

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

Институт Электронного Обучения
Специальность **140400** «Электромеханика»
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование двигателя постоянного тока для привода токарного станка УДК 621.313.2:621.941.1-2/.31-2.001.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Э1	Мусаев Дилмурад Миркадинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Серов Александр Борисович	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.		

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

Институт Электронного обучения
Направление подготовки (специальность) **140400 «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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Э1	Мусаев Дилмурад Миркадинович.

Тема работы:

Проектирование двигателя постоянного тока для привода токарного станка	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 10939/с от 28.12.2016г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	13.06.2017г
--	-------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Мощность 46 кВт; напряжение питания 440 В; высота оси вращения 180 мм; частота вращения 1320 об/мин; степень защиты IP 44; конструктивное исполнение IM1001; система охлаждения ICO1.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none">1. Электромагнитный расчет электродвигателя.2. Технологический процесс обшей сборки двигателя постоянного тока.3. Оценка технического уровня.4. Безопасность технологического процесса изготовления обмотки статора двигателя постоянного тока

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Сборочный чертеж двигателя постоянного тока. 2. Электромагнитный расчет. 3. Схема обмотки якоря. 4. Пазовая зона двигателя постоянного тока. 5. Технологический часть.</p>
---	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>«Электромагнитный расчет»</p>	<p>Столярова О.О.</p>
<p>«Технологическая часть»</p>	<p>Баранов П.Р.</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Фигурко А.А.</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Король И.С.</p>

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Серов Александр Борисович.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Э1	Мусаев Дилмурад Миркадинович.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА ПО ТЕМЕ:
«ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Э1	Мусаеву Дильмураду Миркадировичу

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	140400 «Электромеханика»

Исходные данные к разделу «Технологический процесс общей сборки двигателя постоянного тока»

1. Сборочный чертеж двигателя постоянного тока, спецификация;	
2. Годовая программа выпуска изделия 8000 штук	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конструкции электрической машины на технологичность	2. Составить схему сборки электрической машины
3. Выбрать оборудование, приспособления для сборки и испытаниям электрической машины	4. Разработать маршрутную технологию сборки электрической машины
5. Определить нормы времени на операции и оборудование	6. Построить график загрузки оборудования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.09.16
---	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Баранов П.Р.	к.т.н., доцент		10.02.17

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Э1	Мусаев Д.М.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Э1	Мусаеву Дильмуруду Миркадировичу

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	140400 « <u>Электромеханика</u> »

Исходные данные к разделу

«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	- Техничко-экономическое обоснование, оценка научно-технического уровня
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	- планирование выполнения проекта, формирование бюджета
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	- 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	Мусаев Дильмурад Миркадирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Э1	Мусаеву Дилмуроду Миркадировичу

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	<u>140400</u> <u>«Электромеханика»</u>

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 с параллельным возбуждением для привода токарного станка. Алмалыкского горно-металлургического комбината. Центральные ремонтные механические заводы. Механическая цех, участка.</i>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p><i>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i></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><i>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i></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>1.1 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». ГОСТ 12.0.003-74.(1999г.)</i></p> <p><i>Анализ вредных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата (оптимальные величины показателей микроклимата); – повышенный уровень шума на рабочем месте ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» (85-90 дБА); – повышенный уровень вибрации ГОСТ 12.1.012 – 2004 ССБТ «Вибрационная безопасность. Общие требования», СанПиН РУз №0190-05. Санитарные нормы общей и локальной вибрации на рабочих местах(80 дБ); – повышенный уровень электромагнитных излучений; (5кВ/м)ГОСТ 12.1.002 – 84 – недостаточная освещенность рабочей зоны. СанПин РУз №0209-06 Расчет искусственного освещения (разряд IV, подразряд "в"). <p><i>1.2 Анализ опасных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; – передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, напряжение прикосновение и тока; ГОСТ 12.1.030-82 (1997г.)
--	---

	– – применение средств индивидуальной защиты (ГОСТ 12.74.011-89)
2. Экологическая безопасность: <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><i>Не несет опасных и вредных воздействий на атмосферу и литосферу</i></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», СанПиН РУз №0164-04. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» – ликвидация несанкционированных свалок отходов; – на наших участке без отходные работе.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <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"> – Возможность ЧС при обслуживании и эксплуатации электрооборудования: повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; пожароопасность – наиболее типичной ЧС: поражение электрическим током и пожары. – 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 пожарная сигнализация (ГОСТ №2853а-2014), средства индивидуальной защиты обеспечивают защиту отдельного человека с помощью специальной одежды, обуви. – разработка действий в результате возникновения ЧС: оборудования находящееся под напряжением должны быть обесточены и оказать пострадавшим первую медицинскую помощь.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <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"> – Требование ТБ на рабочих местах перед началом работе. – требование ТБ во время работе – требование ТБ после окончания работе. – Трудовой кодекс РУз. гл.5 «Случаи предоставления гарантий и компенсации». – Правило внутреннего трудового распорядка ЦРМЗ – Организационные мероприятий при компоновке рабочей зоны (ГОСТ 12.02.033-78)

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Э1	Мусаеву Дилмуроду Миркадировичу		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 103 стр., 7 рисунков, 9 таблиц, 9 источников, 2 графического материала.

Двигатель постоянного тока параллельным возбуждением, механическая характеристика.

Объектом проектирования является двигатель постоянного тока с параллельным возбуждением для привода токарного станка проектирование двигателя в соответствии с особенностями работы.

В процессе работы спроектирован двигатель постоянного тока, а именно: рассчитаны главные размеры, обмотка индуктор, якоря, магнитные цепи, потери, рассчитаны рабочие и механические характеристики, произведен механический расчет вала и тепловой расчет двигателя. Также разработан технологический процесс общей сборки двигателя, рассчитана себестоимость данного проекта. В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе изготовления обмоток двигателя.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2013, чертежи выполнены в графических редакторах Компас-3DV16.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	11
I. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РАСЧЁТ.....	12
1.1 Выбор главных размеров.....	12
1.2 Выбор обмотки якоря	14
1.3 Расчет геометрии зубцовой зоны.....	18
1.4 Определение размеров магнитной цепи	22
1.5 Средние длины магнитных линий.....	26
1.6 Индукция в расчётных сечениях магнитной цепи	27
1.7 Магнитное напряжение отдельных участков магнитной цепи.....	29
1.8 Расчет параллельной обмотки возбуждения	32
1.9 Коллектор и щетки.....	34
1.10 Расчет обмотки добавочных полюсов.....	35
1.11 Потери и КПД.....	37
1.12 Рабочие характеристики.....	39
1.13 Тепловой расчет	41
1.14 Вентиляционный расчет	47
II. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ	49
III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	56
3.1 Оценка технологичности конструкции.....	56
3.2 Испытания электрических машин	61
Организационная форма сборки.....	62
3.4 Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки	62
3.5 Выбор сборочного оборудования и оснастки.....	64
3.6 Нормирование сборочных работ и расчет количества технологического оборудования для обеспечения заданной программы.....	65
3.7 Определение потребного количества оборудования	68
IV. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	70
4.1 Смета затрат на проектирование	70

4.2 Смета затрат на подготовку проекта	71
4.3 Отчисления на социальные нужды.....	72
4.4 Материальные затраты на канцелярские товары.	73
4.5 Амортизация вычислительной техники.	73
4.6 Прочие неучтенные затраты.....	73
4.7 Накладные расходы.....	74
4.8 Себестоимость проекта.....	74
4.9 Оценка технического уровня	74
V. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА.....	80
5.1 Анализ опасных и вредных факторов	80
5.2 Производственная санитария.....	81
5.3 Расчет искусственного освещения	83
5.3.1 Выбор источников света.....	83
5.3.2 Выбор системы освещения.....	84
5.3.3 Выбор осветительных приборов.....	84
5.3.4 Выбор коэффициента запаса.....	85
5.3.5 Размещение осветительных приборов	85
5.4 Микроклимат	87
5.5 Техника безопасности.....	90
5.6 Пожарная безопасность	95
5.7 Охрана окружающей среды.....	99
5.8 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	103
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	104

ВВЕДЕНИЕ

В общем объеме производства электротехнической промышленности электрические машины занимают ведущее место, а поэтому эксплуатационные свойства новых электрических машин имеют важное значение для экономики России.

Проектирование электрических машин основано на знании процессов электромеханического преобразования энергии и опыта инженеров – электромехаников, умеющих применять вычислительную технику.

При проектировании электрических машин конструктивные элементы должны быть рассчитаны так, что бы при изготовлении машины трудоёмкость и расход материалов были наименьшими, а при эксплуатации они должны обладать оптимальными энергетическими показателями с учетом современного мирового уровня изготовления, а также требований государственных и отраслевых стандартов.

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.

В данном проекте производится расчет двигателя постоянного тока параллельного возбуждения без стабилизирующей обмотки, исполнения по степени защиты – IP44, по способу охлаждения – IC01 (самовентиляция).

I. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РАСЧЁТ

1.1 Выбор главных размеров

Предварительное значение КПД (η_n) = 88,5%

Номинальный ток (предварительное значение) определяется по формуле:

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\eta_H \cdot U_H}, A \quad (1.1)$$

$$I_H = \frac{46000}{0,885 \cdot 440} = 118,1 \text{ A}$$

Ток якоря определяется по формуле:

$$I = \frac{P_H \cdot 10^3}{U_H} \cdot (1 - K_B), A$$

где K_B – коэффициент, который для машин мощностью от 10 – 100 кВт берется в интервале 0,035 – 0,02;

$$I = \frac{46000}{440} \cdot (1 - 0,025) = 115,2 \text{ A}$$

Электромагнитная мощность для электрических машин общего назначения:

$$P' = P_H \cdot \frac{1 + \eta_H}{2\eta_H}, \text{ кВт}$$

$$P' = 46 \cdot \frac{1 + 0,85}{2 \cdot 0,85} = 48,99 \text{ кВт}$$

Наружный диаметр машины определяется из уравнения:

$$D_H = 2 \cdot h - (8 \div 10) \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$D_H = 2 \cdot 0,18 - 1 \cdot 10^{-3} = 0,35 \text{ м}$$

Для четырех полюсной машины ($2p = 4$) $D \approx h$.

$$D = D_H / 2 = 0,35 / 2 = 0,175 \text{ м}$$

Линейная нагрузка якоря равняется $A'' = 23000 \text{ А/м}$;

Индукция в воздушном зазоре равняется $B_\delta = 0,83 \text{ Тл}$;

Расчетный коэффициент полюсной дуги $\alpha_\delta = 0,64$;

Расчетная длина якоря:

$$l''_\delta = \frac{6,1 \cdot P' \cdot 10^3}{\alpha_\delta \cdot A'' \cdot B_\delta \cdot D^2 \cdot n_H}, \text{ м}$$

$$l''_\delta = \frac{6,1 \cdot 48,99 \cdot 10^3}{0,64 \cdot 2,3 \cdot 10^4 \cdot 0,83 \cdot 0,175^2 \cdot 1320} = 0,605 \text{ м}$$

Отношение длины магнитопровода якоря к его диаметру:

$$\lambda = \frac{l''_\delta}{D} \quad (1.6)$$

$$\lambda = \frac{0,605}{0,175} = 3,46$$

Для машины общепромышленного применения рекомендованные значения λ находятся в пределах $0,4 \leq \lambda \leq 3,8$. Данное отношение допустимо с погрешностью $\pm 10\%$.

Число полюсов машины равно $2p = 4$;

Полюсное деление:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p}, \text{ м} \quad (1.7)$$

$$\tau = \frac{3,14 \cdot 0,175}{4} = 0,137 \text{ м}$$

Расчетная ширина полюсного наконечника:

$$b_p = \alpha_\delta \cdot \tau, \text{ м} \quad (1.8)$$

$$b_p = 0,64 \cdot 0,137 = 0,088 \text{ м}$$

Действительная ширина полюсного наконечника равна расчётной ширине при эксцентричном зазоре $b_\delta = b_p$;

1.2 Выбор обмотки якоря

Ток параллельной ветви:

$$I_a = \frac{I}{2a}, A$$

$$I_a = \frac{115}{2} = 58 A$$

Предварительное общее число эффективных проводников обмотки якоря:

$$N' = \frac{\pi \cdot D \cdot A''}{I_a}$$

$$N' = \frac{3,14 \cdot 0,755 \cdot 2,3 \cdot 10^4}{58} = 219,6$$

Крайние пределы чисел пазов якоря:

$$Z_{\min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1\max}} \quad Z_{\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1\min}}$$

где t_1 – зубцовый шаг, крайние пределы которого определяются для различных высот вращения из следующих соотношений:

h, мм	80–200	225–315	355–500
t, мм	10–20	15–35	18–40

$$t_{1\max} = 16 \quad t_{1\min} = 10$$

$$Z_{\min} = \frac{3,14 \cdot 175}{16} = 34,4 \quad Z_{\max} = \frac{3,14 \cdot 755}{10} = 55$$

Принимаем $Z=37$.

При выбранном Z зубцовый шаг равен:

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{Z}, m$$

$$t_1 = \frac{3,14 \cdot 0,755}{37} = 0,015 \text{ м}$$

Число эффективных проводников в пазу (целое число):

$$N_n = \frac{N'}{Z}$$

$$N_n = \frac{219,6}{37} = 5,9$$

Принимаем $N_n=6$

$$N = Z \cdot N_n = 37 \cdot 6 = 222$$

Максимальное число коллекторных пластин:

$$K = u_n \cdot Z \quad (2.7)$$

Число коллекторных пластин K выбираем, сравнивая пять вариантов для различных чисел секционных сторон в пазу (табл. 1)

Таблица 1 Варианты выполнения обмотки якоря

Номер варианта	Уп	$K=U_{\text{п}} \cdot Z$	$W_c=N/2K$	$U_{\text{к.ср}}=2pU/K$
1	1	37	3,0	47,6
2	2	74	1,5	23,8
3	3	111	1,0	15,9
4	4	148	0,8	11,9
5	5	185	0,6	9,5

где u_n – число элементарных пазов в одном реальном

Исходя из допустимого напряжения между коллекторными пластинами ($U_{\text{к.ср}} < 16 \text{ В}$ для машин без компенсационной обмотки) и из необходимости обеспечения целого числа витков в секции W_c , выбираем вариант № 3.

Напряжения между соседними коллекторными пластинами:

$$U_{\text{к.ср.}} = \frac{2p \cdot U_H}{K}, \text{ В}$$

$$U_{\text{к.ср.}} = \frac{4 \cdot 440}{111} = 15,9 \text{ В}$$

Коллекторное деление:

$$t_k = \frac{\pi \cdot D_k}{K}, \text{ м}$$

где D_k – диаметр коллектора.

По таблице предпочтительного ряда чисел (параграф 10.4 [1]) принимаем диаметр коллектора $D_k = 112 \text{ мм}$

$$t_k = \frac{3,14 \cdot 0,112}{37} = 0,00317 \text{ м}$$

Число витков в секции (целое число):

$$W_c = \frac{N}{2 \cdot K}$$

$$W_c = \frac{222}{2 \cdot 111} = 1$$

Уточненное значение линейной нагрузки:

$$A = \frac{N \cdot I_a}{\pi \cdot D}, \text{ А/м}$$

$$A = \frac{222 \cdot 58}{3,14 \cdot 0,175} = 23250 \text{ м}$$

Скорректированная длина якоря:

$$l_\delta = l_\delta'' \cdot \frac{A''}{A}, \text{ м}$$

$$l_\delta = 0,605 \cdot \frac{23000}{23250} = 0,599 \text{ м}$$

Окружная скорость коллектора:

$$v_k = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n_H}{60}, \text{ м/с}$$

$$v_k = \frac{3,14 \cdot 0,112 \cdot 1320}{60} = 7,74 \text{ м/с}$$

Полный ток паза:

$$I_{II} = I_a \cdot N_n, \text{ А}$$

$$I_{II} = 58 \cdot 6 = 346 \text{ А}$$

Предварительное значение плотности тока в обмотке якоря:

$$J_a = \frac{A \cdot J_a}{A}, A/m^2$$

где $A \cdot J_a = 2,7 \cdot 10^{11} \text{ A}^2/m^3$

$$J_a = \frac{2,7 \cdot 10^{11}}{23250} = 11,2 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$$

Расчет шагов обмотки:

Шаг по коллектору Y_K :

$$Y_K = \frac{K-1}{P},$$

$$Y_K = \frac{111-1}{2} = 55 \quad Y = Y_K = 55$$

Первый частичный шаг по реальным пазам Y_{1i} :

$$Y_{1i} = \frac{Z}{2\delta} \pm \Sigma, (4.8)$$

где Σ – дробное число, с помощью которого Y_1 округляется до целого числа. Примем $\Sigma=1/4$

$$Y_{1i} = \frac{37}{4} - \frac{1}{4} = 9$$

Первый частичный шаг по коллектору

$$Y_1 = u_i \cdot Y_{1i} = 3 \cdot 9 = 27$$

Полный шаг по коллектору

$$Y_e = \frac{\hat{E}-1}{\delta} = \frac{111-1}{2} = 55$$

Второй частичный шаг по коллектору

$$Y_2 = Y - Y_1 = 55 - 27 = 28$$

1.3 Расчет геометрии зубцовой зоны

По рекомендации гл.3 [1] (проектируемая машина больше 40 кВт) выбираем пазы прямоугольные (рис. 3.1). Магнитопровод якоря выполняем из стали 2312 с толщиной листов 0,5 мм.

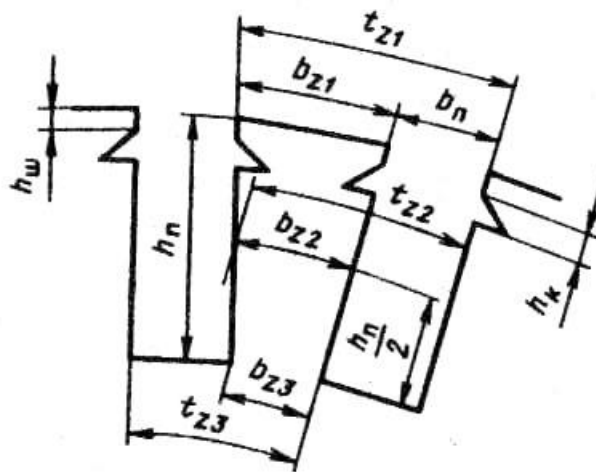


Рис. 1 Размеры пазов прямоугольной формы

Диаметр вала ориентировочно:

$$D_0 = 0,3 \cdot D, \text{ м}$$

$$D_0 = 0,3 \cdot 0,175 = 0,053 \text{ м}$$

Принимаем $D_0 = 0,060 \text{ м}$

Высота паза $h_n = 0,025 \text{ м}$ по рис. 10.12 [1] (предварительно)

Минимальная ширина зубца

$$b_z = \frac{B_\delta \cdot t_1}{B'_z \cdot K_C}, \text{ м}$$

где $B'_z = 2,0 \text{ Тл}$ - индукция в наиболее узком сечении зубца по табл. 10.12

[1]

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

$$b_z = \frac{0,83 \cdot 0,015}{2 \cdot 0,95} = 0,0065 \text{ м}$$

Предварительное значение ЭДС

$$E = U \cdot k_d$$

где $k_d = 0,9$ - по таблице 10.8 [1]

$$E = 440 \cdot 0,9 = 396 \text{ В}$$

Предварительное значение магнитного потока на полюс

$$\Phi = \frac{60 \cdot E \cdot a}{p \cdot N \cdot n}, \text{ Вб}$$

$$\Phi = \frac{60 \cdot 396 \cdot 1}{2 \cdot 222 \cdot 1320} = 0,041 \text{ Вб}$$

Высота спинки якоря

$$h_j = \frac{\Phi}{2 \cdot l_\delta \cdot K_c \cdot B_j}, \text{ м}$$

где $B_j = 1,2 \text{ Тл}$ - индукция ярма якоря по табл. 10.10 [1].

$$h_j = \frac{0,041}{2 \cdot 0,599 \cdot 0,95 \cdot 1,2} = 0,03 \text{ м}$$

Ширина паза b_n (предварительно)

$$b_n = \pi \frac{(D - 2 \cdot h_n)}{Z} - b_z, \text{ м}$$

$$b_n = \pi \frac{(0,175 - 2 \cdot 0,025)}{37} - 0,0065 = 0,0041, \text{ м}$$

Высота проводника с изоляцией

$$a_{\text{пр.из}} = \frac{h_n - h_{\text{кл}} - h_{\text{ш}} - h_{\text{из}}}{2 \cdot w_c}, \text{ мм}$$

где $h_{\text{кл}} = 4 \text{ мм}$ - высота клина (по табл. 10.5 [1])

$h_{ш} = 1 \text{ мм}$ - высота шлица(по табл. 10.5 [1])

$h_{из} = 4,8 \text{ мм}$ - высота изоляции(по табл. 10.5 [1])

$$a_{пр.из} = \frac{25 - 4 - 1 - 4,8}{2 \cdot 1} = 7,6 \text{ мм}$$

Высота проводника, исходя из соображений уменьшения эффекта вытеснения тока, не должна превышать 4 мм при частоте перемагничивания >100 Гц, 7 мм при частоте перемагничивания 50 Гц, 10 мм при частоте перемагничивания <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 перемагничивания.

Принимаем число элементарных проводников $n_{эл} = 2$, тогда высота элементарного проводника с изоляцией

$$a_{пр.из.эл} = \frac{a_{пр.из}}{n_{эл}} = \frac{7,6}{2} = 3,8 \text{ мм}$$

Ширина проводника с изоляцией

$$b_{пр.из} = \frac{(b_n - b_{из})}{u_n}, \text{ мм, где}$$

$b_{из} = 1,7 \text{ мм}$ - ширина изоляции(по табл. 10.5 [1])

$$b_{пр.из} = \frac{(4,1 - 1,7)}{3} = 0,81 \text{ мм}$$

Для обмотки якоря выбираем прямоугольный провод ПЭТП-155 класса нагревостойкости F Согласно размерам изолированных проводников и толщине изоляции по табл. П.3.2. [1] выбираем элементарный проводник со следующими размерами:

Больший размер провода- с изоляцией $a_{пр.из.эл} = 3,97 \text{ мм}$ - без изоляции

$$a_{пр.эл} = 3,75$$

Меньший размер провода- с изоляцией $b_{пр.из.эл} = 1,02 \text{ мм}$ - без изоляции

$$b_{пр.эл} = 0,8 \text{ мм}$$

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

Сечение элементарного проводника $q_{эл} = 2,863 \times 10^{-6} \text{ м}^2$

Плотность тока в обмотке якоря

$$J_a = \frac{I_a}{q_{эл} \cdot n_{эл}} = \frac{57,6}{2,863 \cdot 10^{-6} \cdot 2} = 1,006 \cdot 10^7 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

Удельная тепловая нагрузка якоря $A_1 \cdot J_1$

$$A_1 \cdot J_1 = 23250 \cdot 1,006 \cdot 10^7 = 2,339 \cdot 10^{11} \frac{\text{А}^2}{\text{м}^3}$$

Данное произведение не превышает максимально допустимого значения (по рис. 10.11 [1]).

Высота паза

$$h_n = 2 \cdot w_c \cdot a_{пр.из.эл} \cdot n_{эл} + h_{из} + h_{кл} + h_{ш} = 2 \cdot 1 \cdot 3,97 \cdot 2 + 4,8 + 4 + 1 = 25,7 \text{ мм}$$

Ширина паза

$$b_n = u_n \cdot b_{пр.из.эл} \cdot b_{из} = 3 \cdot 1,02 \cdot 1,7 = 4,76 \text{ мм}$$

Наружнеезубцовое деление якоря

$$t_{z1} = \pi \frac{D}{Z} = \pi \frac{0,175}{37} = 14,9 \text{ мм}$$

Среднее зубцовое деление якоря

$$t_{zcp} = t_{z2} = \pi \frac{D - h_n}{Z} = \pi \frac{0,175 - 27,7}{37} = 12,7 \text{ мм}$$

Зубцовое деление якоря у основания

$$t_{z3} = \frac{D - 2h_t}{Z} = \frac{0,175 - 2 \cdot 27,7}{37} = 10,5 \text{ мм}$$

Средняя ширина секции обмотки

$$b_{cp} = t_{zcp} \cdot y_{1n} = 0,0127 \cdot 9 = 0,114 \text{ м}$$

Средняя длина лобовой части обмотки

$$l_n = 1,2 \cdot b_{cp} + h_n + 0,04 = 1,2 \cdot 0,114 + 0,0257 + 0,04 = 0,203 \text{ м}$$

Средняя длина витка обмотки якоря

$$l_{acp} = 2 \cdot (l_\delta + l_n) = 2 \cdot (0,599 + 0,203) = 1,602 \text{ м}$$

Длина вылета лобовой части обмотки

$$l_{л.выл} = 0,3 \cdot b_{cp} + \frac{h_n}{2} + 0,02 = 0,3 \cdot 0,114 + \frac{0,0257}{2} + 0,02 = 0,067 \text{ м}$$

Сопротивление обмотки якоря при температуре 20°C

$$R_a = p_m \cdot \frac{N \cdot l_{acp}}{2 \cdot (2 \cdot a)^2 \cdot q_{эл1} \cdot n_{эл}} \text{ Ом, где}$$

$$p_m = \frac{10^{-6}}{57} \text{ Ом} \cdot \text{м} - \text{удельное сопротивление меди}$$

$$R_a = \frac{10^{-6}}{57} \cdot \frac{222 \cdot 1,602}{2 \cdot (2 \cdot 1)^2 \cdot 2,863 \cdot 10^{-6} \cdot 2} = 0,136 \text{ Ом}$$

Масса обмотки якоря

$$M_a = \gamma_m \cdot \frac{N}{2} \cdot l_{acp} \cdot q_{эл1} \cdot n_{эл}, \text{ кг, где}$$

$$\gamma_m = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{удельная плотность материала обмотки статора}$$

$$M_a = 8900 \cdot \frac{222}{2} \cdot 1,602 \cdot 2,863 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 9,06 \text{ кг}$$

1.4 Определение размеров магнитной цепи

Высота спинки якоря (см. рис. 3.1):

$$h_j = \frac{D - D_0}{2} - h_n, \text{ м}$$

$$h_j = \frac{0,175 - 0,060}{2} - 0,0257 = 0,032 \text{ м}$$

Воздушный зазор (по рис. 10.17 [1]) $\delta = 1,5 \text{ мм}$

Магнитный поток в воздушном зазоре Φ_δ (предварительно)

$$\Phi_\delta = B_\delta \cdot b_p \cdot l_\delta, \text{ Вб}$$

$$\Phi_\delta = 0,83 \cdot 0,088 \cdot 0,599 = 0,044 \text{ Вб}$$

Главные полюса

Для главных полюсов принимаем:- Сталь 3411 толщиной 1мм-
 Коэффициент рассеяния полюсов $\sigma_2 = 1,2$ - Коэффициент заполнения сталью
 $k_{CT} = 0,98$

Для стали 3411 индукция в сердечнике главного полюса принимается
 из диапазона $B_r = (1,6-1,7) \text{ Тл}$

Принимаем индукцию в сердечнике главного полюса $B_r = 1,65 \text{ Тл}$

Ширина сердечника главного полюса b_2

$$b_2 = \frac{\sigma_r \cdot \Phi_\delta}{k_{CT} \cdot l_\delta \cdot B_r}, \text{ м}$$

$$b_2 = \frac{1,2 \cdot 0,044}{0,98 \cdot 0,599 \cdot 1,65} = 0,054 \text{ м}$$

Ширина выступа полюсного наконечника:

$$b_{r.B.} = \frac{b_p - b_r}{2}, \text{ м}$$

$$b_{r.B.} = \frac{0,088 - 0,054}{2} = 0,017 \text{ м}$$

Длина станины:

$$l_c = l_\delta + 0,4 \cdot D \text{ м}$$

$$l_c = 0,599 + 0,4 \cdot 0,175 = 0,669 \text{ м}$$

Длина стали якоря:

$$l_s = l_\delta \cdot K_C, \text{ м}$$

$$l_s = 0,599 \cdot 0,95 = 0,569 \text{ м}$$

Высота станины:

$$h_c = \frac{\sigma_r \cdot \Phi_\delta}{2 \cdot l_\delta \cdot B_c}, \text{ м (5.8)}$$

Для станины применяем сталь марки Ст.3. Для такой стали индукция в
 станине принимается из диапазона $B_c = (1,2-1,3) \text{ Тл}$.

Принимаем индукцию в станине $B_c = 1,25 \text{ Тл}$.

$$h_c = \frac{1,2 \cdot 0,044}{2 \cdot 0,599 \cdot 1,25} = 0,035 \text{ м}$$

Внутренний диаметр станины:

$$d_c = D_H - 2h_c, \text{ м}$$

$$d_c = 0,350 - 2 \cdot 0,035 = 0,280 \text{ м}$$

Высота главного полюса:

$$h_r = \frac{D_H \cdot h_c - D - 2\delta}{2}, \text{ м}$$

$$h_r = \frac{0,350 - 2 \cdot 0,035 - 0,175 - 2 \cdot 0,0015}{2} = 0,051 \text{ м}$$

Высота наконечника главного полюса $h_{ГН}$

$$h_{ГН} = \frac{(b_p - b_r) \cdot B_\delta}{1,67 \cdot B_r}, \text{ м}$$

$$h_{ГН} = \frac{(0,088 - 0,054) \cdot 0,83}{1,67 \cdot 1,65} = 0,01 \text{ м}$$

Коэффициент воздушного зазора $k_{\delta a}$

$$k_\delta = 1 + \frac{b_n}{t_{z1} - b_n + 5 \cdot \frac{\delta \cdot t_{z1}}{b_n}},$$

$$k_\delta = 1 + \frac{0,0048}{0,015 - 0,0048 + 5 \cdot \frac{0,0015 \cdot 0,015}{0,0048}} = 1,142,$$

Размеры главного полюса показаны на рис. 2

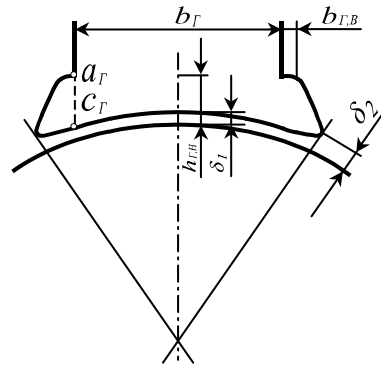


Рис. 2 Полюсный наконечник главного полюса.

Коэффициенты вытеснения потока в паз

$$k_{Z1} = \frac{t_{Z1} \cdot l_{\delta}}{b_{Z1} \cdot l_{cm}}$$

$$k_{Z2} = \frac{t_{Z2} \cdot l_{\delta}}{b_{Z2} \cdot l_{cm}}$$

$$k_{Z3} = \frac{t_{Z3} \cdot l_{\delta}}{b_{Z3} \cdot l_{cm}}$$

где

$b_{Z1} = b_{\max} = t_{Z1} - b_n = 14,9 - 4,8 = 10,1 \text{ мм}$ - наружная (большая) ширина паза якоря,

$b_{Z2} = b_{cp} = t_{Z2} - b_n = 12,7 - 4,8 = 7,9 \text{ мм}$ - средняя ширина паза якоря,

$b_{Z3} = b_{\min} = t_{Z3} - b_n = 10,5 - 4,8 = 5,7 \text{ мм}$ - ширина паза якоря у основания (меньшая ширина).

$$k_{Z1} = \frac{14,9 \cdot 599}{10,1 \cdot 569} = 1,549,$$

$$k_{Z2} = \frac{12,7 \cdot 599}{7,9 \cdot 569} = 1,685,$$

$$k_{Z3} = \frac{10,5 \cdot 599}{5,7 \cdot 569} = 1,685.$$

1.5 Средние длины магнитных линий

Расчетная длина воздушного зазора:

$$L_{\delta} = K_{\delta a} \cdot \delta, \text{ м}$$

$$L_{\delta} = 1,142 \cdot 0,0015 = 0,0017 \text{ м}$$

Длина магнитной линии в зубцах якоря:

$$L_z = h_n = 0,0257, \text{ м}$$

Длина магнитной линии в спинке якоря:

$$L_j = \frac{\pi \cdot (D_0 + h_j)}{4p} + \frac{h_j}{2}, \text{ м}$$

$$L_j = \frac{\pi \cdot (0,06 + 0,032)}{8} + \frac{0,032}{2} = 0,052 \text{ м}$$

Длина магнитной линии в сердечнике главного полюса:

$$L_r = h_r = 0,051 \text{ м}$$

Воздушный зазор между главным полюсом и станиной:

$$L_{c.п.} = 2 \cdot l_{\delta} \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-4}, \text{ м}$$

$$L_{c.п.} = 2 \cdot 0,599 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-4} = 0,00022 \text{ м}$$

Станина:

$$L_c = \frac{\pi \cdot (D_H - h_c)}{4p} + \frac{h_c}{2}, \text{ м}$$

$$L_c = \frac{\pi \cdot (0,350 - 0,035)}{8} + \frac{0,035}{2} = 0,141 \text{ м}$$

Сечение зубцов якоря

$$S_{z_{\min}} = \frac{Z}{2p} \cdot \alpha_{\delta} \cdot b_{z3} \cdot l_{cm} = \frac{37}{4} \cdot 0,64 \cdot 0,0057 \cdot 0,569 = 0,019 \text{ м}^2 \text{ - минимальное.}$$

$$S_{z_{cp}} = \frac{Z}{2p} \cdot \alpha_{\delta} \cdot b_{z3} \cdot l_{cm} = \frac{37}{4} \cdot 0,64 \cdot 0,0079 \cdot 0,569 = 0,027 \text{ м}^2 \text{ - среднее,}$$

$$S_{z_{\max}} = \frac{Z}{2p} \cdot \alpha_{\delta} \cdot b_{z3} \cdot l_{cm} = \frac{37}{4} \cdot 0,64 \cdot 0,01 \cdot 0,569 = 0,034 \text{ м}^2 \text{ - максимальное.}$$

Сечение воздушного зазора:

$$S_{\delta} = \alpha_{\delta} \cdot \tau \cdot l_{\delta}, \text{ м}^2$$

$$S_{\delta} = 0,64 \cdot 0,137 \cdot 0,599 = 0,053 \text{ м}^2$$

Сечение спинки якоря:

$$S_j = l_{cm} \cdot h_j, \text{ м}^2$$

$$S_j = 0,569 \cdot 0,032 = 0,018 \text{ м}^2$$

Сечение сердечника главного полюса:

$$S_r = K_C \cdot l_r \cdot b_r, \text{ м}^2$$

где $l_r = l_{\delta}$

$$S_r = 0,98 \cdot 0,599 \cdot 0,054 = 0,032 \text{ м}^2$$

Сечение станины:

$$S_C = l_c \cdot h_c \text{ м}^2$$

$$S_C = 0,669 \cdot 0,035 = 0,023 \text{ м}^2$$

1.6 Индукция в расчётных сечениях магнитной цепи

Индукция в воздушном зазоре

$$B_{\deltaном} = \frac{\Phi_{\deltaном}}{S_{\delta}}, \text{ Тл}$$

$$B_{\deltaном} = \frac{0,044}{0,053} = 0,787 \text{ Тл}$$

Индукция в зубцах якоря

$$B_{Z\min} = \frac{\Phi_{\deltaном}}{S_{Z\max}}, \text{ Тл}$$

$$B_{\min} = \frac{0,044}{0,034} = 1,158 \text{ Тл}$$

$$B_{Zcp} = \frac{\Phi_{\text{ном}}}{S_{cp}}, Tл$$

$$B_{cp} = \frac{0,044}{0,027} = 1,477 Tл$$

$$B_{Zmax} = \frac{\Phi_{\text{ном}}}{S_{Zmin}}, Tл$$

$$B_{Zmax} = \frac{0,044}{0,019} = 2,038 Tл$$

Магнитная индукция в спинке якоря:

$$B_j = \frac{\Phi_{\delta n}}{2 \cdot S_j}, Tл$$

$$B_j = \frac{0,041}{2 \cdot 0,018} = 1,145 Tл$$

Индукция в сердечнике главного полюса:

$$B_r = \frac{\Phi_{\Gamma}}{S_c}, Tл$$

$$B_r = \frac{0,5}{0,032} = 1,564 Tл$$

1.7 Магнитное напряжение отдельных участков магнитной цепи

Расчёт характеристик намагничивания приведён в табл. 2.

Таблица 2 Расчёт характеристики намагничивания

Расчётная величина	Расчётная формула	Ед. изм.	0,5 Φ_{δ}	0,75 Φ_{δ}	0,9 Φ_{δ}	1,0 Φ_{δ}	1,1 Φ_{δ}	1,15 Φ_{δ}
ЭДС	E	В	202	303	364	404	445	465
Магнитный поток	$\Phi_{\delta} = \frac{60Ea}{pN\eta_H}$	Вб	0,021	0,031	0,037	0,044	0,046	0,048
Магнитная индукция в воздушном зазоре	$B_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{S_{\delta}}$	Тл	0,393	0,59	0,708	0,787	0,866	0,905
МДС воздушного зазора	$F_{\delta}=0,8 \cdot 10^6 B_{\delta} L_{\delta}$	А	536	804	965	1073	1180	1,234
Средняя магнитная индукция в зубцах якоря	$B_{Z\delta} = \frac{\hat{O}_{\delta}}{S_{Z\delta}}$	Тл	0,777	1,2166	1,399	1,555	1,71	1,788
Средняя напряжённость магнитного поля в зубцах якоря	H_{Zcp}	А/м	129	365	994	2425	8270	12670
Среднее магнитное напряжение зубцов	$F_z=H_{Zcp}L_z$	А	3,8	22	119	288	641	847
Магнитная индукция в спинке якоря	$B_j = \frac{\Phi_{\delta}}{2S_j}$	Тл	0,573	0,859	1,03	1,145	1,26	1,317
Напряжённость магнитного поля в спинке якоря	H_j	А/м	83	169	258	345	463	602
Магнитное напряжение в спинке якоря	$F_j=H_jL_j$	А	4	9	13	18	24	31
Магнитный поток	$\Phi_1=\sigma_1\Phi_{\delta}$	Вб	0,025	0,037	0,045	0,05	0,055	0,057

главного полюса								
Магнитная индукция в сердечнике главного полюса	$B_{\lambda} = \frac{\Phi_{\delta}}{S_{\lambda}}$	Тл	0,78	1,17	1,4	1,56	1,72	1,8
Напряжённость магнитного поля в сердечнике главного полюса	H_{Γ}	А/м	104	262	514	898	2208	3975
Магнитное напряжение сердечника главного полюса	$F_{\Gamma} = H_{\Gamma} L_{\Gamma}$	А	5	13	26	45	112	202
Магнитная индукция в воздушном зазоре между главным полюсом и станиной	$B_{сп} = B_{\Gamma}$	Тл	0,78	1,17	1,4	1,56	1,72	1,8
Магнитное напряжение воздушного зазора между главным полюсом и станиной	F_c $_{п} = 1,6 \cdot 10^6 B_{\Gamma} L_{c п}$	А	136	205	246	273	300	314
Магнитная индукция в станине	$B_c = \frac{\sigma_e \Phi_{\delta}}{2S_c}$	Тл	0,53	0,79	0,96	1,06	1,17	1,22
Напряжённость магнитного поля в станине	H_c	А/м	425	677	866	1023	1222	1343
Магнитное напряжение станины	$F_c = H_c L_c$	А	60	95	122	144	172	189
Суммарная МДС на пару полюсов	$F_{\Sigma} = F_{\delta} + F_z + F_j + F_{\Gamma}$ $+ F_{c п} + F_c$	А	746	1150	1493	1843	2432	2819
МДС переходного слоя	$F_{\delta z} = F_{\delta} + F_z + F_j$	А	544	836	1099	1379	1846	2112

По данным таблицы 2 строится переходная характеристика $B_{\delta}=f(F_{\delta Zj})$
 рис. 3.

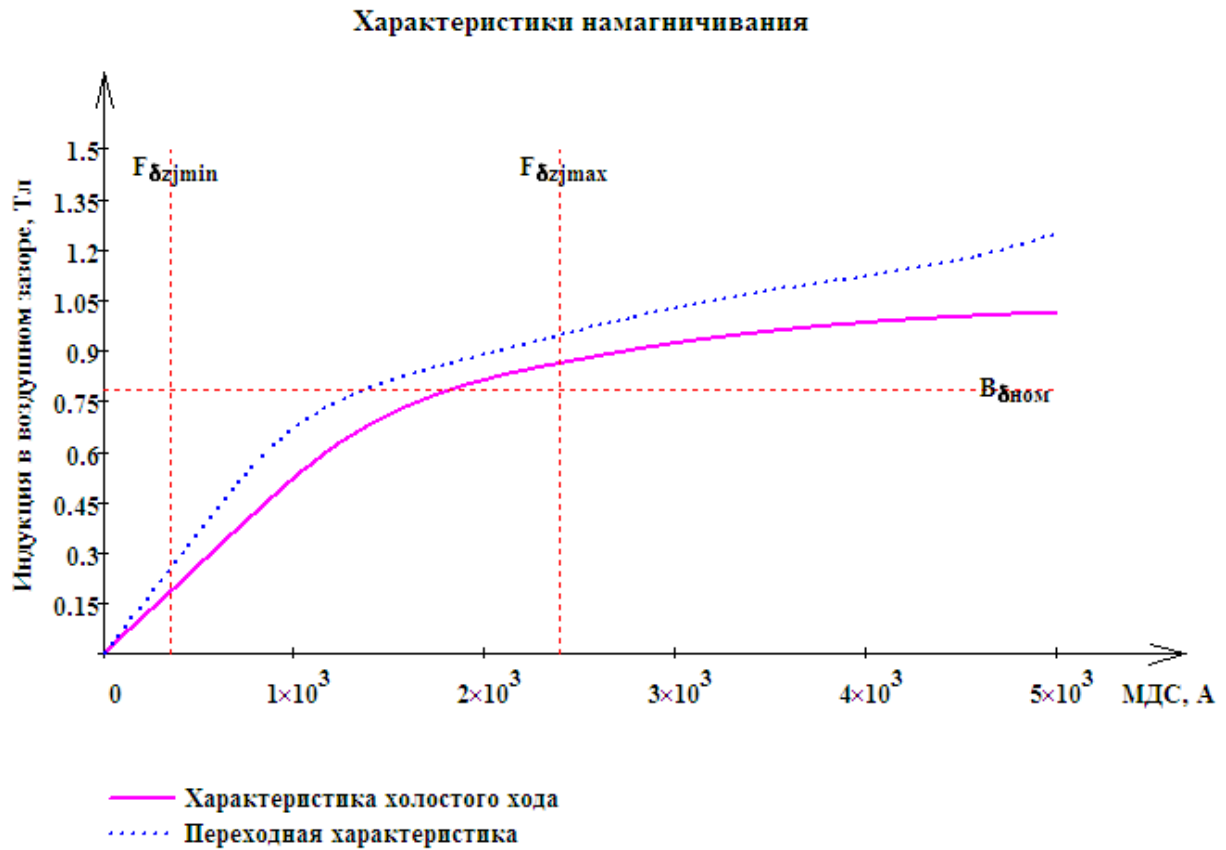


Рис. 3 Характеристика холостого хода $B_{\delta} = f(F_{\Sigma})$ и переходная характеристика $B_{\delta} = f(F_{\delta Zj})$

1.8 Расчет параллельной обмотки возбуждения

Необходимая МДС параллельной обмотки:

$$F_B = F_{\Sigma}, \text{ A}$$

$$F_B = 2048 \text{ A}$$

Средняя длина витка катушки параллельной обмотки:

$$l_{cp.в.} = 2(l_r + b_r) + \pi(b_{KT.B.} + 2 \cdot \Delta_{ИЗ}), \text{ м}$$

Толщина изоляции $\Delta_{ИЗ}$ принимается приближенно $(0,25 \div 0,8) \cdot 10^{-3} \text{ м}$ при диаметрах якоря до $0,5 \text{ м}$,
 $b_{KT.B.} = 0,0012 \cdot D = 0,021 \text{ м}$.

$$l_{cp.в.} = 2(0,599 + 0,054) + \pi(0,021 + 2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}) = 1,373 \text{ м}$$

Сечение меди параллельной обмотки:

$$q_B = \frac{K_{з.в.} \cdot m \cdot p \cdot F_B \cdot l_{cp.в.}}{57 \cdot 10^6 \cdot U_H}, \text{ мм}^2$$

где $K_{з.в.} = 1,15$ – коэффициент запаса; $m = 1,38$ – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления меди при увеличении температуры до 155°C .

$$q_B = \frac{1,15 \cdot 1,38 \cdot 2 \cdot 2048 \cdot 4}{57 \cdot 10^6 \cdot 440} = 0,516 \text{ мм}^2$$

Согласно таб. 10.18. для обмотки возбуждения выбираем круглый провод марки ПЭТ-155. По П.3.1. выбираем провод с размерами:

$$\text{Сечение провода } q_B = 0,503 \text{ мм}^2$$

Диаметр неизолированного провода $d_B = 0,75 \text{ мм}$ Диаметр изолированного провода $d_{из.в} = 0,865 \text{ мм}$

Номинальная плотность тока принимается:

$$J_B = 2,5 \cdot 10^6, \text{ A/м}^2$$

Число витков на пару полюсов:

$$W_B = \frac{F_B}{J_B \cdot q_B}$$

$$W_B = \frac{2048}{2,5 \cdot 0,503} = 1600$$

Номинальный ток возбуждения:

$$I_B = \frac{F_B}{W_B}, \text{ A (10.6)}$$

$$I_B = \frac{2048}{1600} = 1,3 \text{ A}$$

Полная длина обмотки:

$$L_B = p \cdot l_{\text{ср.в.}} \cdot W_B, \text{ м}$$

$$L_B = 2 \cdot 1,421 \cdot 1600 = 4548 \text{ м}$$

Сопротивление обмотки возбуждения при температуре 20°C:

$$R_B = \frac{L_B}{57 \cdot 10^6 \cdot q_B}, \text{ Ом}$$

$$R_B = \frac{4548}{57 \cdot 0,503} = 317 \text{ Ом}$$

Сопротивление обмотки возбуждения при температуре 75°C:

$$R_{B75^\circ} = 1,22 R_B, \text{ Ом}$$

$$R_{B75^\circ} = 1,22 \cdot 317 = 387 \text{ Ом}$$

Масса меди обмотки возбуждения:

$$m_{\text{М.В.}} = 8,9 \cdot 10^3 \cdot L_B \cdot q_B \cdot 10^{-6}, \text{ кг (10.10)}$$

$$m_{\text{М.В.}} = 8,9 \cdot 10^3 \cdot 4548 \cdot 0,503 \cdot 10^{-6} = 20 \text{ кг}$$

1.9 Коллектор и щетки

Ширина нейтральной зоны:

$$b_{н.з.} = \tau - b_p, \quad m \quad b_{н.з.} = 0,137 - 0,088 = 0,049 \quad m$$

Принимается ширина щетки:

$$b_{щ} = (2 \div 4) \cdot t_k, \quad m$$

$$b_{щ} = 3 \cdot 0,0032 = 0,010 \quad m$$

Поверхность соприкосновения щетки с коллектором:

$$S_{щ} = b_{щ} \cdot l_{щ}, \quad m^2$$

$$S_{щ} = 0,010 \cdot 0,025 = 0,00025 \quad m^2$$

При допустимой плотности тока $J_{щ} = 11 \cdot 10^4$, $\frac{A}{m^2}$, число щеток на болт:

$$N_{щ} = \frac{I_H}{p \cdot S_{щ} \cdot J_{щ}}$$

$$N_{щ} = \frac{115}{2 \cdot 0,00025 \cdot 11 \cdot 10^4} = 2,25 \approx 2$$

Поверхность соприкосновения всех щеток с коллектором:

$$\sum S_{щ} = 2p \cdot N_{щ} \cdot S_{щ}, \quad m^2$$

$$\sum S_{щ} = 4 \cdot 2 \cdot 0,00025 = 0,002 \quad m^2$$

Плотность тока под щетками:

$$J_{щ} = \frac{2 \cdot I_H}{\sum S_{щ}}, \quad \frac{A}{m^2}$$

$$J_{щ} = \frac{2 \cdot 115}{0,002} = 11,5 \cdot 10^4 \quad \frac{A}{m^2}$$

Активная длина коллектора:

$$l_K = N_{щ} \cdot (l_{щ} + 8 \cdot 10^{-3}) + 10 \cdot 10^{-3}, \quad m$$

$$l_K = 2 \cdot (0,025 + 8 \cdot 10^{-3}) + 10^{-2} = 0,076 \quad m$$

1.10 Расчет обмотки добавочных полюсов

МДС обмотки добавочных полюсов для машин постоянного тока без компенсационной обмотки находится в пределах:

$$F_D = (1,2 \div 1,4) \cdot A \cdot \frac{\tau}{2}, \quad A$$

$$F_D = 1,3 \cdot 23250 \cdot \frac{0,137}{2} = 2224 \quad A$$

Число витков на один полюс:

$$W_D = \frac{F_D \cdot a_D}{I}, \quad A$$

где a_D – число параллельных ветвей обмотки добавочных полюсов, $a_D=1$

$$W_D = \frac{2224 \cdot 1}{115} = 19,3 \approx 20$$

Предварительное сечение проводников:

$$q_D = \frac{I}{a_D \cdot J_D}, \quad m^2$$

где $J_D = (2 \div 3) \cdot 10^6, \quad A/m^2$, при IP44

$$J_D = 2,5 \cdot 10^6 \quad A/m^2$$

$$q_D = \frac{115}{1 \cdot 2,5 \cdot 10^6} = 46,07 \cdot 10^{-6} \quad m^2$$

Принимаем сердечник добавочного полюса длиной $l_D, \quad m$:

при $D > 0,132$ равной длине якоря $l_D = l_s$

$$l_D = l_s = 0,599 \quad m$$

Ширина сердечника $b_D = 10 \cdot 10^{-3} \quad m$

Средняя длина витка обмотки добавочного полюса:

$$l_{\text{ср.}} = 2(b_D + l_D) + \pi(b_{\text{КТ.Д.}} + 2 \cdot \Delta_{\text{уз.с.}}), \quad m \quad (12.4)$$

где $b_{KT.Д.}$ – ширина катушки добавочного полюса; $b_{KT.Д.} \approx 1,6 \cdot b_{Д}$ и $\Delta_{из.с.}$ – односторонний размер зазора между сердечником добавочного полюса и катушкой с учетом изоляции сердечника; $\Delta_{бр.с.} = (1,7 \div 2,5) \cdot 10^{-4}$ при диаметрах якоря D до 0,5 м.

$$l_{\partial.ср.} = 2(10 \cdot 10^{-3} + 0,599) + \pi(16 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}) = 1,275 \text{ м}$$

Полная длина проводников обмотки:

$$l_{\partial} = 2p \cdot l_{\partial.ср.} \cdot W_{Д}, \text{ м}$$

$$l_{\partial} = 4 \cdot 1,275 \cdot 20 = 102 \text{ м}$$

12.7 Сопротивление обмотки добавочных полюсов при температуре 20 °С:

$$R_{Д} = \frac{l_{\partial}}{57 \cdot 10^6 \cdot a_{Д}^2 \cdot q_{Д}}, \text{ Ом}$$

$$R_{Д} = \frac{102}{57 \cdot 46,02} = 0,039 \text{ Ом}$$

Сопротивление при температуре 75 °С:

$$R_{Д75^{\circ}} = 1,22 \cdot R_{Д}, \text{ Ом}$$

$$R_{Д75^{\circ}} = 1,22 \cdot 0,039 = 0,047 \text{ Ом}$$

Масса меди обмотки добавочных полюсов:

$$m_{\partial} = 8,9 \cdot 10^3 \cdot l_{\partial.ср.} \cdot W_{Д} \cdot 2p \cdot q_{Д}, \text{ кг}$$

$$m_{\partial} = 8,9 \cdot 10^3 \cdot 1,275 \cdot 20 \cdot 4 \cdot 46 \cdot 10^{-6} = 42 \text{ кг}$$

1.11 Потери и КПД

Электрические потери в обмотке якоря:

$$P_{ма} = I^2 \cdot R_a$$

$$P_{ма} = 115^2 \cdot 0,136 = 1807 \text{ Вт}$$

Электрические потери в обмотке добавочных полюсов:

$$P_{мд.} = I^2 \cdot R_{Д75^\circ}$$

$$P_{мд.} = 115^2 \cdot 0,039 = 516 \text{ Вт}$$

Электрические потери в параллельной обмотке возбуждения:

$$P_{м.в.} = I_B^2 \cdot R_{B75^\circ}$$

$$P_{м.в.} = 1,3^2 \cdot 317 = 519 \text{ Вт}$$

Электрические потери в переходном контакте щеток на коллекторе:

$$P_{э.щ.} = I \cdot 2\Delta U_{щ}$$

где $2\Delta U_{щ}$ – потери напряжения в переходных контактах $2\Delta U_{щ} = 2 \text{ В}$

$$P_{э.щ.} = 115 \cdot 2 = 330 \text{ Вт}$$

Потери на трение щеток о коллектор:

$$P_{т.щ.} = \sum S_{щ} \cdot P_{щ} \cdot f \cdot \nu_K$$

где $P_{щ}$ – давление на щётку $P_{щ} = 3 \cdot 10^4 \text{ Па}$; f – коэффициент трения

щетки $f = 0,25$;

$$P_{т.щ.} = 0,002 \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 0,25 \cdot 7,74 = 116 \text{ Вт}$$

Потери в подшипниках и на вентиляцию:

Принимаем $P_{тн} + p_{вент} = 200 \text{ Вт}$

Масса стали ярма якоря:

$$m_j = 7,8 \cdot 10^3 \cdot \frac{\pi[(D - 2h_n)^2 - D_0^2]}{4} \cdot l_\delta \cdot K_C, \text{ кг}$$

$$m_j = 7,8 \cdot 10^3 \cdot \frac{\pi \left[(0,175 - 2 \cdot 0,026)^2 - 0,060^2 \right]}{4} \cdot 0,599 \cdot 0,95 = 41 \text{ кг}$$

Условная масса стали зубцов якоря с прямоугольными пазами:

$$m_z = 7800 \cdot z \cdot b_{z2} \cdot h_n \cdot l_\delta \cdot K_C, \text{ кг}$$

$$m_z = 7800 \cdot 337 \cdot 0,008 \cdot 0,026 \cdot 0,599 \cdot 0,95 = 33 \text{ кг}$$

Магнитные потери в ярме якоря:

$$P_j = m_j \cdot P'_j, \text{ Вт}$$

где P'_j – удельные потери в ярме якоря:

$$P'_j = 2,3 \cdot P_{1,0/50} \cdot \left(\frac{f}{50} \right)^\beta \cdot B_j, \text{ Вт}$$

где $P_{1,0/50} = 1,75 \text{ Вт/кг}$ – удельные потери в стали для $B = 1,0 \text{ Тл}$ и

$$f = 50 \text{ Гц}; f = \frac{p \cdot n}{60} \text{ – частота перемагничивания } \beta = 2;$$

$$P'_j = 2,3 \cdot 1,75 \cdot 1^{1,5} \cdot 1,15 = 4,4 \text{ Вт}$$

$$P_j = 41 \cdot 4,4 = 177 \text{ Вт}$$

Магнитные потери в зубцах якоря:

$$P_z = m_z \cdot P'_z, \text{ Вт}$$

$$\text{где } P'_z = 2,3 \cdot P_{1,0/50} \cdot \left(\frac{f}{50} \right)^\beta \cdot B_{zcp}^2 = 2,3 \cdot 1,75 \cdot 1^{1,5} \cdot 1,56^2 = 8 \text{ Вт}$$

$$P_z = 33 \cdot 8 = 268 \text{ Вт}$$

Добавочные потери:

$$P_{\text{доб}} = 0,01 \cdot \frac{P_H}{\eta_H}, \text{ Вт}$$

$$P_{\text{доб}} = 0,01 \cdot \frac{46000}{0,885} = 520 \text{ Вт}$$

Сумма потерь:

$$\sum P = P_{ma} + P_{мд.} + P_{м.в.} + P_{э.ц.} + P_{т.ц.} + (P_{тп} + P_{вент}) + \\ + P_j + P_z + P_{доб}, \text{ Вт}$$

$$\sum P = 44190 \text{ Вт}$$

КПД машин:

$$\eta = \frac{U \cdot I - \sum P}{U \cdot I}$$

$$\eta = \frac{440 \cdot 115 - 44190}{440 \cdot 115} = 0,91$$

1.12 Рабочие характеристики

Для построения рабочих характеристик произведем расчет по схеме, изложенной в пунктах 5.2.3 - 5.2.13, при значениях коэффициента нагрузки $k_H = 0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25 \cdot I_H$. Результаты расчетов сведем в таблицу 12.1.

Вид рабочих характеристик приведен на рисунке 12.1.

Таблица 3 - Расчет рабочих характеристик

Коэффициент нагрузки. $k_H = \frac{I}{I_H}$	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25
Ток якоря для данных коэффициентов нагрузки $I = k_H \cdot I_H$.	11,3	28,3	56,6	84,9	113,2	141,5
Значение ЭДС $E = U_H - I \cdot R_\Sigma - 2 \Delta U_{ш}$.	436	433	428	423	418	413
Размагничивающее действие реакции якоря $F_{qd} = k_H \cdot F_{qdH}$.	21	51	103	154	205	256
Суммарное магнитное напряжение всех участков магнитной цепи при параллельном возбуждении $F_\Sigma = F_B - F_{qd}$.	2027	1997	1945	1894	1843	1792
Магнитный поток, соответствующий F_Σ , определим по хар-ке намагничивания $\Phi_\delta = f(F_\Sigma)$.	0,021	0,031	0,037	0,041	0,046	0,048
Частота вращения якоря $n = \frac{60 \cdot a \cdot E}{N \cdot p \cdot \Phi_\delta}$	1363	1353	1336	1319	1303	1286
Ток двигателя $I_1 = I + I_B$	12,7	29,7	58	86,3	114,6	142,9
Потребляемая мощность $P_1 = I_1 \cdot U_H$	5591	13062	25514	37967	50419	62871
Полезная мощность на валу двигателя $P_2 = E \cdot I - P_0 - P_{доб}^l$ $P_{доб}^l = P_{доб} \cdot (k_H)^2$ [2], стр. 108	3847	11131	22994	34512	45684	56510
Коэффициент полезного действия $\eta = \frac{P_2}{P_1}$	0,688	0,852	0,901	0,909	0,906	0,899
Вращающий момент на валу двигателя $\dot{M} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n}$	27,0	78,6	164,3	249,8	334,9	419,6

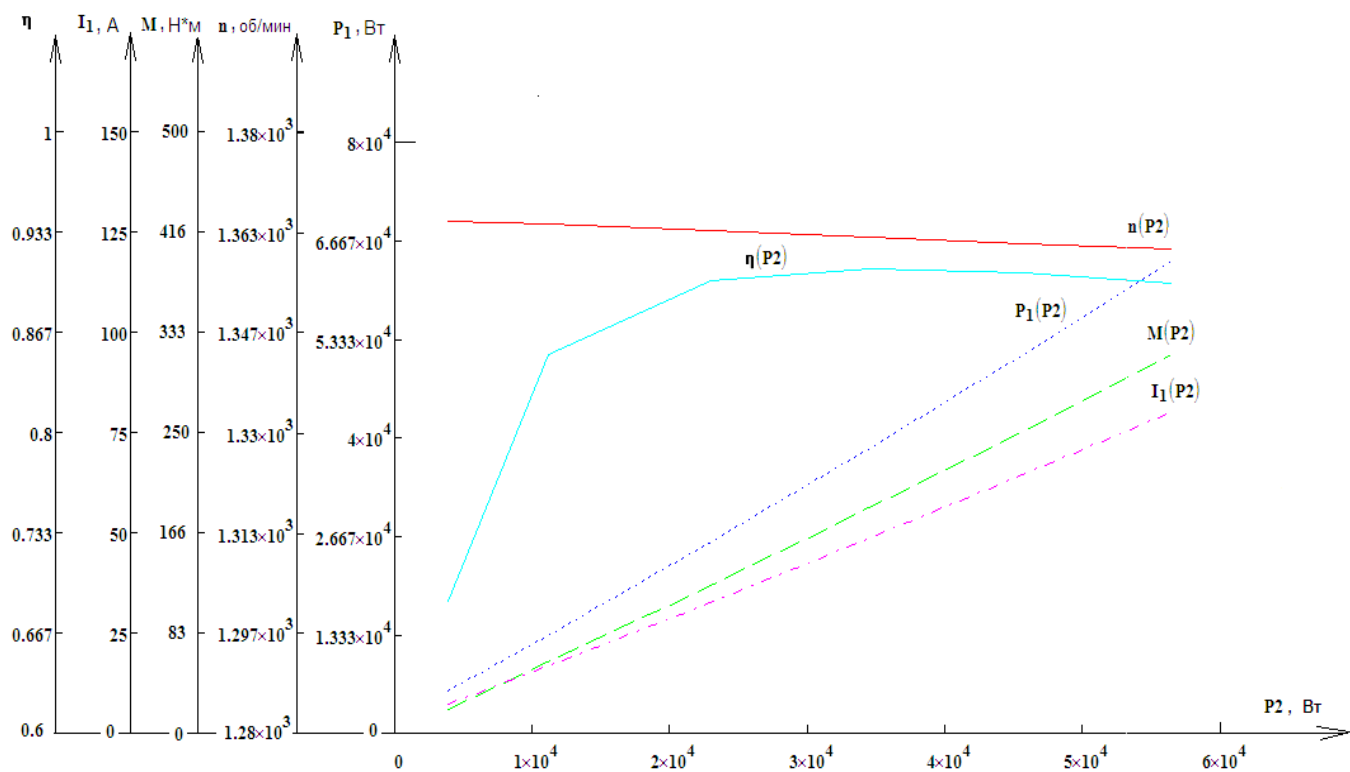


Рис. 4 – Рабочие характеристики

1.13 Тепловой расчет

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

Сопротивление обмотки якоря

$$R_{a,T} = k_T \cdot R_a;$$

$$R_{a,T} = 1,15 \cdot 0,136 = 0,0157 \text{ Ом.}$$

Сопротивление обмотки добавочных полюсов

$$R_{дТ} = k_T \cdot R_{д};$$

$$R_{\ddot{A}O} = 1,15 \cdot 0,039 = 0,045 \text{ Ом.}$$

Сопротивление обмотки возбуждения

$$R_{\text{ВТ}} = k_{\text{т}} \cdot R_{\text{В}};$$

$$R_{\text{ВТ}} = 1,15 \cdot 317 = 365 \text{ Ом.}$$

Потери в обмотке якоря

$$P_{\text{аГ}} = I_{\text{Н}}^2 \cdot R_{\text{аГ}};$$

$$P_{\text{аГ}} = 115^2 \cdot 0,157 = 2008 \text{ Вт.}$$

Потери в обмотке добавочных полюсов

$$P_{\text{АД}} = I_{\text{Г}}^2 \cdot R_{\text{АД}};$$

$$P_{\text{АД}} = 115^2 \cdot 0,045 = 573 \text{ Вт.}$$

Потери в обмотке возбуждения

$$P_{\text{ВТ}} = I_{\text{ВН}}^2 \cdot R_{\text{ВТ}};$$

$$P_{\text{ВТ}} = 1,3^2 \cdot 365 = 598 \text{ Вт.}$$

Превышение температуры охлаждаемой поверхности якоря

$$\Delta\theta_{\text{а}} = \frac{P_{\text{аГ}} \cdot \left(\frac{l_{\delta}}{l_{\text{аГ}}} \right) + P_{\text{М}}}{\pi \cdot D \cdot l_{\text{а}} \cdot \alpha_{\text{а}}},$$

где $\alpha_{\text{а}}$ - коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности якоря;

$\alpha_{\text{а}} = 92 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$. Выбирается по рис.10-31 [1]

$$\Delta\theta_{\text{а}} = \frac{2008 \cdot \left(\frac{2 \cdot 599}{1,602} \right) + 445}{\pi \cdot 0,175 \cdot 0,599 \cdot 92} = 64 \text{ } ^\circ\text{С.}$$

Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки якоря

$$\theta_{\text{ИЗ.П}} = \frac{P_{\text{аГ}} \cdot \left(\frac{l_{\delta}}{l_{\text{аГ}}} \right)}{Z \cdot \Pi_{\text{П}} \cdot l_{\delta}} \cdot \left(\frac{b_{\text{ИЗ}}}{\lambda_{\text{ЭКВ}}} \right),$$

где $\Pi_{\text{П}}$ - периметр поперечного сечения паза.

$$\Pi_{\text{П}} = 2 \cdot (b_{\text{п}} + h_{\text{п}}); (6.9)$$

$$\delta_{\text{I}} = 2 \cdot (0,0048 + 0,026) = 0,061 \text{ м.}$$

$\lambda_{\text{ЭКВ}}$ - эквивалентный коэффициент теплопроводности изоляции;

$$\lambda_{\text{ЭКВ}} = 0,16 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}). \text{ [1] стр. 371}$$

$$\theta_{\text{ИЗ.П}} = \frac{2008 \cdot \left(\frac{0,599}{1,602}\right)}{37 \cdot 0,061 \cdot 0,599} \cdot \left(\frac{1,7 \cdot 10^{-3}}{0,16}\right) = 8,2 ^\circ\text{С.}$$

Превышение температуры охлаждаемой поверхности лобовых частей обмотки якоря

$$\Delta\theta_{\text{ПОВ.Л}} = \frac{P_{\text{аГ}} \cdot \left(1 - \frac{I_{\delta}}{I_{\text{а,ср}}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot 2 \cdot l_{\text{В}} \cdot \alpha_{\text{Л}}};$$

$\alpha_{\text{Л}}$ - коэффициент теплоотдачи с лобовых поверхностей обмотки якоря;

$\alpha_{\text{Л}} = 90 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$. Выбирается по рис.8-31 [1]

$$\Delta\theta_{\text{ПОВ.Л}} = \frac{2008 \cdot \left(1 - \frac{0,599}{1,602}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 0,175 \cdot 2 \cdot 0,599 \cdot 92} = 37 ^\circ\text{С.}$$

Перепад температуры в изоляции лобовой части обмотки якоря

$$\Delta\theta_{\text{ИЗ.Л}} = \frac{P_{\text{аГ}} \cdot \left(1 - \frac{I_{\delta}}{I_{\text{а,ср}}}\right)}{2 \cdot Z \cdot \Pi_{\text{Л}} \cdot l_{\text{Л}}} \cdot \frac{b_{\text{ИЗ}}}{8 \cdot \lambda'_{\text{ЭКВ}}},$$

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

$$\Pi_{\text{Л}} = \left(1 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot (b_n + h_n);$$

$$\Pi_{\text{Л}} = \left(1 + \frac{\pi}{2}\right) \cdot (0,0048 + 0,026) = 0,061 \text{ м.}$$

$$\Delta\theta_{\text{ИЗ.Л}} = \frac{2008 \cdot \left(1 - \frac{0,599}{1,602}\right)}{2 \cdot 37 \cdot 0,061 \cdot 0,599} \cdot \frac{0,03}{0,16} = 21 ^\circ\text{С.}$$

Среднее превышение температуры обмотки якоря над температурой охлаждающего воздуха

$$\Delta\theta_{\text{аср}} = (\Delta\theta_{\text{а}} + \Delta\theta_{\text{изп}}) \cdot \frac{1_{\delta}}{1_{\text{аср}}} + (\Delta\theta_{\text{повл}} + \Delta\theta_{\text{изл}}) \cdot \left(1 - \frac{1_{\delta}}{1_{\text{аср}}}\right);$$

$$\Delta\theta_{\text{аср}} = (64 + 12,4) \cdot 0,747 + (37 + 20) \cdot 0,025 = 80^{\circ}\text{C}.$$

Сумма потерь, отводимых охлаждающим внутренним объемом двигателя
воздухом

$$\Sigma P' = \Sigma P - 0,1 \cdot (P_{\text{в.т}} + P_{\text{д.т}}) ;$$

$$\Sigma P' = 4735 - 0,1 \cdot (598 + 573) = 4618, \text{ Вт}.$$

Условная поверхность охлаждения двигателя

$$S_{\text{охл}} = \pi \cdot D_{\text{н}} \cdot (l_{\delta} + 2 \cdot l_{\text{в}}) ;$$

$$S_{\text{охл}} = \pi \cdot 0,350 \cdot (0,599 + 2 \cdot 0,67) = 0,806 \text{ м}^2.$$

Среднее превышение температуры воздуха внутри двигателя

$$\Delta\theta_{\text{воз}} = \frac{\Sigma P'}{S_{\text{охл}} \cdot \alpha_{\text{н}}},$$

Где $\alpha_{\text{н}}$ - коэффициент подогрева воздуха; $\alpha_{\text{н}} = 750 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Выбирается по рис. 8-32 [1]

$$\Delta\theta_{\text{воз}} = \frac{4618}{0,806 \cdot 750} = 7,6^{\circ}\text{C}.$$

Среднее превышение температуры обмотки якоря над температурой
охлаждающей среды

$$\Delta\theta'_{\text{аср}} = \Delta\theta_{\text{аср}} + \Delta\theta_{\text{воз}} ;$$

$$\Delta\theta'_{\text{аср}} = 80 + 7,6 = 87,6^{\circ}\text{C}.$$

Превышение температуры наружной поверхности катушки
возбуждения над температурой воздуха внутри машины

$$\Delta\theta_{\text{пв}} = \frac{0,9 \cdot P_{\text{вт}}}{2p \cdot S_{\text{в}} \cdot \alpha_{\text{в}}};$$

Где $\alpha_{\text{в}}$ - коэффициент теплоотдачи с поверхности обмотки возбуждения
 $\alpha_{\text{в}} = 45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$. Выбирается по рис. 8-31 [1]

S_B - Наружная поверхность охлаждения катушки обмотки возбуждения

$$S_B = 1_{BCP} \cdot \Pi_B,$$

где Π_B - периметр охлаждения катушки обмотки возбуждения;

Находим по эскизу междуполюсного окна двигателя $\Pi_B = 145 \cdot 10^{-3}$ м.

$$S_B = 1,421 \cdot 145 \cdot 10^{-3} = 0,207 \text{ м}^2.$$

Получим

$$\Delta\theta_{\Pi B} = \frac{0,9 \cdot 598}{4 \cdot 0,207 \cdot 45} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Перепад температуры в изоляции катушки обмотки возбуждения

$$\Delta\theta_{\text{из.в}} = \frac{0,9 \cdot P_{BT}}{2\rho \cdot S_B} \cdot \left(\frac{b_{\text{из}}}{\lambda_{\text{ЭКВ}}} \right),$$

$$\Delta\theta_{\text{из.в}} = \frac{0,9 \cdot 598}{4 \cdot 0,207} \cdot \left(\frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{0,16} \right) = 1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Среднее превышение температуры обмотки возбуждения над температурой охлаждающей среды

$$\Delta\theta'_{\text{CP.B}} = \Delta\theta_{\Pi B} + \Delta\theta_{\text{из.в}} + \Delta\theta_{\text{ВОЗ}};$$

$$\Delta\theta'_{\text{CP.B}} = 15 + 1 + 7,6 = 23 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Превышение температуры наружной поверхности добавочного полюса над температурой воздуха внутри машины

$$\Delta\theta_{\Pi D} = \frac{0,9 \cdot P_{DT}}{2\rho \cdot S_D \cdot \alpha_D};$$

Где α_D - коэффициент теплоотдачи с поверхности катушки обмотки добавочных полюсов $\alpha_L = 45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Выбирается по рис. 10-31 [1]

S_D - поверхность охлаждения обмотки добавочных полюсов

$$S_D = 1_{ДСР} \cdot \Pi_D,$$

$$S_{\bar{A}} = 1,275 \cdot 0,033 = 0,042 \text{ м}^2.$$

Π_D - периметр охлаждения катушки обмотки добавочных полюсов;

Находим по эскизу междуполюсного окна двигателя $\bar{\Pi}_A = 0,033$ м.

Получим

$$\Delta\theta_{\text{п.д}} = \frac{0,9 \cdot 573}{4 \cdot 0,042 \cdot 45} = 68 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Перепад температуры в изоляции катушки обмотки добавочного полюса

$$\Delta\theta_{\text{из.д}} = \frac{0,9 \cdot P_{\text{дт}}}{2\rho \cdot S_{\text{д}}} \cdot \frac{b_{\text{кд}}}{8 \cdot \lambda'_{\text{экв}}},$$

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

$$\Delta\theta_{\text{из.д}} = \frac{0,9 \cdot 573}{4 \cdot 0,042} \cdot \frac{0,0016}{8 \cdot 1,4} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

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

$$\Delta\theta_{\text{ср.д}}^{\text{I}} = \Delta\theta_{\text{п.д}} + \Delta\theta_{\text{из.д}} + \Delta\theta_{\text{воз}};$$

$$\Delta\theta_{\text{ср.д}}^{\text{I}} = 68 + 5 + 7,6 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Превышение температуры наружной поверхности коллектора над температурой воздуха внутри двигателя

$$\Delta\theta_{\text{к}} = \frac{P_{\text{эщ}} + P_{\text{тщ}}}{S_{\text{к}} \cdot \alpha_{\text{к}}};$$

Где $\alpha_{\text{к}}$ - коэффициент теплоотдачи с поверхности коллектора
 $\alpha_{\text{к}} = 270 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Выбирается по рис. 10-33 [1]

$S_{\text{к}}$ - площадь поверхности охлаждения коллектора

$$S_{\text{к}} = \pi \cdot D_{\text{к}} \cdot L_{\text{к}}; (6.28)$$

$$S_{\text{к}} = \pi \cdot 0,112 \cdot 0,076 = 0,027 \text{ м}^2.$$

Получим

$$\Delta\theta_{\text{к}} = \frac{283 + 116}{0,027 \cdot 270} = 55 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

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.

1.14 Вентиляционный расчет

Необходимое количество охлаждающего воздуха

$$Q'_{\text{ВОЗ}} = \frac{\Sigma P'}{1100 \cdot \Delta \theta'_{\text{ВОЗ}}},$$

где $\Delta \theta'_{\text{ВОЗ}}$ - превышение температуры воздуха °С.

$$\Delta \theta'_{\text{ВОЗ}} \approx 2 \cdot \Delta \theta_{\text{ВОЗ}};$$

$$Q'_{\text{АИ С}} = \frac{46,18}{1100 \cdot 2 \cdot 7,6} = 0,275 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Наружный диаметр центробежного вентилятора

$$D_{2В} = 0,9 \cdot d_{\text{С}},$$

где $d_{\text{С}}$ - внутренний диаметр станины.

$$d_{\text{С}} = D_{\text{I}} - 2 \cdot h_{\text{С}}$$

$$d_{\text{С}} = 0,350 - 2 \cdot 0,035 = 0,28 \text{ м}.$$

Получим

$$D_{2В} = 0,9 \cdot 0,280 = 0,252 \text{ м}.$$

Окружная скорость вентилятора по внешнему диаметру

$$v_2 = \frac{\pi \cdot D_{2В} \cdot n_{\text{H}}}{60};$$

$$v_2 = \frac{\pi \cdot 0,252 \cdot 1320}{60} = 17,4 \text{ м/с}.$$

Внутренний диаметр колеса вентилятора

$$D_{1В} = 0,62 \cdot D;$$

$$D_{1B} = 0,62 \cdot 0,252 = 0,174 \text{ м.}$$

Окружная скорость вентилятора по внутреннему диаметру

$$v_1 = \frac{\pi \cdot D_{1B} \cdot n_H}{60};$$

$$v_1 = \frac{\pi \cdot 0,174 \cdot 1320}{60} = 12 \text{ м/с.}$$

Ширина лопаток вентилятора

$$b_{ЛВ} = 0,14 \cdot D_{2B};$$

$$b_{ЛВ} = 0,14 \cdot 0,252 = 0,035 \text{ м.}$$

Согласно рекомендации [1] число лопаток вентилятора определяется по формуле

$$N_{л} = (6 \div 10) \frac{D_{2B}}{D_{2B} - D_{1B}};$$

$$N_{л} = 6 \cdot \frac{0,252}{0,252 - 0,174} = 19,3$$

Принимаем число лопаток вентилятора $N_{л} = 20$.

Давление вентилятора при холостом ходе составляет

$$H_0 = \eta_{a,0} \cdot \rho \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

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

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

$$H_0 = 0,6 \cdot 1,23 \cdot (17,4^2 - 12^2) = 118 \text{ Па.}$$

Аэродинамическое сопротивление вентиляционной системы машины

$$Z = 1500 (\text{ї} \text{ à} \cdot \text{ñ}^2) / \text{ї}^6 \text{ [1] рис. 5-20}$$

Действительный расход воздуха

$$Q_{\text{воз}} = Q_{\text{в,макс}} \sqrt{\frac{H_0}{H_0 + Z \cdot Q_{\text{в,макс}}^2}}; (7.13)$$

$$Q_{\text{воз}} = 0,187 \cdot \sqrt{\frac{118}{118 + 1500 \cdot 0,187^2}} = 0,341 \text{ м}^3/\text{с.}$$

II. МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ВАЛА

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. Методика расчёта взята из [2].

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.

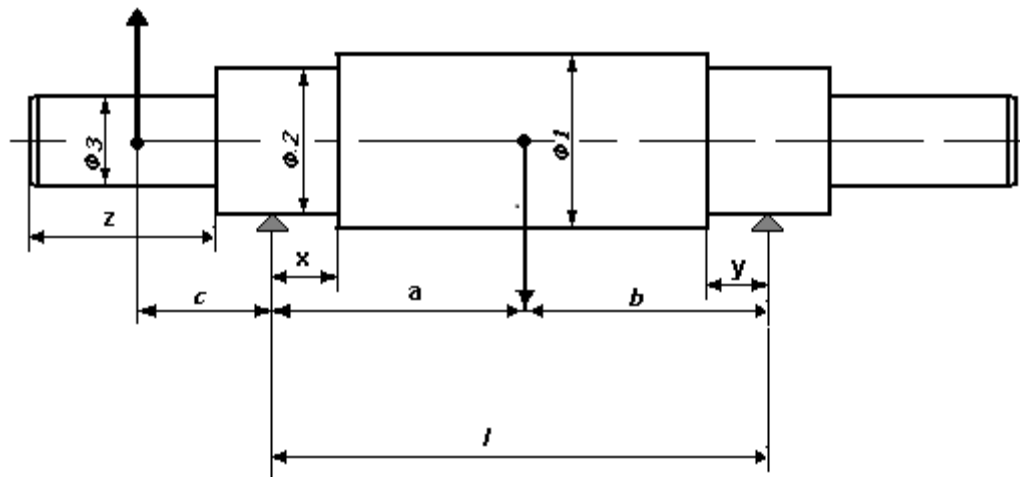


Рис. 5 – Конструкция и основные размеры вала для механического расчёта

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

$$l = 0,676 \text{ м},$$

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

Определим номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9,55 \cdot \frac{46}{1320} = 333 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

$$m_p = 6500 \cdot D_2^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0,175^2 \cdot 0,676 = 134,5 \text{ кг},$$

$$m_k = 6500 \cdot D_k^2 \cdot l_k = 6500 \cdot 0,112^2 \cdot 0,76 = 58 \text{ кг},$$

Тогда приближённое значение силы тяжести:

$$G_p = 9,81 \cdot m_p + 9,81 \cdot m_k = 9,81 \cdot 134,5 + 9,81 \cdot 58 = 1742 \text{ Н},$$

Реакция передачи равна :

$$F_{\text{II}} = \frac{k_n}{r} \cdot M_{\text{ном}} = \frac{0,3}{0,055} \cdot 333 = 1815 \text{ Н},$$

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

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

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

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

Прогиб вала под действием силы тяжести:

$$f_G = \frac{G_\delta}{3 \cdot l^2 \cdot E} \cdot (a^2 \cdot S_b + b^2 \cdot S_a) = \frac{1742}{3 \cdot 0,089^2 \cdot 2,06 \cdot 10^{11}} \cdot (45 \cdot 0,407^2 + 475 \cdot 0,483^2) = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

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

Прогиб вала посередине сердечника ротора от реакции передачи составит:

$$f_i = \frac{F_i \cdot \tilde{n}}{3 \cdot \tilde{A} \cdot l^2} \cdot ((1,5 \cdot l \cdot S_0 - S_b) \cdot a + b \cdot S_a),$$

$$f_i = \frac{1815 \cdot 0,085}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,89} \cdot ((1,5 \cdot 0,6 \cdot 1562 - 45) \cdot 0,407 + 475 \cdot 0,483) = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

Начальный эксцентриситет ротора составит:

$$e_0 = 0,1 \cdot \delta + f_G + f_i = 0,1 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} + 4,2 \cdot 10^{-7} + 2,5 \cdot 10^{-7} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Начальная сила одностороннего магнитного притяжения:

$$T_o = 2,94 \cdot D_2 \cdot l_\delta \cdot \frac{\dot{a}_0}{\delta} = 2,94 \cdot 0,175 \cdot 0,6 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-5}}{0,15 \cdot 10^{-3}} = 3157 \text{ Н},$$

Прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения:

$$f_T = f_G \cdot \frac{T_o}{G_\delta} = 4,2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{3157}{1742} = 7,6 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

Установившийся прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения:

$$f_M = \frac{f_T}{1 - f_T/e_0} = \frac{7,6 \cdot 10^{-7}}{1 - 7,6 \cdot 10^{-7}/3 \cdot 10^{-5}} = 7,8 \cdot 10^{-7} \text{ м},$$

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

$$f = f_M + f_G + f_i = 7,8 \cdot 10^{-7} + 4,2 \cdot 10^{-7} + 2,5 \cdot 10^{-7} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

Результирующий прогиб вала не должен превышать 12% воздушного зазора.

Проверим это условие.

$$x = \frac{f}{\delta} \cdot 100\% = \frac{1,5 \cdot 10^{-6}}{1,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 0,49\%$$

Определение критической частоты вращения вала.

$$n_{\text{крит}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - f_T/e_0}{f_G}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - 7,6 \cdot 10^{-7}/3 \cdot 10^{-5}}{4,2 \cdot 10^{-7}}} = 45670 \text{ об/мин},$$

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

Проверим это условие $45670 > 1716$, 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 :

$$M_{\varepsilon A} = k \cdot F_T (c - x) = 2 \cdot 1815(0,085 - 0,015) = 254 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Момент сопротивления при изгибе:

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

Эквивалентное сопротивление при изгибе и кручении:

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{\sqrt{M_{\varepsilon A}^2 + (k \cdot T_{\varepsilon A})^2}}{W_A} = \frac{\sqrt{254^2 + (2 \cdot 254)^2}}{1,3 \cdot 10^{-4}} = 4,3 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

Напряжение в сечении Б

$$T = \frac{T_0}{1 - f_T / e_0} = \frac{3156}{1 - 7,6 \cdot 10^{-7} / 3 \cdot 10^{-5}} = 3238 \text{ Н}$$

$$M_{\varepsilon B} = k \cdot F_T \left(1 - \frac{y_1}{l}\right) + (G_p + T) \frac{a \cdot y_1}{l} = 2 \cdot 1815 \cdot \left(1 - \frac{0,015}{0,89}\right) + (1742 + 3238) \cdot \frac{0,407 \cdot 0,015}{0,89} = 338 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{\sqrt{M_{\varepsilon B}^2 + (k \cdot T_{\varepsilon B})^2}}{W_A} = \frac{\sqrt{338^2 + (2 \cdot 338)^2}}{1,7 \cdot 10^{-5}} = 4,5 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Напряжение в сечении В

$$M_{\varepsilon B} = k \cdot F_T \cdot c \cdot \left(1 - \frac{y_1}{l}\right) + (G_p + T) \frac{a \cdot y_1}{l} = 2 \cdot 1815 \cdot 0,085 \cdot \left(1 - \frac{0,015}{0,89}\right) + (1742 + 3238) \cdot \frac{0,407 \cdot 0,030}{0,89} = 367 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{\sqrt{M_{\varepsilon B}^2 + (\alpha \cdot k \cdot T_{\varepsilon B})^2}}{W_A} = \frac{\sqrt{367^2 + (2 \cdot 367)^2}}{1,7 \cdot 10^{-5}} = 4,9 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Напряжение в сечении Г

$$M_{\varepsilon \Gamma} = (k \cdot F_T \cdot \tilde{n} + (G_p + T) \cdot b) \frac{x_2}{l} = (2 \cdot 1815 \cdot 0,085 + (1742 + 3238) \cdot 0,483) \frac{0,15}{0,89} = 204 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

$$\sigma_{\bar{y}\bar{e}\bar{a}\bar{A}} = \frac{\sqrt{\bar{I}_{\bar{e}\bar{A}}^2 + (k \cdot \alpha \cdot \bar{I}_{\bar{e}\bar{A}})^2}}{W_{\bar{A}}} = \frac{\sqrt{204^2 + (2 \cdot 204)^2}}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 2,1 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Напряжение в сечении Д

$$M_{\bar{e}\bar{A}} = (k \cdot F_{\bar{f}} \cdot \bar{n} + (G_p + T) \cdot b) \frac{x_1}{l} = (2 \cdot 1815 \cdot 0,085 + (1742 + 3238) \cdot 0,483) \frac{0,015}{0,89} = 18 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

$$\sigma_{\bar{y}\bar{e}\bar{a}\bar{A}} = \frac{\sqrt{\bar{I}_{\bar{e}\bar{A}}^2 + (k \cdot \bar{I}_{\bar{e}\bar{A}})^2}}{W_{\bar{A}}} = \frac{\sqrt{18^2 + (2 \cdot 18)^2}}{2,2 \cdot 10^{-5}} = 1,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Из сопоставления полученных данных следует, что наиболее загруженным является сечение В для которого $\sigma_{\bar{y}\bar{e}\bar{a}\bar{A}} = 4,9 \cdot 10^7 \text{ Па}$ что меньше допустимого $\sigma_T = 3,6 \cdot 10^8 \text{ Па}$.

Рассчитаем шарикоподшипники радиальные однорядные.

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

$$R_a = F_{\bar{f}} \cdot \frac{\bar{n}}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{b}{l} = 1815 \cdot \frac{0,085}{0,89} + (1742 + 3156) \cdot \frac{0,483}{0,89} = 2832 \text{ Н}$$

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

$$Q_{\bar{A}} = k_f \cdot R_a = 1,5 \cdot 2832 = 4248 \text{ Н},$$

Принимаем расчётный срок службы подшипников $L_D = 15000 \text{ часов}$, наибольшая частота вращения 1500 об / мин .

Необходимая динамическая грузоподъёмность шарикоподшипника:

$$C_{\bar{A}} = \frac{Q_{\bar{A}}}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_{\bar{A}} \cdot n} = \frac{4248}{25,6} \cdot \sqrt[3]{15000 \cdot 1500} = 44889 \text{ Н},$$

Наибольшая радиальная нагрузка на другой подшипник :

$$R_b = F_l \cdot \frac{\tilde{n} + l}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{a}{l} = 1815 \cdot \frac{0,086 + 0,89}{0,89} + (1742 + 3556) \cdot \frac{0,407}{0,89} = 4229 \text{ Н}$$

$$Q_{\hat{A}} = k_i \cdot R_{\hat{A}} = 1,5 \cdot 4229 = 6343 \text{ Н}$$

$$C_{\hat{A}} = \frac{Q_{\hat{A}}}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_{\hat{A}} \cdot n} = \frac{6349}{25,6} \cdot \sqrt[3]{15000 \cdot 1500} = 67033 \text{ Н}$$

Для передней стороны двигателя выбираем шарикоподшипник средней серии 311 с динамической грузоподъемностью

$$C = 55000 \text{ Н.}$$

Для задней стороны двигателя выбираем шарикоподшипник тяжелой серии 411 с динамической грузоподъемностью

$$C = 70000 \text{ Н.}$$

Вал двигателя удовлетворяет всем требованиям предъявляемым к его механическим характеристикам.

III. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Оценка 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 главных 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 $1/3$ 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.

Рассмотрим арочный коллектор (рис.4).

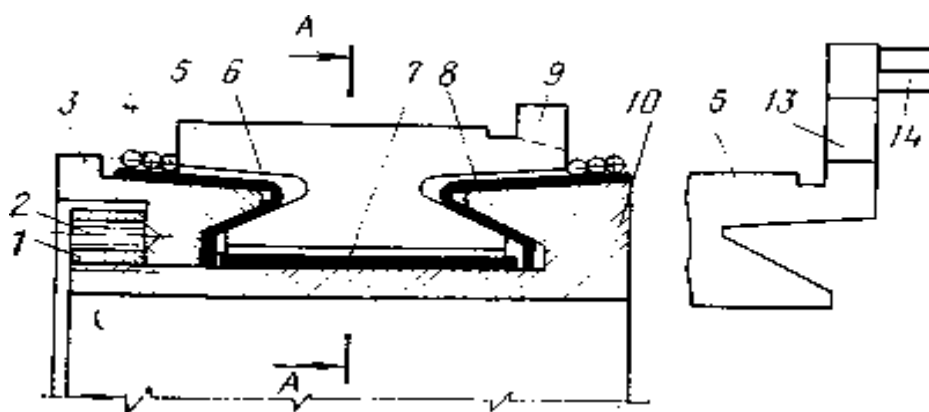


Рис. 6

Он состоит из коллекторных пластин 5, изоляционного цилиндра 7, изоляционных манжет 8, втулки 10, нажимного конуса 3, гайки 1, 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.

3.2 Испытания 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 избежании 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

3.3 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.

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

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

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

Схема сборки 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.

3.5 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 МП80 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.

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

Технически обоснованной нормой времени называют регламентированное время выполнения технологической операции в определенных организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства. Штучным временем называют отношение времени выполнения технологической операции к числу изделий одновременно собираемых на одном рабочем месте.

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

Штучное время равно

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

$$T_{шт} = 15,45 + 1,8 + 0,8 = 18,1125$$

где T_o основное (технологическое) время ;

$$T_o = 15,45;$$

T_v - вспомогательное время;

$$T_v = 1,8;$$

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

$$T_{об} = 0,05$$

T_n - время перерывов для удовлетворения естественных потребностей и отдыха рабочего.

$$T_n = 0,03 \quad T_{оп}$$

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, приспособлении и инструментов, снятие и сдачу инструментов и приспособлений после выполненной работы и сдачу собранных изделий. Тпз определяют по нормативам.

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

$$n = N * k / 12 \text{ мес} = 8\,000 * 1,03 / 12 = 686$$

$N = 8\,000$ шт/год-годовая программа выпуска.

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

Результаты в таблицу.

Таблица 4

Переход	№ оп.	T_o	T_v	$T_{оп}$	$T_{об}$	T_n	$T_{шт}$	$T_{пз}$	$T_{шт.к}$
Собрать двигатель в сборе Верстак	15	15,45	1,8	17,25	0,863	0,517	18,63	0,345	18,631
Испытания двигателя Испытательный стенд	20	10,6	2,4	13	0,65	0,39	14,04	0,26	14,041
контрольная	30	0,2	0,01	0,21	0,011	0,006	0,227	0,042	0,227

3.7 Определение потребного количества оборудования

Для определения количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий – 8 000, 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;

$N=8\ 000$ – годовая программа выпуска изделий.

Расчётное число каждого из видов сборочного оборудования равно:

$$C_p = (T_{штк} * N) / (60 * F_g);$$

Для верстака

$$C_{рв} = (18,63 * 8\ 000) / (60 * 3814) = 0,65 \text{ ,принимаем: } C_{прв}=1;$$

- Для испытательного стенда

$$C_{рп} = (14,04 * 8\ 000) / (60 * 3814) = 0,49 \text{ ,принимаем: } C_{прп}=1;$$

Для контрольная верстак

$$C_{рк} = (0,227 * 8000) / (60 * 3814) = 0,0079 \text{ ,принимаем: } C_{прк}=1;$$

Таким образом коэффициент загрузки

$$K_3 = (C_p / C_{пр}) * 100$$

- Для собрать двигателя верстака

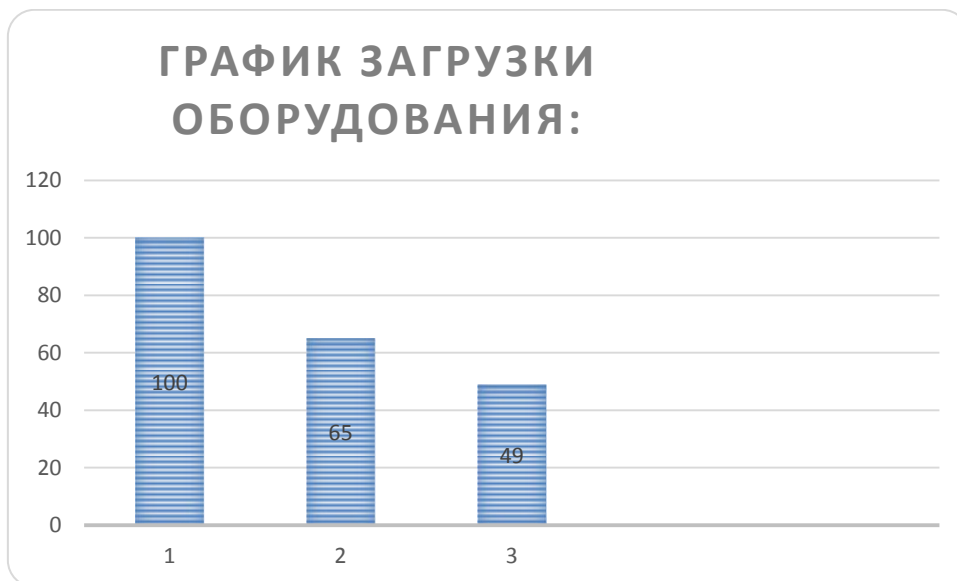
$$K_{зв} = (0,65 / 1) * 100 = 65 \%$$

- Для испытательного стенда

$$K_{зв}=(0,49 / 1) * 100 = 49 \%$$

Для контрольная верстак

$$K_{зв}=(0,0079/1)*100=0,79\%$$



1- Для Электропеча

2- Для Верстака

3- Для Испытательный стенд .

IV. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1 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.5.

Табл. 5 План разработки выполнения этапов проекта.

№ п/п	Перечень выполняемых работ	Исполнители		Разряд	Продолж. (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 обоснование выбора оборудования	1	инженер	10	4
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	

Продолжения Табл. 5

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

4.2 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. 6 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

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

4.3 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.

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

4.4 Материальные затраты на канцелярские товары.

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

$$I_{\text{mat}} = 1200(\text{руб})$$

4.5 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

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

где T_u - количество отработанных дней на ПК;

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

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

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

4.6 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.

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

4.7 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.

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

4.8 Себестоимость проекта

$$\begin{aligned} \sum I_{\text{проекта}} &= I_{\text{з.пл}} + I_{\text{соц}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}} = \\ &= 80924,2 + 24277,2 + 1200 + 312,1 + 106713,5 + 12947,8 = 226374,8 \text{ (руб)} \end{aligned}$$

Табл. 7 Смета затрат на подготовку проекта

№ п/п	Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
1	Заработная плата	$I_{\text{з.пл}\Sigma}$	80924,2
2	Социальные отчисления	$I_{\text{соц}}$	24277,2
3	Материальные затраты	$I_{\text{мат}}$	1 200,0
4	Амортизационные отчисления	$I_{\text{ам}}$	312,1
5	Прочие издержки	$I_{\text{пр}}$	106713,5
6	Накладные расходы	$I_{\text{накл}}$	12947,8
7	Себестоимость проекта	$\sum I_{\text{проекта}}$	226347,8

4.9 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. 8 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. 9 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, Н*м	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

Вывод: В итоге по оценке конкурентоспособности новшества видно, что разработанный товар не уступает товарам заменителям и коэффициент конкурентоспособности с учетом его технического уровня, затрат удовлетворение потребности в нем и конкурентных преимуществ при движении товара на рынке равен 1,012.

V. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА

Введение

В данном разделе мы рассмотрим безопасность и экономичность ремонта двигателя постоянного тока. Для этого были задействованы:

Подъемно-транспортные средства: мостовая кран-балка, для подъема и транспортировки

Оборудование: испытательный стенд для испытания якорной обмотки на электрическую прочность, высоковольтная установка для проверки качества пайки и отсутствие межвитковых замыканий, специальная индукционная установка для лужения петушков коллектора, специальное приспособление для размотки проволочных бандажей (без электропривода).

Инструмент: зубило, молоток 7850-0102 ГОСТ 2310-77 для разрубки проволочных бандажей, пневматический молоток для удаления пазовых клиньев, паяльник для пайки и распайки обмотки якоря.

Технологический процесс сборки включает в себя следующие виды работ: работу с механизированным ручным инструментом, продувку деталей, работу с транспортными приспособлениями.

5.1 Анализ опасных и вредных 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 работах.

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 $ПДК = 0.01 \text{ мг/м}^3$, класс опасности – 1; марганец, его $ПДК = 0.1 \text{ мг/м}^3$, класс опасности 2. Также при сборке применяется сварка что влечет за собой образование таких веществ как СО, его $ПДК = 20 \text{ мг/м}^3$, класс опасности 4; Пыль сварочная аэрозоль, её $ПДК = 4 \text{ мг/м}^3$, класс опасности 2. Также образуется пыль, её $ПДК = 6.0 \text{ мг/м}^3$, 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.

5.2 Производственная санитария

Техпроцесс ремонта относится к категории работ средней тяжести 2Б с энерго затратами 201-250 ккал/час, характеризующейся выполнением и переносом тяжести до 10 кг. [10]

Требуемое состояние воздуха рабочей зоны обеспечивается системами вентиляции и отопления.

На участке применяется система приточно-вытяжной вентиляции, а также система центрального отопления. В комплексе данные системы позволяют поддерживать необходимые параметры микроклимата. [11, 12]

В результате гигиенических исследований установлено, что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека. [13, 14]

При длительном воздействии шума на организм человека происходят нежелательные явления:

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

Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем. Измерение шума проводят с целью оценки его на рабочих местах или рабочих зонах для сопоставления с требованиями санитарных норм, а также для оценки шумовых характеристик машин и оборудования, с целью разработки мероприятий по борьбе с шумом. Для оценки шума используют частотный спектр измеренного уровня звукового давления, выраженного в децибелах в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром. Допустимый уровень шума в производственных помещениях и на территории промышленных предприятий не должен превышать 80 дБ. В связи с тем, что участок сборки находится в одном здании с участками механической обработки, штамповки, то для уменьшения уровня шума предлагается установить звукоизолирующие ограничения.

При использовании ручного механизированного пневматического инструмента, работающий подвергается воздействию вибрации. Для защиты рук от воздействия вибрации применяют: рукавицы, перчатки, а также виброзащитные прокладки или пластины, которые снабжены креплениями в

руке. Общие технические требования к средствам индивидуальной защиты рук от вибраций определены ГОСТ 124002-74.

В условиях профилактики вибрационной болезни для работающих предусмотрен специальный режим труда: суммарное время работы в контакте с вибрацией не должно превышать 2/3 рабочей смены.

Для обеспечения возможности нормальной работы, необходимо правильно выполнить освещение производственного помещения.

5.3 Расчет искусственного освещения

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятиях машиностроительной промышленности, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Задачи расчета искусственного освещения является определение числа светильников, их типа, мощности источников света.

5.3.1 Выбор источников света

К числу источников света массового применения относятся лампы накаливания, лампы ДРЛ, люминесцентные лампы.

Лампы накаливания применяются там, где проводятся грубые работы, или осуществляется общий надзор за эксплуатацией оборудования. Кроме того, предпочтение лампам накаливания отдается во взрыво- и пожароопасных помещениях, в сырых помещениях, в помещениях с химически активной средой.

Основным источником света, как для общего, так и для комбинированного освещения, являются люминесцентные лампы: АД4, ЛД, ЛХБ, ЛБ, ЛТБ. Из них наиболее экономичными являются лампы типа ЛБ.

5.3.2 Выбор системы освещения

Применение на рабочих местах одного местного освещения не допускается. Общее же равномерное освещение применяется для тех помещений, где работа производится по всей площади, и нет необходимости в лучшем освещении отдельных участков.

Система общего локализованного освещения применяется тогда, когда в производственном помещении есть участки, на которых проводятся работы с высоким зрительным напряжением.

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

5.3.3 Выбор осветительных приборов

- люминесцентные лампы - открытые двухламповые светильники типа ОД, ОЛОП, ОДО, ШОТ, ООД - для нормальных помещений с хорошим отражением стен и потолка; их применение допускается при умеренной влажности и запыленности. [16]
- Светильники ПВЛ - являются пылевлагозащищёнными, пригодны для некоторых пожароопасных помещений. Мощность лампы 2x40 Вт
- Плафоны потолочные для общего освещения закрытых, сухих помещений:
 1. Л71ВОЗ - мощность лампы 10x30 Вт
 2. Л71В84-мощность лампы 8x40 Вт

5.3.4 Выбор коэффициента запаса

Полученная из [СН 23-05-95] величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп освещённость снижается

Значение коэффициента запаса

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

5.3.5 Размещение осветительных приборов

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

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

Расчет искусственного освещения

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: 4 м.

Свес светильника:

$$h_c = 1 \text{ м}$$

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:

$$\frac{L}{h} = 1.1$$

$$L = 1.1 \cdot 4.2 = 4.64 \text{ м}$$

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

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

В результате разметки принимаем 20 светильников.

Для определения коэффициента использования находим индекс помещения:

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

Коэффициент использования: $\eta = 0.43$

Расчетный световой поток:

$$F = \frac{E_n kSZ}{n \eta} = \frac{100 * 1.3 * 432 * 1.1}{20 * 0.43} = 7183.3 \text{ Лм}$$

где k - коэффициент запаса;

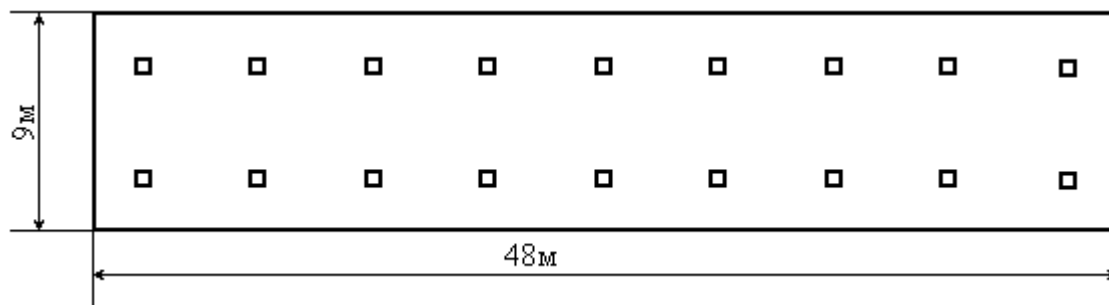
Z - коэффициент учитывающий отклонение от средней величины.

По полученному потоку подбираем мощность лампы для работы на напряжение 220В. Наиболее подходящей лампой является лампа мощностью 500Вт со световым потоком 8100Лм. Чтобы сохранить световой поток неизменным, число светильников надо уменьшить в следующее число раз:

$$\frac{7183.3}{8100} = 0.88 \quad 20 * 0.88 = 17.7 \text{ шт}$$

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

Рис. 7 План помещения в масштабе.



5.4 Микроклимат

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).

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

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

На рассматриваемом участке при сборке происходит образование пыли и других вредных факторов.

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

Периодический контроль содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ осуществляется силами заводской лаборатории или санитарно-гигиенической станции.[11]

Другой не мало важной задачей на производстве, является создание наилучших условий для видения. Эту задачу можно решить только

осветительной системой. В этих нормах рекомендуется освещённость участков, содержащих нужное оборудование, должна быть не менее 2000 лк.

В данном случае это условие выполняется, так как проектируемый участок разработан на базе действующего, где заводская комиссия в своё время проводила замеры искусственного освещения и заключила что оно соответствует норме.

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 приведены уровни звукового давления, измеренные в восьми октановых полосах со среднегеометрическими частотами.[13]

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. 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.

Измерение вибрации производится прибором ШШ-В1, снабженным датчиком вибрации. Нормативным документом рассматривающим уровни шума для различных категорий рабочих мест, служебных помещений является ГОСТ 12.1.003-88.

5.5 Техника безопасности

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

2. Первичный инструктаж рабочий получает на рабочем месте до начала производственной деятельности. Первичный инструктаж производит мастер цеха. Повторный инструктаж рабочий получает - ежеквартально.

3. После первичного инструктажа в течении первых двух – пяти смен должен выполнять работу под наблюдением мастера, либо наставника, после чего оформляется допуск к самостоятельной работе, который фиксируется датой и подписью инструктирующего и инструктируемого в журнале инструктажа.

4. Работник использует пневмоинструмент (пневмомолоток, пневмосверлилка) и грузоподъёмные механизмы, поэтому работникам предъявляются повышенные требования и они раз в три года проходят обучение в объеме знаний программы и инструкций по охране труда.

5. Рабочий должен работать в спецодежде:

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

6. Необходимо соблюдать:
- Правила внутреннего распорядка, не допускать распития спиртных напитков
 - Правила личной гигиены (работать в спецодежде, спецобуви и других СИЗ, пищу принимать только в отведённых для этих целей помещениях)
 - Курить разрешается в специально отведённых местах
7. соблюдать производственную и технологическую дисциплину, при выполнении работ быть внимательным не отвлекаться посторонними делами и не отвлекать других. Выполнять только ту работу, которая поручена мастером.
8. При получении травмы или недомогания нужно немедленно обратиться в здравпункт и по возможности в течении суток сообщить мастеру или начальнику цеха.
9. за не соблюдение требований инструкции по охране труда рабочий несёт дисциплинарное взыскание и материальное:
- Перевод на нижеоплачиваемую должность сроком до 3-х месяцев
 - Уголовную ответственность

Требования безопасности перед началом работы

1. Надеть спецодежду, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты.
2. Проверить общее состояние рабочего места и убедиться, что проходы не загромождены, освещены и нет выбоин на полу.
3. Работать инструментом, отвечающим требованиям ГОСТ 12.2.027-80:
 - Молотки, зубила, бородки, обжимки, керны и т.д. не должны иметь скошенных бойков и заусенцы;

- Гаечные ключи должны быть исправными и соответствовать размерам болтов и гаек; Наращивать ключи другими предметами запрещается.
4. Проверить исправность тележки, конвейера и зажимных приспособлений.
 5. Проверить исправность проводов и шлангов (нет ли утечки масла).
 6. При работе с грузоподъемными механизмами нужно проверить их исправность (тормоза, состояния троса, ограничителя подъема высоты и станцию (пульт) управления на передвижения тельфера и наличия заземления).
 7. О всех обнаруженных неисправностях сообщить мастеру и до его указания к работе не приступать.
 8. К работе с электроинструментом допускаются лица, прошедшие инструктаж по 1 группе безопасности.

Требования безопасности во время работы

1. Выполнять только ту работу, которая поручена мастером или начальником цеха.
2. Не загромождать рабочее место деталями. Своевременно убирать бракованные детали, не допуская их накопления.
3. Установку и съём тяжёлых деталей производить с помощью другого рабочего или грузоподъемных механизмов и приспособлений.
4. Пользоваться только исправным инструментом, предусмотренным для данных работ технологической картой.
5. При работе с абразивным кругом, пользоваться защитными очками.
6. Не останавливать вращающийся инструмент руками или каким-либо предметом.

7. При опрессовке узлов, их испытаниях на пневматических приспособлениях съём и укладку изделий производить только при полной неподвижности штока, не производить самостоятельно наладку и исправления пресса.
8. Детали укладывать в специальную тару или в стеллажи, если складирование производится на полу, то укладывать детали надо устойчиво, высота штабеля должна быть не более 1м, как указано в техпроцессе.
9. При работе на гидравлических прессах устанавливать запрессованные детали строго вертикально, без перекосов, т.к. они могут вылететь в сторону.
10. Напряжение переносного инструмента должно быть не выше 42В.
11. К работе с бензином и легко-воспламеняющимися веществами допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности и противопожарным правилам.
12. Остерегайся срыва ключа. Правильно накладывай ключ на гайку. При работе ключами не применяй прокладки, не удлиняй ключ для усиления затяжки.
13. Чалочные приспособления и подъёмные механизмы должны быть вполне годными и допущены к эксплуатации, на которых должны быть вывешены бирки с указанием грузоподъёмности, даты испытания и номера (шифра).
14. Тара должна иметь номер и указания наибольшего веса груза для транспортировки которого она предназначена. Ёмкость тары должна исключать возможность перегрузки грузоподъёмной машины.
15. Лицам, моложе 18-ти лет запрещается работать с грузоподъёмными механизмами.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

1. При авариях и возникновении производственных травм немедленно известить мастера или начальника цеха, обеспечивая сохранение до расследования обстановки без изменения (если это не угрожает жизни и здоровью окружающих работников, не приведёт к аварии и не нарушит производственного процесса).
2. Оказать первую помощь пострадавшему (отключение эл.установки, снятие напряжения с токоведущих частей и отделения от них пострадавшего, вынос его из опасной зоны, проведение искусственного дыхания, наружного массажа сердца, остановка кровотечения, создания покоя, вызов скорой помощи).
3. В случае пожара немедленно вызвать пожарную команду и принять меры по ликвидации пожара имеющимися средствами пожаротушения.

Требования безопасности по окончании работы

1. Проверить наличие инструмента, не оставлять его на месте работы, убрать в шкаф.
2. Электро-пневмоинструмент сдать в кладовую на проверку исправности, параметров шума и вибрации.
3. Произвести уборку рабочего места.
4. Сдать смену – сообщить сменному мастеру или сменщику обо всех недостатках, обнаруженных в оборудовании и инструментах.

5.6 Пожарная безопасность

Участок ремонта якорей согласно ОНТП - 24 - 86 ГОСТ 12.4.009 - 75. относится к категории «Д», т.е. это производство в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

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

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

Содержание зданий и помещений на объединении

- на входных дверях производственных помещений, складах должны быть вывешены категории взрывопожароопасности (А,Б,В,Г,Д,Е)
- все производственные и вспомогательные помещения должны 1 раз в смену очищаться от промышленных отходов и горючих материалов.
- проходы, тамбуры, выхода, коридоры, лестничные клетки не разрешается загромождать.
- все выхода должны открываться по направлению из здания, помещения.
- хранение в цехах сырья, полуфабрикатов, горючих жидкостей разрешается только не более суточной, сменной потребности.

- использовать ГЖ (горюче смазочная жидкость) и ЛВЖ (легковоспламеняющаяся жидкость) для мойки деталей и узлов запрещается.
- для использованных обтирочных материалов должны быть установлены металлические ящики с крышкой. По окончании смены они должны очищаться.
- сварочные работы, и другие огневые работы в складах и производственных помещениях должны производиться только по письменному разрешению и согласовываться с пожарной охраной, с соблюдением всех указанных мероприятий.
- спец. одежду следует хранить в специальных кабинках, изолированных от складских помещений и производственных помещений. В карманах не должны храниться промасленная ветошь. Спец. одежда должна своевременно стираться

На территории объединения и в помещениях запрещается

- загромождать различными предметами и оборудованием, готовой продукцией и заготовками проходы, выхода, коридоры, лестничные проемы и подходы.
- хранить специальную одежду и другие стораемые материалы на радиаторах, вешать на производственное оборудование, электроприборы.
- курить, пользоваться открытым огнем, не предусмотренным спец. технологией разводить костры.
- производить уборку помещений, оборудования с применением ЛВЖ и ГЖ.
- скапливать на рабочем месте мусор, промасленную ветошь.
- использовать не по назначению противопожарный инвентарь.

- загромождать различными предметами проходы, выхода.
- самовольно подключать в электросеть электронагревательные приборы, пользоваться неисправными, кустарного производства электроприборами.
- оставлять включенными станки, электроприборы без просмотра.
- при работе с огнеопасными жидкостями использовать инструмент могущий вызвать искрообразование.
- соприкосновение промасленной одежды, масел и др. жиров с арматурой кислородных баллонов.
- пользоваться не просушенными ковшами, инструментами при разливе металла пользоваться заливщиком неисправной и необработанной огнезащитным составом спец. одеждой.
- хранить без упаковки и рассыпать уретропин.

Каждый работающий на объединении должен знать

- при обнаружении пожара или загорания вызвать пожарную помощь по тел., - 21-01 21-09 23-29 9-01 и принять меры у ликвидации очага пожара или действовать по указанию старшего начальника или начальника ДПД.
- знать пути эвакуации из помещения.
- знать пожар опасность своего цеха, участка и при обнаружении нарушений противопожарного характера устранить их или сообщить начальнику цеха.
- знать и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения.

Огнетушители ОХВП-5, ОХВП-10, ОВП-5, ОВП-10 - предназначены для тушения загорания различных веществ и материалов, за исключением щелочноземельных элементов, а также электроустановок под напряжением.

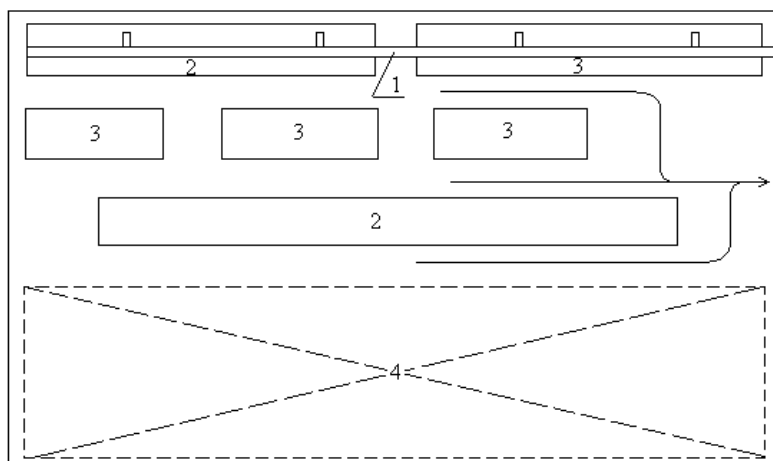
При загорании снять огнетушитель, поднести к очагу загорания, не менее 1 метра, прочистить спрыск иглой или гвоздем, повернуть рычаг до отказа до 180°, перевернуть огнетушитель вверх дном и направить струю на огонь. Действие огнетушителя 60 секунд, длина струи пены 6-8 метров. Выход пены из огнетушителя 50 литров.

Огнетушители ОВП-5, ОВП-10 - снять огнетушитель, выдернуть чеку, нажать на спусковой клапан и направить струю на огонь. Время действия - 50 секунд длина струи 5-7 метров, выход пены - 50 литров.

Огнетушители ОП-5, ОП-2 - порошковые, предназначены для тушения загорания установок под напряжением до 1000В. При загорании снять огнетушитель, поднести к загоранию, выдернуть чеку и нажать на клавиш, а затем направить пистолет на огонь.

Огнетушитель ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 - углекислотные, применяются для тушения электрооборудования под напряжением до 1000В и др. предметы. При загорании поднести огнетушитель к загоранию, выдернуть чеку и нажав на нижний рычаг направить струю на огонь.

Стационарная пенная установка - предназначена для тушения загорания различных веществ, за исключением щелочных и щелочноземельных веществ. При загорании размотать рукав, открыть вентили вода, воздух и направить пожарный рукав на огонь.



План эвакуации

- 1 – кран балка
- 2 – верстак для намотки обмоток
- 3 – верстак для комплектации якорей
- 4 – места складирования деталей и заготовок

5.7 Охрана окружающей среды

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

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

В качестве дополнительных средств защиты применяют аппараты и системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей, глушителей шума, виброизоляторы технологического оборудования. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

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

Вследствие использования работниками душевых и туалетов образуются жидкие отходы для удаления, которых применяют канализационную систему.

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

Неуклонный рост поступлений токсичных веществ в окружающую среду, прежде всего отражается на здоровье населения, ухудшает качество продукции сельского хозяйства, снижает урожайность, преждевременно ухудшает жилища, металлоконструкции промышленных и гражданских сооружений, оказывает влияние на климат отдельных регионов и состояния озонового слоя Земли, приводит к гибели флоры и фауны.

С целью охраны окружающей среды от загрязнений предусматривается внедрение:

- системы оборотного водоснабжения;
- системы очистки дождевой канализации;
- пыле и газоулавливания.

5.8 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.8.1 Комментируемая статья определяет действие законов и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, в пространстве. Общая идея данной статьи состоит в том, что сфера властных полномочий органа или лица, принявшего (издавшего) закон или иной

нормативный правовой акт, содержащий нормы трудового права, определяет и сферу действия соответствующих правовых норм.

5.8.2 Работник имеет право на:

- заключение, изменение и расторжение трудового договора в порядке и на условиях, которые установлены настоящим Кодексом, иными федеральными законами;
- предоставление ему работы, обусловленной трудовым договором;
- рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;
- своевременную и в полном объеме выплату заработной платы в соответствии со своей квалификацией, сложностью труда, количеством и качеством выполненной работы;
- отдых, обеспечиваемый установлением нормальной продолжительности рабочего времени, сокращенного рабочего времени для отдельных профессий и категорий работников, предоставлением еженедельных выходных дней, нерабочих праздничных дней, оплачиваемых ежегодных отпусков;
- полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о специальной оценке условий труда;
 - подготовку и дополнительное профессиональное образование в порядке,
- возмещение вреда, причиненного ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда в порядке, установленном настоящим Кодексом, иными федеральными законами; обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами.

5.8.3 Правила внутреннего трудового распорядка дня:

общие положения; порядок приема и увольнения работников;

права и обязанности работника и работодателя;

ответственность работника и работодателя;

режим работы, время отдыха;

порядок оплаты труда (размер, порядок выплаты, сроки и место выплаты);

применяемые к работникам меры поощрения и взыскания;

заключительные положения.

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 ходе дипломная проектирования был спроектирован двигатель постоянного тока, отвечающий всем требованиям технического задания, имеющий следующие номинальные параметры:

$$P_H = 46 \text{ кВт};$$

$$U_H = 440 \text{ В};$$

$$n_H = 1320 \text{ об/мин};$$

Расчет включает следующие этапы:

- 1 Выбор главных размеров и расчет параметров якоря
- 2 Выбор обмотка якоря
- 3 Расчет геометрии зубцовой зоны
- 4 Определение размеров магнитной цепи
- 5 Средние длины магнитных линий
- 6 Индукция в расчетных сечениях магнитной цепи
- 7 Коллектор и щетки
- 8 Расчет обмотки добавочных полюсов
- 9 Потер и КПД
- 10 Рабочих характеристики

При вышеперечисленных расчетах коэффициент полезного действия составил 0,899. Температурные показатели не превышают допустимых значений.

В заключении был произведен расчет потерь и коэффициента полезного действия машины и сделан подробный чертеж машины постоянного тока с приведенной спецификацией.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование электрических машин. / Под ред. Копылова И.П. – М.: Энергия, 1980.
2. Гурин Я. С., Кузнецов Б. И., Проектирование серий электрических машин, -М: Энергия, 1978 – 480 с.
3. Виноградов Н.В. Производство электрических машин. – М.: Энергия, 1970.
4. Иванов – Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1980.
5. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя. В3-х т. –М.: Машиностроение, 1982.
6. 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.
7. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Высш.шк., 1985. –416 с.
8. Замятин В.К. технология и оснащение сборочного производства машиностроения: Справочник. –М.: Машиностроение, 1995. –608 с.
9. Сборка и монтаж изделий машиностроения. Справочник.-Т.1.Сборка машиностроения./Под ред. В.С.Корсакова. В.К.замятина. –М.: Машиностроение, 1983. –480 с.