

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

Институт _____ Институт электронного обучения
Специальность _____ 140601.65 Электромеханика
Кафедра _____ Электротехнических комплексов и материалов

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Анализ особенностей работы и проектирования тяговых машин переменного тока УДК <u>621.313.3.045:621.333.004</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7311	Ковальский Никита Евгеньевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Дорохина Е.С.	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп.	Кузьмина.Н.Г			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А. А.	К.Т.Н		

По разделу «Технологическая часть»

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

По разделу «Электромагнитный расчет» специальная часть

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Дорохина Е.С.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А. Г.	Д.т.н, профессор		

Томск – 2017 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Институт электронного обучения
 Специальность 140601.65 Электромеханика
 Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломный проект(работа)
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Ковальский Никита Евгеньевич

Тема работы:

Анализ особенностей работы и проектирования тяговых машин переменного тока	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	30.03.17, №2259/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Номинальная мощность $P_{2н} = 350$ кВт; Число фаз $m = 3$; Номинальное напряжение $U_n = 530$ В, число полюсов $2p = 6$
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Реферат 2. Содержание 3. Введение 4. Электромагнитный, тепловой и Механический расчеты 5. Специальная часть 6. Технологическая часть 7. Экономическая часть 8. Безопасность и экологичность

	проекта 9. Заключение 10. Заключение на иностранном языке 11. Список использованных источников
Перечень графического материала	1. Сборочный чертеж двигателя 1 лист 2. Сборочный чертеж ротора 1 лист 3. Вал 1 лист 4. Специальная часть 1 лист 5. Электромагнитный расчет 1 лист 6. Технологическая часть 1 лист
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Основная часть	Дорохина Екатерина Сергеевна
Технологическая часть	Баранов Павел Рудольфович
Экономическая часть	Кузьмина Наталья Геннадьевна
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Дорохина Е.С.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7311	Ковальский Никита Евгеньевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Ковальский Никита Евгеньевич

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	140601.65 Электромеханика

Исходные данные к разделу «Технологический процесс сборки ротора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором»:

1. Сборочный чертеж ротора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, спецификация; 350 кВт, 2р=6	
2. Годовая программа выпуска изделия 1700 штук	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конструкции ротора на технологичность	2. Рассчитать усилие запрессовки сердечника ротора на вал; рассчитать температуру нагрева для горячей посадки сердечника на вал. Сравнить способы.
3. Составить схему сборки ротора	4. Выбрать оборудование для сборки, мех. обработки и балансировки ротора
5. Разработать маршрутную технологию сборки ротора	6. Определить нормы времени на операции и оборудование
7. Построить график загрузки оборудования	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Комплекс маршрутных карт и карты эскизов (в приложении)
2. График загрузки оборудования
3. Схема сборки ротора
4. Технологическая схема запрессовки

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7311	Ковальский Никита Евгеньевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Ковальский Никита Евгеньевич

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Специалист	Направление/специальность	Электромеханика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, анкетирование; опрос</i>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

8. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Смета затрат на проект</i>
9. <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	<i>Определение материальных затрат на производство продукции</i>
10. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Оценка технического уровня</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

5. <i>Оценка конкурентоспособности ИР</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Н. Г.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7311	Ковальский Никита Евгеньевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Институт	ИнЭО
Направление подготовки (специальность)	Электромеханика
Уровень образования	Специалист
Кафедра	ЭКМ
Период выполнения	(осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Ковальский Никита Евгеньевич

Тема работы:

Проектирование частотно-регулируемого асинхронного двигателя
--

Форма представления работы:

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

ЗАДАНИЕ

<p>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ опасных и вредных факторов; <ul style="list-style-type: none"> - Опасные факторы, возникающие при данном технологическом процессе: (Поражение электрическим током, при работе испытательной станции, получение механических травм, при слесарно-сборочных работах.) - Вредные факторы, которые приводят к нарушению нормального режима работы: (Отклонение параметров микроклимата, шум, вибрация, недостаточная освещенность) - Негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) 2. Производственная санитария: (шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека.) 3. Микроклимат: (качество воздуха в производственных помещениях, в частности в рабочих зонах) 4. Техника безопасности слесаря-сборщика эл. машин. 5. Расчет заземления станка: (Рассчитываем систему заземления агрегатного станка, работающего на напряжении $U=380В$) 6. Пожарная безопасность: <ul style="list-style-type: none"> - Содержание зданий и помещений на объединении. - На территории объединения и в помещениях запрещается. - . Каждый работающий на объединении должен знать (Противопожарная безопасности, план
---	---

	<p>эвакуации) 7. Охрана окружающей среды.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке</p>	<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: - физико – химическая природа фактора, его связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно технический документ); -- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</p> <p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: -- механические опасности (источники, средства защиты) -- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); -- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения);</p> <p>3. Охрана окружающей среды: 4. Защита в чрезвычайных ситуациях: - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7311	Ковальский Н.Е.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 103 страниц печатного текста, 15 таблиц, 39 источников литературы, 16 рисунков, 6 графических работ.

**ТЯГОВЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, МЕНЕДЖМЕНТ, СПЕЦ
ЧАСТЬ – ВЕНТИЛЯЦИОННЫЙ РАСЧЁТ.**

Объектом исследования является тяговый асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с частотным регулированием.

Цель работы - спроектировать трёхфазный тяговый асинхронный двигатель с частотным регулированием, мощностью 350 кВт с наименьшими технологическими изменениями.

В работе проделаны электромагнитный, механические расчеты. Разработан технологический процесс сборки ротора двигателя, рассмотрена социальная ответственность, произведён финансовый менеджмент.

Содержание

Реферат	8
Введение.....	11
1. Электромагнитный расчет.....	15
1.1 Устанавливаем основные исходные данные для электромагнитного расчета.	16
1.2 Расчет активного слоя статора.....	21
1.3 Расчёт зубцовой зоны статора	24
1.4 Расчет активного слоя ротора	28
1.5 Расчет магнитной цепи	34
1.6 Расчет сопротивлений тягового электродвигателя.....	39
1.7 Расчет потерь	45
2. Расчет электромеханических характеристик тд на ободе колеса	49
2.1. Оценка способов регулирования	51
2. 2 Механический расчёт.....	54
3. Технологическая часть	59
Технологический процесс сборки ротора асинхронного двигателя.....	59
Анализ исходных данных.....	60
Служебное назначение и особенности конструкции ротора.....	61
Оценка технологичности конструкции.....	63
Обработка ротора	65
Технические требования.....	65
Расчет усилия запрессовки ротора без вала на вал.....	66
Выбор оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств.....	69
Выбор оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств.....	70
Маршрутная технология сборки.....	72
Расчет норм времени.....	73

Расчет количества оборудования для выполнения годовой программы.....	75
4. Спец. часть.....	77
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	81
5.1. Введение.....	96
5.3. Производственная санитария.....	97
5.3.1. Искусственное освещение.....	97
5.3.2. Микроклимат	102
5.4. Техника безопасности слесаря-сборщика электрических машин.....	106
5.5. Пожарная безопасность	109
Заключение	116
Список использованных источников	117

Введение

Современные подходы проектирования электрического подвижного состава и условия высокоэффективной эксплуатации тяговых систем электровозов и электропоездов требуют применения надежных тяговых двигателей локомотивов. В настоящее время одним из самых перспективных и зарекомендовавших себя в эксплуатации на всех железных дорогах мира является асинхронный тяговый двигатель (АТД).

Асинхронный тяговый двигатель, являясь бесколлекторной машиной, работающей на переменном токе, по конструкционным и рабочим параметрам превосходит коллекторные тяговые двигатели постоянного тока. Асинхронный двигатель отличается простотой конструкции, меньшими габаритными размерами по сравнению с двигателями постоянного тока при той же, или большей, вырабатываемой мощности.

Попытки использовать бесколлекторные двигатели переменного тока в локомотивостроении были еще в 30-х гг. XX в. Однако практическая возможность их применения появилась лишь после освоения промышленностью серийного выпуска силовых тиристоров и диодов, а также полупроводниковых элементов, позволяющих рационально выполнять системы управления и регулирования частоты питающего напряжения.

Простые по конструкции АТД с короткозамкнутым ротором при частотном регулировании полностью удовлетворяют условиям и требованиям электрической тяги. Первые образцы электроподвижного состава (ЭПС) с асинхронными тяговыми двигателями, созданные в 1970–1972 гг., использовались в основном для исследовательских целей, а образцы ЭПС, создаваемые с 1975 г. по сегодняшний день работали и продолжают работать в регулярной эксплуатации [1].

На железных дорогах Франции, Германии, Великобритании, Бельгии, Испании, Италии, Японии, Южной Кореи и других стран высокую степень эксплуатации на подвижном составе занимают асинхронные тяговые двигатели. Более детальное рассмотрение скоростного подвижного состава и его тяговых

систем приведено в специализированной литературе, посвященной зарубежному подвижному составу [2].

В России работы по созданию подвижного состава, имеющего асинхронные двигатели, ведутся с 70-х гг. прошлого столетия. За это время были построены опытные и прошедшие отдельные периоды эксплуатации локомотивы, такие как электровозы ВЛ80а; ВЛ86, разработанный в содружестве с финской фирмой «Стрёмберг»; ЭП10 с асинхронным тяговым приводом, созданный совместно со швейцарско-германской группой «AD Tranz» («АББ-Даймлер-Бенц транспортешн»).

В 1970–1971 гг. в России были построены опытные электровозы с асинхронными и синхронными тяговыми двигателями. Один с преобразователем, разработанным ВНИИ электромеханики, типа ВЛ80А мощностью 9600 кВт, второй – по идее ВНИИЖТа – ВЛ80В мощностью 8000 кВт. Доктор технических наук профессор А.С. Курбасов руководил испытаниями электровоза ВЛ80А. В процессе этих испытаний были отмечены хорошие тягово-энергетические показатели этого локомотива. Одним тяговым двигателем он развивал скорость до 40 км/ч с поездом 2000 тонн, реализуя коэффициент сцепления 0,4–0,45 в неблагоприятных погодных условиях. Однако надежность преобразовательного оборудования была невысокой, из-за чего был сделан вывод о непригодности опытного электровоза для эксплуатации. Поэтому работы по асинхронному приводу были практически прекращены до 90-х гг. XX в.

Стоит отдельное внимание уделить работам А.С. Курбасова в области разработки тяговых двигателей для электровозов, обзорные данные о работах которого приведены в Вестнике ВЭЛНИИ № 2(51).

В 1997 г. в МПС подписан договор с корпорацией «AD Tranz» об участии концерна в создании электровоза ЭП-10, который был разработан ОАО «НПО «Новочеркасский электровозостроительный завод» (ОАО «НПО «НЭВЗ») совместно с Всероссийским научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом электровозостроения (ОАО «ВЭЛНИИ»). Электрооборудование для него поставлено компанией «Бомбардье

Транспортейшен» (Канада–Швейцария). ОАО «ВЭЛНИИ» разработаны проекты по созданию электровозов ЭП2 и ЭП3, в типаж которых заложены унифицированные асинхронные тяговые двигатели НТА-1200 номинальной мощностью 1200 кВт, автономные инверторы напряжения, тяговая передача второго класса. Группой компаний «Синара-Транспортные машины», совместно с компанией Siemens, экспертами ОАО «РЖД», учеными ВНИКТИ и ВНИИЖТа реализованы модульные технические решения, ранее не применявшиеся в отечественном локомотивостроении и на их базе разработан электровоз 2ЭС7 с асинхронными тяговыми двигателями, в настоящее время подготовленный к опытной эксплуатации на полигонах ОАО «РЖД».

В настоящее время специалистами ОАО «РЖД», ОАО «ВЭЛНИИ», ЗАО «Трансмашхолдинг» при участии ведущих мировых производителей в области железнодорожного машиностроения разработан локомотив нового поколения, соответствующий мировым образцам – мультиси-стемный электровоз с асинхронным тяговым приводом на базовой платформе ЭП20.

В конце 2009 г. компанией ОАО «РЖД» введен в постоянную эксплуатацию высокоскоростной поезд «Сапсан» серии Velaro RUS, созданный немецкой компанией Siemens – первый поезд такого класса в России, способный развивать скорость более 250 километров в час, в качестве тяговых систем которого использованы АТД. Также в свое время был разработан тепловоз ТЭ120, имеющий асинхронный привод и показавший значительное повышение мощности и КПД по сравнению с аналогичными тепловозами, имеющими коллекторный двигатель. Брянским машиностроительным заводом совместно с Всероссийским научно-исследовательским и конструкторско-технологическим институтом подвижного состава создан опытный маневровый тепловоз ТЭМ21 с асинхронными тяговыми двигателями. Сегодня на базовой платформе тепловоза 2ТЭ25К «Пересвет», имеющего коллекторные двигатели, выпущен тепловоз 2ТЭ25А «Витязь», который прошел испытания на железных дорогах западного региона РФ, а в 2011 г. в сложных климатических условиях – на тяжелом перевальном профиле северного хода на Дальневосточной железной

дороге. В настоящее время партия данных локомотивов эксплуатируется в условиях БАМа.

Из такого краткого анализа становится очевидным, что будущее электровозостроения однозначно необходимо связывать с асинхронным приводом.

1. Электромагнитный расчет

Здесь и далее ведем расчет по методике, изложенной в [1].

Исходные данные: Тип двигателя асинхронный частотно-регулируемый с короткозамкнутым ротором

Номинальный расчетный режим - продолжительный

Мощность тягового двигателя - $P_2 = 350$ кВт

Тяговое усилие одной оси при среднеизношенных бандажах, не менее $F_{\infty} = 1750$ кгс

Выпрямленное напряжение $U_d = 530$ В

Число фаз обмотки статора $m = 3$

Номинальная частота абсолютного скольжения - $f_2 = 1,0$ Гц

Напряжение изоляции обмоток двигателя относительно земли - $U_c = 1600$ В

Класс нагревостойкости изоляции обмотки статора - F

Подвеска - опорно-осевая

Зубчатая передача - двусторонняя, косозубая, одноступенчатая

Модуль зацепления (нормальный) - $m_n = 12,0$ мм

Расстояние между нижней точкой кожуха зубчатой передачи и головкой рельса (клиренс) при новых бандажах, не менее - $b = 120$ мм.

Диаметр бандажа ведущего колеса по кругу катания:

нового $D_{\sigma} = 1250$ мм.

среднеизношенного $D_{\sigma} = 1250$ мм.

Максимальная скорость электровоза $\mathcal{G}_{\max} = 110$ км/ч

Максимальная окружная скорость ротора,

не более $\mathcal{G}_{p\max} = 100$ м/с

Максимальная частота вращения по условиям работоспособности роторных подшипников, не более $n_{\max} = 2100$ об/мин

Максимальная частота по условиям работоспособности

тиристоров, не более - $f_{\max} = 150$ Гц

Вентиляция - независимая

1.1 Устанавливаем основные исходные данные для электромагнитного расчета.

1.1.1 Среднее значение выпрямленного тока

$$I_{д.н} = \frac{P_2 \cdot 10^3}{U_{д.н} \eta_{д.н}}$$

где P_n – номинальная мощность ТД, кВт;

$\eta_{д.н}$ – коэффициент полезного действия (КПД) ТД в номинальном режиме.

$$I_{д.н} = \frac{350 \cdot 10^3}{530 \cdot 0,934} = 707,0 \text{ А};$$

1.1.2 Действующее, значение основной гармонической фазного напряжения двигателя

$$U_{\phi 1} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} 530 = 238 \text{ В}.$$

1.1.3 Действующее значение основной гармонической линейного напряжения двигателя

$$U_{л1} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} U_d = \frac{\sqrt{6}}{\pi} 530 = 413,2 \text{ В}.$$

1.1.4 Активная мощность на зажимах двигателя

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_\delta} = \frac{350}{0,934} = 374 \text{ кВт}.$$

1.1.5 Полная мощность на зажимах двигателя

$$P_{полн} = \frac{P_1}{\cos \varphi} = \frac{374}{0,84} = 445,24 \text{ кВт}.$$

где $\cos \varphi = 0,84$ принят предварительно.

1.1.6 Действующее значение основной гармонической тока одной фазы статора двигателя (при соединении обмотки статора звездой)

$$I_{\phi 1} = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_{л1} \cdot \eta_\delta \cdot \cos \varphi} = \frac{P_{полн}}{\sqrt{3} \cdot U_{л1}} = \frac{445240}{\sqrt{3} \cdot 413,2} = 596,8 \text{ А}.$$

Как и при проектировании вентильного двигателя, по условиям работоспособности роторных подшипников наибольшее передаточное число не должно превышать $\mu = 4,3$. Так как ротор проектируемого асинхронного двигателя ко-роткозамкнутый, следует ожидать, что он будет по сравнению с ротором вентильного двигателя менее напряженным по электромагнитным и тепловым нагрузкам. Поэтому асинхронный двигатель при одинаковых заданных номинальных мощности и тяговом усилии может быть спроектирован на меньших диаметрах ротора и статора и более скоростным, чем вентильный. При этом не потребуется делать максимальную раздвижку по централи и может быть принята обычно применяемая оптимальная коррекция, равная $(0,5 \sim 0,7) m_s$, а также, видимо, не потребуется глубокого врезания оси колесной пары в остов, и большей будет толщина тела остова в местах расположения моторно-осевых подшипников. Все соображения относительно параметров зубчатой передачи вентильного двигателя справедливы и для асинхронного. Поэтому принимаем такими же число зубьев большого зубчатого колеса $Z = 75$; модуль нормальный $m_n = 12,0$ мм; торцовый $m_s = 12,81$ мм. Число зубьев шестерни уменьшаем, приняв $z = 18$. Передаточное число зубчатой передачи $\mu = 75/18 = 4,166$.

Получаем:

1.1.7 централь

$$Ц = \frac{m_s}{2} (Z + z) + 0,65 \cdot m_s = \frac{12,81}{2} (75 + 18) + 0,65 \cdot 12,81 \approx 604 \text{ мм.}$$

1.1.8 Максимальный внутренний диаметр остова (в расточке)

$$D_j = 2 \cdot \left(Ц - \left(\frac{D_{вкл}}{2} + h_j \right) \right) = 2 \cdot \left(604 - \left(\frac{135}{2} + 17,5 \right) \right) = 592 \text{ мм.}$$

где $D_{вкл} = 135$ мм — наружный диаметр вкладышей моторно-осевых подшипников;

$h_j = 17,5$ мм — толщина тела остова в местах расположения вкладышей моторно-осевых подшипников.

1.1.9 Внешний диаметр активной стали статора принимаем на 2 мм меньшим:

$$D_a = D_j - 2 = 592 - 2 = 590 \text{ мм.}$$

1.1.10 Скорость локомотива

$$g_{\infty} = \frac{367 \cdot P_2}{F_{\infty}} \cdot \eta_3 = \frac{367 \cdot 350}{1750} \cdot 0,975 = 71,6 \text{ км/ч,}$$

где $\eta_3 = 0,975$ — к. п. д. зубчатой передачи в номинальном режиме.

1.1.11 Частота вращения двигателя в номинальном режиме

$$n_{\infty} = \frac{5,3 \cdot \mu \cdot g_{\infty}}{D_{\delta}} = \frac{5,3 \cdot 4,166 \cdot 71,6}{1,2} = 1265 \text{ об/мин.}$$

1.1.12 Вращающий момент в продолжительном режиме

$$M_{\infty} = 974 \cdot \frac{P_2}{n_{\infty}} = 974 \cdot \frac{350}{1265} = 269,5 \text{ кгс*м.}$$

1.1.13 Частота вращения двигателя при максимальной скорости электровоза

$$n_{\max} = n_{\infty} \cdot \frac{g_{\max}}{g_{\infty}} = 1265 \cdot \frac{110}{71,6} = 2030 \text{ об/мин.}$$

Для заданной мощности целесообразно рассматривать и сопоставлять варианты с $2p = 6$ и $2p = 8$. Десятиполюсное исполнение двигателя неприемлемо, так как частота при максимальной скорости электровоза получается чрезмерно высокой — 170—180 Гц, превышая максимально допустимую по условиям работоспособности тиристоров (150 Гц).

Так как в системе с рассматриваемыми двигателями по сравнению с вентильными электрооборудование электровоза получается большей массы, следует стремиться иметь более легким тяговый двигатель (чтобы не превышать заданное давление оси на рельс). В задании $2p = 6$, так как по сравнению с $2p = 8$ двигатель получается меньшей массы за счет меньшей толщины спинок статора и ротора.

1.1.14 Механическая частота вращения ротора

$$f_r = \frac{p \cdot n_\infty}{60} = \frac{3 \cdot 1265}{60} = 63,25 \text{ Гц.}$$

1.1.15 Максимальная механическая частота ротора

$$f_{r\max} = f_r \cdot \frac{n_{\max}}{n_\infty} = 63,25 \cdot \frac{2030}{1265} = 101,5 \text{ Гц.}$$

1.1.16 Номинальная частота тока статора

$$f_{1н} = f_r + f_2 = 63,25 + 1,0 = 64,25 \text{ Гц.}$$

1.1.17 Максимальная частота тока статора

$$f_{1\max} = f_{r\max} + f_2 = 101,5 + 1,0 = 102,5 \text{ Гц.}$$

1.1.18 Частота вращения магнитного поля статора в номинальном режиме

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_{1н}}{p} = \frac{60 \cdot 64,25}{3} = 1285 \text{ об/мин.}$$

1.1.19 Угловая скорость вращающегося магнитного поля статора в номинальном режиме

$$\omega_{1н} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 64,25}{3} = 134,6 \text{ рад/с.}$$

1.1.20 Угловая скорость ротора в номинальном режиме

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_r}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 63,25}{3} = 132,5 \text{ рад/с.}$$

1.1.21 Абсолютное скольжение ротора

$$\omega_\Delta = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_2}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,0}{3} = 2,094 \text{ рад/с.}$$

1.1.22 Относительное скольжение в номинальном режиме

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1285 - 1270}{1285} = 0,0117 = 1,17 \text{ \% .}$$

1.1.23 Параметр абсолютного скольжения (равен относительному скольжению в номинальном режиме)

$$\beta = s \cdot \alpha = 0,0117 \cdot 1 = 0,0117$$

Стремлением уменьшить намагничивающий ток двигателя и тем самым повысить $\cos \varphi$ объясняется то, что воздушный зазор между статором и ротором

выполняется минимально возможным по конструктивным и производственным условиям. Из-за этого обмотка и сердечник статора очень слабо обдуваются вентилярующим воздухом со стороны, обращенной к ротору. Для улучшения охлаждения эффективно устройство так называемых надпазовых каналов статора, образуемых за счет соответствующего углубления пазов. При этом уменьшается аэродинамическое сопротивление и увеличивается поверхность теплоотдачи с активного слоя статора. Высота надпазового канала составляет $(1,0-1,5) b_n$, где b_n — ширина паза статора. В вентильном двигателе надпазовые каналы в статоре неприемлемы, так как они существенно (на 40%) повышают индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора x_s , что приводит к уменьшению вращающего момента. В асинхронном же двигателе увеличение индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора не столь вредно, так как коммутация осуществляется принудительно, специальной коммутирующей цепью.

Для дальнейшего электромагнитного расчета приняты внутренний диаметр статора D_i — 425 мм; внешний диаметр ротора $D_2 = 423$ мм. Выбирая размер минимально допустимого воздушного зазора, следует оценивать:

- ток холостого хода и $\cos \phi$ при номинальной нагрузке;
- допустимое рассеяние в воздушном зазоре;
- механические условия (начальный эксцентриситет ротора, износ подшипников, одностороннее магнитное притяжение и прогиб вала).

С учетом производственных возможностей принят односторонний воздушный зазор между ротором и статором 0,75 мм.

1.1.24 Максимальная окружная скорость ротора

$$g_{p\max} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n_{\max}}{60} = \frac{\pi \cdot 0,425 \cdot 2030}{60} = 45,17 \text{ м/с.}$$

1.2 Расчет активного слоя статора

1.2.1 Выберем предельные значения зубцового деления t_{Z1}

При полукоткрытых прямоугольных пазах статора .

$$t_{Z1\min} = 0,016 \text{ м}; \quad t_{Z1\max} = 0,019 \text{ м}.$$

1.2.2 Возможное число пазов статора Z_1 [1 с.351]:

$$Z_{1\min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{Z1\max}} = \frac{3,14 \cdot 0,425}{0,019} = 70,2.$$

$$Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{Z1\min}} = \frac{3,14 \cdot 0,425}{0,016} = 83,4.$$

Выбираем окончательно число пазов статора $Z_1 = 72$. Выбор

обосновывается тем, что число пазов статора в большинстве асинхронных двигателей должно быть кратно числу фаз, а число пазов на полюс и фазу (q) – целым. Обмотки с дробным числом q при сравнительно небольших числах пазов и полюсов, характерных для большинства асинхронных двигателей, приводят к некоторой асимметрии МДС. Большое количество пазов приводит к улучшению рабочих характеристик, но и одновременно к увеличению расхода меди, т.е. стоимость машины при этом повышается.

Проверим величину q :

$$q = Z_1 / 2p \cdot m = 72 / 6 \cdot 3 = 4.$$

1.2.3 Окончательное значение зубцового деления статора

$$t_{Z1} = \frac{\pi \cdot D}{2p \cdot m \cdot q} = \frac{3,14 \cdot 0,425}{6 \cdot 3 \cdot 4} = 0,0159 \text{ м}.$$

Число проводников в пазу:

$$U_{III} = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{ном} \cdot Z_1} = \frac{3,14 \cdot 0,425 \cdot 40000}{596,8 \cdot 72} = 10,67.$$

Принимаем $a = 2$ тогда окончательное значение числа проводников в пазу, $U_{II} = a \cdot U_{III}$.

Окончательно принимаем $U_{II} = 20$.

1.2.4 Число витков в фазе обмотки статора

$$w_1 = \frac{U_{II} \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = \frac{20 \cdot 72}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 120.$$

1.2.5 Найдём окончательное значение линейной нагрузки

$$A = \frac{2 \cdot I_{ном} \cdot w_1 \cdot m_1}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 596,8 \cdot 120 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,425} = 37473 \text{ А/м}.$$

Полученное значение сопоставляем с рекомендуемым $A = 40000 \text{ А/м}$,
Различия не превышают 6,5 %. Принимаем $A = 37473 \text{ А/м}$.

Рассчитаем значение потока

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot K_{об1} \cdot f_1} = \frac{0,96 \cdot 238}{4 \cdot 1,11 \cdot 120 \cdot 0,92 \cdot 63,25} = 0,0152 \text{ Вб}.$$

Определим значение индукции в воздушном зазоре

$$B_\delta = \frac{\Phi \cdot p}{D \cdot l_\delta} = \frac{0,0152 \cdot 3}{0,425 \cdot 0,28} = 0,594 \text{ Тл}.$$

Значения A и B_δ находятся в допустимых пределах к рекомендуемым.

1.2.6 Определение плотности тока

С точки зрения повышения использования активных материалов плотность тока должна быть выбрана как можно большей, но при этом возрастают потери в меди обмотки. Увеличение потерь сказывается, во-первых, на повышении температуры обмотки и, во-вторых, на КПД двигателя. Определим допустимую плотность тока в обмотке статора с учётом линейной нагрузки двигателя:

$$J_1 = \frac{AJ}{A}$$

где AJ – среднее значение тепловой нагрузки зависящее от D_a ,

$$AJ = 211 \cdot 10^9 \text{ А}^2/\text{м}^3.$$

$$J_1 = \frac{AJ}{A} = \frac{211 \cdot 10^9}{37473} = 5,63 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$$

1.2.7 Площадь поперечного сечения эффективного проводника предварительно:

$$q_{\text{эф}} = \frac{I_{\text{ном}}}{a \cdot J_1} = \frac{596,8}{2 \cdot 5,63 \cdot 10^6} = 5,29 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Принимаем число элементарных проводников $n_{\text{эл}} = 1$, тогда

$$q_{\text{эл}} = \frac{q_{\text{эф}}}{n_{\text{эл}}} = \frac{5,29 \cdot 10^{-6}}{1} = 5,29 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

1.2.8 Уточнённое значение плотности тока в обмотке статора:

$$J_1 = \frac{I_{\text{ном}}}{a \cdot q_{\text{эл}} \cdot n_{\text{эл}}} = \frac{596,8}{2 \cdot 5,29 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 5,63 \cdot 10^6 \text{ А / м}^2.$$

Плотность тока в обмотке статора попадает с достаточной степенью точности в полученное предварительно значение, что является критерием правильности произведенных расчетов.

1.3 Расчёт зубцовой зоны статора

1.3.1 Выбор формы паза статора.

Выбираем прямоугольный паз статора (Рисунок 1.1).

1.3.2 Расчёт зубцовой зоны статора.

Выбираем допустимые значения индукции:

в ярме статора – $B_a = 0,643$ Тл;

в зубцах статора при постоянном сечении – $B_{Z1} = 1,6$ Тл.

Выбираем способ изолирования листов – лакирование, тогда коэффициент заполнения сердечника сталью для статора $k_c = 0,95$.

1.3.3 Определим ширину зубцов статора:

$$b_{Z1} = \frac{B_\delta \cdot l_\delta \cdot t_{Z1}}{B_{Z1} \cdot l_{cm} \cdot k_c} = \frac{0,59 \cdot 0,28 \cdot 0,0159}{1,6 \cdot 0,28 \cdot 0,95} = 6,23 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Найдём высоту ярма статора

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot l_\delta \cdot k_c} = \frac{0,0152}{2 \cdot 0,643 \cdot 0,28 \cdot 0,95} = 0,0444 \text{ м.}$$

Высота шлица $h_a = 1,25 \cdot 10^{-3}$ м

Ширина шлица $b_{III} = 5,5 \cdot 10^{-3}$ м

Определим размеры паза в штампе:

Высота паза статора:

$$h_{II} = \frac{D_a - 2h_a - D}{2} = \frac{0,590 - 2 \cdot 0,0444 - 0,425}{2} = 0,0376 \text{ м.}$$

Ширина паза:

$$b_i = t_{Z1} - b_{Z1} = 0,0159 - 0,0062 = 0,0097 \text{ м.}$$

Высота клина: $h_{кл} = 3 \cdot 10^{-3}$ м.

1.3.4 Размеры паза в свету с учётом припуска на шихтовку сердечника

$$\Delta b = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad \Delta h = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$b'_{n1} = b_n - \Delta b = (9,7 - 0,3) \cdot 10^{-3} = 9,67 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$h'_n = h_n - \Delta h = (37,6 - 0,3) \cdot 10^{-3} = 37,57 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Односторонняя толщина изоляции в пазу $b_{уз} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Толщина межслойной прокладки $\Delta_{np} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Площадь поперечного сечения прокладки:

$$S_{np} = b_n \cdot \Delta_{np} = 9,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 5,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Высота паза статора, занятая обмоткой:

$$h_{nm} = h_n - h_{кл} - h_{ш} - 4b_{уз} - \Delta_{np} = 0,0414 - 0,003 - 0,001 - 4 \cdot 0,0032 - 0,0004 = 0,024 \text{ м.}$$

Ширина паза статора, занятая обмоткой:

$$b_{nm} = b'_{n1} - b_{уз} = (9,67 - 1,8) \cdot 10^{-3} = 6,47 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Размеры проводника обмотки статора (первое приближение):

$$\text{Ширина проводника: } b_{m1} = \frac{b'_{n1} - \Delta_s}{n_{kt}} = \left(\frac{9,7 - 4,1}{2} \right) \cdot 10^{-3} = 2,79 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Высота проводника:

$$a_{m1} = \frac{n_{kt} \cdot h_{mn}}{U_n} - (\Delta_{ipz} + \Delta_{уз.вн}) = \frac{2 \cdot 28,8 \cdot 10^{-3}}{20} - (0,68 + 0,31) = 1,89 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Сечение проводника:

$$S_{m1} = a_{m1} \cdot b_{m1} = 1,89 \cdot 10^{-3} \cdot 2,79 \cdot 10^{-3} = 5,27 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Размеры проводника обмотки статора:

Ширина проводника: $b_{m1} = 2,8 \cdot 10^{-3}$ м.

Высота проводника: $a_{m1} = 1,9 \cdot 10^{-3}$ м.

Сечение проводника: $S_{m1} = 4,903 \cdot 10^{-6}$ м².

Сечение паза статора:

$$b_{n1} = b_{n1} \cdot h_{n1} = 9,7 \cdot 10^{-3} \cdot 37,6 \cdot 10^{-3} = 3,647 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Сечение меди в пазах статора:

$$q_{m1} = S_{m1} \cdot U_n = 4,958 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 9,92 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

1.3.5 Коэффициент заполнения паза медью:

$$k_3 = \frac{q_{m1}}{S_{n1}} = \frac{9,92 \cdot 10^{-5}}{3,65 \cdot 10^{-4}} = 0,272.$$

Свободная площадь паза:

$$s_{cv} = (b_{n1} - \Delta_s + \Delta_{ipz}) \cdot (h_{n1} - \Delta_{hn}) = (9,7 - 4,1 + 0,68) \cdot 10^{-3} \cdot (37,6 - 8,85) \cdot 10^{-3} =$$
$$= 1,81 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Коэффициент заполнения паза:

$$k_3 = \frac{(a_{m1} + \Delta_{ipz}) \cdot (b_{n1} + \Delta_{ipz}) \cdot U_n}{s_{cv}} = \frac{(1,9 + 0,68) \cdot (2,8 + 0,68) \cdot 20}{1,81 \cdot 10^{-4}} = 0,995$$

Полученное значение соответствует коэффициенту заполнения обмоткой полуоткрытых и открытых пазов статора (0,93...0,99).

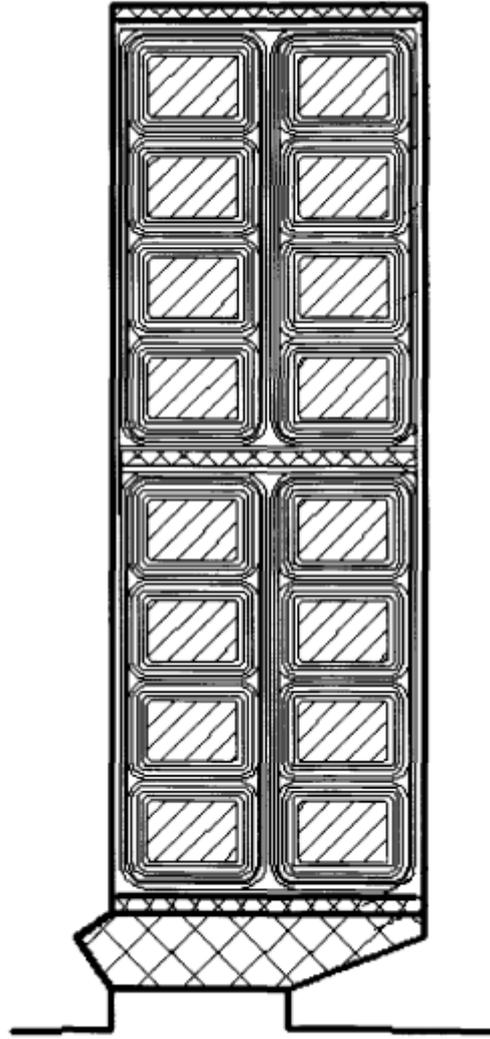


Рисунок 1.1 Эскиз паза статора с заполнением

1.4 Расчет активного слоя ротора

Правильный выбор воздушного зазора δ во многом определяет энергетические показатели асинхронного двигателя. Чем меньше воздушный зазор, тем меньше его магнитное сопротивление и магнитное напряжение, составляющее основную часть МДС магнитной цепи всей машины. Поэтому уменьшение зазора приводит к соответственному уменьшению МДС магнитной цепи и намагничивающего тока двигателя, благодаря чему возрастает $\cos\varphi$, и уменьшаются потери в меди обмотки статора. Но чрезмерное уменьшение δ приводит к возрастанию амплитуды пульсаций индукции в воздушном зазоре и как следствие этого к увеличению поверхностных и пульсационных потерь. Поэтому КПД двигателей с очень малыми зазорами не улучшается, а часто даже становится меньше. Необходимо также учесть условие механической прочности так чтобы прогиб вала не привёл к касанию сердечников ротора и статора.

Для тяговых двигателей мощностью 350 кВт и числом полюсов $2p=6$, воздушный зазор с учетом производственных возможностей принят односторонний воздушный зазор между ротором и статором $\delta = 0,75$ мм..

Выбор числа пазов ротора особо важен, так как в поле воздушного зазора машины кроме основной гармоники, присутствует целый спектр гармоник более высокого порядка, каждая из которых наводит ЭДС в обмотке ротора. Поэтому ток в стержнях обмотки имеет сложный гармонический состав.

В зависимости от соотношения Z_1 и Z_2 в той или иной степени проявляются синхронные или асинхронные моменты от высших гармоник. Их влияние на момент от первой гармонической приводит к появлению пиков и провалов в результирующей кривой момента. В поле зазора присутствуют также высшие гармоники, порядок которых определенным образом связан с числами пазов и полюсов машины. Эти зубцовые гармоники вызывают шум и вибрацию при работе двигателя в номинальном режиме. Их влияние особо заметно при малых воздушных зазорах. Наилучшие сочетания Z_1 и Z_2 сведены в таблицу [8.1 1 с. 429]. В двигателях малой мощности обычно выполняют $Z_1 > Z_2$. Это связано с технологией изготовления, а также тем,

что с увеличением Z_2 ток в стержнях ротора уменьшается и в двигателях небольшой мощности их сечения становятся очень малыми.

Число пазов ротора [1 с.429] зависит от числа пазов статора Z_1 и числа пар полюсов двигателя $2p$. Согласно рекомендациям выбираем число пазов ротора $Z_2 = 86$.

1.4.1 Внешний диаметр ротора:

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta = 0,425 - 2 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3} = 0,4235 \text{ м.}$$

1.4.2 Расчетная длина магнитопровода ротора:

$$l_2 = l_\delta + 0,005 = 0,28 + 0,005 = 0,285 \text{ м.}$$

1.4.3 Зубцовое деление ротора:

$$t_{Z2} = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{3,14 \cdot 0,4235}{86} = 0,013 \text{ м.}$$

1.4.4 Внутренний диаметр ротора равен диаметру вала, так как сердечник ротора непосредственно насаживается на вал

$$D_J = D_B = k_B \cdot D_a = 0,22 \cdot 0,59 = 0,116 \text{ м.}$$

где $k_B = 0,22$ – эмпирический коэффициент зависит от числа полюсов $2p$.

Принимаем $D_J = 0,12 \text{ м.}$

1.4.5 Ток в стержне ротора

$$I_2 = k_i \cdot I_{1\hat{i}} \cdot v_i$$

где k_i – коэффициент, учитывающий влияние тока намагничивания на отношение I_1/I_2 :

$$k_i = 0,2 + 0,8 \cdot \cos \varphi = 0,2 + 0,8 \cdot 0,86 = 0,888.$$

v_i – коэффициент приведения токов

$$v_i = \frac{2 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot K_{об1}}{Z_2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 120 \cdot 0,902}{86} = 7,551.$$

$$I_2 = k_i \cdot I_1 \cdot v_i = 0,888 \cdot 59,68 \cdot 7,551 = 400,17 \text{ А.}$$

1.4.6 Площадь поперечного сечения стержня предварительно

$$q_c = \frac{I_2}{J_2}$$

где J_2 А /м² – плотность тока в стержнях ротора, $J_2 = 2,05 \cdot 10^6$

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = \frac{400,17}{2,05 \cdot 10^6} = 195,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

1.4.7 Выбираем пазы ротора прямоугольной формы. Форма паза и конструкция обмотки короткозамкнутого ротора определяются требованиями к пусковым характеристикам двигателя и его мощностью. В проектируемом асинхронном тяговом двигателе мощностью 350 кВт ротор выполняется с прямоугольными закрытыми пазами. КЗ обмотка ротора сварная из меди. Выбираем допустимую индукцию в узком сечении зубца ротора $B_{Z2} = 1,57$ Тл.

Допустимая ширина зубца

$$b_{Z2Доп} = \frac{B_\delta \cdot l_\delta \cdot t_{Z2}}{B_{Z2} \cdot l_{cm} \cdot k_c} = \frac{0,594 \cdot 0,28 \cdot 0,0133}{1,57 \cdot 0,285 \cdot 0,97} = 0,0051 \text{ м.}$$

Высота перемычки закрытого паза:

$$h_{p2} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Размеры шлица:

$$\text{Ширина } b_{ш2} = 0 \text{ м.}$$

$$\text{Высота } h_{ш2} = 0 \text{ м.}$$

Минимальная ширина паза ротора

$$b_{n2} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Высота паза ротора

$$h_{n2} = \frac{\pi \cdot D_2 - Z_2 \cdot (b_{Z2 \text{ ДОП}} + b_{n2})}{2\pi} = \frac{3,14 \cdot 0,4235 - 86 \cdot (0,0051 + 0,0055)}{2 \cdot 3,14} = 0,0368 \text{ м.}$$

$$\text{Высота стержня: } h_c = h_{n2} - h_{u2} - h_{p2} = 0,0368 - 0 - 0,0013 = 0,035 \text{ м.}$$

Размеры стержня:

$$\text{Ширина стержня } b_c = b_{n2} - \Delta_{st2} = 0,0055 - 0,0005 = 0,005 \text{ м.}$$

$$\text{Высота стержня } h_c = 0,035 \text{ м.}$$

$$\text{Сечение стержня } q_c = h_c \cdot b_c = 0,035 \cdot 0,005 = 1,75 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$$\text{Плотность тока в стержне: } J_2 = \frac{I_2}{q_c} = \frac{400,17}{1,75 \cdot 10^{-4}} = 2,29 \cdot 10^6 \text{ А / м}^2.$$

Уточняем размеры паза ротора.

Высота паза ротора:

$$h_{n2} = h_c + h_{u2} + h_{p2} + \Delta h = 0,035 + 0 + 0,0013 + 0,0005 = 0,0368 \text{ м.}$$

$$\text{Принимаем } h_{n2} = 0,0368 \text{ м.}$$

$$\text{Ширина паза ротора } b_{n2} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

1.4.8 Уточняем ширину зубцов ротора

Ширина максимальная

$$b_{Z2 \text{ max}} = \pi \cdot \frac{D_2 - 2(h_{u2} + h_{p2})}{Z_2} = \pi \cdot \frac{0,4235 - 2(0 + 0,0013)}{86} = 0,0077 \text{ м.}$$

Ширина минимальная

$$b_{Z2 \text{ min}} = \pi \cdot \frac{D_2 - 2h_{n2}}{Z_2} - b_{n2} = \pi \cdot \frac{0,4235 - 2 \cdot 0,0368}{86} - 0,01 = 0,0051 \text{ м.}$$

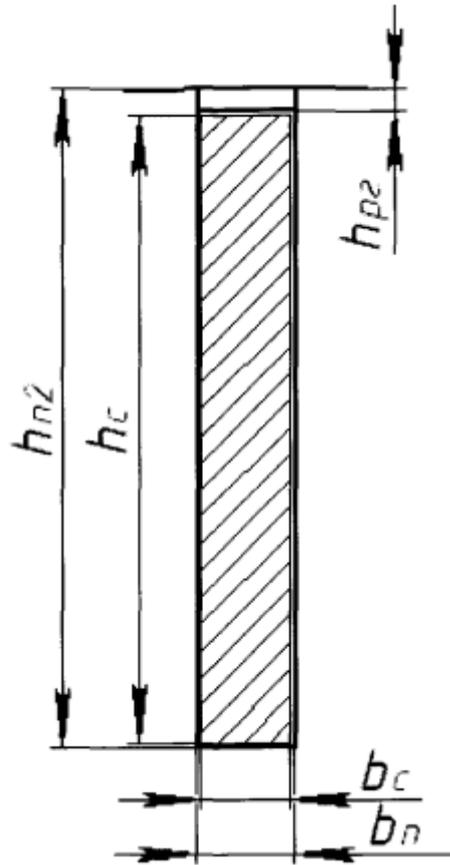


Рисунок 1.2 Эскиз паза ротора

Таблица 1.1 – Размеры паза ротора

h_{n2}	b_{n2}	b_c	h_{p2}	h_c	b_{u2}	h_{u2}
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
36,8	5,5	5	1,3	35	0	0

1.4.9 Короткозамыкающие кольца:

Ток в короткозамкнутом кольце

$$I_{\text{кз}} = \frac{I_2}{\Delta},$$

где Δ – коэффициент

$$\Delta = 2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2} = 2 \cdot \sin \frac{3,14 \cdot 3}{86} = 0,2912.$$

тогда:

$$I_{кл} = \frac{I_2}{\Delta} = \frac{400,17}{0,2912} = 1374,2 \text{ А.}$$

Размеры замыкающих колец

$$h_{кл} = 1,2 \cdot h_{П2} = 1,2 \cdot 0,0368 = 0,0442 \text{ м;}$$

$$b_{кл} = \frac{q_{кл}}{h_{кл}} = \frac{7,53 \cdot 10^{-4}}{0,0442} = 0,017 \text{ м;}$$

Принимаем

$$h_{кл} = 0,0616 \text{ м.}$$

$$b_{кл} = 0,015 \text{ м.}$$

Площадь поперечного сечения кольца

$$q_{кл} = h_{кл} \cdot b_{кл} = 0,0616 \cdot 0,015 = 9,24 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$J_{кл} = \frac{I_{кл}}{q_{кл}} = \frac{1374,2}{9,24 \cdot 10^{-4}} \text{ А/м}^2.$$

1.5 Расчет магнитной цепи

Расчет магнитной цепи проводят для режима холостого хода двигателей, при котором характерно относительно сильное насыщения стали зубцов статора и ротора, что приводит к уплощению кривой поля в воздушном зазоре.

Магнитопровод выбирается из стали марки 2211; толщина листов 0,5 мм.

1.5.1 Магнитное напряжение воздушного зазора

$$F_{\delta} = \frac{2}{\mu_0} \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta}$$

где k_{δ} – коэффициент воздушного зазора

$$k_{\delta} = \frac{t_{Z1}}{t_{Z1} - \gamma_1 \cdot \delta}$$

$\mu_{\text{г}}$ – магнитная постоянная $\mu_{\text{г}} = 4\pi \cdot 10^{-6}$ Гн/м.

$$\text{где } \gamma_1 = \frac{(b_{\text{ш1}}/\delta)^2}{5 + (b_{\text{ш1}}/\delta)} = \frac{(5,5 \cdot 10^{-3}/0,75 \cdot 10^{-3})^2}{5 + (5,5 \cdot 10^{-3}/0,75 \cdot 10^{-3})} = 4,3.$$

тогда:

$$k_{\delta} = \frac{t_{Z1}}{t_{Z1} - \gamma_1 \cdot \delta} = \frac{0,0159}{0,0159 - 4,36 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3}} = 1,258.$$

тогда:

$$F_{\delta} = \frac{2}{\mu_0} \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} = 1,59 \cdot 10^6 \cdot 0,594 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot 1,258 = 892,6 \text{ А.}$$

Ширина зубца на $1/3$ высоты паза статора

$$b_{Z1/3} = \frac{\pi \left(D + \frac{2}{3} \cdot h_{n1} \right)}{Z1} - b_{n1} = \frac{\pi \left(0,59 + \frac{2}{3} \cdot 0,0376 \right)}{72} - 0,0097 = 0,0073 \text{ м.}$$

Коэффициент отвлечения магнитного потока в паз статора

$$k_{px1} = \frac{b_{n1}}{b_{Z1\sqrt{3}} \cdot k_{c1}} = \frac{0,0097}{0,0093 \cdot 0,95} = 1,4.$$

1.5.2 Для определения магнитного напряжения зубцовой зоны статора прежде найдём индукцию в них

$$B_{Z1\sqrt{3}} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{Z1}}{b_{Z1\sqrt{3}} \cdot k_{c1}} = \frac{0,594 \cdot 0,0159}{0,0097 \cdot 0,95} = 1,361 \text{ Тл.}$$

Магнитное напряжение зубцовой зоны статора

$$F_{Z1} = 2 \cdot h_{Z1} \cdot H_{Z1},$$

где h_{Z1} - высота зубца, $h_{Z1} = h_i = 0,0376$ м;

H_{Z1} – напряжение зубцовой зоны статора

$$H_{Z1} = 824,37 \text{ А/м} \quad \text{для } B_{Z1} = 1,361 \text{ Тл.}$$

тогда:

$$F_{Z1} = 2 \cdot h_{Z1} \cdot H_{Z1} = 2 \cdot 0,0376 \cdot 824,37 = 62 \text{ А.}$$

1.5.3 Для определения магнитного напряжения зубцовой зоны ротора прежде найдём индукцию в них

Расчетная индукция максимальная:

$$B_{Z2\max} = \frac{B_{\delta} \cdot l_{\delta} \cdot t_{Z2}}{b_{Z2\min} \cdot l_{cm} \cdot k_{c2}} = \frac{0,594 \cdot 0,28 \cdot 0,0133}{0,0051 \cdot 0,28 \cdot 0,97} = 1,598 \text{ Тл.}$$

Расчетная индукция минимальная:

$$B_{Z2\min} = \frac{B_{\delta} \cdot l_{\delta} \cdot t_{Z2}}{b_{Z2\max} \cdot l_{cm} \cdot k_{c2}} = \frac{0,594 \cdot 0,28 \cdot 0,0133}{0,0077 \cdot 0,28 \cdot 0,97} = 1,059 \text{ Тл.}$$

Ширина зубца ротора на высоте $\sqrt{3}$ от основания паза:

$$b_{Z2cp} = \frac{\pi \left(D_2 + \frac{4}{3} \cdot h_{n2} \right)}{Z_2} - b_{n2} = \frac{\pi \left(0,4235 + \frac{2}{3} \cdot 0,0368 \right)}{86} - 0,0055 = 0,006 \text{ м.}$$

Индукция в зубцах ротора на высоте $\sqrt{3}$ от основания паза ротора:

$$B_{Z2\max} = \frac{B_{\delta} \cdot l_{\delta} \cdot t_{Z2}}{b_{Z2cp} \cdot l_{cm} \cdot k_{c2}} = \frac{0,594 \cdot 0,28 \cdot 0,0133}{0,006 \cdot 0,28 \cdot 0,97} = 1,36 \text{ Тл.}$$

Расчетная индукция в зубцах ротора

$$B_{Z2} = 0,25 \cdot (B_{Z2\max} + 2 \cdot B_{Z2cp} + B_{Z2\min}) = 0,25 \cdot (1,598 + 2 \cdot 1,36 + 1,059) = 1,34$$

Тл.

Коэффициент ответвления магнитного потока в паз ротора:

$$k_{px2} = \frac{b_{n2}}{b_{Zcp2} \cdot k_{c2}} = \frac{0,0055}{0,006 \cdot 0,97} = 0,947.$$

Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора

$$F_{Z2} = 2 \cdot h_{Z2} \cdot H_{Z2},$$

высота зубца;

$$h_{Z2} = h_{n2} = 0,0368 \text{ м,}$$

H_{Z2} – напряжение зубцовой зоны ротора

$$H_{Z2} = 793,76 \text{ А/м для } \hat{A}_{Z2} = 1,34 \text{ Тл.}$$

тогда:

$$F_{Z2} = 2 \cdot h_{Z2} \cdot H_{Z2} = 2 \cdot 0,0368 \cdot 793,76 = 58,4 \text{ А.}$$

1.5.4 Коэффициент насыщения зубцовой зоны

$$k_Z = 1 + \frac{F_{Z1} + F_{Z2}}{F_{\delta}} = 1 + \frac{62 + 58,4}{892,6} = 1,235.$$

Если $k_Z > 1,5 - 1,6$ имеет место чрезмерное насыщение зубцовой зоны; если

$k_Z < 1,2$, то зубцовая зона мало использована или воздушный зазор взят слишком

большим.

1.5.5 Магнитное напряжение ярма статора:

Предварительно найдём длину средней магнитной силовой линии в ярме

$$L_a = \pi \cdot \frac{(D_a - h_a)}{2p} = 0,19 \text{ м.}$$

где высота яра статора:

$$h_a = \frac{D_a - D}{2} - h_{n1} = \frac{0,59 - 0,425}{2} - 0,0376 = 0,0444 \text{ м.}$$

Индукция в яре статора

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot l_\delta \cdot k_c} = \frac{0,0152}{2 \cdot 0,0444 \cdot 0,28 \cdot 0,95} = 0,64 \text{ Тл.}$$

Напряжённость поля яра статора при индукции

$$B_a = 0,64 \text{ Тл, } H_a = 142,12 \text{ А /м.}$$

тогда магнитное напряжение:

$$F_a = L_a \cdot H_a = 0,19 \cdot 142,12 = 27 \text{ А.}$$

1.5.6 Расчетная высота яра ротора

$$h_{j2} = \left(\frac{D_2 - D_j}{2} - h_{n2} \right) - \left(\frac{2}{3} \cdot d_{K2} \right) = \left(\frac{0,4235 - 0,12}{2} - 0,0368 \right) - \left(\frac{2}{3} \cdot 0,032 \right) = 0,0636 \text{ м}$$

$$d_{K2} = 0,032, m_{K2} = 12.$$

Предварительно определим длину средней магнитной силовой линии в яре ротора

$$L_j = \pi \cdot \frac{(D_j + h_j)}{2p} = 3,14 \cdot \frac{(120 + 85) \cdot 10^{-3}}{6} = 0,081 \text{ м.}$$

Индукция в яре ротора [1 с.395]:

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h_{j2} \cdot l_\delta \cdot k_c} = \frac{0,0152}{2 \cdot 0,085 \cdot 0,82 \cdot 0,97} = 0,44 \text{ Тл.}$$

Напряжённость поля яра ротора при индукции $B_j = 0,44 \text{ Тл}$

$H_j = 96 \text{ А/м}$, тогда магнитное напряжение:

$$F_j = L_j \cdot H_j = 0,081 \cdot 96 = 7,73 \text{ А.}$$

1.5.7 Магнитное напряжение на пару полюсов

$$F_\delta = F_\delta + F_{Z1} + F_{Z2} + F_a + F_j = 892,6 + 62 + 58,4 + 27 + 7,73 = 1047,8 \text{ А.}$$

1.5.8 Коэффициент насыщения магнитной цепи

$$k_{\mu} = \frac{F_{\mu}}{F_{\delta}} = \frac{1047,8}{892,6} = 1,17.$$

1.5.9 Намагничивающий ток

$$I_{\mu} = \frac{p \cdot F_{\mu}}{0,9 \cdot m \cdot w_1 \cdot K_{об1}} = \frac{3 \cdot 1047,8}{0,9 \cdot 3 \cdot 120 \cdot 0,9} = 14,34 \text{ А.}$$

Выразим намагничивающий ток в долях номинального тока двигателя

$$I_{\mu^*} = \frac{I_{\mu}}{I_{1ном}} = \frac{14,34}{59,68} = 0,24.$$

Относительное значение I_{μ^*} служит определенным критерием правильности произведенного выбора и расчета размеров и обмотки двигателя. В данном расчете относительное значение I_{μ^*} входит в диапазон рекомендуемых значений.

1.6 Расчет сопротивлений тягового электродвигателя

Параметрами асинхронной машины называют активные и индуктивные сопротивления обмоток статора r_1 и x_1 ротора или приведенные к числу витков обмотки статора, сопротивления ротора r_2' и x_2' , и сопротивление взаимной индуктивности x_{12} , и расчетное сопротивление r_{12} , введением которого учитывают влияние потерь в стали статора на характеристики двигателя.

1.6.1 Определим среднюю ширину катушки

$$b_{km} = \pi \cdot \frac{(D+h_{\text{Пл}})}{2 \cdot p} \cdot \beta_1 = 3,14 \cdot \frac{(0,425+0,0376)}{6} \cdot 0,778 = 0,123 \text{ м.}$$

где β_1 – коэффициент укорочения шага обмотки, принимаем $\beta_1 = 0,778$.

Для катушек из прямоугольного провода рассчитываем:

Допустимое расстояние между медью проводников соседних катушек

$$S = 0,0035 \text{ м.}$$

$$m_1 = \frac{n_{kt} (b_{m1} + S)}{t_{Z1}} = \frac{2 \cdot (0,0028 + 0,0035)}{0,0159} = 0,657.$$

Коэффициент для неизолированных лентой лобовых частей:

$$K_{Л} = \frac{1}{\sqrt{1-m_1^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-0,533^2}} = 1,18.$$

Коэффициент вылета, зависящий от числа полюсов

$$K_{\text{выл}} = \frac{1}{2} \cdot K_{Л} \cdot m_1 = \frac{1}{2} \cdot 1,326 \cdot 0,657 = 0,436.$$

Длина вылета лобовой части катушки

$$l_{\text{выл}} = k_{\text{выл}} \cdot b_{km} + B + 0,5 \cdot h_{n1}$$

где: B – длина вылета прямолинейной части катушек из паза

$B = 0,025$ – для катушек из прямоугольного провода

тогда:

$$l_{\text{выл}} = 0,436 \cdot 0,123 + 0,025 + 0,5 \cdot 0,0376 = 0,097 \text{ м.}$$

Длина пазовой части равна конструктивной длине сердечников машины:

$$l_{\delta} = l_{\delta} = 0,28 \text{ м.}$$

Длина лобовой части обмотки из прямоугольного провода

$$l_{л1} = K_{л} \cdot b_{км} + 2 \cdot B + h_{л1} = 1,326 \cdot 0,123 + 2 \cdot 0,025 + 0,0376 = 0,25 \text{ м,}$$

где $K_{л}$ – коэффициент зависит от числа полюсов для не изолированных лентой лобовых частей, $K_{л} = 1,326$.

Присвоим: $l_{л1} = 0,29 \text{ м.}$

Средняя длина витка:

$$l_{ср1} = 2 \cdot (l_{л1} + l_{л1}) = 2 \cdot (0,28 + 0,29) = 1,14 \text{ м.}$$

Общая длина проводников фазы обмотки

$$L_{1ср} = l_{ср1} \cdot w_1 = 1,14 \cdot 120 = 136,8 \text{ м.}$$

Активное сопротивление обмотки статора

$$r_1 = k_R \cdot \rho_{115} \cdot \frac{L_{1ср}}{q_{эф} \cdot a} = 1 \cdot \frac{2,46 \cdot 10^{-8} \cdot 136,8}{4,958 \cdot 10^{-6} \cdot 2} = 0,34 \text{ Ом,}$$

где $\rho_{115} = 2,46 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – удельное сопротивление меди при температуре плюс 115°C ; коэффициент увеличения активного сопротивления фазы обмотки от действия эффекта вытеснения тока $k_R = 1$.

Относительное значение активного сопротивления обмотки статора:

$$r_1^* = r_1 \cdot \frac{I_{ном}}{U_{ном}} = 0,34 \cdot \frac{596,8}{238} = 0,0534.$$

1.6.2 Сопротивление стержня обмотки ротора [1 с.406]:

$$r_c = \rho_{115} \cdot \frac{l_2}{q_c} = 24,64 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{0,285}{1,75 \cdot 10^{-4}} = 40,14 \cdot 10^{-6} \text{ Ом,}$$

$$\rho_{115} = \rho_{20} \cdot k_{то} = \frac{10^{-6}}{56} \cdot 1,38 = 24,64 \cdot 10^{-9} \text{ Ом/м.}$$

где $\rho_{20} = 10^{-6} / 56 \text{ Ом/м}$;

$$k_{то} = 1,38.$$

Сопротивление участка замыкающего кольца, заключённого между двумя соседними стержнями [1 с.406]:

$$r_{кл} = \rho_{115} \cdot \frac{\pi \cdot D_{кл.ср}}{Z_2 \cdot q_{кл}} = 24,64 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,3}{86 \cdot 9,24 \cdot 10^{-4}} = 5,825 \cdot 10^{-7} \text{ Ом.}$$

1.6.3 Активное сопротивление фазы обмотки ротора

$$r_2 = r_c + \frac{2 \cdot r_{кл}}{\Delta^2} = 40,14 \cdot 10^{-6} + \frac{2 \cdot 2,825 \cdot 10^{-7}}{0,29^2} = 5,39 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Коэффициент приведения тока кольца к току стержня:

$$\Delta = 2 \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{p}{Z_2}\right) = 2 \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{3}{86}\right) = 0,29.$$

Для дальнейших расчётов полученное сопротивление фазы обмотки ротора к числу витков обмотки статора

$$r'_2 = r_2 \cdot \frac{4 \cdot m}{Z_2} \cdot \left(\frac{w_1 \cdot K_{об1}}{k_{ск}}\right)^2 = 5,39 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{4 \cdot 3}{86} \cdot \left(\frac{120 \cdot 0,9}{1}\right)^2 = 0,088 \text{ Ом,}$$

где $k_{ск} = 1$.

Относительное значение

$$r'_{2*} = r'_2 \cdot \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}} = 0,088 \cdot \frac{596,8}{238} = 0,014.$$

1.6.4 Коэффициенты магнитной проводимости

k_β – коэффициент, зависящий от укорочения шага обмотки, т.к. укорочение отсутствует, то выбираем $k_\beta = 1$:

$h_1 = 0$ (т.к. проводники закреплены пазовой крышкой);

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния:

$$\begin{aligned} \lambda_{П1} &= \frac{(h_2 - \Delta_{мсл}) k_\beta}{3 \cdot b_{n1}} + \left(\frac{3h_{к1} + h_{с1}}{b_{n1} + b_{u1}} + \frac{h_{u1}}{b_{u1}} \right) \cdot k'_\beta + \frac{\Delta_{мсл}}{4 \cdot b_{n1}} = \\ &= \frac{(0,0343 - 0,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,875}{3 \cdot 9,7 \cdot 10^{-3}} + \left(\frac{3 \cdot 3 + 1,25}{9,7 + 5,5} \cdot 10^{-3} + \frac{1,25}{5,5} \cdot 10^{-3} \right) \cdot 0,833 + \end{aligned}$$

$$+\frac{0,8}{4 \cdot 9,7} \cdot 10^{-3} = 1,78,$$

где $h_2 = h_{i1} - h_{k1} - (h_{s1} - \Delta i \hat{e}) = (37,6 - 3 - (1,25 - 1)) \cdot 10^{-3} = 0,0343 \text{ м},$

$$k'_{\beta} = 0,25 + 0,75 \cdot \beta_1 = 0,25 + 0,75 \cdot 0,778 = 0,83,$$

$$k_{\beta} = 0,25 + 0,75 \cdot k'_{\beta} = 0,25 + 0,75 \cdot 0,83 = 0,875.$$

Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния

$$\lambda_{л1} = 0,34 \cdot \frac{q}{l_{\delta}} \cdot (l_{л} - 0,64 \cdot \beta_1 \cdot \tau) = 0,34 \cdot \frac{4}{0,28} \cdot (0,29 - 0,64 \cdot 0,778 \cdot 0,143) = 0,8.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния

$$\lambda_{Д1} = \frac{t_{Z1}}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi,$$

где ξ – коэффициент [1 с.407]:

$$\begin{aligned} \xi &= \left(2 \cdot \frac{t_{Z2}}{t_{Z1}} - \frac{t_{Z1}}{t_{Z2}} \cdot \Delta z \right) \cdot k_{\beta} - K_{об1}^2 \cdot \left(\frac{t_{Z2}}{t_{Z1}} \right)^2 = \\ &= \left(2 \cdot \frac{0,0133}{0,016} - \frac{0,016}{0,0133} \cdot 0,1 \right) \cdot 0,875 - 0,9^2 \cdot \left(\frac{0,0133}{0,016} \right)^2 = 0,92. \end{aligned}$$

тогда:

$$\lambda_{Д1} = \frac{t_{Z1}}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi = \frac{0,016}{12 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot 1,26} \cdot 0,92 = 1,3.$$

1.6.5 Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора

$$\begin{aligned} X_1 &= 15,8 \cdot \frac{f_1}{100} \cdot \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \cdot \frac{l_{\delta}}{p \cdot q} \cdot (\lambda_{\ddot{I}1} + \lambda_{\ddot{e}1} + \lambda_{\ddot{A}1}) = \\ &= 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{120}{100} \right)^2 \cdot \frac{0,28}{3 \cdot 4} \cdot (1,78 + 0,8 + 1,3) = 1,03 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Относительное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки статора

$$x_{1*} = X_1 \cdot \frac{I_{ном}}{U_{ном}} = 1,03 \cdot \frac{596,8}{238} = 0,162.$$

1.6.6 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния ротора

$$\lambda_{II2x} = \left(\frac{h_c}{3b_{n2}} + \frac{h_{u2}}{b_{u2}} \right) \cdot k_D = \left(\frac{0,035}{3 \cdot 0,0055} \right) \cdot 1 = 2,12.$$

$$\lambda_{II2} = \lambda_{II2x} + \left(0,3 + \frac{1,12 \cdot h_{p2} \cdot 10^6}{I_2} \right) \cdot k_D = 2,12 + \left(0,3 + \frac{1,12 \cdot 1,3 \cdot 10^6}{400,17} \right) \cdot 1 = 6,1$$

Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния [1 с.409]:

$$\lambda_{л2} = \frac{2,3 \cdot D_{кл.ср}}{Z_2 \cdot l_\delta \cdot \Delta^2} \cdot \lg \left[\frac{4,7 \cdot D_{кл.ср}}{2 \cdot h_{кл} + 2 \cdot b_{кл}} \right] = \frac{2,3 \cdot 0,3}{86 \cdot 0,28 \cdot 0,29^2} \cdot \lg \left[\frac{4,7 \cdot 0,3}{2 \cdot 0,0616 + 2 \cdot 0,015} \right] = 0,324.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния

$$\lambda_{Д2} = \frac{t_{Z2}}{12 \cdot \delta \cdot k_\delta} \cdot \xi,$$

$$\text{где } \xi = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot p}{Z_2} \right)^2 - \frac{\Delta z}{1 - \left[\frac{p}{Z_2} \right]^2} = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 3}{86} \right)^2 - \frac{0,1}{1 - \left[\frac{3}{86} \right]^2} = 1.$$

$$\lambda_{Д2} = \frac{0,0133}{12 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot 1,26} \cdot 1 = 1,178.$$

1.6.7 Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора

$$X_2 = 7,9 \cdot f_1 \cdot l_\delta \cdot (\lambda_{\dot{I}2} + \lambda_{\dot{e}2} + \lambda_{\dot{A}2}) \cdot 10^{-6} = 7,9 \cdot 50 \cdot 0,28 \cdot (6,1 + 0,324 + 1,178) \cdot 10^{-6} = 836,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

Приводим \tilde{O}_2 к числу витков статора

$$x'_2 = X_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (w_1 \cdot K_{об1})^2}{Z_2} = 836,2 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (120 \cdot 0,9)^2}{86} = 1,367 \text{ Ом.}$$

Относительное значение [1 с.411]:

$$x'_{2*} = x'_2 \cdot \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}} = 1,367 \cdot \frac{596,8}{238} = 0,215.$$

Для удобства сопоставления параметров отдельных машин и упрощения расчёта характеристик параметры асинхронных машин выражают в относительных

единицах, принимая за базисные значения номинальное фазное напряжение и номинальный фазный ток.

1.7 Расчет потерь

Потери в асинхронных машинах подразделяют на потери в стали (основные и добавочные) электрические вентиляционные механические и добавочные при нагрузке.

Основные потери в стали рассчитываются только в сердечнике статора, так как частота перемагничивания ротора очень мала и потери в стали ротора даже при больших индукциях незначительны. Добавочные потери в стали подразделяют на поверхностные (потери в поверхностном слое коронок зубцов статора и ротора от пульсаций индукции в воздушном зазоре) и пульсационные потери в стали зубцов (от пульсации индукции в зубцах). Добавочные потери при нагрузке возникают за счет действия потоков рассеяния, пульсаций и индукции в воздушном зазоре ступенчатости кривых распределения МДС обмоток статора и ротора и ряда других причин. В короткозамкнутых роторах, кроме того, возникают потери от поперечных токов, т.е. токов между стержнями замыкающихся через листы сердечника ротора.

1.7.1 Основные потери в стали статора асинхронной машины

$$P_{ст.осн} = p_{1,0/50} \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^\beta \cdot \left(k_{\delta a} \cdot B_a^2 \cdot m_a + k_{\delta z} \cdot B_{Zcp}^2 \cdot m_{z1} \right),$$

где $p_{1,0/50}$ – удельные потери при индукции 1 Тл и частоте перемагничивания 63,25 Гц. [1 с.412]: сталь 2212 толщиной 0,5 мм,

$$p_{1,0/50} = 2,6 \text{ Вт/кг},$$

β – показатель степени, учитывающий зависимость потерь в стали от частоты перемагничивания, для большинства сталей $\beta = 1,5$,

$k_{\delta a}$ и $k_{\delta z}$ – коэффициенты учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов.

$$k_{\delta a} = 1,6, \quad k_{\delta z} = 1,8.$$

m_a, m_{z1} – масса стали ярма и зубцов статора

$$m_a = \pi \cdot (D_a - h_a) \cdot h_a \cdot l_\delta \cdot k_c \cdot \gamma_c,$$

$$m_{Z1} = h_{Z1} \cdot b_{Z1} \cdot Z_1 \cdot l_{\delta} \cdot k_c \cdot \gamma_c,$$

где γ_c – удельная масса стали; $\gamma_c = 7,8 \cdot 10^3$ кг / м³

$$m_a = \pi \cdot (D_a - h_a) \cdot h_a \cdot l_{\delta} \cdot k_c \cdot \gamma = 3,14 \cdot (0,59 - 0,0444) \cdot 0,0444 \cdot 0,28 \cdot 0,95 \cdot$$

$$7,8 \cdot 10^3 = 140,25 \text{ кг.}$$

$$m_{Z1} = h_{Z1} \cdot b_{Z1} \cdot Z_1 \cdot l_{\delta} \cdot k_c \cdot \gamma_c = 0,0376 \cdot 6,23 \cdot 10^{-3} \cdot 72 \cdot 0,28 \cdot 0,95 \cdot 7,8 \cdot 10^3 =$$

$$= 35 \text{ кг.}$$

тогда:

$$P_{ст.осн} = p_{1,0/50} \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^{\beta} \cdot (k_{\partial a} \cdot B_a^2 \cdot m_a + k_{\partial z} \cdot B_{Z1}^2 \cdot m_{z1}) =$$

$$= 2,6 \cdot \left(\frac{63,25}{50}\right)^{1,5} \cdot (1,6 \cdot 0,643^2 \cdot 140,25 + 1,8 \cdot 1,6^2 \cdot 35) = 660 \text{ Вт.}$$

Для нахождения поверхностных потерь определяют амплитуду пульсаций индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора:

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot k_{\delta} \cdot B_{\delta}$$

где: $b_{III} / \delta = 7,3$ – по данному значению коэффициент $\beta_{02} = 0,357$

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot k_{\delta} \cdot B_{\delta} = 0,357 \cdot 1,26 \cdot 0,594 = 0,267 \text{ Тл на } 1 \text{ м}^2 \text{ поверхности.}$$

Поверхностные потери в роторе

$$P_{пов2} = p_{пов2} \cdot (t_{Z2} - b_{ш2}) \cdot Z_2 \cdot l_{\delta},$$

где $p_{\hat{i} \hat{a}2}$ – удельные поверхностные потери, т.е. потери в поверхностном слое коронок зубцов ротора

$$p_{пов2} = 0,5 \cdot k_{02} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{10000}\right)^{1,5} \cdot (B_{02} \cdot t_{Z1} \cdot 10^3)^2,$$

где k_{02} – коэффициент, учитывающий влияние обработки поверхности головок зубцов ротора на удельные потери, $k_{02} = 1,7$;

$$P_{нов2} = 0,5 \cdot k_{02} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{10000} \right)^{1,5} \cdot (B_{02} \cdot t_{Z1} \cdot 10^3)^2 = 0,5 \cdot 1,7 \cdot \left(\frac{72 \cdot 1000}{10000} \right)^{1,5} \cdot$$

$$\delta (0,267 \cdot 0,016 \cdot 10^3)^2 = 193,2 \text{ Вт/м}^2.$$

тогда:

$$P_{нов2} = P_{нов2} \cdot (t_{Z2} - b_{ш2}) \cdot Z_2 \cdot l_{\delta} = 193,2 \cdot (0,0133 - 0) \cdot 86 \cdot 0,28 = 61,76 \text{ Вт}.$$

1.7.2 Для определения пульсационных потерь необходимо определить массу зубцов ротора

$$m_{Z2} = Z_2 \cdot h_{Z2} \cdot b_{Z2cp} \cdot l_{\delta} \cdot k_{c2} \cdot \gamma_c = 86 \cdot 0,0368 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,28 \cdot 0,97 \cdot 7800 = 40,13 \text{ кг}.$$

А также амплитуду пульсаций индукции в среднем сечении зубцов

$$B_{i \text{ ос}2} = \frac{\gamma_1 \cdot \delta}{2 \cdot t_{Z2}} \cdot B_{Z2} = \frac{4,36 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,0133} \cdot 1,34 = 0,165 \text{ Тл}.$$

Тогда пульсационные потери в зубцах ротора

$$P_{пул2} = 0,11 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{пул2} \right)^2 \cdot m_{Z2} = 0,11 \cdot \left(\frac{72 \cdot 1000}{1000} \cdot 0,165 \right)^2 \cdot 40,13 = 352,4 \text{ Вт}$$

1.7.3 Сумма добавочных потерь в стали

$$P_{ст.доб} = P_{нов2} + P_{пул2} = 61,76 + 352,37 = 414,14 \text{ Вт}.$$

1.7.4 Полные потери в стали

$$P_{ст} = P_{ст.осн} + P_{ст.доб} = 660 + 414,14 = 1074,18 \text{ Вт}.$$

1.7.5 Механические потери

$$P_{мех} = K_T \cdot (10 \cdot D_a)^3 = 0,35 \cdot (10 \cdot 0,59)^3 = 51,8 \text{ Вт}.$$

где K_T – коэффициент, для двигателей с $2p = 6$,

$$K_T = 1,3(1 - D_{\alpha}) = 1,3(1 - 0,59) = 0,35$$

1.7.6 Для определения тока холостого хода двигателя принимают, что потери на трение и вентиляцию и потери в стали при холостом ходе такие же как и при номинальном режиме. При этом условия активная составляющая тока холостого хода

$$I_{x.x.a} = \frac{P_{ст} + P_{мех} + P_{элх.х}}{m \cdot U_{ном}},$$

где $P_{элх.х}$ – электрические потери в статоре при холостом ходе

$$P_{элх.х} = m \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 14,34^2 \cdot 0,34 = 209,8 \text{ Вт.}$$

тогда:
$$I_{x.x.a} = \frac{P_{ст} + P_{мех} + P_{элх.х}}{m \cdot U_{ном}} = \frac{1074,2 + 51,8 + 209,8}{3 \cdot 380} = 1,17 \text{ А.}$$

тогда ток холостого хода двигателя

$$I_{x.x} \approx \sqrt{I_{x.x.a}^2 + I_{\mu}^2} = \sqrt{1,17^2 + 14,34^2} = 14,39 \text{ А.}$$

Коэффициент мощности при холостом ходе

$$\cos \varphi_{x.x} = \frac{I_{x.x.a}}{I_{x.x}} = \frac{1,17}{14,39} = 0,081.$$

Принимаем, что потери на трение и вентиляцию и потери в стали при х.х. двигателя такие же, как и при номинальном режиме.

Потери холостого хода (постоянные потери):

$$P_{x.x} = P_{ст} + P_{мех} = 1074,2 + 51,8 = 1126 \text{ Вт.}$$

2. Расчет электромеханических характеристик тд на ободе колеса

При наличии значений частоты вращения и вращающего момента, рассчитанных в разделе 1, определение величин V , км/ч и $F_{кд}$, кН удобнее производить по формулам:

$$V = 0,189 \frac{D_k}{\mu} \cdot n$$

где D_k – диаметр движущего колеса по кругу катания, м;

μ , – передаточное число зубчатой передачи;

$$F = \frac{2 \cdot M \cdot \mu}{D_k} \cdot \eta_{з.п.} \cdot 10^{-3}$$

где $\eta_{зп}$ – коэффициент, учитывающий потери в тяговой зубчатой передаче. В выпускной квалификационной работе его величину можно принимать постоянной $\eta_{зп} = 0,98$.

Определяем величины V и $F_{кд}$ для тех же значений тока, что для n и M , результаты расчета заносим в столбцы 5 и 6 табл. 2.1.

C_V и C_F – постоянные, определяемые конструктивными параметрами ТД и колесно-моторного блока (КМБ);

$$C_V = 5,3 \cdot \frac{\mu}{D_k} \cdot C_n$$

$$C_V = 5,3 \cdot \frac{3,905}{1,25} \cdot 17,5 = 289,75$$

$$C_F = 3,6 \cdot C_V$$

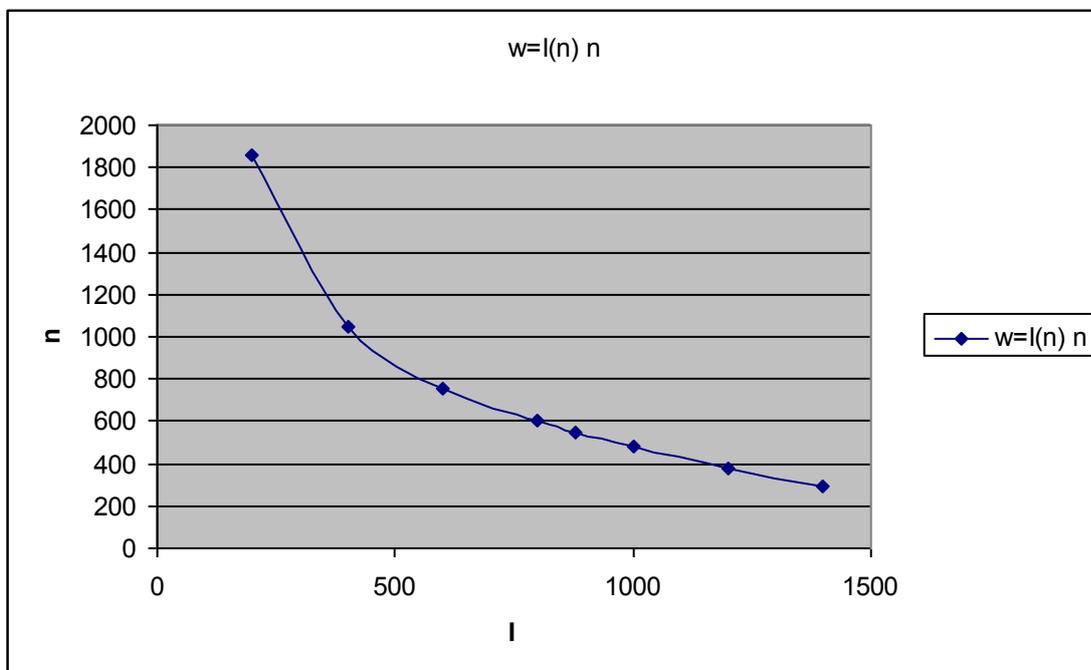
$$C_F = 3,6 \cdot 289,75 = 1043$$

где D_k – диаметр движущего колеса по кругу катания, м;

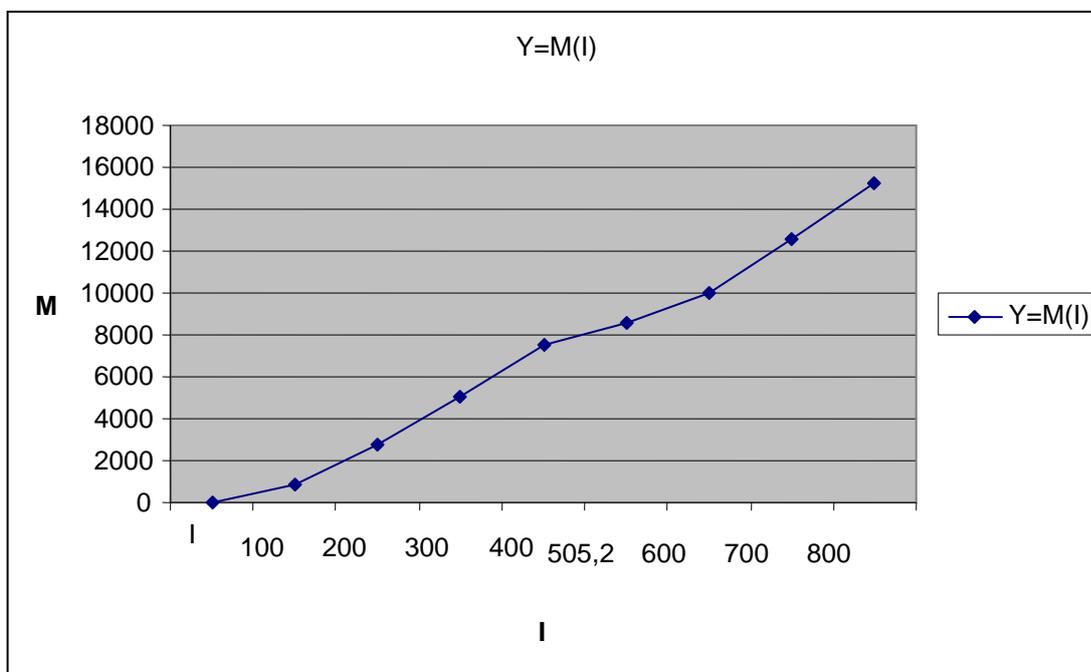
μ , – передаточное число зубчатой передачи;

η_F – коэффициент, учитывающий потери в КМБ, $\eta_F = 0,98$.

Рассчитаем силу тяги электровоза:



а



б

Рисунок 2.1 – Электромеханические характеристики ТД

а – линия зависимости $W = n(I)$

б – линия зависимости $Y = M(I)$

2.1. Оценка способов регулирования

Определим напряжение холостого хода $U_{д0}(10)$ и величину эквивалентного сопротивления $Z_{э}(10)$.

$$U_{д0}(10) = U_{д.н.} + 0,1U_{д.н.} = 1,1U_{д.н.}$$

$$U_{д0(10)} = 1,1 \cdot 1600 = 1760 \text{ В};$$

$$Z_{э(10)} = \frac{0,1 \cdot U_{д.н.}}{I_{д.н.}}$$

$$Z_{э(10)} = \frac{0,1 \cdot 1600}{505,2} = 0,316 \text{ Ом};$$

Рассчитаем величины $U_{д0}(1)$ по формуле и $Z_{э}(1)$ для 1-й позиции.

$$U_{д(1)} = I_{д.н.} (R_{д} + Z_{э}(1))$$

$$U_{д(1)} = 505,2 \cdot (0,122 + 0,316) = 221,3 \text{ В};$$

$$U_{д0}(1) = I_{д.н.} Z_{э}(1) + U_{д(1)}$$

$$U_{д0(1)} = 505,2 \cdot 0,316 + 221,3 = 380,9 \text{ В}$$

$$Z_{э(1)} = Z_{э(10)} \cdot \frac{R_{д} \cdot I_{д.н.}}{U_{д.н.}}$$

$$Z_{э(1)} = 0,316 \cdot \frac{0,122 \cdot 596,8}{1600} = 0,0122 \text{ Ом};$$

Определим приращение напряжения ΔU , округлив до целых значений, и изменение эквивалентного сопротивления $\Delta Z_{э}$.

$$\Delta U = \frac{U_{д0(10)} - U_{д0(1)}}{N_{п} - 1}$$

где $N_{п}=10$ – количество позиции.

$$\Delta U = \frac{1760 - 380,9}{10 - 1} = 153 \text{ В};$$

$$\Delta Z_{э} = \frac{Z_{э(10)} - Z_{э(1)}}{N_{п} - 1}$$

$$\Delta Z_{э} = \frac{0,316 - 0,0122}{10 - 1} = 0,021 \text{ Ом};$$

Последовательно вычитая величины ΔU и $\Delta Z_{\text{э}}$ соответственно из $U_{\text{д0}}(10)$ и $Z_{\text{э}}(10)$ для десятой позиции, найти значения $U_{\text{д0}}(i)$ и $Z(i)$ каждой позиции регулирования и занести их в табл. 3.3.

$$U_{\text{д0}}(i) = U_{\text{д0}}(10) - (N_{\text{п}} - 1) \cdot \Delta U$$

$$Z_{\text{э}}(i) = Z_{\text{э}}(10) - (N_{\text{п}} - 1) \cdot \Delta Z$$

Принимая те же значения токов двигателя $I_{\text{д}}$, что и при расчете электромеханических характеристик, определим скорости движения, силу тяги электровоза, используя величины $F_{\text{кд}}$, а результаты расчета занести в табл. 3.1.

$$V = \frac{U_{\text{д.0}} - I_{\text{д}} \cdot (Z_{\text{д}} + R_{\text{д}})}{C_{\text{в}} \cdot \Phi}$$

Силу тяги электровоза рассчитываем по следующей формуле:

$$F_{\text{к}} = N_{\text{д}} F_{\text{кд}},$$

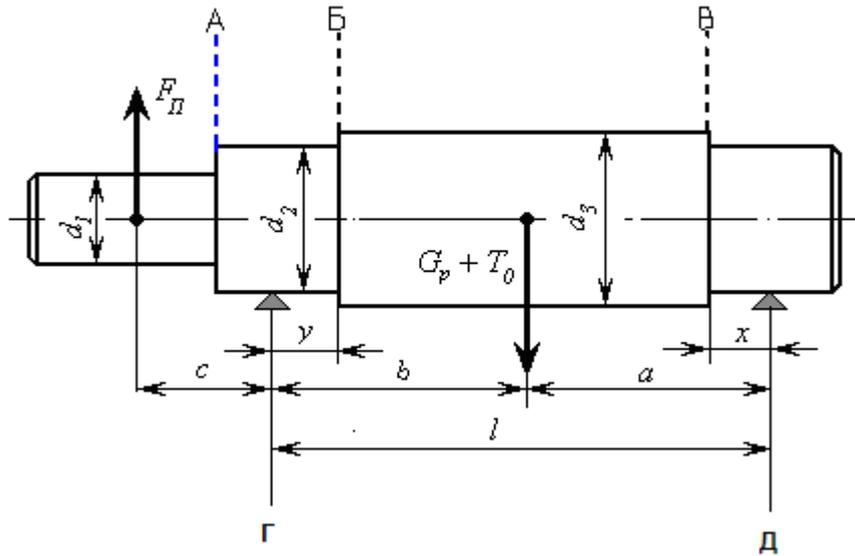
где $N_{\text{д}}$ – количество ТД.

Таблица 2.1 – Скорость движения и сила тяги электровоза переменного тока по позициям.

Номер позиции i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Напряжение $U_{\text{д}}(i)$, В	383	536	68	842	99	114	130	145	160	176		
Эквивалентное сопротивление $Z_{\text{э}}(i)$, Ом	0,127	0,148	0,169	0,19	0,211	0,232	0,253	0,274	0,295	0,316		
Ток двигателя $I_{\text{д}}$, А	Магнитный поток Φ , Вб	Силовая тяга F , кН	Скорость движения V , км/ч									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
100	0,05	43	64	71	77	84	91	98	104	110	118	124
200	0,069	13	32	36	40	44	48	52	56	60	65	69

		7										
300	0,083	25	20	23	26	29	33	36	39	42	46	49
		0										
400	0,093	36	12	15	18	20	23	26	29	32	35	38
		7										
596,8	0,1	41	9	12	15	17	20	23	26	28	31	34
		8										
600	0,107	49	5	8	10	13	16	18	21	24	26	29
		1										
700	0,111	61	0	2	5	7	10	12	14	17	19	22
		4										
800	0,115	74	-5	-3	-1	1	4	6	8	10	13	15
		7										

2. 2 Механический расчёт



Асинхронный двигатель выполнен 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 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 выдерживать все действующие на него нагрузки без появления остаточных деформаций. Вал должен также иметь достаточную жёсткость, чтобы при работе машины ротор не задевал о статор. Критическая частота вращения вала должна быть значительно больше рабочих частот вращения машины. Окончательные размеры вала устанавливаются после его расчётов на жёсткость и прочность.

Принимая, что ротор асинхронной машины представляет собой сплошной цилиндр с плотностью 8300 кг/м^3 , его массу можно определить как

$$m_p = 6500 \cdot D_2^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0.425^2 \cdot 0.296 = 205,4 \text{ кг}$$

Сила тяжести ротора

$$G_p = 9.81 \cdot m_p = 9.81 \cdot 205,4 = 2053,1 \text{ Н}$$

Определим поперечную силу, приложенную к выступающему концу вала

$$F_n = k_n \cdot \frac{M_n \cdot 2}{D_1} = 0.3 \cdot \frac{3 \cdot 10^4 \cdot 2}{70 \cdot 10^3} = 257 \text{ Н},$$

где M_n – номинальный вращающий момент;

$$M_n = 9550 \cdot \frac{P_2}{n_n} = 9550 \cdot \frac{350000}{689} = 3 \cdot 10^5 \text{ Нм},$$

n_n -частота вращения вала ротора k_n - коэффициент D_1 - диаметр по центрам $D_1=70 \cdot 10^{-3}$ м

Прогиб вала по середине сердечника под действием силы тяжести

$$\begin{aligned} f_q &= \frac{G_p}{3 \cdot E \cdot l^2} \cdot (S_A a^2 + S_B b^2) = \\ &= \frac{49,4}{3 \cdot 2.06 \cdot 10^{11} \cdot 0,159} \cdot (19,396 \cdot 10^3 \cdot 108^2 \cdot 10^{-6} \cdot 19,396 \cdot 10^3 \cdot 108^2 \cdot 10^{-6}) = 4,201 \cdot 10^{-7} \end{aligned}$$

где E - модуль упругости $E=2,06 \cdot 10^{11}$ Па,

$$S_A = \sum \frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i} = 19,396 \cdot 10^3 \quad S_B = \sum \frac{y_i^3 - y_{i-1}^3}{J_i} = 19,396 \cdot 10^3$$

Вал разбивают на три участка a, b, c – это расстояния от места приложения силы до ближайшей опоры $a=108 \cdot 10^{-3}$ м, $b=108 \cdot 10^{-3}$ м, $c=55 \cdot 10^{-3}$ м

Прогиб вала по середине магнитопровода ротора от поперечной силы муфты

$$\begin{aligned} f_n &= \frac{F_n \cdot c}{3 \cdot E \cdot l^2} \left(\frac{3}{2} \cdot l \cdot S_0 - S_B \right) \cdot a + S_A \cdot b = \\ &= \frac{257 \cdot 0,055}{3 \cdot 2.06 \cdot 10^{11} \cdot 0,159^2} \left(\frac{3}{2} \cdot 0,216 \cdot 18,137 \cdot 10^4 - 19,396 \cdot 10^3 \right) \cdot 108 \cdot 10^{-3} + 19,396 \cdot 10^3 \cdot 108 \cdot 10^{-3} = \text{где } S_0 = \\ &= 3,111 \cdot 10^{-6} \text{ м} \end{aligned}$$

$$\sum \frac{y_i^2 - y_{i-1}^2}{J_i} = 18,137 \cdot 10^4 \frac{1}{\text{м}}$$

Первоначальное смещение ротора:

$$l_0 = 0.1 \cdot \delta + f_q + f_n = 0,1 \cdot 0,0005 + 4,201 \cdot 10^{-7} + 3,111 \cdot 10^{-6} = 2,853 \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

Начальная сила одностороннего магнитного притяжения

$$T_0 = 2,94 \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \frac{l_0}{\delta} = 2,94 \cdot 0,213 \cdot 0,159 \cdot \frac{2,853 \cdot 10^{-5}}{0,0005} = 274,066 \text{ Н,}$$

Прогиб вала от силы T_0

$$f_m = \frac{f_q \cdot T_0}{G_p} = \frac{4,201 \cdot 10^{-7} \cdot 274,066}{49,4} = 2,33 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Установившийся прогиб вала от одностороннего момента притяжения

$$f_{\text{м}} = \frac{f_m}{1-m} = \frac{2,33 \cdot 10^{-6}}{1-0,082} = 2,538 \cdot 10^{-6},$$

где $m=f_r/l_0=0,082$

Суммарный прогиб по середине магнитопровода ротора

$$F=f_{\text{м}}+f_q+f_{\text{п}}=2,538 \cdot 10^{-6} + 4,201 \cdot 10^{-7} + 3,111 \cdot 10^{-6} = 6,07 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Критическая частота вращения

$$n_k = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-m}{f_q}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-0,082}{4,201 \cdot 10^{-7}}} = 4,436 \cdot 10^4 \text{ об/мин}$$

Коэффициент нагрузки $k=2$

Напряжение на свободном конце вала в сечении А:

Изгибающий момент в расчетном сечении

$$M_{uA} = k \cdot F_n \cdot Z = 2 \cdot 257 \cdot 0,0020 = 10,28 \text{ Нм}$$

где $Z=0,02$ м - расстояние указано на эскизе вала

Момент сопротивления при изгибе

$$W_A = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,08^3 = 6,859 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$$

где $d=0,08$ м - диаметр вала в сечении А

Напряжение изгиба

$$\sigma_{npA} = \frac{1}{W_A} \cdot \sqrt{MuA^2 + (\kappa \cdot \alpha \cdot M_n)^2} =$$

$$= \frac{1}{6,859 \cdot 10^{-7}} \cdot \sqrt{10,28^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 30)^2} = 7,157 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

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

Напряжение в сечении Б :

Изгибающий момент в расчетном сечении

$$M_{uB} = k \cdot F_n \cdot Z = 2 \cdot 257 \cdot 0,055 = 28,27 \text{ Нм}$$

где $Z=0,55$ м - расстояние указано на эскизе вала.

Момент сопротивления при изгибе

$$W_B = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,105^3 = 1,563 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

где $d=0,105$ м -диаметр вала в сечении Б

Напряжение изгиба

$$\sigma_{npB} = \frac{1}{W_B} \cdot \sqrt{MuB^2 + (\kappa \cdot \alpha \cdot M_n)^2} =$$

$$= \frac{1}{1,563 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{28,27^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 30)^2} = 3,565 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

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

Напряжение в сечении В:

$$M_{uB} = k \cdot F_n \cdot C \cdot \left(1 - \frac{y}{l}\right) + (G_p + T) \cdot \frac{a \cdot y}{l} =$$

$$= 2 \cdot 257 \cdot 0,055 \cdot \left(1 - \frac{0,008}{0,216}\right) + (49,4 + 298,442) \cdot \frac{0,108 \cdot 0,008}{0,216} = 28,614 \text{ Нм}$$

Момент сопротивления при изгибе

$$W_B = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,105^3 = 1,563 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

где $d=0,105$ м -диаметр вала в сечении В

Напряжение изгиба

$$\begin{aligned}\sigma_{npA} &= \frac{1}{w_B} \cdot \sqrt{MuB^2 + (\kappa \cdot \alpha \cdot M_n)^2} = \\ &= \frac{1}{1,563 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{28,614^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 30)^2} = 3,576 \cdot 10^7 \text{ Па}\end{aligned}$$

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

Напряжение в сечении Г:

$$\begin{aligned}M_{uz} &= (k \cdot F_n \cdot C \cdot \left(1 - \frac{y}{l}\right) + (G_p + T) \cdot b) \cdot \frac{X}{b} = \\ &= (2 \cdot 257 \cdot 0,055 \cdot \left(1 - \frac{0,008}{0,216}\right) + (49,4 + 298,442) \cdot 0,108) \cdot \frac{0,008}{0,216} = 4,877 \text{ Нм}\end{aligned}$$

Момент сопротивления при изгибе

$$W_\Gamma = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,105^3 = 1,563 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

где $d=0,105$ м -диаметр вала в сечении Г

Напряжение изгиба

$$\begin{aligned}\sigma_{np\Gamma} &= \frac{1}{w_\Gamma} \cdot \sqrt{Mu\Gamma^2 + (\kappa \cdot \alpha \cdot M_n)^2} = \\ &= \frac{1}{1,563 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{4,877^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 30)^2} = 3,088 \cdot 10^7 \text{ Па}\end{aligned}$$

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

Из сопоставления полученных данных следует, что наиболее нагруженным является сечение А.

3. Технологическая часть

Технологический процесс сборки ротора асинхронного двигателя

Электротехническая промышленность является материальной основой электрификации страны, автоматизации и механизации производственных процессов, ускорения темпов технического прогресса во всех отраслях народного хозяйства. Повышение качества, технического уровня, надежности, долговечности технических изделий – важный фактор роста интенсивности общественного производства. Важнейшими факторами повышения производительности труда в электротехнической промышленности являются механизация и автоматизация производственных процессов. Производство электрических машин в последние годы характеризуется значительным повышением механизации и автоматизации технологических процессов. Основные промышленные серии машин производятся на специализированных предприятиях с широким использованием автоматических установок и линий. Освоен ряд новых материалов, позволяющих механизировать технологические процессы. Научно-исследовательскими и проектно-технологическими институтами были разработаны типовые технологические процессы и специальное технологическое оборудование, что позволяет резко сократить время технологической подготовки производства и трудоемкость выпускаемых изделий. В настоящее время перед технологами стоят задачи не только улучшения технологии и технологического оборудования, позволяющих совершенствовать конструкцию машин, а так же повышение эффективности производства и получения наиболее экономичных изделий.

В задачу выпускной квалификационной работы входит проектирование технологического процесса механической обработки ротора в сборе.

При этом необходимо: оценить технологичность конструкции сборочной единицы, разработать маршрутную технологию, выбрать необходимое оборудование и рассчитать его количество для изготовления 1700 двигателей в год, провести планировку участка механической обработки.

Анализ исходных данных

К исходным данным для проектирования технологического процесса сборки ротора относят:

1. Сборочный чертеж изделия;
2. Чертёж ротора в сборе и спецификацию;
3. Программа выпуска изделия (1700 шт.\год) и условия осуществления технологического процесса;
4. Технические требования к изделию;
5. Каталоги и справочники по сборочному оборудованию и технологической оснастке , типовые тех.процессы, ГОСТы и другая нормативно – техническая документация.

Служебное назначение и особенности конструкции ротора

Конструкция ротора в сборе.

Анализируя конструкцию ротора в сборе проектируемого двигателя, следует отметить что:

- ротор, является одним из элементов, который непосредственно несет на себе все механические нагрузки.
- это единственный элемент в конструкции машины, который непосредственно совершает механическую работу.

В то же самое время воздушный зазор между статором и ротором должен оставаться постоянным (при смещении не более 10 %); т.е. необходимо спроектировать и изготовить изделие с необходимыми требованиями.

- сердечник ротора выполняется из листов электротехнической стали. Листы штампуются на специально предназначенных штампах, это упрощает изготовление пакета ротора, так как не требуется точение или фрезерование пазов ротора, упрощено получение всей формы пакета. Так же такая конструкция ротора обусловлена требованиями по снижению потерь в стали ротора на вихревые токи. С точки зрения технологии это хорошо, но при работе штампы (матрица) изнашивается - это ведет к образованию заусенцев, наклепа и т.д., а это приводит к увеличению потерь в стали зубцов ротора, а значит ухудшение энергетических характеристик двигателя.
- Обмотка ротора – типа «белчья клетка», изготавливается литая из алюминия, что упрощает процесс изготовления обмотки. Заливка ротора алюминием осуществляется под высоким давлением, так как данный способ позволяет существенно сократить затраты на изготовление при массовом производстве двигателей, а так же получение ротора повышенного качества при литье под давлением. При заливке обмотки ротора одновременно отливают и короткозамкнутые кольца – это приводит к уменьшению трудоемкости при изготовлении.
- На выходном конце вала и на ступени вентилятора находятся пазы под размещение шпонок. С точки зрения обеспечения технологичности

конструкции эти пазы должны быть унифицированы, т.е. размеры шпонки, а, соответственно и шпоночного паза выбираются по самому нагруженному сечению, а остальные принимаются аналогичными.

Оценка технологичности конструкции

Ротор асинхронного двигателя – сборочная единица, состоящая из небольшого числа составных частей: сборочная единица – ротор без вала (поз. 1), деталь – вал (поз. 2) и может быть несколько (по надобности) деталей шайб балансировочных (поз. 3).

Для сборки ротора применены технологичные виды соединений. Неподвижность ротора без вала на валу обеспечивает прессовая посадка. Балансировочная шайба фиксируется на бонке между вентиляционными лопатками расклёпыванием бонки.

Конструкция ротора обеспечивает свободный доступ рабочих органов оборудования и сборочных инструментов к соответствующим местам соединения деталей.

При сборке ротора предусмотрена дополнительная механическая обработка. Внутреннее отверстие ротора без вала калибрую прошивкой или протяжкой, так как его ось не прямолинейна из-за разнотолщинности электротехнической стали. Шейки вала под подшипники, под вентилятор и выходной конец вала шлифуют после сборки ротора, так как вал деформируется при сборке. Всё это снижает технологичность конструкции ротора, но позволяет обеспечить равномерность воздушного зазора при сборке двигателя.

Программа выпуска изделия (ротора) 1700 в год и условия осуществления технологического процесса.

Так как при обработке ротора необходимо шлифовать шейки вала, затем обработать торцы, проточить шпоночные пазы, наиболее целесообразно при программе выпуска 1700 роторов в год, является подвижная форма обработки. При подвижной форме обработки ротор перемещается от одного рабочего места к другому. Рабочие места оснащены необходимым инструментом и приспособлениями, на каждом из них выполняется одна и та же операция.

Такая форма обработки является наиболее прогрессивной, так как позволяет специализировать сборщика на определенные операции, в результате чего повышается производительность труда. В процессе производства объект должен

последовательно переходить от одного рабочего места к другому по потоку.

Непрерывность процесса при подвижной обработке достигается благодаря равенству или кратности (по времени) операции на всех рабочих местах линии .

1. Технологические условия обработки.

Для обеспечения технологичности конструкции сборочной единицы в процессе конструирования изделия должны быть выполнены следующие условия:

- полная взаимозаменяемость деталей и узлов сборочной единицы, т. е. конструктивное оформление деталей и узлов, исключающее подгоночные работы в процессе установки;
- обеспечение возможности применения прогрессивных средств технологического оснащения.

Основными технологическими требованиями, предъявляемыми к конструкции сборочной единицы (ротора) при обработке, является обеспечение возможности снижения трудоемкости; возможность обработки ротора однонаправлено (т.е. без повторных операций); сокращение до минимума объема пригоночных работ.

- После поступления на производство необходимо обточить бочку ротора (для придания ей более точную форму и размеры), а также шлифовать шейки вала.
- Затем осуществляют напрессовку подшипников и производят динамическую балансировку ротора.

Балансируют ротор в подшипниках путем добавления грузиков-балансиров (и высверливая отверстия в короткозамкнутых кольцах). Это не технологично, но зато корректирует небаланс, полученный при изготовлении ротора.

Каталоги и справочники по сборочному оборудованию и технологической оснастке. [2]

Для повышения технологичности целесообразно разбить процесс механической обработки ротора на две основных части (токарно-фрезерные работы и балансировка).

Выявлены основные недостатки в конструкции ротора и пути их устранения.

Контроль собранных узлов и деталей уменьшает дефектность ротора в целом и пригоночные и добавочные работы. Самый большой недостаток ротора (эксплуатационный) в том, что не предусмотрены удобства при разборке ротора, например, при ремонте.

Обработка ротора

Для того чтобы обработать ротор в сборе необходимо:

1. обточить наружный диаметр ротора на токарном станке;
2. шлифовать шейки вала под подшипники на круглошлифовальном станке;
3. балансировать ротор на балансировочном станке;

Технические требования

1. Овальность и конусность поверхности под подшипниками не более 0,006 мм [2].
2. Наличие стружки на обмотке недопустимо.
3. Биение поверхностей измерять, не снимая статор с оправки.
Биение оправки не более 0.05мм [2].
4. Непараллельность поверхностей относительно общей оси поверхностей (0.08 по длине свободного конца вала) обеспечивается инструментом [2].
5. Неплоскостность поверхностей (0.15) [2].

Расчет усилия запрессовки ротора без вала на вал

Исходные данные:

- наружный диаметр ротора $D=507$ мм;
- диаметр отверстия в роторе без вала $\text{Ø}180\text{H}7^{(+0,18)}$ мм;
- диаметр вала под напрессовку ротора $\text{Ø}180\text{u}8^{(+0,60}_{+0,33})}$ мм;
- осевая длина ротора без вала $L=296$ мм.

Сборку подобных соединений (с натягом) осуществляют под действием осевой силы, создаваемой прессом (продольнопрессовое соединение), или с термовоздействием (поперечнопрессовое соединение). Критерием выбора способа сборки будет величина мощности, потребляемая оборудованием.

При продольнопрессовом соединении необходимо определить максимальное значение осевой силы P , создаваемой прессом [9, с. 200]

$$P = f_3 \pi d L p = 0,14 \cdot \pi \cdot 180 \cdot 300 \cdot 29,051 = 22170 \text{ Н} = 68,96 \text{ кН},$$

где $f_3 = 0,14$ – коэффициент трения при запрессовке [9, с. 201];

$$p = \frac{1}{d} \cdot \frac{\delta_p \cdot 10^{-3}}{\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}} = \frac{1}{180} \cdot \frac{58,08 \cdot 10^{-3}}{\frac{0,72}{20,6 \cdot 10^4} + \frac{1,568}{20,6 \cdot 10^4}} = 29,051 \text{ – давление на поверхности}$$

контакта, МПа

$$\delta_p = \delta_{\max} - 1,2(R_{a1} + R_{a2}) = 60 - 1,2 \cdot (0,8 + 0,8) = 58,08 \text{ – расчётный натяг}$$

в соединении, мкм;

$$\delta_{\max} = e_{S_B} - EI_0 = 60 - 0 = 60 \text{ – максимальный натяг в соединении, мкм;}$$

$$e_{S_B} = 60 \text{ – верхнее предельное отклонение вала, мкм;}$$

$$EI_0 = 0 \text{ – нижнее предельное отклонение отверстия, мкм;}$$

$$R_{a1} = R_{a2} = 0,8 \text{ – шероховатость сопрягаемых поверхностей, мкм [2, табл. 2.67];}$$

$$C_1 = 1 - \mu_1 = 1 - 0,28 = 0,72 \text{ – расчётный коэффициент для вала;}$$

$$C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_2 = \frac{507^2 + 180^2}{507^2 - 180^2} + 0,28 = 1,568 - \text{расчётный коэффициент для}$$

сердечника ротора;

$$E_1 = E_2 = 20,6 \cdot 10^{10} - \text{модуль Юнга для стали, Н/м}^2;$$

$$\mu_1 = \mu_2 = 0,28 - \text{коэффициент Пуассона для стали [18, с. 459].}$$

Осевая сила, которую должен развивать пресс, равна 68,96 кН. Выбираем гидравлический одностоечный пресс типа П6320 [4, с. 367], [11, с. 347], с номинальной силой 100 кН.

Основные технические характеристики:

- наибольший ход штока – 400 мм;
- наибольшее расстояние между запрессовочным столом и штоком – 600 мм;
- размер запрессовочного стола – 500 x 380 мм;
- расстояние от оси штока до станины – 200 мм;
- скорость рабочего хода штока – 20 мм/с;
- возвратного хода 300 мм/с;
- мощность привода – 3 кВт;
- габаритные размеры в плане – 1250 × 1215 мм;
- высота над уровнем пола – 1982 мм;
- масса прессы – 1,208 т.

Учитывая, что наибольший диаметр ротора 507 мм, а суммарная длина ротора и вала не более 700 мм, данный пресс можно применять для сборки ротора.

Сборка с термовоздействием осуществляется путём нагрева ротора без вала для получения теплового сборочного зазора в соединении. Необходимая температура равна

$$T = \frac{\delta_{\max} + i}{k_{\alpha} \cdot d} + T_0 = \frac{0,06 + 0,134}{11,6 \cdot 10^{-6} \cdot 180} + 20 = 245 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $i = 0,01\sqrt{d} = 0,01\sqrt{180} = 0,134$ – тепловой сборочный зазор, мм,

$$k_{\alpha} = 11,6 \cdot 10^{-6} - \text{коэффициент линейного расширения, } \text{C}^{-1},$$

$$T_0 = 20 - \text{температура окружающей среды, } ^\circ\text{C}.$$

В серийном производстве часто применяют индукционные нагреватели, мощность которых можно рассчитать по формуле [9, с. 207]

$$W = \nu \frac{mc(T - T_0)}{\tau \eta \cdot 10^3} = 1 \cdot \frac{2,942 \cdot 481 \cdot (245 - 20)}{123 \cdot 0,4 \cdot 10^3} = 2,88 \text{ кВт},$$

где $\nu = 1$ – коэффициент, учитывающий величину зоны нагрева, принимаем равным 1;

$$m = 0,25\pi(D^2 - d^2)L\gamma = 0,25 \cdot \pi \cdot (0,507^2 - 0,18^2) \cdot 0,296 \cdot 7800 = 3,584 \text{ кг} -$$

ориентировочная масса ротора без вала;

$\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$ – плотность электротехнической стали;

$c = 481 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ – удельная теплоёмкость стали [18, с. 463];

$\tau = (T - T_0) / \nu_H = (511 - 20) / 4 = 123$, с – время нагрева ротора;

$\nu_H = 4$, $^\circ\text{C/с}$ – скорость нагрева ротора [9, с. 207];

$\eta = 0,4$, общий КПД индуктора [9, с. 207].

С точки зрения расхода электроэнергии, более выгоден продольнопрессовый способ сборки ротора. Установленная мощность привода пресса 3 кВт. КПД асинхронного двигателя такой мощности равен 0,81. Следовательно, двигатель будет потреблять мощность $3/0,81=3,7$ кВт, что в полтора раза меньше мощности, потребляемой индуктором при нагреве ротора. Следует отметить, что качество сопряжения при термовоздействии выше, но дороже. Выбираем сопряжения при термовоздействии.

Поэтапный процесс сборки ротора:

1. Нагреваем ротор без вала в печи.
2. Насаживаем ротор на вал
3. Устанавливаем оправку
4. Давим прессом.

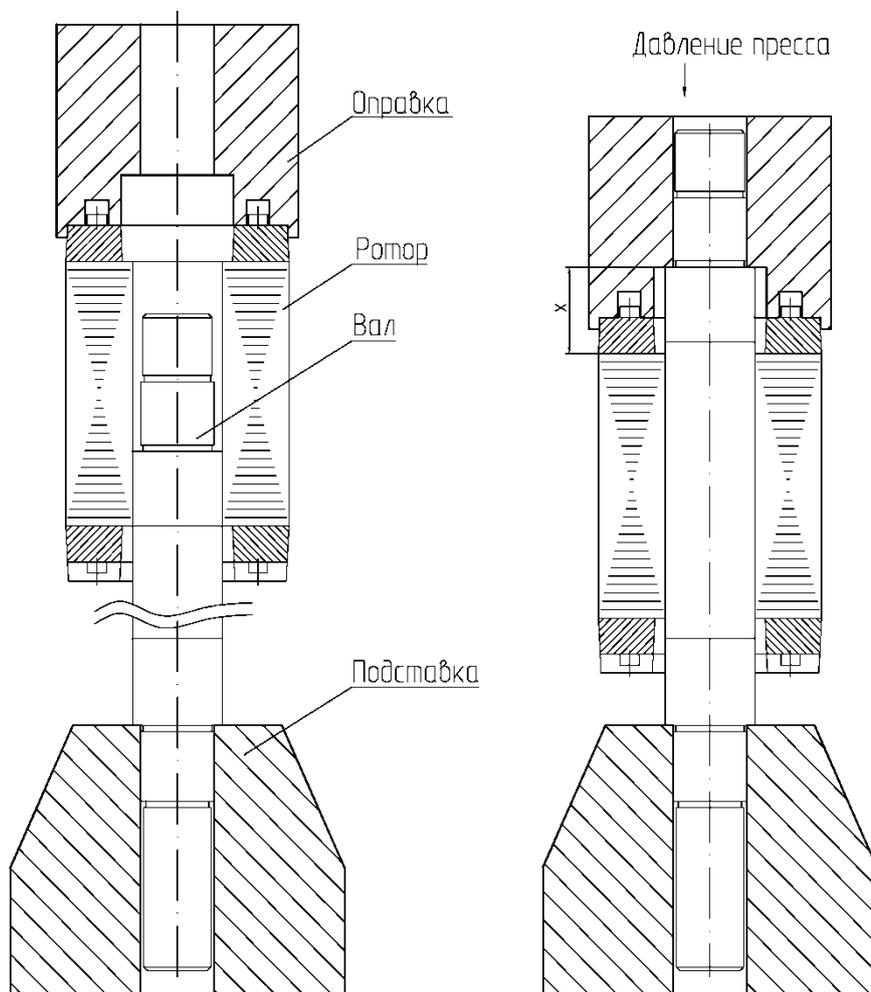


Рисунок 3.1 Приспособление для напрессовки ротора двигателя на вал

Выбор оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств

Содержание операций определяет тип, основные размеры и технологическую характеристику оборудования, технологической оснастки и подъемно-транспортных средств.

При обработке ротора имеются следующие операции:

1. Диаметр отверстия в роторе без вала под вал.

Для этой операции выбираем станок токарный 16Б16Т1 [5], т.к. этот станок также обладает меньшими массогабаритными параметрами.

Характеристики токарного станка 16Б16Т1:

- Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки:
 - Над станиной – 520 мм.
 - Над суппортом – 125 мм
- Наибольший диаметр прутка, проходящего через отверстие шпинделя – 36 мм
- Наибольшая длина обрабатываемой заготовки – 750 мм
- Габаритные размеры - 3100×1390×1870 мм.
- Масса – 2350 кг.

2. Шлифовка шеек вала.

Для этих целей используем круглошлифовальный станок 3М153, который был выбран по наиболее оптимальной длине шлифования [5].

Характеристики круглошлифованного станка 3М153:

- Наибольшие размеры устанавливаемой заготовки:
 - диаметр – 240 мм
 - длина – 500 мм
- Габаритные размеры - 2700×2540×1950 мм.
- Масса – 4000 кг.

3. Балансировка ротора.

Для этой цели используем балансировочный станок для динамической балансировки ДБ10 [5].

Характеристики станка ДБ10:

- Масса балансированного груза (ротора) $0,3 \div 10$ кг

- Наибольший диаметр ротора – 600 мм
- Масса станка- 565 кг

Приспособления и инструмент

Проходка отверстия в роторе производится токарными проходными упорными резцами с пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 18879-73). Размеры резца $h=20$; $b=16$; $L=120$; $l=16$; $R=1$.

Шлифование производится шлифовальным кругом типа ПП

- диаметр 32÷150 мм
- зернистость – 50м28

При балансировке ротор устанавливается на опоры балансировочного станка.

Маршрутная технология сборки

Маршрутная технология разрабатывается для серийного, крупносерийного и массового производства. Для проектирования операций необходимо знать маршрутную технологию, схему базирования и закрепления изделия, а также темп работы, если операции проектируют для поточной линии. При проектировании операции уточняют ее содержание, устанавливают последовательность переходов, окончательно выбирают оборудование, приспособления и инструменты (или дают задание на их проектирование), назначают режимы работы оборудования, устанавливают настроечные размеры и составляют схемы наладок.

Разработанная операция фиксируется на маршрутной карте. В карте указывается наименование операции, наименования переходов в последовательности их выполнения, оборудование, приспособления и инструменты и режимы работы.

Расчет норм времени

Технологически обоснованной нормой времени называют регламентированное время выполнения технологической операции в определённых организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства [4].

Штучным временем называют отношение времени выполнения технологической операции к числу изделий одновременно обрабатываемых на одном рабочем месте [4].

При расчётно-аналитическом методе технически обоснованную норму времени устанавливают на каждую операцию. Определим штучное время по формуле 1.1 [4]:

$$T_{шт} = T_0 + T_в + T_{об} + T_{п};$$

где T_0 – основное (технологическое) время;

$T_в$ – вспомогательное время;

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

$T_{п}$ – время перерывов;

$T_{оп} = T_0 + T_в$ – оперативное время;

$T_{об} = 4\% \cdot T_{оп}$;

$T_{п} = 5\% \cdot T_{оп}$.

При производстве изделий партиями в серийном производстве определяют штучно-калькуляционное время. Для этого используем формулу 1.2 [4]:

$$T_{шт.к.} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n};$$

где $T_{пз}$ – подготовительно-заключительное время. Это время, необходимое для подготовки к изготовлению партии изделия и завершения изготовления партии;

n – число изделий в партии:

$$n = \frac{N \cdot K_{бр}}{12} = \frac{1700 \cdot 1.03}{12} = 145$$

где N – программа выпуска, шт;

$K_{бр}$ – коэффициент брака ($K_{бр} = 1.03$);

Определим штучно-калькуляционное время для каждой операции по вышеуказанным формулам 1.3,1.4 [4]. Результаты расчёта штучно-калькуляционного времени для каждой операции, для удобства сведём в нижеуказанную таблицу.

операция время	сопряжен ие	токарная	Шлифо вка вала	Балансиро вка ротора	Контрольн ая
T_0 ,МИН	0,95	0,8	1,2	4,03	4,45
$T_в$,МИН	0,18	0,18	0,18	0,59	0,74
$T_{оп}$,МИН	1,12	0,98	1,38	4,62	5,12
$T_{об}$,МИН	0,0451	0,0392	0,0552	0,1848	0,2145
$T_п$,МИН	0,059	0,049	0,069	0,231	0,354
$T_{шт}$,МИН	1,0785	1,0682	1,5042	5,0358	5,3548
$T_{пз}$,МИН	0,00012	0,00011	0,00018	0,00022	0,00023
$T_{штк}$,МИН	1,1547	1,0682	1,5042	5,0358	5,1247

Определим общее штучно-калькуляционное время 1.5 [4]:

$$T_{шт.к.общ} = \sum T_{шт.к.i} = 7.6082 \text{ мин}$$

Расчет количества оборудования для выполнения годовой программы

Для проектирования планировки участка мех. обработки необходимо определить эффективный годовой фонд производственного времени оборудования, который при 40 часовой рабочей неделе равно [6]:

$$F_d = [(365 - V_d - П_d) * 8 - П_{пнд}] * K, \text{ где}$$

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

$П_d = 10$ – количество праздничных дней в году;

$П_{пнд} = 5$ – количество предпраздничных дней в году;

$K = 1$ - коэффициент, учитывающий необходимость ремонта.

$$F_d = [(365 - 104 - 10) * 8 - 5] * 1 = 2003 \text{ часов}$$

Расчетное число каждого из видов сборочного оборудования равно:

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_d}$$

1. Токарный станок 16Б16Т1

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_d} = 1.06 * 1700 / 60 * 2003 = 0.132$$

Принимаем $C_n = 1$

таким образом, коэффициент загрузки:

$$\eta_z = [C_p / C_n] * 100\% = \frac{0.06}{1} * 100 = 6\%$$

2. Круглошлифовальный станок 3М153

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_d} = \frac{1.502 \cdot 1700}{60 \cdot 2003} = 0.081$$

Принимаем $C_n = 1$

таким образом, коэффициент загрузки:

$$\eta_z = [C_p / C_n] * 100\% = \frac{0.81}{1} \cdot 100 = 8.1\%$$

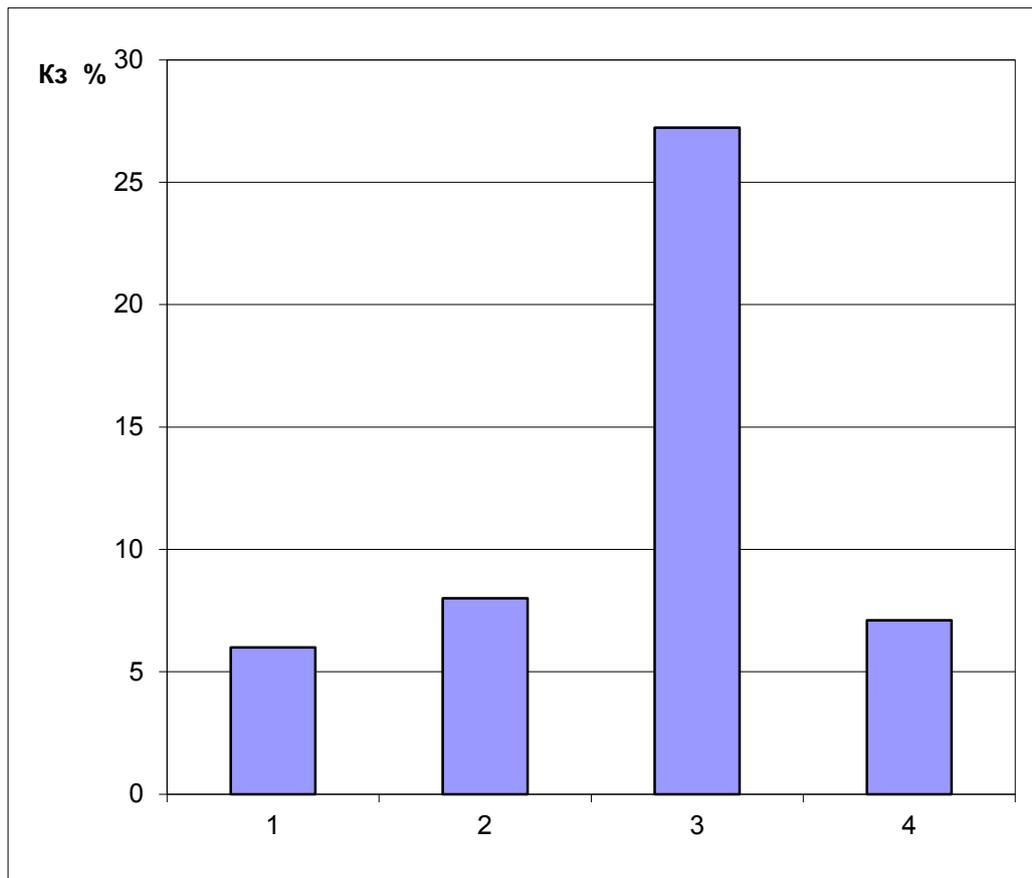
3. Станок для динамической балансировки ДБ10

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_d} = \frac{5.035 \cdot 1700}{60 \cdot 2003} = 0.2723$$

Принимаем $C_n = 1$

таким образом, коэффициент загрузки:

$$\eta_3 = [C_p / C_{п}] * 100\% = \frac{0.272}{1} * 100 = 27.2 \%$$



1- токарный станок

2- шлифовальный станок

3- балансировочный станок

4- печь.

4. Спец. Часть

Расчёт вентиляции

Нагревание электрических машин является основным фактором, определяющим их номинальные мощности и токи. Температура, которой достигает машина, зависит не только от количества тепла, которое в ней каждую секунду выделяется, но и от условий отвода его из машины. Поэтому расчету нагревания предшествует расчет ее вентиляции.

При вентиляционном расчете решают две задачи: устанавливают объемный расход воздуха Q , м³/мин, продуваемого через машину, необходимый для отвода возникающего в ней тепла, и выявляют напор H , мм, который обеспечивает продувание этого количества воздуха.

4.1 Определение объемного расхода охлаждающего воздуха.

Расход воздуха, продуваемого через машину при продолжительном режиме ее работы, должен быть таким, чтобы из машины отводились возникающие в ней потери и она работала бы с установившимся превышением температуры, соответствующим нормам (ГОСТ 2582—72).

Эта мысль выражается формулой:

$$\sum \Delta P = C_b \gamma_b \Delta \theta_b Q$$

Где $\sum \Delta P_{\infty}$ - потери в машине, при продолжительном режиме, Вт:

$C_b = 1,1$ плотность воздуха, при давлении 760 мм, рт.ст. и температуре 50 С, кг/м³:

$\gamma_b = 1000$ – удельная теплоёмкость воздуха, Вт*с:

$\Delta \theta_b$ – подогрев воздуха при прохождении через машину, С, откуда нужен расход воздуха, м³/мин :

$$Q = \frac{\sum \Delta P_{\infty}}{1100 \Delta \theta_b}$$

Здесь $\Delta \theta_b = 22 - 25^{\circ}\text{C}$, для электродвигателей с независимой вентиляцией, коим является наш двигатель.

Расход охлаждающего воздуха можно оценивать также на основании установленных опытом проектирования *коэффициентов вентиля- рованности*

двигателей $K_{\text{вент}}$, $\text{м}^3/(\text{мин} \cdot \text{кВт})$, выражающих расход воздуха, приходящегося на 1 кВт мощности потерь продолжительного режима работы, т. е.

$$K_{\text{вент}} = Q / \sum \Delta P_{\infty}, \text{ таким образом величина } Q = K_{\text{вент}} \sum \Delta P_{\infty},$$

Где $K_{\text{вент}} = 2,1 - 2,7$ для двигателей с независимой вентиляцией.

$$\sum \Delta P_{\infty} = \frac{P_H}{\eta} - P_H = 350 * 10^3 / 0.934 - 350 * 10^3 = 24732 \text{ Вт}$$

$$Q = 24732 / 1100 * 23 = 0,977 \text{ м}^3/\text{мин}$$

4.2 Расчёт аэродинамического сопротивления машины и нужного напора вентилятора

Для создания в машине потока воздуха Q нужно иметь перепад давления между входом воздуха в машину и выходом из нее. Этот напор, мм, связан с расходом воздуха зависимостью

$$H = ZQ^2,$$

Где Z аэродинамическое сопротивление машины как некоторого воздухопровода.

С другой стороны, в соответствии с законами аэродинамики полный напор в машине H равен сумме напоров на входе и отдельных участках машины как воздухопровода $\sum h_i$ и напора на выходе $h_{\text{я}}$:

$$H = \sum h + h_{\text{я}}$$

Напор на выходе, мм (динамический), согласно теории гидродинамики,

$$\frac{\gamma}{g} * v_{\text{д}}^2 / 2$$

Где $\gamma = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ – плотность воздуха

$$g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$$

$v_{\text{д}}$ - скорость воздуха на выходе

Или $h_{\text{д}} = \vartheta_{\text{д}} v_{\text{д}}^2$, называется коэффициентом заполнения напора.

Потери давления на каждом из остальных участков воздухопровода аналогично

$h_i = \vartheta_i v_i$, где ϑ коэффициент аэродинамического сопротивления, v_i скорость воздуха в рассматриваемом участке.

$V_i = Q/S_i$, S – площадь поперечного сечения данного участка.

$Z = \sum^* Z_i + Z_d$, где Z_i и Z_d аэродинамические сопротивления отдельных участков воздухопровода

Эти сопротивления возникают при входе в воздухопровод, от трения о стенки канала, при внезапных поворотах и расширении или изменении сечения канала. Определяются они по формуле выше, т. е. по сечению S_i и коэффициенту ξ , который берут по данным табл. 3.1 (для участков входа и поворота струи воздуха), по рис. 3.1 [при расширении ($\xi_{расш}$) и сужении ($\xi_{суж}$) канала], а учитывающий трение в шероховатых каналах диаметром d и длиной l по формуле $\vartheta_{тр} = 6,25l/d * 10^{-3}$. В случае каналов произвольного сечения за диаметр d принимают диаметр вписанной окружности.

Аэродинамическое сопротивление для струи воздуха в межкатушечном пространстве и воздушном зазоре

$$Z_k = Z_2 + Z_3$$

Для струи во внутренней полости якоря

$$Z_z = \sum_4^{11} Z_i$$

Сопротивление развёрнутой части воздухопровода, состоящей из Z_k и $Z_я$, равно

$$Z_{разв} = Z_k Z_я / (\sqrt{Z_k} + \sqrt{Z_я})^2$$

Сопротивление входа струи

$$Z_{вх} = Z_1$$

Сопротивление выхода струи

$$Z_{вых} = Z_{11} + Z_{12} = Z_{12} + Z_d$$

Полное аэродинамическое сопротивление

$$Z = Z_{вх} + Z_{разв} + Z_{вых} = 1,576 + 2,25 + 1,026 = 4,852$$

Подставляем найденное Z в формулу $H = ZQ^2$ и находим H

$$H = 4,852 * 0,977^2 = 2,876$$

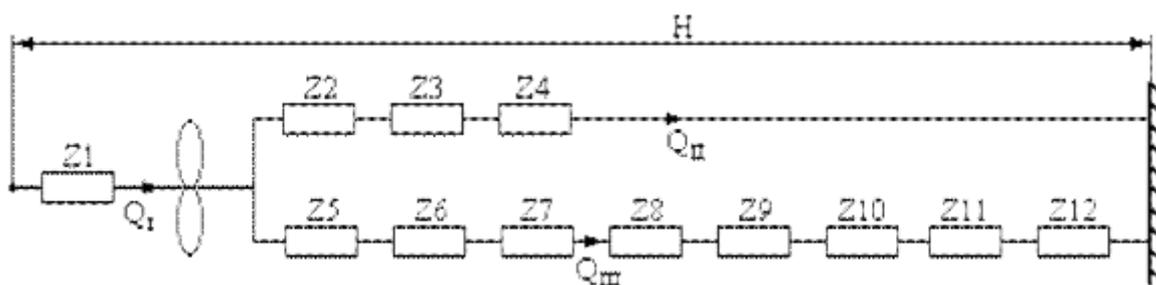
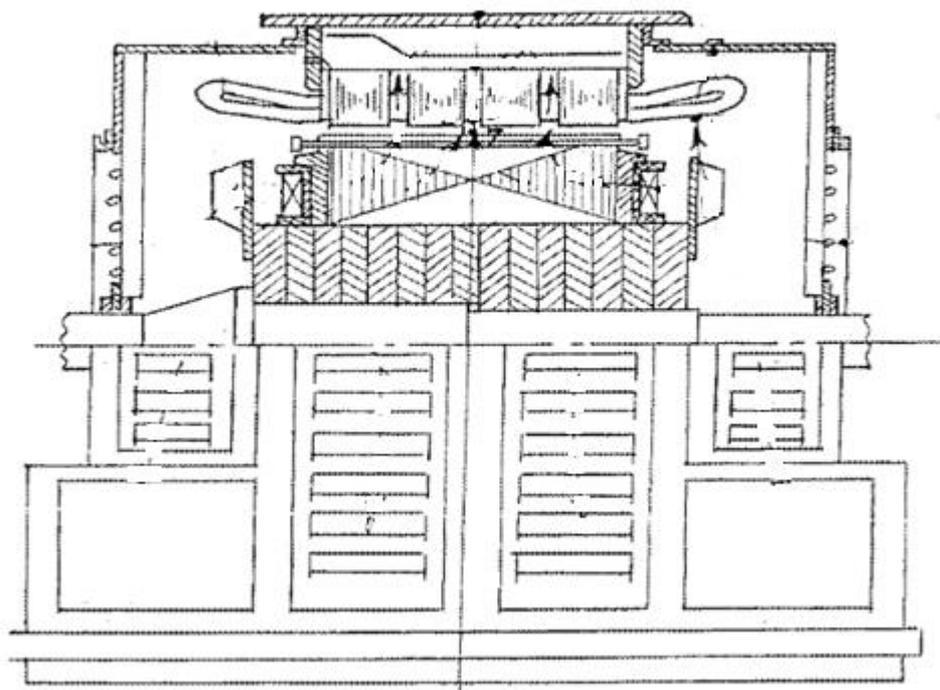


рис. 4.1 Схема прохождения воздуха и схема замещения

Вывод: Был произведён расчёт расхода воздуха, продуваемого через машину при продолжительном режиме работы, он равен **0,977 м³/мин.** Также мы рассчитали полное аэродинамическое сопротивление, равное 4,852, с помощью которого узнали необходимый напор $H=2,876$.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Важным обстоятельством, которое нужно учитывать, говоря о влиянии научно-технического прогресса на конкурентоспособность ресурсоэффективного изделия, является совершенствование существующих и разработка новых видов двигателей, а так же их реализация по приемлемым ценам. Как правило, оценка показателей конкурентоспособности осуществляется по техническим и экономическим показателям товара.

Основные технические характеристики двигателя:

- номинальная мощность нагрузки – 350 кВт;
- номинальное напряжение – 530 В;
- частота вращения – 1000 об/мин

14.1 Смета затрат на проектирование

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

Распределение работы между работниками, проектирующими сводим, в таблицу

5.1

Для определения трудоемкости выполнения проекта составим перечень основных этапов и видов работ, которые должны быть выполнены:

Таблица 5.1 - Этапы разработки проекта.

№ Работ	Наименование работ	Количество исполнителей	Разряд оплаты	Кол дней
1	Разработка технического задания	Руководитель	15	1
	Определение объема работ	Инженер	10	1
2	Подбор литературы	Инженер	15	1
3	Подготовка оборудования	Инженер	10	2
4	Сбор исходных данных на предприятии	Инженер	10	10
5	Обзор теории	Инженер	10	1
6	Электромагнитный расчет	Инженер	10	4
7	Расчет технологической части	Инженер	10	2
8	Выводы и предложения по проделанной работе	Руководитель	15	1
		Инженер	10	1
9	Финансовый менеджмент	Инженер	10	3
10	Выполнение графической части	Инженер	10	2
11	Оформление отчета и обработка результатов на ПК	Инженер	10	3
12	Сдача проекта	Руководитель	15	1
		Инженер	10	1

Руководитель - 3 дней.

Инженер - 31 дней.

5.1.1 Смета затрат на подготовку проекта

Суммарные издержки на проектирование определяем по выражению:

$$\sum I_{\text{проекта}} = \text{Из.пл.} + \text{Ис}_{\text{ОЦ}} + \text{Имат} + \text{Иам} + \text{Ипр} + \text{Инакл}$$

Где Из.пл - издержки на заработную плату;

Ис_{ОЦ} - издержки на социальные отчисления;

Имат - материальные издержки;

Иам - амортизационные издержки;

Ипр - прочие издержки;

Инакл - накладные расходы.

Издержки на заработную плату

Таблица 5.2 – 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	33319	1586,6	3	5168,4
Инженер 10р	3,62	15	15	1,3	20732	987,3	31	30608,8
Итого					54054	2573,9	31	35777,2

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + Д) \cdot k_2 \cdot X}{21}$$

Или

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2) \cdot X}{21}$$

Где

3 – оклад;

Д – доплата за интенсивность труда

k_1 - коэффициент за отпуск (1,1);

k_2 - районный коэффициент (1,3);

21 – количество рабочих дней в месяце;

Расчет для научного руководителя 15 разряда

X – количество рабочих дней затраченных на проект.

Зарплата

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + Д) \cdot k_2 \cdot X}{21} = \frac{(23300 \cdot 1,1 + 2200) \cdot 1,3}{21} \cdot 3 = 5168,4 \text{ руб.}$$

Расчет для инженера 10 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2) \cdot X}{21} = \frac{(14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3)}{21} \cdot 31 = 30608,8 \text{ руб.}$$

Тогда

$$I_{з.пл. \Sigma} = \sum I_{з.пл.} = 5168,4 + 30608,8 = 35777,2 \text{ руб.}$$

5.1.2 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.

$$И_{соц} = 0,3 \cdot I_{з.пл. \Sigma} = 0,3 \cdot 35777,2 = 10733,2 \text{ (руб)}$$

5.1.3 Материальные затраты на канцелярские товары.

Материальные затраты на канцелярские товары примем в размере 950 руб. (в условиях цен на канцелярские товары в настоящее время).

$$I_{\text{мат}} = 950 \text{ (руб)}$$

5.1.4 Амортизация вычислительной техники.

Основной объем работ по разработке проекта был выполнен на персональном компьютере первоначальной стоимостью 25 тысяч рублей.

Произведём расчёт амортизации стоимости ПК

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_u}{T_{\text{кал}}} \cdot \Phi_{\text{кт}} \cdot H_{\text{ф}} = \frac{30}{365} \cdot 28700 \cdot \frac{1}{8} = 294,9 \text{ руб.}$$

где T_u - количество отработанных дней на ПК; $T_{\text{кал}}$ -

количество календарных дней в году; $\Phi_{\text{кт}}$ -

первоначальная стоимость ПК;

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

5.1.5 Прочие неучтенные затраты.

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

$$I_{пр} = 0,1 \cdot (I_{з.пл.} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам}) = \\ = 0,1 \cdot (35777,2 + 10733,2 + 950 + 294,9) = 4775,5 \text{ руб.}$$

5.1.6 Накладные расходы.

Накладные расходы составят 200% от ФЗП. Включают в себя затраты на хозяйственное обслуживание помещения, обеспечение нормальных условий труда, оплату за энергоносители и другие косвенные затраты.

$$I_{накл} = 2 \cdot I_{з.пл. \Sigma} = 2 \cdot 35777,2 = 71554,4 \text{ руб.}$$

5.1.7 Себестоимость проекта

$$\sum I_{проекта} = I_{з.пл.} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам} + I_{пр} + I_{накл} \\ = 35777,2 + 10733,2 + 950 + 294,9 + 4775,5 + 71554,4 = 124085,2 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Смета затрат на подготовку проекта

№ п/п	Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
1	Заработная плата	$I_{з.пл. \Sigma}$	35777,2
2	Социальные отчисления	$I_{соц}$	10733,2
3	Материальные затраты	$I_{мат}$	950
4	Амортизационные	$I_{ам}$	294,9

5	Прочие издержки	Ипр	4775,5
6	Накладные расходы	Инакл	71554,4
7	Себестоимость проекта	$\sum I_{\text{проекта}}$	124085,2

5.2.1 Определение материальных расходов

Материальные затраты - это затраты, связанные с приобретением и заготовлением материалов для изготовления единицы продукции. Представим перечень материалов, необходимых для изготовления одного образца (см. таблицу 14.4).

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

$$M_{\text{осн}} = P \cdot Ц_{\text{м}}$$

Где $Ц_{\text{м}}$ - цена материала за единицу (руб./кг);

P - норма расхода материала (вес материала).

Рекомендации к материальным расходам предприятия для изготовления единицы продукции рассматриваются для двух вариантов, базового (1 вариант) и предлагаемого (2 вариант). Их стоимость указана в таблице 5.4.

Таблица 5.4– Затраты на материалы.

Наименование материала	Цена, руб./кг.	Норма расхода, шт.		Сумма, руб.		Удел. вес, %	
		Баз. 1 вар	Предл. 2 вар	Баз. 1 вар	Предл. 2 вар	1вар	2вар
1. Черные металлы						60,0	63,0
Чугун СЧ-20	58,5	55.008	53.424	3217.968	3125.304		
Валовая сталь	50,1	25.358	23.328	1270.456	1168.733		
Электротехническая сталь	73,9	64.656	60.336	4778.078	4458.83		
Прочие чёрные металлы	84,4	24.768	24.048	2090.419	2029.651		
2. Цветные металлы						3,0	3,0
Алюминий сплав АК7	216,0	2.304	1.872	497.664	404.352		
Прочие цвет. Металлы	231,2	0.288	0.2448	66.5856	56.59776		
3. Прочие материалы						5,0	5,0
Подшипник 309 и 310	448,0	2	2	896	896		
4. Кабельные изделия						25,0	22,5
Обмоточный провод ПЭТ155 d=1,015	962,2	4.464	3.456	4295.261	3325.363		
Провод установочный ПВКФ d=2,5,1	244,8	2.592	2.16	634.5216	528.768		
5. Изоляция						4,5	4,0
Стеклолакоткань ЛСК	244,8	1.5552	1.5264	380.713	373.6627		

Продолжение таблицы 5.4

Ст.пласт ССП БИД 8,2*3,5	214,0	0.5472	0.2592	117.1008	55.4688		
Синтофлекс или Элифлекс	645,9	0.1872	0.1872	120.9125	120.9125		
Плѐнка ПЭТ-Э	520,0	0.0129	0.02736	6.7392	14.2272		
Резина трубка ТСКП	54,4	4.032	3.744	219.3408	203.6736		
6.Лакокраски	205,0	2.16	1.584	442.8	324.72	2,5	2,5
Всего				19034.56	17086.26	100,	100,

Как видно по расчетам из таблицы 5.4 – для базового варианта, наиболее затратным пунктом материальных расходов являются черные металлы – 60%, также дорого обходятся кабельные изделия – 25%, а для предлагаемого варианта - черные металлы составляют 63% и кабельные изделия 22,5%. Затраты на основные материалы с учётом транспортных расходов составят:

1 вариант технологии $C_M = M \cdot K_{\text{тзр}} = 19034 \cdot 1,14 = 21,8$ тыс. руб

2 вариант технологии $C_M = M \cdot K_{\text{тзр}} = 17086 \cdot 1,14 = 19,5$ тыс. руб

Где $K_{\text{тзр}} = 1,14$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы

Уменьшение во втором варианте нормы расхода материалов, позволило сэкономить 2,3 тыс.руб. или 10,6% в расчёте на единицу изделия.

5.2.2 Затраты на силовую электроэнергию

Затраты на силовую электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\Theta = \frac{\sum N \cdot t_{\text{шт}} \cdot k_3 \cdot k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{зд}} \cdot k_{\text{ис}} \cdot C_{\Theta}}{k_{\text{но}}}, \text{ руб} / \text{шт}$$

где N– установленная мощность электродвигателей, кВт;

Kз – средний коэффициент загрузки электродвигателей по мощности; 0,65

Kор - коэффициент, учитывающий одновременность работы электродвигателей; 0,8

Kзд- средний коэффициент загрузки электродвигателей во времени; 0,85

Kпс- коэффициент отражающий потери электроэнергии в сети; 1,05

Цэ- цена 1кВт часа электроэнергии; 4,2руб.

КПД - средний коэффициент полезного действия двигателей; 0,88

1 вариант технологии

$$\Theta = \frac{8,5 \cdot 1,75 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1,05 \cdot 4,2}{0,88} = 33 \text{ руб / шт}$$

2 вариант технологии

$$\Theta = \frac{8,5 \cdot 1,6 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1,05 \cdot 4,2}{0,88} = 30,1 \text{ руб / шт}$$

Таблица 5.5–Расчет расходов на силовую электроэнергию.

№ п/п	Операции	Мощность двигателя, кВт	Трудоемкость. час/шт		Расход на электроэнергию руб./шт	
			1 вариант	2 вариант	1 вариант,	2 вариант,
1	Точить	8,5	1,75	1,6	33	30,1
2	Фрезеровать	7,5	0,7	0,6	11,6	9,9
3	Штамповать	7,5	0,3	0,3	4,9	4,9
4	Точить	5,5	0,6	0,5	7,3	6,1
5	Сверлить	10,0	1,5	1,3	33,2	28,8
6	Прессовочная	7,5	0,2	0,1	3,3	1,6
7	Шлифовать	5,5	0,2	0,1	2,4	1,2

Всего		5,25	4,5	95,7	82,6
-------	--	------	-----	------	------

Уменьшив во втором варианте время работы станков, за счет изменения конструкции двигателя на 0,75 час/шт или на 14,3% ,удалось сократить расходы на электроэнергию в предлагаемом варианте на 13,6руб./шт. или же на 16% по сравнению с базовым вариантом.

5.3 Оценка конкурентоспособности создаваемого продукта

Рассматривая ситуацию на рынке сбыта продукции видим, что основными конкурентами являются отечественные производители асинхронных двигателей. Отечественные производители имеют свой сложившийся рынок сбыта, определяемый в основном географическим расположением производителей.

На российском рынке существует несколько заводов изготовителей аналогичной продукции. Значительную часть рынка занимают зарубежные производители. По сравнению с продукцией отечественных заводов двигатели ПАО «СИБЭЛЕКТРОМОТОР» при приблизительно равных ценах имеет лучшее качество и соответственно больший срок службы, что подтверждается тестовыми испытаниями.

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать вывод, что ПАО «СИБЭЛЕКТРОМОТОР» есть довольно перспективная маркетинговая возможность сбыта продукции высокого качества по низким ценам.

После реализации продукции, согласно договору о купле продаже продукции, предоставляется сервисное обслуживание, консультации специалистов по возникающим вопросам при монтаже и эксплуатации двигателя.

Завод-изготовитель предоставляет следующие гарантии после реализации продукции:

1. Бесплатный гарантийный ремонт двигателя в течение двух лет после его реализации в случае выхода его из строя по вине завода-изготовителя.
2. Замена не подлежащего ремонту двигателя в течение гарантийного периода обслуживания.

ПАО «СИБЭЛЕКТРОМОТОР» является действующим предприятием и использует свои существующие ресурсы для производства АД КЗ ротором, поэтому нет необходимости в приобретении основных средств.

Результаты анализа сведен в таблицу 5.6

Таблица 5.6– Оценка факторов конкурентоспособности изделия [29]

Факторы конкурентоспособности изделия	Российские предприятия		Зарубежные предприятия	
	ПАО «СИБЭЛЕКТРОМОТОР»	ПАО «Промсервис»,	ПАО «Элтехника»,	ПАО «Басф»,
Изделие	АД КЗ ротором			
1.Качество	4	4	4	4
2.Технико-экономические	4	4	3	4
3.Престиж торговой марки	4	5	4	4
4. Упаковка	5	4	4	3

5.Уровень послепродажног о	5	5	5	3
6.Гарантия	2 года (5)	2 года (5)	1 года (4)	1 года(4)
7.Уникальность	(4) Высокий класс изоляции	(4) Встроенны й темп.	(4) Температур ная защита	(4)Применен ие внешнего вентилятора
8.Надежность	5	5	4	4
9.Защищенн ость патента	5	5	5	5
Цена				
1.Продажная	4	4	5	5
2.Процент	(5) До 10%	(4) До 8%	(3) До 6%	(4) До 8%
3.Сроки платежа	(4) До 1 мес.	(4) До 1	(4) До 1	(4)До 1 мес.
Каналы сбыта				
1.Форма сбыта:				
1.1. прямая	4	4	3	3
1.2. через торговых представителей	4	4	4	4
1.3 оповые	4	4	3	4
2.Система транспортиро	(5) Авто-, ж/д.,авиа	(5) Авто-,	(5) Авто-,	(5) Авто-
Продвижение изделия на				
1.Реклама:				

1.1. для	5	5	3	4
1.2. для торговых поспелников	5	4	4	4
2. Индивидуал ьная продажа:	4	4	3	3
2.1. способы стимулирования				
2.2. показ образцов товаров	5	4	4	4
3. Телевизион ный	4	3	4	4
4. Продажа товаров				
через средства массовой информации	4	3	3	4
ИТОГО	98	93	86	87

Примечание: оценка факторов конкурентоспособности товара производится по пяти бальной шкале.

Проектированию новой серии асинхронных двигателей предшествует разработка технико-экономических требований. По данным маркетингового исследования рынка, колебание цен на данный вид изделия незначительно, поэтому основные

моменты, интересующие покупателя, - качество продукции,
ее производительность.

5. Социальная ответственность

5.1. Введение

В данном разделе мы рассмотрим безопасность и экологичность технологического процесса сборки ротора асинхронного тягового двигателя. Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование: сборочный стол ТВ-2517, кисть КФК-8 ГОСТ 10597-87, молоток 7850-0118 ГОСТ 2310-77, пневмогайковерт ИП 3112 ГОСТ 10210-83, кран-балка Q=1.5 захват ТВ-9934, кувалда ТВ-1493, сварочный трансформатор СТАН-1, пневматическая машина СП-90 ГОСТ 10212-68, шлифовальный круг ИП-2014 ГОСТ 2424-83. Технологический процесс сборки ротора включает в себя следующие виды работ: работу с механизированным ручным инструментом, продувку деталей, работу с транспортными приспособлениями.

5.2. Анализ опасных и вредных факторов

При сборке тяговых электрических двигателей возникает ряд вредных и опасных производственных факторов.

Опасные факторы, возникающие при данном технологическом процессе:

- 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 участке общей сборки асинхронного двигателя от установленных норм.
- Шум, при работе с ручным механизированным инструментом (пневмогайковерт).
- Вибрация при работе с ручным механизированным инструментом (пневмогайковерт).

- Недостаточная освещенность.
- Загазованность и запыленность.

В цехе на сборочном участке используются вещества, которые оказывают вредное влияние на организм человека. Санитарными нормами установлены предельно - допустимые концентрации вредных примесей в воздухе. Одно из веществ - хромовый ангидрид, его ПДК = 0.01 мг/м³, класс опасности - 1; марганец, его ПДК = 0.1 мг/м³, класс опасности - 2. Также при сборке при меняется сварка что влечет: за собой образование таких веществ как СО, его ПДК = 20 мг/м³, класс опасности - 4; Пыль сварочная аэрозоль, её ПДК = 4 мг/м³, класс опасности - 2. Также образуется пыль, её ПДК = 6 мг/м³, 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.

Техпроцесс общей сборки относится к категории работ средней тяжести 2Б с энергозатратами 201-250 ккал/час, характеризующейся выполнением и переносом тяжести до 10 кг.

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

5.3. Производственная санитария

5.3.1. Искусственное освещение

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 200 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.

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.

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.

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.

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.
- 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. Л71 В84-мощность лампы 8x40 Вт.

Выбор коэффициента запаса

Полученная из [СНиП 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.

Таблица 5.1. Значение коэффициента запаса

Характеристика объекта	Люминесцентные лампы	Лампы накаливания
Помещения с большим выделением пыли	2	1.7
Помещения со средним выделением пыли	1.8	1.5
Помещения с малым выделением пыли	1.5	1.3

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.
2. Наиболее экономичное создание нормированной освещенности.

Система освещения производственных помещений - общее равномерное освещение лампами накаливания. Тип светильников - универсальный без затемнителя.

Размеры производственного помещения:

- Высота 5 м.
- Длина $A=20$ м.
- Ширина $B=8$ м.
- Потолок и стены светлые, пол темный.

Площадь помещения:

По [6] находим величину минимально допустимой табличной освещенности $E_n=200$ лк. Разряд зрительной работы IVб (наименьший размер объектов различения от 0,5 до 1 мм.).

По условию слепящего действия высота подвеса светильника $h_c=1$ м.

Высота рабочей поверхности - 0.8 м.

Тогда высота подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h=5-1-0.8=3.2 \text{ м.}$$

Проведем предварительную разметку светильников. Расстояние между светильниками L определяется по [л 5], как выгоднейшее $l_c=L/h$

$$L=1.1 * 3.2=3.52 \text{ м.}$$

Рекомендуемое расстояние от стен до светильников:

$$l_c=L/3= 1/17 \text{ м.}$$

Число светильников в одном ряду по длине (при длине светильника $l=2$ м.):

$$N_d=(A-2l_c+L)/(l+0.5)=(20-2* 1.17+0.5)/(2+0.5)=7.3$$

принимая равным 7.

Где 0.5-расстояние между светильниками.

Уточняем расстояние между лампой и стеной:

$$L_c=[A- N_d -(N_d-1) * 0.5] / 2 = [20-7 -(7-1) * 0.5] / 2 = 1.5 \text{ м.}$$

Число ламп в ряду по ширине:

$$N_{ш}=(B-2l_c +L)/(b+0.5)=(8-2*1.5+3.52)/(0.38+3.52)=2.2$$

принимая равным 2.

Где В-ширина лампы

Тогда расстояние между лампами:

$$L=(B- N_{\text{ш}} *b-2l_c)/(N_{\text{ш}}-1)=(8-2*0.38-2* 1.5)/(2-1)=4.24 \text{ м.}$$

В результате общее число светильников принимаем равным 14 шт.

Для определения коэффициента использования светового потока η .

Находим индекс помещения: $I=S/(h(A+B))= 160/(3.2 *(20+8))= 1/8$

Коэффициент использования $\eta=0.43$

Расчетный световой поток:

$$F=E_{\text{п}} *k*S*Z/N* \eta = 200* 1.5* 160* Z /14*0.43=9900 \text{ лм.}$$

Где $k = 1.5$ -коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли.

$Z=1.1$ - коэффициент, учитывающий отклонение от средней величины.

Подбираем мощность лампы для работы на напряжение 220 В.

Наиболее подходящей лампой является лампа ЛТБ мощностью 80 Вт. со световым потоком 5200 лм. Чтобы сохранить световой поток неизменным, число светильников нужно уменьшить в следующее число раз:

$$4950/5200=0.96 \text{ тогда } 14*0.96=13.4 \text{ шт.}$$

Принимаем 14 штук светильников.

В связи с этим проводим окончательную разметку светильников (Рисунок 4.1.).

Мощность осветительной установки:

$$P_{\text{ос}}=14*80*2=2240 \text{ Вт.}$$

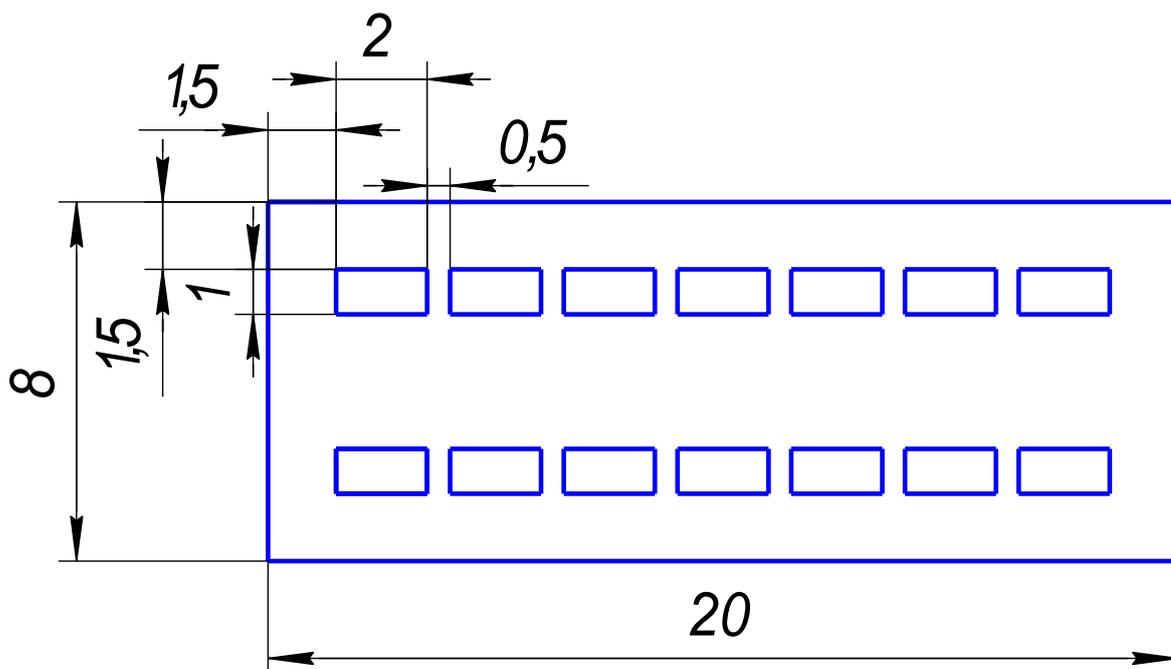


Рисунок 5.1. План помещения в масштабе

5.3.2. 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).

Требуемое состояние воздуха рабочей зоны обеспечивается системами вентиляции и отопления.

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 5.2.

Таблица 5.2. Метрологические условия для рабочей зоны помещения

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, t°С	Относительная влажность воздуха, φ%	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин t° _{опт}	Диапазон выше оптимальных величин t° _{опт}			Если t° < t° _{опт}	Если t° > t° _{опт}
Холодный	2Б	15,0 - 16,9	19,1 - 22,0	14,0 - 23,0	15 – 75	0,2	0,4
Теплый	2Б	16,0 - 18,9	21,1 - 27,0	15,0 - 28,0	15 - 60	0,2	0,5

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

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

Таблица 5.3. Вредные факторы

Вещества	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Агрегатное состояние
СО	20	4	Газ
Пыль свинцовая	4	2	Аэрозоль
Пыль	6	4	Аэрозоль

Удалять вредные вещества и газы с рабочего места позволяет система приточно-вытяжной вентиляции.

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

5.3.3. Шум

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 результате гигиенических исследований установлено, что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека.

При длительном воздействии шума на организм человека происходят не желательные 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. Предельно допустимые значения, характеризующие шум и вибрацию регламентируются ГОСТ 12.1.003-83. Норма звукового давления в помещении цеха равна 80 дБ по шкале А. 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.

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

Таблица 5.4. Уровни звукового давления

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами.									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

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.

5.3.4. Вибрация

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твёрдых тел, передаваемые организму человека. Они могут быть причиной расстройства сердечнососудистой 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.

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 1240012-74.

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.

5.4. Техника безопасности слесаря-сборщика электрических машин

Цех относится к помещению с повышенной опасностью, так как имеется токопроводящий железобетонный пол согласно ПУЭ.

5.4.1. К самостоятельной работе слесаря-сборщика электрических машин допускаются лица прошедшие медицинское освидетельствование, курсовое обучение по теоретическим знаниям и практическим навыкам в работе в объёме программы, аттестацию квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте.

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

5.4.3. 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.

5.4.4. Слесарь-сборщик использует пневмоинструмент (гайковерты, пневмопистолет) и грузоподъёмные механизмы, поэтому сборщикам предъявляются повышенные требования, и они раз в три года проходят обучение в объеме знаний программы и инструкций по охране труда.

5.4.5. 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.

5.4.6. 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.

5.4.7. 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.

5.4.8. При получении травмы или недомогания нужно немедленно обратиться в здравпункт и по возможности в течении суток сообщить мастеру или начальнику цеха.

5.4.9. За не соблюдение требований инструкции по охране труда рабочий несёт дисциплинарное взыскание и материальное:

- Лишение процентов месячной премии в размере 5-100% на усмотрение руководства.
- Уголовную ответственность.

Требования безопасности перед началом работы

1. Работать инструментом, отвечающим требованиям ГОСТ 12,2027-80:

- 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. Нарращивать ключи другими предметами запрещается.

2. Проверить исправность тележки, конвейера и зажимных приспособлений.
3. Проверить исправность проводов и шлангов (нет ли утечки масла).
4. При работе с грузоподъемными механизмами нужно проверить их исправность (тормоза, состояния троса, ограничителя подъема высоты и станцию (пульта) управления на передвижения тельфера и наличия заземления).
5. К работе с электроинструментом допускаются лица, прошедшие инструктаж по I группе безопасности.

Требования безопасности во время работы

1. При работе с абразивным кругом, пользоваться защитными очками.
2. Напряжение переносного инструмента должно быть не выше 42 В.
3. Чалочные приспособления и подъемные механизмы должны быть вполне годными и допущены к эксплуатации, на которых должны быть вывешены бирки с указанием грузоподъемности, даты испытания и номера (шифра).
4. Тара должна иметь номер и указания наибольшего веса груза, для транспортировки которого она предназначена. Ёмкость тары должна исключить возможность перегрузки грузоподъемной машины.
5. Лицам, моложе 18-ти лет запрещается работать с грузоподъемными 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.

5.5. Пожарная безопасность

Цех относится к классу пожароопасности П1. Производство общей сборки асинхронного тягового двигателя согласно НПБ-105-03 относится к категории «Д», т.е. это производство, в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии. Огнестойкость цеха относится к 1 степени огнестойкости.

На данном участке приняты следующие меры пожарной безопасности:

- выявление возможных очагов пожара и причины их возникновения.
- проверка выполнения правил пожарной безопасности.
- наличие правил использования пожарных первичных средств тушения;
- наличие плана эвакуации.

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, приводящих 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, выходы, коридоры, лестничные клетки не разрешается загромождать.
- Все выходы должны открываться по направлению из здания, помещения.
- Хранение в цехах сырья, полуфабрикатов, горючих жидкостей разрешается только не более дневной потребности.
- Использовать ГЖ (горючесмазочная 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 сгораемые материалы на радиаторах, вешать на производственное оборудование, электроприборы.
- Курить, пользоваться открытым огнем, не предусмотренным спец. технологией разводить костры.
- Производить уборку помещений, оборудования с применением ЛНЖ и ГЖ.
- Скапливать на рабочем месте мусор, промасленную ветошь.
- Использовать не по назначению противопожарный инвентарь.
- Загромождать различными предметами проходы, выходы.
- 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., - 2101, 21-09, 23-29, 9-01 и принять меры по ликвидации очага

пожара или действовать по указанию старшего начальника или начальника ДПД.

- Знать пути эвакуации из помещения.
- Знать пожароопасность своего цеха, участка и при обнаружении нарушений противопожарного характера устранить их или сообщить начальнику цеха.
- Знать и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения.

На данном участке для тушения очагов пожара применяются:

- Огнетушители типа ОП-5, ОП-2, ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8;
- Стационарная пенная установка;
- Пожарные гидранты с пожарными рукавами.

Огнетушители ОП-5, ОП-2 - порошковые, предназначены для тушения загорания установок под напряжением до 1000В.

При загорании снять огнетушитель, поднести к загоранию, выдернуть чеку и нажать на клавиш, затем направить пистолет на огонь.

Огнетушитель ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 - углекислотные, применяются для тушения электрооборудования под напряжением до 1000 В. и др. предметов.

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.

Пожарный гидрант – труба, по которой подается вода с разъемом для подключения пожарного рукава. Водой можно тушить очаги пожара за исключением электроустановок под напряжением, ГСМ и химических очагов.

При загорании размотать рукав, подключить к гидранту, направить пожарный ствол на очаг и включить воду, открутив вентиль на гидранте.

При эксплуатации электроустановок в целях пожарной безопасности согласно ПУЭ к ним предъявляют ряд требований:

- Запрещается использовать оборудование, поверхностный нагрев которого при работе превышает температуру окружающей среды, более чем на 40С;
- Использовать кабели и выводы с поврежденной изоляцией.

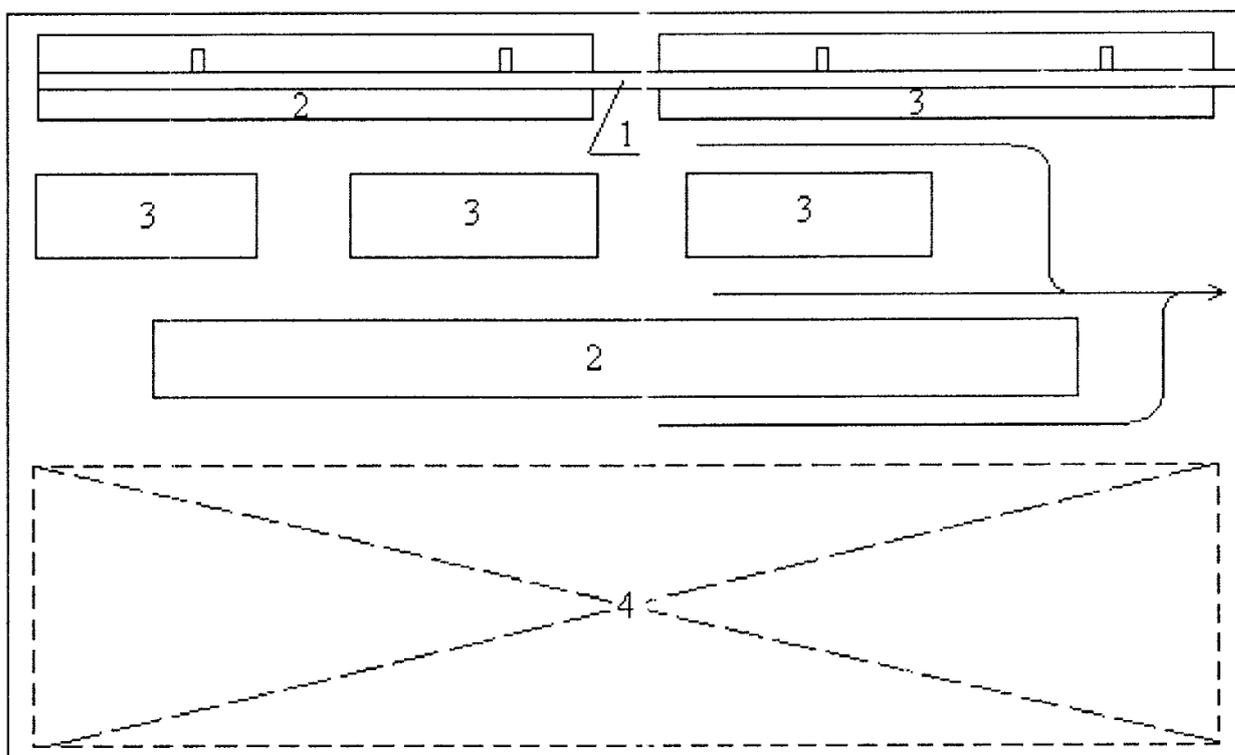


Рисунок 5.4. План эвакуации

- 1 - монорельс
- 2 - верстак для сборки двигателей
- 3 - верстак для комплектации роторов
- 4 - места складирования деталей и заготовок

5.6. 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, металла конструкции 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.

Заключение

В данной работе был спроектирован трехфазный асинхронный тяговый двигатель с короткозамкнутым ротором. В качестве базовой модели выбрана конструкция тяговых асинхронных двигателей серии НБ, которые применяются как двигатели локомотивов.

В начале расчета двигателя были получены значения электромагнитных нагрузок A и B_s , входящие в рекомендуемые пределы, основанные на исследовании работающих двигателей серии НБ. От электромагнитных нагрузок зависят не только размеры машины, а также и ее характеристики. Число пазов статора принято стандартному и равно $Z_1=72$, т.о. обмотка имеет целое число пазов на полюс и фазу ($q=4$).

Воздушный зазор был выбран небольшим, что приводит к уменьшению магнитодвижущей силы магнитной цепи и тока намагничивания. При этом будут уменьшаться суммарные потери, благодаря чему в расчете рабочих характеристик повысились значения $\cos \varphi$ и КПД. Число пазов ротора выбрано по рекомендациям, основанным на изучении влияния соотношений числа зубцов статора и ротора на кривую момента, а также шумы и вибрации.

Список использованных источников

1. Проектирование тяговых электрических машин / М.Д. Находкин [и др.] ; под ред. М.Д. Находкина. – М. : Транспорт, 1976. – 623 с.
2. Курбасов, А.С. Проектирование тяговых электродвигателей / А.С. Курбасов, В.И. Седов, Л.Н. Сорин ; под ред. А.С. Курбасова. – М. : Транспорт, 1987. – 536 с.
3. Захарченко, Д.Д. Тяговые электрические машины и трансформаторы / Д.Д. Захарченко, Н.А. Ротанов, Е.В. Горчаков ; под ред. Д.Д. Захарченко. – М. : Транспорт, 1979. – 300 с.
4. Электротехника : учеб.-метод. комплекс / И.М. Коголь [и др.] ; под ред. Н.В. Клиначёва. – Offline версия 2.2. – Челябинск, 2008. – файлов 3202.
5. Проектирование электрических машин : учебник для вузов / И.П. Копылов [и др.] ; под ред. И.П. Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Высш. шк., 2005. – 761 с.
6. Гольдберг, О.Д. Проектирование электрических машин : учебник для вузов / О.Д. Гольдберг, Я.С. Гурин, И.С. Свириденко ; под ред. О.Д. Гольдберга. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2001. – 430 с.
7. Алиев, И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию : учеб. пособие для вузов / И.И. Алиев. – 2-е изд., доп. – М. : Высш. шк., 2000. – 255 с.
8. Проектирование электрических машин: Учеб. пособие для вузов/ И.П. Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клоков и др.; Под ред. И.П. Копылова М.: Энергия, 1980.-496с., ил.
9. Технология производства асинхронных двигателей: Специальные процессы/ В.Г.Костромин, С.Б. Воронин, В.А. Дагаев и др.; Под ред. В.Г.Костромина.- М.: Энергоиздат, 1981.-272с., ил.
10. Антонов М.В. Технология производства электрических машин. -М: Энергоиздат, 1982. 512 с.

11. Амиров Ю.Д. Технологичность конструкции изделия. Справочник.-М.: Машиностроение,1990. 768 с.
12. Миллер Э.Э. техническое нормирование труда в машиностроении.-М.: Машиностроение, 1972. 248 с.
13. Общемашиностроительные нормотивы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин и приборов в условиях массового, крупносерийного и среднесерийного типов производства - М.: Машиностроение, 1991 .
14. Допуски и посадки в машиностроении. Справочник. В 2-х ч./В.Д.Мягков, М.А.Палей, А.Б.Романов, В.А.Брагинский.-6-е изд., перераб. и доп.-Л.:Машиностроение. Лнингр.отд-ние,1982.-41.543с.,ил.
15. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т1
Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова - М.: Машиностроение,1983
16. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т2
Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова-М.:Машиностроение,1983
17. Астафьев В.Б., Джуробаев К.Т. Экономика в электротехническом производстве.
18. Экономика и организация производства в дипломных проектах –Л.: Машиностроение. 1977. 206 с.
19. ГОСТ 12. 0. 003 – 74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
20. ГОСТ 12. 1. 003 – 83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
21. ГОСТ 12. 1.004 – 91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
22. ГОСТ 12. 1.005 – 88 (с изм. №1 от 2000г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).
23. ГОСТ 12. 1. 012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
24. ГОСТ 12. 1. 030 - 81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.

25. ГОСТ 12. 2. 003 - 91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
26. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
27. СНиП 2. 04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
28. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
29. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
30. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
31. СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий
32. НПБ 105-2003 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
33. Правила устройства электроустановок. ПУЭ
34. Internet Explorer. Поисковая система Google..
35. Wildi, Theory Electrical Machines, Drivers, and Power Systems / T. Wildi. – 3-rd ed. – New Jersey: Prentice Hall, 1997. – 814 p.
36. Nagrath, I. J. Electric machines / I.J. Nagrath, D.P. Kothari. – 2-nd ed. – New Delhi: Tuta McGraw – Hill Publishing Company Limited, 2000 – 778 p.: il.
37. Shigley, Joseph E. Mechanical Engineering Design / J.E. Shigley, C. R. Mishke. – 6 ed. – New York: McGraw – Hill, 2001. – 1248 p.: il.
38. Yates, Christopher St. J. Economics / C. St. J. Yates. – Oxford: Prentice Hall, 1998. – 154 p