 1800}{60} = 58,06 \text{ м/с}.$$

175. Внутренний диаметр колеса вентилятора:

$$D_{1B} = 0,62 \cdot D = 0,62 \cdot 0,35 = 0,217 \text{ м}.$$

176. Окружная скорость вентилятора по внутреннему диаметру:

$$v_1 = \frac{\pi \cdot D_{1B} \cdot n_n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,217 \cdot 1800}{60} = 20,45 \text{ м/с}.$$

177. Ширина лопаток вентилятора:

$$b_{\text{ЛВ}} = 0,14 \cdot D_{2B} = 0,14 \cdot 0,616 = 0,086 \text{ м}.$$

Согласно рекомендации [1] число лопаток вентилятора определяется по формуле:

$$N_{\text{л}} = (6 \div 10) \frac{D_{2B}}{D_{2B} - D_{1B}} = 6 \cdot \frac{0,616}{0,616 - 0,217} = 9,26;$$

178. Принимаем число лопаток вентилятора: $N_{\text{л}} = 10$.

179. Давление вентилятора при холостом ходе составляет:

$$H_0 = \eta_{a,0} \cdot \rho \cdot (v_2^2 - v_1^2) = 0,6 \cdot 1,23 \cdot (58,06^2 - 20,45^2) = 2179,7 \text{ Па},$$

где $\eta_{a,0} \approx 0,6$ - аэродинамический КПД радиальных крыльев;

ρ – плотность воздуха при температуре 20°С; $\rho = 1,23 \text{ кг} \cdot \text{м}^3$.

180. Аэродинамическое сопротивление вентиляционной системы машины:

$$Z = 2200 \text{ (Па} \cdot \text{с}^2) / \text{м}^6 [1] \text{ рис. 5-20.}$$

181. Действительный расход воздуха:

$$Q_{\text{воз}} = Q_{\text{в,макс}} \sqrt{\frac{H_0}{H_0 + Z \cdot Q_{\text{в,макс}}^2}} = 0,514 \cdot \sqrt{\frac{2179,7}{2179,7 + 2200 \cdot 3,61^2}} = 2,67 \text{ м}^3/\text{с}.$$

4. Механический расчёт

Электрические машины общего назначения в большинстве случаев выполняют с горизонтальным расположением вала. В этом случае вал несёт на себе всю массу вращающихся частей, через него передаётся вращающий момент машины. При сочленении машины с исполнительным механизмом через ремённую и зубчатую передачу, а также и через муфту на вал действуют дополнительные изгибающие силы. Кроме того, на вал могут действовать силы одностороннего магнитного притяжения, вызванные магнитной несимметрией, усилия, появляющиеся из-за наличия небаланса вращающихся частей, а также усилия, возникающие при появлении крутильных колебаний. Правильно сконструированный вал должен быть достаточно прочным, чтобы выдержать все действующие на него нагрузки без появления остаточных деформаций. Вал также должен иметь достаточную жёсткость, чтобы при работе машины ротор не задевал о статор. Критическая частота вращения вала должна быть значительно больше рабочих частот вращения машины.

Валы изготавливают из углеродистых сталей, преимущественно сталь 45. Для повышения механических свойств материала его подвергают термической обработке.

Выбираем муфту МУВП1 – 48, радиус по центрам окружности муфты $r = 55 \text{ мм}$

Основные размеры вала выбираем приближённо равными размерам вала серийной модели. Конструкция вала приведена на рисунке 5.

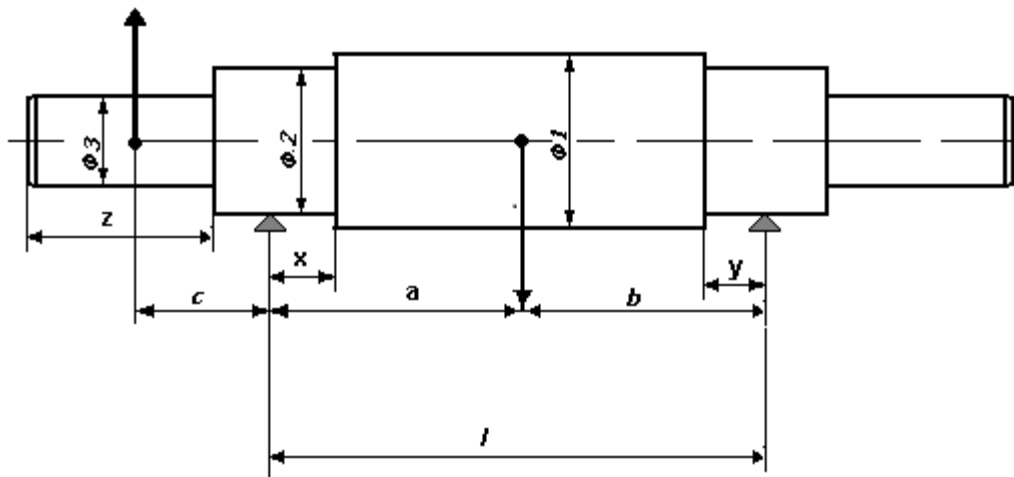


Рис. 4 - Конструкция и основные размеры вала для механического расчёта

$$a = 0,407 \text{ м}, b = 0,483 \text{ м}, c = 0,085 \text{ м}, x = 0,015 \text{ м}, y = 0,015 \text{ м},$$

$$l = 0,676 \text{ м},$$

$$d_1 = 0,060 \text{ м}, d_2 = 0,055 \text{ м}, d_3 = 0,048 \text{ м}$$

183. Определим номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9,55 \cdot \frac{132000}{1800} = 700 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

184. Рассчитаем вал на жёсткость. Для этого определим массу якоря с коллектором:

$$m_p = 6500 \cdot D_2^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0,175^2 \cdot 0,249 = 262,75 \text{ кг},$$

$$m_k = 6500 \cdot D_k^2 \cdot l_k = 6500 \cdot 0,25^2 \cdot 0,107 = 163,46 \text{ кг},$$

185. Тогда приближённое значение силы тяжести:

$$G_p = 9,81 \cdot m_p + 9,81 \cdot m_k = 9,81 \cdot 262,75 + 9,81 \cdot 163,46 = 4181 \text{ Н},$$

186. Реакция передачи равна :

$$F_{\text{II}} = \frac{k_n}{r} \cdot M_{\text{ном}} = \frac{0,3}{0,055} \cdot 700 = 3818 \text{ Н},$$

где $k_n = 0,3$ коэффициент при передаче упругой муфтой

Определим прогиб вала в середине сердечника ротора под действием силы тяжести.

Левая часть

$d_i, \text{м}$	$y_i, \text{м}$	$J_i, \text{м}^4$	$y_i^3, \text{м}^3$	$y_i^3 - y_{i-1}^3, \text{м}^3$	$\frac{y_i^3 - y_{i-1}^3}{J_i}, \text{м}^{-1}$	$y_i^2, \text{м}^2$	$y_i^2 - y_{i-1}^2, \text{м}^2$
0,055	0,015	$4,5 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	7,5	$2,25 \cdot 10^{-4}$	$2,25 \cdot 10^{-4}$
0,06	0,030	$6,4 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	37,1	$9 \cdot 10^{-4}$	$6,75 \cdot 10^{-4}$

Правая часть

$d_i, \text{м}$	$x_i, \text{м}$	$J_i, \text{м}^4$	$x_i^3, \text{м}^3$	$x_i^3 - x_{i-1}^3, \text{м}^3$	$\frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i}, \text{м}^{-1}$
0,055	0,015	$4,5 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	7,5
0,060	0,067	$6,4 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	467,5

$$S_a = \sum_{i=1}^2 \frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i} = 475 \text{ м}^{-1}$$

$$S_b = \sum_{i=1}^2 \frac{y_i^3 - y_{i-1}^3}{J_i} = 45 \text{ м}^{-1}$$

$$S_0 = \sum_{i=1}^2 \frac{y_i^2 - y_{i-1}^2}{J_i} = 1562 \text{ м}^{-2}$$

187. Прогиб вала под действием силы тяжести:

$$f_G = \frac{G_p}{3 \cdot l^2 \cdot E} \cdot (a^2 \cdot S_b + b^2 \cdot S_a) = \frac{3818}{3 \cdot 0,676^2 \cdot 2,06 \cdot 10^{11}} \cdot$$

$$\cdot (45 \cdot 0,407^2 + 475 \cdot 0,483^2) = 16 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

где $E = 2,06 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ – модуль упругости материала вала (для стали)

188. Прогиб вала посередине сердечника ротора от реакции передачи составит:

$$f_{II} = \frac{F_n \cdot c}{3 \cdot E \cdot l^2} \cdot ((1,5 \cdot l \cdot S_0 - S_b) \cdot a + b \cdot S_a) = ,$$

$$= \frac{3818 \cdot 0,085}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,89} \cdot ((1,5 \cdot 0,6 \cdot 1562 - 45) \cdot 0,407 + 475 \cdot 0,483) = 23 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

189. Начальный эксцентриситет ротора составит:

$$e_0 = 0,1 \cdot \delta + f_G + f_{II} = 0,1 \cdot 3 \cdot 10^{-3} + 4,2 \cdot 10^{-7} + 2,5 \cdot 10^{-7} = 30,39 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

190. Начальная сила одностороннего магнитного притяжения:

$$T_o = 2,94 \cdot D_2 \cdot l_\delta \cdot \frac{e_0}{\delta} = 2,94 \cdot 0,355 \cdot 0,107 \cdot \frac{30,39 \cdot 10^{-5}}{3 \cdot 10^{-3}} = 6184 \text{ Н},$$

191. Прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения:

$$f_T = f_G \cdot \frac{T_o}{G_p} = 16 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{6184}{3818} = 25,92 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

192. Установившийся прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения:

$$f_M = \frac{f_T}{1 - f_T/e_0} = \frac{25,92 \cdot 10^{-7}}{1 - 25,92 \cdot 10^{-7}/30,39 \cdot 10^{-5}} = 26,14 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

193. Результирующий прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения, реакции передачи и магнитного притяжения:

$$f = f_M + f_G + f_{II} = 26,14 \cdot 10^{-7} + 16 \cdot 10^{-7} + 23 \cdot 10^{-7} = 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

194. Результирующий прогиб вала не должен превышать 12% воздушного зазора.

Проверим это условие.

$$x = \frac{f}{\delta} \cdot 100\% = \frac{6,5 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 0,22\%$$

195. Определение критической частоты вращения вала.

$$n_{кр} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - f_T/e_0}{f_G}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - 25,92 \cdot 10^{-7}/30,39 \cdot 10^{-5}}{16 \cdot 10^{-7}}} = 23620 \text{ об/мин},$$

Полученное значение должно удовлетворять неравенству: $n_{кр} > 1,3 \cdot n$;

Проверим это условие $23620 > 2340$, Условие выполняется.

В расчете на прочность принимаем коэффициент перегрузки: $k=2$

Определим напряжение на свободном конце вала в сечении А:

Изгибающий момент в сечении вала :

$$M_{uA} = k \cdot F_{II}(c - x) = 2 \cdot 3818(0,085 - 0,015) = 534,52 \text{ Н/м},$$

196. Момент сопротивления при изгибе:

$$W_A = 0,1 \cdot d_1^3 = 0,1 \cdot 0,110^3 = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3,$$

197. Эквивалентное сопротивление при изгибе и кручении:

$$\sigma_{\text{экв}A} = \frac{\sqrt{M_{uA}^2 + (kM_{uA})^2}}{W_A} = \frac{\sqrt{534,52^2 + (2 \cdot 534,52)^2}}{1,3 \cdot 10^{-4}} = 7,1 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

198. Напряжение в сечении Б:

$$T = \frac{T_0}{1 - f_T/e_0} = \frac{6184}{1 - 25,92 \cdot 10^{-7}/30,39 \cdot 10^{-5}} = 6237 \text{ Н}$$

$$M_{uB} = k \cdot F_{II} \left(1 - \frac{y_1}{l}\right) + (G_p + T) \frac{a \cdot y_1}{l} = 2 \cdot 3818 \cdot \left(1 - \frac{0,015}{0,89}\right) + (3818 + 6237) \cdot \frac{0,407 \cdot 0,015}{0,89} = 582 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$W_B = 0,1 \cdot d_1^3 = 0,1 \cdot 0,055^3 = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$\sigma_{\text{экв}B} = \frac{\sqrt{M_{uB}^2 + (k \cdot M_{uB})^2}}{W_B} = \frac{\sqrt{582^2 + (2 \cdot 582)^2}}{1,7 \cdot 10^{-5}} = 6,1 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

199. Напряжение в сечении В:

$$M_{uB} = k \cdot F_{II} \cdot c \cdot \left(1 - \frac{y_1}{l}\right) + (G_p + T) \frac{a \cdot y_1}{l} = 2 \cdot 3818 \cdot 0,085 \cdot \left(1 - \frac{0,015}{0,89}\right) + (3818 + 6237) \cdot \frac{0,407 \cdot 0,030}{0,89} = 611 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$W_B = 0,1 \cdot d_2^3 = 0,1 \cdot 0,060^3 = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$\sigma_{\text{экв}B} = \frac{\sqrt{M_{uB}^2 + (\alpha \cdot k \cdot M_{uB})^2}}{W_B} = \frac{\sqrt{611^2 + (2 \cdot 611)^2}}{1,7 \cdot 10^{-5}} = 6,71 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

200. Напряжение в сечении Г

$$M_{u\Gamma} = (k \cdot F_{II} \cdot c + (G_p + T) \cdot b) \frac{x_2}{l} = (2 \cdot 3818 \cdot 0,085 + (3818 + 3238) \cdot 0,483) \frac{0,15}{0,89} = 408 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$W_{\Gamma} = 0,1 \cdot d_2^3 = 0,1 \cdot 0,060^3 = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$\sigma_{\text{экв}\Gamma} = \frac{\sqrt{M_{u\Gamma}^2 + (k \cdot \alpha \cdot M_{u\Gamma})^2}}{W_{\Gamma}} = \frac{\sqrt{408^2 + (2 \cdot 408)^2}}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 3,95 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

201. Напряжение в сечении Д

$$M_{uD} = (k \cdot F_{II} \cdot c + (G_p + T) \cdot b) \frac{x_1}{l} = (2 \cdot 3818 \cdot 0,085 + (3818 + 6237) \cdot 0,483) \frac{0,015}{0,89} = 24 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$W_D = 0,1 \cdot d_2^3 = 0,1 \cdot 0,06^3 = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$\sigma_{\text{экв}D} = \frac{\sqrt{M_{uD}^2 + (k \cdot M_{uD})^2}}{W_D} = \frac{\sqrt{24^2 + (2 \cdot 24)^2}}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Из сопоставления полученных данных следует, что наиболее загруженным является сечение В для которого $\sigma_{э\text{кв}А} = 6,71 \cdot 10^7$ Па что меньше допустимого $\sigma_T = 3,6 \cdot 10^8$ Па.

Рассчитаем шарикоподшипники радиальные однорядные.

202. Наибольшая радиальная нагрузка на подшипник расположенный ближе к выходному концу вала:

$$R_a = F_{II} \cdot \frac{c}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{b}{l} = 3818 \cdot \frac{0,085}{0,89} + (3818 + 6237) \cdot \frac{0,483}{0,89} = 4118 \text{ Н}$$

203. Принимаем нагрузку с умеренными толчками ($k_n = 1,5$ - коэффициент учитывающий характер нагрузки двигателя). Для однорядных радиальных подшипников динамическая приведённая нагрузка на один подшипник :

$$Q_A = k_n \cdot R_a = 1,5 \cdot 4118 = 6177 \text{ Н},$$

Принимаем расчётный срок службы подшипников $L_D = 15000$ часов, наибольшая частота вращения 2000 об / мин.

204. Необходимая динамическая грузоподъёмность шарикоподшипника:

$$C_A = \frac{Q_A}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_D \cdot n} = \frac{6177}{25,6} \cdot \sqrt[3]{15000 \cdot 2000} = 74970 \text{ Н},$$

205. Наибольшая радиальная нагрузка на другой подшипник:

$$R_b = F_{II} \cdot \frac{c+l}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{a}{l} = 3818 \cdot \frac{0,086+0,89}{0,89} + (3818 + 6234) \cdot \frac{0,407}{0,89} = 6258 \text{ Н}$$

$$Q_B = k_n \cdot R_b = 1,5 \cdot 6258 = 9387 \text{ Н}$$

$$C_B = \frac{Q_B}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_D \cdot n} = \frac{9387}{25,6} \cdot \sqrt[3]{15000 \cdot 2000} = 113900 \text{ Н}$$

Для передней стороны двигателя выбираем шарикоподшипник тяжелойсерии серии 311 с динамической грузоподъёмностью

$$C = 85000 \text{ Н}.$$

Для задней стороны двигателя выбираем шарикоподшипник тяжёлой серии 411 с динамической грузоподъёмностью

$$C = \qquad \qquad \qquad = \qquad \qquad \qquad 120000 \qquad \qquad \qquad \text{Н}$$

5,Технологический часть

5,1Оценка технологичности конструкции

Сборку машин постоянного тока начинают со сборки индуктора. Сборка индуктора заключается в установке и креплении в корпусе главных и добавочных полюсов с катушками, соединении катушек по электрической схеме, изолировке междукатушечных соединений и проверке правильности соединений. До установки в корпус на сердечники главные и добавочных полюсов помещают катушки. Для предохранения от истирания изоляции катушек о сердечник между сердечником и катушкой устанавливают изоляцию, а в ряде конструкций металлические фланцы. Корпус располагают вертикально. Установка сердечников полюсов с катушками небольшой массы не представляет особых затруднений. Лево́й рукой сборщик поддерживает в корпусе сердечник, а правой вставляет в отверстие корпуса болты и ввертывает их в сердечник полюса. Тяжелые полюса при установке поддерживают с помощью местных подъемников или мостового крана. Болты затягивают тарированными болтовертами. После установки полюсов расстояние между ними проверяют контрольными штихмассами.

Катушки главных и дополнительных полюсов соединяют между собой и выводными кабелями согласно электрической схеме, соединяя наконечники болтами с шайбой и гайками. Междукатушечные соединения и соединения катушек с выводами изолируют несколькими слоями стеклолакоткани и стеклянной ленты. Изоляция выводных кабелей в местах входа и выхода из корпуса машины предохраняют резиновыми втулками, которые устанавливают в корпус. На корпус устанавливают и крепят вводное устройство.

В собранном индукторе обмотку возбуждения подключают к источнику постоянного тока и проверяют полярность полюсов компасом.

Затем собирают подшипниковый щит, устанавливаемый со стороны коллектора, с комплектом щеткодержателей и щеток. Если щеткодержатели

закреплены на отдельных пальцах, то их положение определяется отверстиями под пальцы, которые сверлят в щите по кондуктору. В этом случае щеткодержатели помещают на пальцы, а пальцы крепят в щите гайками. Если щеткодержатели закреплены на кольцевой поворотной траверсе, то их положение определяется отверстиями под пальцы в траверсе, которые сверлятся также по кондуктору. В этом случае щеткодержатели устанавливают на пальцы, а пальцы крепят к траверсе гайками. Для более точной установки щеткодержателей сборку производят в специальных приспособлениях.

После крепления щеткодержателей в них устанавливают щетки, крепление выводов щеток к щеткодержателям и сборку схемы щеток выполняют согласно чертежу. Траверсу помещают на щит и крепят болтом. При сборке щеткодержателей особо важным является обеспечение возможно более высокой точности угла между ними. Это необходимо, потому что в собранной машине при установке щеток в нейтраль щетки будут сдвигаться по коллектору либо поворотом щита, либо поворотом траверсы, в обоих случаях щетки будут поворачиваться все вместе.

На якорь напрессовывают подшипники. Затем якорь балансируют. После сборки индуктора, щита и якоря производят сборку машины. Якорь заводят в индуктор с помощью приспособления, и опускают на полюса.

Затем надевают с обеих сторон подшипниковые щиты, наживляют болты и, заворачивая их, обеспечивают смыкание замков щита и корпуса. При этом для облегчения смыкания замков можно слегка приподнимать щит. В крышках подшипников на $\frac{1}{3}$ заполняют смазкой камеру под смазку, устанавливают крышки на место и заворачивают болты.

На якорь надевают наружные крышки подшипников, напрессовывают вентилятор.

На коллектор опускают щетки, выставляют их на коллекторе в аксиальном направлении и регулируют нажатие пружин. После установки щеток производят их предварительную притирку по радиусу коллектора. Для этого щетки поднимают и обертывают коллектор шкуркой, имеющей мелкое зерно. На

шкурку опускают щетки и делают несколько поворотов якоря вручную. При этом на контактной поверхности щеток образуется радиус, близкий к радиусу коллектора. Окончательная притирка щеток производится в собранной машине на операции обкатки. Затем собирают коробку контактных зажимов, выводят в нее все необходимые кабели от индуктора и якоря. На этом в основном сборка машины заканчивается. Для того чтобы болты не отворачивались, под головки устанавливают разжимные шайбы. Посадочные поверхности щитов и крышек перед сборкой покрывают суриком. После испытания машины и окончательной установки суппорта подтягивают до отказа болт крепления суппорта, а на выступающей фаске щита и суппорте делают риски и заполняют их красной эмалью. При сборке машин постоянного тока возможна другая последовательность операций.

Достоинства данной конструкции двигателя:

- 1) В конструкции двигателя применяются стандартные детали и изделия, что обеспечивает их взаимозаменяемость;
- 2) При сборке двигателя размеры сборочных единиц и деталей обеспечивают собираемость и не требуют дополнительной подгонки.

Недостатки данной конструкции двигателя:

- 1) Сложность конструкции самого двигателя и его сборочных единиц и деталей;
- 2) Сложность доступа при ремонте к коллекторному узлу.
- 3) Сложность изготовления выходного конца вала

Требования, предъявляемые к коллекторам

Коллектор представляет собой наиболее сложный и ответственный узел электрической машины. Это объясняется, во-первых, конструкцией кольца, составленного из большого количества медных пластин, чередующихся с изоляционными прокладками, во-вторых, сложными геометрическими формами сопряжения металлических и изоляционных деталей и, наконец, силовыми явлениями, возникающими под действием центробежных сил и температурных

изменений. Для обеспечения хорошей коммутации биение коллектора в готовой машине должно быть не более 0,03—0,04 мм. Если учесть, что половина этого значения обуславливается зазором подшипников, эксцентриситетом подшипниковых щитов, то на долю допустимого биения коллектора остается 0,007—0,01 мм.

При разработке технологических процессов изготовления коллекторов необходимо обеспечить монолитность конструкции и способность сохранять геометрическую форму в течение всего эксплуатационного периода.

Коллекторы электрических машин по конструкции и технологии изготовления можно разделить на следующие основные типы: коллекторы со стальными втулками арочного типа; коллекторы с бандажными кольцами; коллекторы на пластмассе. Каждый тип коллектора имеет большое количество разновидностей.

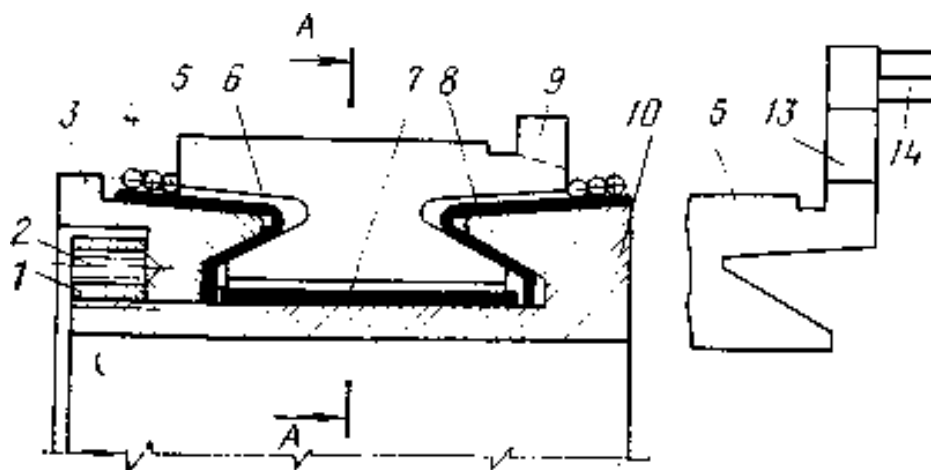


рис.5-Рассмотрим арочный коллектор

Он состоит из коллекторных пластин 5, изоляционного цилиндра 7, изоляционных манжет 8, втулки 10, нажимного конуса 3, гайки 4, стопорного винта 2. Коллекторные пластины изолированы между собой изоляционными прокладками 12. В верхней части пластин располагаются петушки 9, которые имеют прорези // для вкладывания проводников обмотки при пайке. В машинах, у которых диаметр коллектора намного меньше диаметра якоря, для удобства соединения обмотки 14 с коллектором в пластины 5 впаивают ленточные петушки 13. Бандаж 4 крепит манжету 8 и закрывает щель 6 между манжетой и пластиной.

Принцип действия арочного коллектора основан на том, что посредством усилий, создаваемых втулкой и нажимным конусом, пластины прижимаются к центру и между ними создается боковое давление, которое называют арочным распором. Это давление передается на коническую поверхность ласточкиных хвостов пластин через изоляционные манжеты.

Качество коллекторов и их эксплуатационная надежность зависят от правильно выбранного технологического процесса. В настоящей главе рассматривается технология изготовления коллектора до момента его сборки с валом машины. После сборки с валом машины производится ряд операций по отделке наружной поверхности.

5.2 Испытание электрических машин

Приемосдаточным испытаниям следует подвергать каждую электрическую машину по следующей программе: измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками; измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии; испытание изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками на электрическую прочность; испытание междувитковой изоляции обмоток на электрическую прочность.

Кроме того, для каждой машины постоянного тока следует; определить ток возбуждения генератора или частоты вращения двигателя при холостом ходе; проверить номинальные данные машины; проверить коммутацию при номинальной нагрузке и кратковременной нагрузке по току.

Машины постоянного тока следует испытать при повышенной частоте вращения.

Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками. Измерение сопротивления изоляции обмоток производят в практически холодном состоянии машины, в нагретом состоянии (при температуре обмоток, близкой к температуре режима работы) и до и после испытания изоляции обмоток на электрическую прочность. Для измерения сопротивления

изоляции используют мегаомметры на 500 В для электрических машин с номинальным напряжением до 500 В включительно и мегаомметры на 1000 В для электрических машин с номинальным напряжением свыше 500 В. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками выполняют поочередно для каждой независимой электрической цепи при соединении всех остальных цепей с корпусом машины.

Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии. Обмотки рассчитывают в практически холодном состоянии, если их температура отличается от температуры окружающей среды не более чем на ± 3 °С. Измерение может производиться одним из следующих способов: вольтметра и амперметра; одинарного или двойного моста; омметра логометрической системы. При измерении сопротивлений меньших 1 Ом применение одинарного моста не допускается. Во избежание нагрева обмоток измерительный ток должен быть не более 15—20 % номинального тока данной обмотки, а длительность его протекания — не более 1 мин. Приборы следует подбирать так, чтобы класс точности был не ниже 0,5, а измеряемые значения находились в пределах 26—95 % шкалы. Отсчеты рекомендуется производить одновременно

5.3 Организационная форма сборки

Сборка - заключительный технологический процесс. От правильности выбранного технологического процесса и качественного выполнения всех операций зависят надежность и долговечность электрических машин, а также их энергетические показатели.

В качестве организационной формы сборки применяем подвижную форму сборки. Сборочные единицы индуктор и якорь собирают параллельно, после чего поставляют на автоматическую линию, где происходит непосредственная сборка самого двигателя. Собранный двигатель испытывают, окрашивают эмалью, консервируют и упаковывают.

5.4 Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки

После изучения сборочных чертежей 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. Трудоёмкость 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 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.

5.5 Выбор сборочного оборудования и оснастки

Содержание операции определяет тип основные размеры и технологическую характеристику сборочного оборудования, технологической оснастки и подъёмно-транспортных средств.

При сборке двигателя постоянного тока 4П355 осуществляются следующие операции.

- 1) Сборка индуктора . Сборка производится на верстаке.
- 2) Сборка якоря. Сборка производится на верстаке.
- 3) Установка щита подшипникового переднего. Затяжка болтов производится гайковёртом ИЭ – 3113.
- 4) Установка щита подшипникового заднего. Затяжка болтов производится гайковёртом ИЭ – 3113.
- 5) Установка подшипников производится с помощью прессы автоматического.
- 6) Установка крышек подшипниковых наружных. Затяжка винтов производится винтовёртом ИЭ – 3603.
- 7) Испытания проводятся на специальном испытательном стенде.
- 8) Консервация и упаковка. Затяжка винтов на фирменной табличке винтовёртом ИЭ – 3603. упаковка производится вручную.

9) Транспортировка готового изделия до склада производится на каре.

Для нагрева подшипников применяют индукционную установку.

Таль электрическая ТЭ100-511

Технические характеристики

Таблица 3

Управление подъемом и перемещением	кнопочное с пола
Питание силовой цепи	380В, 50Гц
Питание цепи управления	42В, 50Гц
Способ токоподвода	гибкий кабель
Тип и профиль пути	двухтавровые балки 24М, 30М, 36М, 45М
Температурный режим	от -20° до +40° С

Электрические тали (тельферы) являются одними из наиболее распространенных грузоподъемных механизмов. Применяются в качестве механизма подъема на легких грузоподъемных кранах (мостовых однобалочных подвесных и опорных, консольных, козловых, штабелеров) и самостоятельно.

Тали предназначены для подъема, опускания и горизонтального перемещения (по прямым и радиусным участкам пути) грузов массой до 10 тонн, подвешенных на крюк.

Могут работать при температуре окружающей среды от -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Электрические тали поставляются в собранном виде, укомплектованными и готовыми для эксплуатации после монтажа, подключения питания и технического освидетельствования.

Технические характеристики талей электрических передвижны

Таблица 4

Марка тали	Грузоподъемность, т	Высота подъема, м	Мощность двигателей, кВт		Расстояние L, мм	Скорость, м/сек.	
			передвижения	подъема		подъема	передвижения
ГЭ100-511	1,0	6	0,18	1,50	635	0,13	0,53

Индукционный нагреватель для подшипников по принципу действия можно сравнить с электрическим трансформатором, имеющим первичную обмотку с большим числом витков и вторичную короткозамкнутую обмотку, в роли которой выступает подшипник или нагреваемая металлическая деталь с отверстием, через которое проходит магнитопровод трансформатора. Переменный ток большой силы, протекающий во вторичной обмотке - в кольцах

подшипника - вызывает их равномерный нагрев до требуемой температуры. Первичная обмотка и магнитопровод трансформатора при этом не нагреваются.

Индукционный нагреватель для подшипников характеризуется следующим: Оперативно регулируемый нагревательный процесс;

Безопасность для нагревателя; нагревается только рабочая часть прибора;

Отсутствие необходимости использования (технических масел) горячих масляных ванн, нет риска локального перегрева детали;

Применимость для герметизированных подшипников и подшипников с защитной шайбой; Применимость для предварительно смазанных подшипников;

Применимость для подшипников с полиамидной обоймой;

Таблица 5

Напряжение питания	220 В
Мощность	2 кВа
Внутренний диаметр подшипника min	>15 мм
Внешний диаметр подшипника	600 мм
Макс. высота подшипника	500 мм
Макс. вес подшипника	55 кг
Габаритные размеры	320/225/275 Ш/В
Масса	14 кг
Авторазмагничивание	Есть

5.6 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.

Штучное время равно

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{об} + T_{п},$$

где T_o основное (технологическое) время ;

T_v - вспомогательное время;

$T_{об}$ - время организационного обслуживания рабочего места;

$$T_{об} = 0,05$$

$T_{п}$ - время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего.

$$T_{п} = 0,03 T_{оп}$$

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

$$T_{оп} = T_o + T_v .$$

Основное время учитывает изменение состояния продукта производства в процессе сборки. Оно затрачивается на выполнение соединений, регулирование, пригонку сопрягаемых деталей, подбор и размерную сортировку деталей, подготовку деталей к сборке.

При слесарных работах и сборке основное время нормируют по соответствующим нормативам.

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

Время организационного обслуживания рабочего места учитывает затраты времени на подготовку рабочего места к началу работы, замены инструмента в процессе работы, уборку рабочего места в конце смены, смазку и чистку сборочного оборудования и приспособлений и т.п.. Его определяют в процентах от оперативного времени по нормативам (обычно в пределах 0,6-8%).

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

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

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/n$$

где $T_{пз}$ - подготовительно заключительное время, n - число изделий в партии.

Подготовительно заключительным называют время, которое затрагивает сборщик на ознакомление с чертежом изделия, подготовку и наладку оборудования, приспособлений и инструментов, снятие и сдачу инструментов и приспособлений после выполненной работы и сдачу собранных изделий. $T_{пз}$ определяют по нормативам.

$$T_{пз} = 0,02 T_{оп} \quad (2\% \text{ от операц. времени})$$

$$n = N * k / 12 \text{ мес} = 3500 * 1,03 / 12 = 300$$

$N = 3500$ шт/год - годовая программа выпуска.

$K = 1,03$ - коэффициент учитывающий брак.

Для операции сборки

Штучное время равно

$$T_{шт} = T_0 + T_v + T_{об} + T_{п} = 16,4 + 1,6 + 0,863 + 0,517 = 19,38 \text{ мин,}$$

где T_0 основное(технологическое) время ;

T_v - вспомогательное время;

$T_{об}$ -время организационного обслуживания рабочего места;

$$T_{об} = 0,05 T_{оп} = 0,05 * 17,25 = 0,863 \text{ мин.}$$

$T_{п}$ - время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего.

$$T_{п} = 0,03 T_{оп} = 0,03 * 17,25 = 0,517 \text{ мин.}$$

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

$$T_{оп} = T_0 + T_v = 16,4 + 1,6 = 18 \text{ мин}$$

$$T_{пз} = 0,02 * 17,25 = 0,345 \text{ мин.}$$

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/n = 19,38 + 0,345/300 = 19,381 \text{ мин.}$$

Результаты в таблицу.

Таблица 6

Переход	№ опер	T_0	T_v	$T_{оп}$	$T_{об}$	$T_{п}$	$T_{шт}$	$T_{пз}$	$T_{шт.к}$
Собрать двигатель в сборе Верстак	15	16,4	1,6	18	0,863	0,517	19,38	0,345	19,381
Испытания двигателя Испытательный стенд	20	11,5	2,8	14,3	0,65	0,39	15,34	0,26	15,340

контрольная		0,4	0,15	0,55	0,011	0,006	1,117	0,042	1,1171
	30								

Определение потребного количества оборудования

Для определения количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий – 3500, нормы времени (табл. 1), а эффективный годовой фонд времени работы одного станка при 40 – часовой рабочей неделе с двумя выходными можно рассчитать по формуле

$$F_d = ((365 - 104 - 12) * 8) - 6) * 2 * 0.96 = 3814 \text{ часов, где}$$

$V_d=104$ – Количество выходных дней в году;

$P_d=12$ – количество праздничных дней в году;

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

$K_p=0,98$ – коэффициент, учитывающий время пребывания станков в ремонте; количество смен работы оборудования, $Z=2$.

$T_{шт-к}$ – сумма штучно – калькуляционного времени для одного станка;

$N=3500$ – годовая программа выпуска изделий.

Расчётное число каждого из видов сборочного оборудования равно:

$$C_p = (T_{штк} * N) / (60 * F_g) ;$$

Для верстака

$$C_{pv} = (19,38 * 3500) / (60 * 3814) = 0,29 \text{ ,принимаем: } C_{pv}=1;$$

- Для испытательного стенда

$$C_{pp} = (15,34 * 3500) / (60 * 3814) = 0,23 \text{ ,принимаем: } C_{pp}=1;$$

Таким образом коэффициент загрузки

$$K_z = (C_p / C_{pp}) * 100$$

- Для собрать двигателя верстака

$$K_{zv} = (0,29 / 1) * 100 = 29 \%$$

- Для испытательного стенда

$$K_{zv} = (0,23 / 1) * 100 = 23 \%$$

- Для таль электрическая

$$K_{zv} = (0,036 / 1) * 100 = 3,6 \%$$

Для индукционной

установки $K_{зв} = (0,014 / 1) * 100 = 1,4$
%

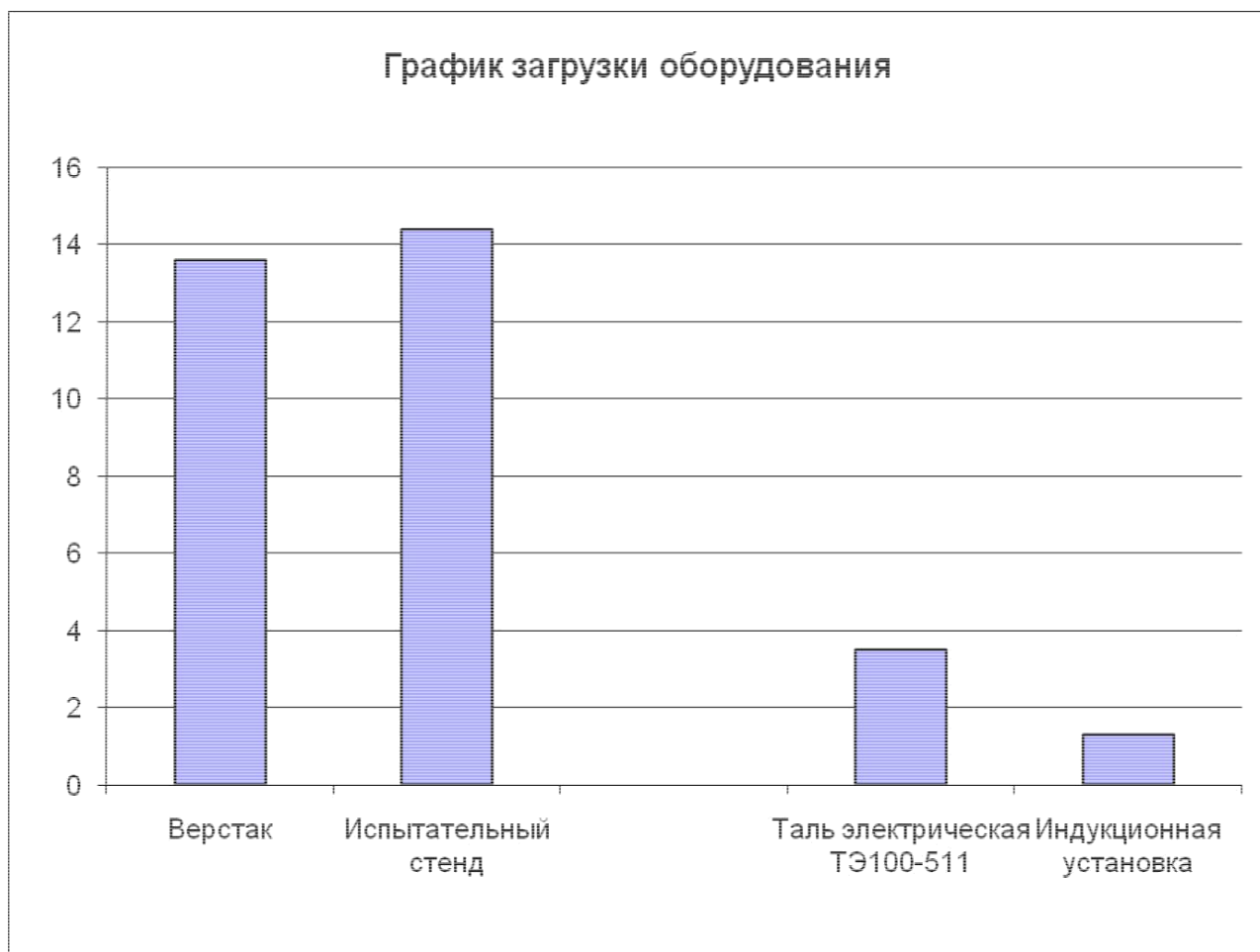


Рис-6-График загрузки оборудования

6. Финансовый менеджмент

6.1. Смета затрат на проектирование

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

Распределение работы между работниками, проектирующими сводим, в табл.7.

Табл. 7 План разработки выполнения этапов проекта.

№ п/п	Перечень выполняемых работ	Исполнители		Разряд	Ошибки (дней)
		Кол- во	Должность		
1	Получение тех. задания на разработку проекта	2	научный руководитель	15	1
			инженер	10	
2	Сбор исходных данных	1	инженер	10	2
3	Ознакомление с технической документацией	1	инженер	10	2
4	Электромагнитный расчет двигателя	1	инженер	10	9
5	Электромагнитный расчет двигателя с другими данными (Спеч. часть)	1	инженер	10	6
6	Проверка выполненных расчётов	2	научный руководитель	15	3
			инженер	10	
7	Выполнение чертежей, схем	2	инженер	10	8
			инженер	9	
8	Расчет технологической части проекта	2	инженер	10	8
			инженер	9	
9	Технико-экономическое	1	инженер	10	4

	обоснование выбора оборудования				
10	Разработка раздела БЖД	1	инженер	10	3
11	Оформление пояснительной записки	1	инженер	10	2
12	Проверка пояснительной записки и чертежей	1	научный руководитель	15	4
			инженер	10	

Занятости исполнителей	научный руководитель	15	8
	инженер	10	52
	инженер	9	16
Длительность работы, дней			52

6.2 Смета затрат на подготовку проекта

Суммарные издержки на проектирование определяем по выражению:

$$\sum I_{\text{проекта}} = I_{\text{з.пл}} + I_{\text{соц}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}},$$

где $I_{\text{з.пл}}$ - издержки на заработную плату;

$I_{\text{соц}}$ - издержки на социальные отчисления;

$I_{\text{мат}}$ - материальные издержки;

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

$I_{\text{пр}}$ - прочие издержки;

$I_{\text{накл}}$ - накладные расходы.

Издержки на заработную плату

Табл. 8 Единая тарифная сетка с учетом занимаемой должности

Должность	Оклад	Доплата	Коэффициент за отпуск	Районный коэффициент	Итоговая зарплата за месяц	Средняя зарплата за один день, руб.	Количество дней работы над проектом	ФЗП
Научный руководитель 15р	23300	2200	1,1	1,3	36179	1722,8	8	13782,4
Инженер 10р	14500		1,1	1,3	20592	980,6	52	51343,8
Инженер 9р	14500		1,1	1,3	20592	980,6	16	15798
Итого					77363	3684,0	60	80924,2

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + D) \cdot k_2}{21} \cdot X \quad \text{или} \quad I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X$$

где: 3 – оклад;

D – доплата за интенсивность труда

k_1 – коэффициент за отпуск (1,1);

k_2 – районный коэффициент (1,3);

21 – количество рабочих дней в месяце;

X – количество рабочих дней затраченных на проект (3 дня).

Зарплата.

Расчет для научного руководителя 15 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + D) \cdot k_2}{21} \cdot X = \frac{(23300 \cdot 1.1 + 2200) \cdot 1.3}{21} \cdot 8 = 13782,4 \text{ (руб.)}$$

Расчет для инженера 9 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{(14500 \cdot 1.1 \cdot 1.3)}{21} \cdot 16 = 15798 \text{ (руб.)}$$

Расчет для инженера 10 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{(14500) \cdot 1.1 \cdot 1.3}{21} \cdot 52 = 51343,8 \text{ (руб.)}$$

Тогда

$$I_{з.пл\Sigma} = \sum I_{з.пл} = 13782,4 + 15798 + 51343,8 = 80924,2 \text{ (руб.)}$$

6.3 Отчисления на социальные нужды.

В статью расходов «отчисления на социальные нужды» закладывается обязательные отчисления по установленным законодательством нормам. Органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования, от элемента «затраты на оплату труда». Размер отчислений на социальные нужды составляет 30% от ФЗП.

$$I_{соц} = 0,3 \cdot I_{з.пл\Sigma} = 0,3 \cdot 80924,2 = 24277,2 \text{ (руб.)}$$

6.4 Материальные затраты на канцелярские товары.

Материальные затраты на канцелярские товары примем в размере 1200 руб. (в условиях цен на канцелярские товары в настоящее время).

$$I_{mat} = 1200 \text{ (руб.)}$$

6.5 Амортизация вычислительной техники.

Основной объем работ по разработке проекта был выполнен на персональном компьютере первоначальной стоимостью 27,5 тысячи рублей.

Произведём расчёт амортизации стоимости ПК

$$I_{ам} = \frac{T_u}{T_{кал}} \cdot \Phi_{кт} \cdot H_{\phi} = \frac{29}{365} \cdot 27500 \cdot \frac{1}{7} = 312,1 \text{ (руб.)}$$

где T_u - количество отработанных дней на ПК;

$T_{кал}$ - количество календарных дней в году;

$\Phi_{кт}$ - первоначальная стоимость ПК;

$H_{\phi} = \frac{1}{T_{сл}}$ - срок полной амортизации.

6.6 Прочие неучтенные затраты.

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

$$I_{np} = 0,1 \cdot (I_{з.пл} + I_{соц} + I_{mat} + I_{ам}) = \\ = 0,1 \cdot (80924,2 + 24277,2 + 1200 + 312,1) = 106713,5 \text{ (руб)}$$

6.7 Накладные расходы.

Накладные расходы составят 16% от ФЗП. Включают в себя затраты на хозяйственное обслуживание помещения, обеспечение нормальных условий труда, оплату за энергоносители и другие косвенные затраты.

$$I_{накл} = 0,16 \cdot I_{з.пл\Sigma} = 80924,2 = 12947,8 \text{ (руб)}$$

6.8 Себестоимость проекта

$$\sum I_{проекта} = I_{з.пл} + I_{соц} + I_{mat} + I_{ам} + I_{np} + I_{накл} = \\ = 80924,2 + 24277,2 + 1200 + 312,1 + 106713,5 + 12947,8 = 226374,8 \text{ (руб)}$$

Табл. 9Смета затрат на подготовку проекта

№ п/п	Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
1	Заработная плата	$I_{з.пл\Sigma}$	80924,2
2	Социальные отчисления	$I_{соц}$	24277,2
3	Материальные затраты	I_{mat}	1 200,0
4	Амортизационные отчисления	$I_{ам}$	312,1
5	Прочие издержки	I_{np}	106713,5

6	Накладные расходы	$I_{накл}$	12947,8
7	Себестоимость проекта	$\sum I_{проекта}$	226347,8

6.9. Оценка технического уровня

Общей схемой количественного анализа конкурентоспособности, которая может применяться на любом этапе существования изделий, является следующая:

2.1. Выбор базового образца, аналогичного по назначению и условиям эксплуатации с оцениваемой продукцией.

2.2. Определение перечня нормативных, технических и экономических параметров, подлежащих исследованию (показать в таблице).

2.3. Сравнение (по каждой из групп параметров) имеющихся параметров с соответствующими параметрами потребности, необходимыми для заказчика (потребителя). Инструментом сравнения является единичный показатель, представляющий собой отношение величины параметра рассматриваемого изделия к величине этого же параметра, необходимого покупателю.

2.4. Подсчет группового показателя на основе единичных показателей. Групповой показатель выражает различие между анализируемыми изделиями по всем группам параметров в целом.

Общими и методологическими принципами при соблюдении данной схемы анализа являются учет предельности отдельных элементов потребности, с тем, чтобы при нахождении образца на предельном уровне потребности не делался вывод о большей конкурентоспособности анализируемого изделия с более высокими, чем у образца аналогичными параметрами; необходимость придания количественной оценки тем параметрам, которые не имеют естественной физической меры (например, комфортность изделия), с использованием экспертных методов; необходимость построения весовой базы для технических параметров на основе всесторонних рыночных исследований.

Любое проектирование в идеале должно начинаться с выявления потребностей потенциальных покупателей. После такого анализа становится возможным вычислить единичный параметрический показатель.

$$q = \frac{p}{p_{100}} P$$

где q - параметрический показатель;

P - величина параметра реального изделия;

P_{100} - величина параметра гипотетического изделия, удовлетворяющего потребность на 100%;

p - вероятность достижения величины параметра; вводится для получения более точного результата с учетом элемента случайности, что позволяет снизить риск осуществления проекта.

Каждому параметрическому показателю по отношению к изделию в целом (т.е. обобщенному удовлетворению потребности) соответствует некий вес d , разный для каждого показателя. После вычисления вычисления всех единичных показателей становится реальностью вычисление обобщенного (группового показателя), характеризующего соответствие изделия потребности в нем (полезный эффект товара)

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i d_i$$

где Q - групповой технический показатель (по техническим параметрам); q_i - единичный параметрический показатель по i -му параметру;

d_i - вес i -го параметра; n - число параметров, подлежащих рассмотрению.

Показатель конкурентоспособности нашего изделия по отношению к изделию другой фирмы k_w будет равен

$$k_{ТП} = \frac{Q_H}{Q_K}$$

где $k_{ТП}$ - показатель конкурентоспособности нового изделия по отношению к конкурирующему по техническим параметрам;

Q_H Q_K ~ соответствующие групповые технические показатели нового и конкурирующего изделия.

$$K_{ТП} = 0,866/0,856 = 1,012$$

Данные для оценки конкурентоспособности разрабатываемого новшества привести в таблице.

Табл. 10 Матрица предпочтений

№ п/п	Наименование	1	2	3	4	5	6	сумма	d_{ij}
1	Коэффициент полезного действия	1	0,5	1,5	0,5	1	1	4,5	0,153
2	Коэффициент мощности $\cos\varphi$	1,5	1	1,5	1,5	0,5	1	6	0,203
3	Пусковой ток	0,5	0,5	1	0,5	1,5	1	4	0,136
4	Пусковой момент	1,5	0,5	1,5	1	1	1,5	5,5	0,186
5	Номинальный ток	1	1,5	0,5	1	1	1	5	0,169
6	Степен защиты	1	1	1	0,5	1	1	4,5	0,153

Табл. 11 Оценка технического уровня новшества

Характеристики	Вес показателей	Новшество		Конкурент		Гипотетический образец	
		P_i	q_i	P_i	q_i	P_{100}	q_{100}
Коэффициент полезного действия, %	0,153	87,8	0,901	88,5	0,908	97,5	1
Коэффициент мощности $\cos\varphi$, %	0,203	87	0,916	85	0,895	95	1
Пусковой ток, А	0,136	0,15	0,75	0,13	0,650	0,2	1
Пусковой момент, $H \cdot M$	0,186	2,01	0,804	2,4	0,960	2,5	1
Номинальный ток, А	0,169	0,050	1	0,05	1	0,05	1
Степен защиты IP	0,153	44	0,647	44	0,647	68	1
Итого			0,866		0,856		1,00

7. Социальная ответственность

7.1 Опасные и вредные производственные факторы

ГОСТ 12.0.003-74. (1999г.)

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твёрдых тел, передаваемые организму человека. Они могут быть причиной расстройства сердечно-сосудистой и нервной системы, а так же опорно-двигательной системы человека.

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

- Отклонение параметров микроклимата на ремонтном участке от установленных норм.
- Шум, при работе с ручным механизированным инструментом (пневмосверлилка).
- Вибрация, при работе с ручным механизированным инструментом (пневмосверлилка).

В цехе на сборочном участке используются вещества, которые оказывают вредное влияние на организм человека. Санитарными нормами установлены предельно - допустимые концентрации вредных примесей в воздухе. Одно из веществ – хромовый ангидрид, его ПДК = 0.01 мг/м^3 , класс опасности – 1; марганец, его ПДК = 0.1 мг/м^3 , класс опасности 2. Также при сборке применяется сварка что влечет за собой образование таких веществ как СО, его ПДК = 20 мг/м^3 , класс опасности 4; Пыль сварочная аэрозоль, её ПДК = 4 мг/м^3 , класс опасности 2. Также образуется пыль, её ПДК = 6.0 мг/м^3 , класс опасности 4.

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.

7.2 Отклонение показателей микроклимата (оптимальные величины показателей микроклимата)

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). СанПиН РУЗ N0203-06

Эти требования устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны помещения, нормируемые следующими параметрами: температура, оптимальная влажность, скорость движения воздушного потока.

Значения перечисленных параметров непосредственно к проектируемому участку приведены в таблице .12

Параметр	Сезон года	
	Холодный	Тёплый
Оптимальная температура, °С	18-20	21-23
Относительная влажность, %	60-40	60-40
Скорость движения воздуха, м/с	0,2	0,3

7.3 Повышенный уровень шума на рабочем месте ГОСТ31310-2006

Шум на производстве - это ещё одна проблема, которая наносит большой экономический и социальный ущерб. Шум не благоприятно воздействует на организм человека, технические и физиологические нарушения, снижает работоспособность и создаёт предпосылки для общих профессиональных заболеваний и производственного травматизма.

В таблице.13 приведены уровни звукового давления, измеренные в восьми октановых полосах со среднегеометрическими частотами.

Уровни звукового давления, Дб, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
99	92	86	83	80	78	78	74

Необходимые условия для снижения шума:

Всё оборудование, применяемое на участке сборки, для снижения шума установлено на виброопорах.

На данном участке, при выполнении мероприятий по сокращению проникновения шумов на улицу, световые проёмы целесообразно закладывать стеклоблоками.

7.4 «Вибрационная безопасность. Общие требования», СанПиН РУз № 0326-16.

Повышенный уровень вибрации по ГОСТ 31319-2006

влияние на здоровье человека импульсной вибрации изучено недостаточно. При необходимости настоящий стандарт можно использовать и для оценки воздействия в форме повторяющихся ударов, но следует учитывать, что при одинаковых количественных оценках эффект воздействия локальной вибрации на состояние здоровья может быть разным в зависимости от вида вибрации. Кроме того, в случае импульсной вибрации (переходных процессов), как правило, возрастает неопределенность оценок параметров. В процессе работы с ручными машинами любого типа и с приводом любого вида (электрическим, пневматическим, гидравлическим, от двигателя внутреннего сгорания), на машинах с ручным управлением, при обработке на станках вручную удерживаемых деталей на кисть и плечо оператора может передаваться значительная вибрация. В зависимости от вида и места проводимых работ эта вибрация может воздействовать как на одну руку, так и на обе руки сразу, являясь источником дискомфорта и снижая производительность труда. Кроме того, установлено, что регулярное длительное воздействие локальной вибрации может быть причиной заболеваний, затрагивающих разные органы человека: кровеносные сосуды, нервную систему, кости, суставы, мышцы, соединительную ткань кисти и предплечья.

Индивидуальные средства защиты

– виброзащитных рукавиц ГОСТ 12.4.010-75

– виброзащитной обуви ГОСТ 12.4.024— 76

«Вибрационная безопасность. Общие требования» СанПиН РУз № 0326-16

7.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны.

Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости организма. В соответствии с характером выполняемых работ освещенность рабочего места по СанПиН РУз № 0209-06 Расчет искусственного освещения ГОСТ 32498-2013 искусственного освещения территорий промышленных предприятий ГОСТ 21.607.

Характеристика объекта	Люминесцентные лампы	Лампы накаливания
Помещения с большим выделением пыли	2,0	1,7
Помещения со средним выделением пыли	1,8	1,5
Помещения с малым выделением пыли	1,5	1,3

Таблица 14 – Значение коэффициента запаса

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.

Система освещения производственных помещений:

Общее равномерное освещение лампами накаливания;

Тип светильника:

Универсальный без затемнителя;

Выполняемые работы имеют высокую точность и относятся к 1 категории.

Размеры производственного помещения:

Высота 5 м;

Длина 48 м;

Ширина 9 м;

Потолок и стены светлые, пол темный.

Площадь помещения:

$$S = AB = 9 \cdot 48 = 432 \text{ м}^2.$$

Находим величину минимально допустимой табличной освещенности:

$$E_n = 100 \text{ лк}$$

По условию слепящего действия высота подвеса светильника над полом:
4м.

Свес светильника:

$$h_e = 1 \text{ м.}$$

Тогда высота подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h = 6 - 1 - 0.8 = 4.2 \text{ м,}$$

где 0.8 - высота рабочей поверхности.

Произведем предварительную разметку светильников. Расстояние между светильниками L определяется, как выгоднейшее:

$$\frac{L}{h} = 1.1 \quad L = 1.1 \cdot 4.2 = 4.64 \text{ м.}$$

Устанавливаем светильники по длине (отступив от стен 2м) на расстоянии 4.4м.

Устанавливаем светильники по ширине (отступив от стен 2м) на расстоянии: 5м.

В результате разметки принимаем 20 светильников.

Для определения коэффициента использования находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{432}{4.2 \cdot (48 + 9)} = 1.8.$$

Коэффициент использования:

$$\eta = 0.43.$$

Расчетный световой поток:

$$F = \frac{E_n kSZ}{n\eta} = \frac{100 \cdot 1.3 \cdot 432 \cdot 1.1}{20 \cdot 0.43} = 7183.3 \text{ лм,}$$

где k - коэффициент запаса;

Z - коэффициент, учитывающий отклонение от средней величины.

По полученному потоку подбираем мощность лампы для работы на напряжение 220 В. Наиболее подходящей лампой является лампа мощностью 500 Вт со световым потоком 8100 лм.

Принимаем 18 светильников. В связи с этим проведем окончательную разметку светильников.

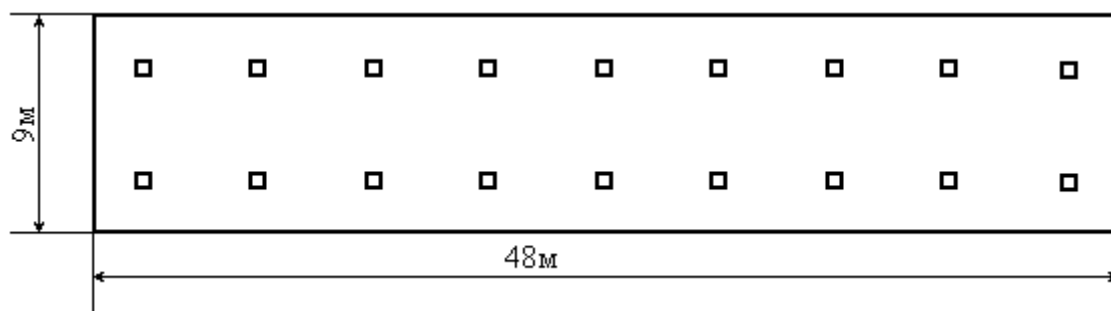


Рисунок 7 – План помещения в масштабе.

1.2 Анализ опасных факторов:

Опасные факторы возникающие при данном технологическом процессе:

- Подвижные части кран балки
 - Поражение электрическим током, при работе испытательной станции.
 - Получение механических травм, при слесарно-сборочных

7.6 Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;

передвигающиеся изделия, заготовки, материалы;

Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы. Вследствие движения машин, механизмов, материалов, а также при ведении ремонтных работ, например при ремонте внутренних частей электропечей, связанном с работой в неудобных условиях (низкие, узкие рабочие камеры и пр.) и эксплуатации различных механизмов, возникает опасность травмирования. В частности, при дробеструйной обработке изделий возможно травмирование при плохом состоянии защитных шторок, бронезащитных щитков, ограждений вращающихся частей и оправок с пружинами на машинах проходного типа. Движущиеся части производственного оборудования, передвигающиеся изделия и заготовки; стружка обрабатываемых материалов, осколки инструментов, высокая температура поверхности обрабатываемых деталей и инструмента; повышенное напряжение в электроцепи или статического электричества, при

котором может произойти замыкание через тело человека — относятся к категории физических опасных факторов.

2. Экологическая безопасность:

Мероприятия по экологической безопасности регламентируются ГОСТ 27384-202.

Негативное воздействие объекта на окружающую среду практически отсутствует кроме небольшого количества отходов в виде отработанных материалов для исследований. Активной формой защиты окружающей среды является переход к безотходным и малоотходным технологиям: разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы. Пассивные методы защиты окружающей среды включают комплекс мероприятий по ограничению выбросов промышленного производства с последующей утилизацией и захоронением отходов

Создание и обустройство санитарно-защитной зоны предприятия. СанПиН РУз №0164-04. Основными источниками загрязнения могут быть отходы (осадок, мусор), образовавшиеся в процессе очистки сточной воды. Переход к безотходным и малоотходным технологиям, разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы, уменьшит загрязнения окружающей среды.

7.7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:

ЧС на объекте: - производственные аварии и пожары ППБ-79;
Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС: в помещениях где идет обслуживания и эксплуатация оборудования установлены огнетушители типа ОУ-5, ОП-5 а так же звуковая и световая сигнализация (ГОСТ 2853а-2014)

Для повышения устойчивости объекта к пожарам необходимо использовать огнеупорные материалы, а также ознакомить персонал с режимом работы объекта в случае возникновения ЧС и обучить выполнению конкретных работ по ликвидации очагов поражения. Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются: составление планов эвакуации; назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц; ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации, который должен висеть на видном месте. Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02-85): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

В случае возникновения пожара спасательные формирования гражданской обороны ГО должны как можно быстрее приступить к работам по спасению людей, действуя совместно с формированиями ГО медицинской службы. Спасатели ГО немедленно начинают эвакуацию, обеспечивают работников средствами индивидуальной защиты, оказывают при необходимости первую медицинскую помощь, вызывают противопожарную охрану. При недостатке сил своего объекта для спасательных работ распоряжением старшего начальника могут привлекаться территориальные формирования ГО и другие силы. До прибытия пожарной охраны возгорание ликвидируется по возможности первичными средствами пожаротушения.

7.8. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.9 Требования безопасности перед началом работы

Надеть спецодежду, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты.

Проверить общее состояние рабочего места и убедиться, что проходы не загромождены, освещены и нет выбоин на полу.

Работать инструментом, отвечающим требованиям ГОСТ 12.2.027-80:

8. Требования безопасности по окончании работы

Проверить наличие инструмента, не оставлять его на месте работы, убрать в шкаф.

Электро-пневмоинструмент сдать в кладовую на проверку исправности, параметров шума и вибрации.

Произвести уборку рабочего места.

Сдать смену – сообщить сменному мастеру или сменщику обо всех недостатках, обнаруженных в оборудовании и инструментах.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны (ГОСТ 12.02.032.78

работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего категории работ - по ГОСТ 12.1.005-88.

Рабочее место должно соответствовать требованиям (ГОСТ 12.02.032.78:рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество; рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте; рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам.

В соответствии с СН-245-71 в помещении должен быть организован воздухообмен. Для улучшения воздухообмена необходимо выполнить следующие технические и санитарно-гигиенические требования: общий объем притока воздуха в помещении должен соответствовать объему вытяжки; правильное размещение приточной и вытяжной вентиляции.

В соответствии с СН-181-70 рекомендуются следующие цвета окраски помещений: потолок - белый или светлый цветной; стены - сплошные, светло-

голубые; пол - темно-серый, темно-красный или коричневый. Применение указанной палитры цветов обусловлено ее успокаивающим воздействием на психику человека, способствующим уменьшением зрительного утомления. При выполнении интерьера, обычно выбирают не более трех основных цветов небольшой насыщенности. Окраска оборудования и приборов, в основном, имеет светлые цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним.

Заключение

В данной работе был выполнен расчет двигателя постоянного тока параллельного возбуждения: исполнения по степени защиты – IP44, по способу охлаждения – IC01, изоляция класса F, за основу была взята машина серии 4П.

В частности был произведен расчет главных размеров двигателя, выбрана и рассчитана обмотка якоря, произведен расчет и проверка магнитной цепи машины, также расчет параллельной обмотки возбуждения, щеточно-коллекторного узла и добавочных полюсов. В заключении был произведен расчет потерь и коэффициента полезного действия машины и сделан подробный чертеж машины постоянного тока с приведенной спецификацией.

В соответствии с заданием рассчитан двигатель и разработаны основные элементы его конструкции. Основные данные двигателя соответствуют требованиям задания и имеют следующие номинальные значения:

$$P_{\text{НОМ}} = 132 \text{ кВт}; n_{\text{НОМ}} = 1800 \text{ об/мин}; \eta = 90\%; I_{\text{НОМ}} = 335,39 \text{ А};$$

$$I_{\text{IНОМ}} = 337,39 \text{ А}; I_{\text{В.НОМ}} = 2 \text{ А};$$

$$P_{\text{IНОМ}} = 142773,2 \text{ Вт}.$$

В результате выполнения курсового проекта выполнен технологический проект общей сборки электродвигателя постоянного тока 4П355, при годовом объеме производства в 3500 штук.

Был проведён анализ технологичности конструкции двигателя, который показал преимущество многих технических решений для оптимизации процесса производства.

Также была составлена маршрутная карта, в которой полно и поэтапно отражены все операции по производству сборки электродвигателя постоянного тока 4П355. В соответствии с маршрутной картой был выполнен выбор оборудования и оснастки.

В разделе безопасность и экологичность проекта произведен анализ опасных и вредных факторов, имеющих место на Электромоторных участках на предприятиях механической обработки станины двигателя. Проведен анализ

причин травматизма, а также определены меры по технической безопасности жизнедеятельности человека, противопожарной безопасности, производственной санитарии, по охране труда и окружающей среды.

Список используемых источников

1. Копылов И.П. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / под ред. И. П. Копылова. – 4-е изд., исправленн. и доп. – М.: Высшая школа, 2005. – 767 с.
2. Кацман М. М. Электрические машины: Учеб. Для учащихся электротехн. спец. техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Высш. шк., 1990. – 463 с.: ил.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В3-х т. – М.: Машиностроение, 1982.
4. 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.
5. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. –М.: Высш.шк., 1985. –416 с.
6. Замятин В.К. технология и оснащение сборочного производства машиностроения: Справочник. –М.: Машиностроение, 1995. –608 с.
7. Сборка и монтаж изделий машиностроения. Справочник.- Т.1.Сборка машиностроения./Под ред. В.С.Корсакова. В.К.замятина. –М.: Машиностроение, 1983. –480 с.
8. Белов, Сергей Викторович. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) [Электронный ресурс] : учебник для бакалавров / С. В. Белов. — 4-е изд. — Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740МВ). — Москва: Юрайт, 2013. — 1 Мультимедиа CD-ROM. — Бакалавр. Базовый курс. — Бакалавр. Углубленный курс. — Электронные учебники издательства Юрайт. — Электронная копия печатного издания. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Pentium 100 MHz, 16 Mb RAM, Windows 95/98/NT/2000, CDRом, SVGA, звуковая карта, InternetExplorer 5.0 и выше.Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2013/FN/fn-2440.pdf>

9. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда : учебное пособие для вузов / П. П. Кукин [и др.]. — 5-е изд., стер. — Москва: Высшая школа, 2009. — 335 с.: ил. — Для высших учебных заведений. —Безопасность жизнедеятельности. — Библиогр.: с. 333.

10. Беспалов, Валерий Иванович. Надзор и контроль в сфере безопасности. Радиационная защита : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / В. И. Беспалов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 4-е изд. — Москва: Юрайт, 2016. — 508 с.: ил. — Университеты России. — Библиография в конце лекций. — Предметный указатель: с. 505-507.

11. Давыдов, Борис Ильич. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений / Б. И. Давыдов, В. С. Тихончук, В. В. Антипов. — Москва: Энергоатомиздат, 1984. — 177 с.: ил.: 21 см.