



Институт
 Специальность
 Кафедра

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором механизма передвижения тали

УДК _____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Безопасность и экологичность проекта»

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

По разделу «Электромагнитный расчет»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент				

По разделу «Технологическая часть»

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

По разделу «Специальная часть»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент		к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.



Институт:
 Направление подготовки (специальность):
 Кафедра:

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО

Тема работы:

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором механизма передвижения тали	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>По материалам преддипломной практики.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Реферат Введение 1. Электромагнитный расчет 2. Технологическая часть 3. Специальная часть 4. Безопасность и экологичность проекта 5. Финансовый менеджмент Заключение Список литературы</p>

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Сборочный чертеж двигателя. Рабочие чертежи: щит подшипниковый, размерный анализ. Лист электромагнитного расчета: схема обмотки статора, рабочие характеристики, пусковые характеристики. Лист специальной части: электромагнит. Лист экономической части: график безубыточности.</p>
--	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Разделы</p>	<p>Консультанты</p>
<p>Электромагнитный расчет</p>	
<p>Социальная ответственность</p>	
<p>Финансовый менеджмент</p>	
<p>Технологическая часть</p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент		Канд. техн. наук., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО

Институт	ЭНИН	Кафедра	
Уровень образования	специалист	Направление/специальность	

Исходные данные к разделу «Производственная и экологическая безопасность»:	
<p><i>1 Введение</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Объект раздела:</i> – <i>Характеристика работ, операций, оборудования, условий выполнения рассматриваемого техпроцесса</i> 	<p>Согласно «Основы законодательства РФ об охране труда» администрация обязана обеспечивать условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены, а также внедрять современные средства техники безопасности.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><i>2 Анализ опасных и вредных производственных факторов.</i></p> <p><i>Перечень опасных факторов и вредных факторов при выполнении работ источником которых является выбранное оборудование и тех процесс.</i></p>	<p><i>Наиболее опасные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>опасность поражения электрическим током;</i> – <i>взрывоопасность;</i> – <i>пожароопасность;</i> – <i>получение механической травмы.</i> <p><i>Наиболее вредные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>электромагнитные поля;</i> – <i>отклонение от нормативных параметров микроклимата;</i> – <i>шумы и вибрации;</i> – <i>отклонение освещенности.</i>
<p><i>3 Техника безопасности</i></p> <p><i>Обеспечение безопасности для выявленных опасных факторов:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>Нормативные требования, которым удовлетворяет принятое к использованию оборудование и инструмент;</i> – <i>Технические устройства обеспечения этих требований, ссылки на НТД;</i> 	<p><i>Средства защиты, применяемые в электроустановках, могут быть условно разделены на четыре группы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>изолирующие; ГОСТ 12.1.009 – 76</i> – <i>ограждающие; ГОСТ 12.2.062 – 82</i> – <i>экранирующие;</i> – <i>предохранительные. ГОСТ 12.4.125 – 83</i> <p><i>Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ (согласно ПТБ)</i></p> <p><i>Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения</i></p>
<p><i>4 Производственная санитария</i></p> <p><i>Обеспечение санитарно-гигиенических условий на рабочих местах и обеспечение требований нормативных документов к выявленным вредным факторам. Технические устройства обеспечения этих требований, ссылки на НТД</i></p>	<p><i>Микроклимат и оптимальные условия микроклимата</i></p> <p><i>Допустимые условия микроклимата</i></p> <p><i>Освещение</i></p> <p><i>Расчет системы искусственного освещения</i></p> <p><i>Электромагнитные поля</i></p> <p><i>Шум</i></p>
<p><i>5 Пожарная безопасность</i></p> <p><i>Обеспечение пожарной безопасности;</i></p> <p><i>Категория помещений – по ПУЭ;</i></p> <p><i>Средства тушения;</i></p>	<p><i>Причины возникновения пожара;</i></p> <p><i>Перечень помещений и зданий энергетических объектов с указанием категорий по взрывопожарной и пожарной</i></p>

<i>План эвакуации.</i>	<i>опасности"</i> <i>Меры по предотвращению пожара;</i> <i>Автоматическая установка системы пожаротушения;</i> <i>Средства пожаротушения;</i> <i>Мероприятия по пожарной профилактике;</i> <i>План эвакуации.</i>
<i>6 Охрана окружающей среды:</i> – <i>анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</i> – <i>анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</i> – <i>анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</i> – <i>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</i>	<i>Для предотвращения растекания масла, загрязнения поверхности земли и распространения пожара при повреждениях трансформаторов проектом предусмотрено сооружение маслоприемников, маслоотводо и маслоборника;</i> <i>Утилизация твердых бытовых отходов.</i>
<i>7 Защита в чрезвычайных ситуациях:</i> – <i>перечень возможных ЧС на объекте;</i> – <i>выбор наиболее типичной ЧС;</i> – <i>разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</i> – <i>разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</i> – <i>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</i>	<i>Повышение устойчивости работы объектов в чрезвычайных ситуациях;</i> <i>Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций;</i> <i>Повышение противопожарной устойчивости;</i>
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i>	- <i>Схема эвакуации из помещения;</i> - <i>Схема размещения светильников.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.03.2016 г.
---	----------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент		к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО

Институт	ЭНИН	Кафедра	
Уровень образования	специалист	Направление/специальность	

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Цели расчет показателей экономической эффективности проекта
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Расчет полных затрат
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Стоимость оборудования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	Расчет показателей для технико-экономического сравнения
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	Затраты на установку оборудования
3. <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	Расчет удельных затрат
4. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	Расчет полных затрат
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	Расчет эффективности инвестиций

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. <i>Основные показатели эффективности ИП</i>
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.03.2016 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент		к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 151 страницу печатного текста, 14 таблиц, 2 приложений, 32 источник литературы, 14 рисунков, 6 графических работ.

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ПОДШИПНИКОВЫЙ ЩИТ ПЕРЕДНИЙ, ОБМОТКА, ПУСКОВЫЕ И РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ, СПЕЦ ЧАСТЬ – ЭЛЕКТРОМАГНИТ.

Объектом исследования является асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором механизма передвижения тали.

Цель работы - спроектировать трёхфазный асинхронный двигатель механизма передвижения тали, с пристроенным тормозным устройством мощностью 3 кВт с наименьшими технологическими изменениями.

В работе проделаны электромагнитный, тепловой, механические расчеты. Разработан технологический процесс сборки статора двигателя, рассмотрена безопасность и экологичность проекта, произведён расчет затрат на инвестиционный проект. Достигнуты достаточно высокие энергетические показатели.

Содержание

Реферат	9
Содержание	10
Введение	12
1. Требования к конструкции	13
2. Электромагнитный расчет	15
2.1 Выбор главных размеров	15
2.2. Расчёт обмотки статора	17
2.3 Расчёт размеров зубцовой зоны статора	20
2.4 Расчёт ротора	22
2.5 Расчёт магнитной цепи	25
2.6 Параметры рабочего режима	28
2.7 Расчёт потерь	31
2.8 Расчёт рабочих характеристик	35
2.9 Расчёт пусковых характеристик	38
2.10 Тепловой и вентиляционный расчёт	43
3 Механический расчёт	46
4 Технологическая часть	53
4.1 Постановка задачи	54
4.2 Описание сборочной единицы	55
4.3 Анализ исходных данных	56
4.4 Анализ технологичности статора	57
4.6 Расчёт усилия запрессовки сердечника статора	58
4.7 Составление схемы сборки и маршрутной технологии	62
4.8 Выбор технологического оборудования и оснастки	64
4.9 Расчет норм времени	65
Заключение	70
6 Специальная часть	84
6 Конструкции электродвигателей	86

6.1 Самотормозящиеся электродвигатели	86
6.2 Электродвигатели с электромагнитными тормозами.....	88
6.3 Принцип действия электромагнитного дискового тормоза.....	92
7 Безопасность и экологичность проекта.....	96
Введение	96
7.1 Анализ опасных и вредных факторов	96
7.2 Производственная санитария	97
7.2.1 Шум и вибрация	98
7.2.2 Психофизиологические факторы.....	100
7.2.3 Микроклимат	101
7.3 Освещение.....	102
7.3.1 Расчет искусственного освещения	103
7.3.2 Выбор источников света.....	103
7.3.3 Выбор системы освещения.....	103
7.3.4 Выбор осветительных приборов.....	104
7.3.5 Выбор коэффициента запаса	104
7.3.6 Размещение осветительных приборов	104
7.4 Техника безопасности	107
7.4.1 Электробезопасность	111
7.4.2 Пожарная безопасность	111
7.5 Охрана окружающей среды.....	115
Заключение.....	117
Список использованных источников	119

Введение

В настоящее время отечественные электродвигатели, используемые в механизмах передвижения тали, комплектуются электромагнитными тормозными устройствами. Тормоза защищают кинематические звенья оборудования при аварийном исчезновении напряжения сети и обеспечивают требуемую точность позиционирования его рабочих органов. Тем самым значительно повышаются производительность и качество выполнения приводным механизмом заданных операций, обеспечивается надежность и безопасность работы этих механизмов

Требования, предъявляемые к встроенным тормозным устройствам:

1. Максимальная унификация конструкции базового двигателя с серийно выпускаемым.
2. Заданное быстродействие при минимальном напряжении питания и максимальном воздушном зазоре электромагнита, при котором тормоз обеспечивает необходимую величину тормозного момента.
3. Допустимый перегрев обмотки электромагнита и корпусов полупроводниковых приборов схемы форсировки в экстремальных режимах работы АД с ЭМТУ (максимальное число рабочих циклов в час при максимальной температуре окружающей среды)
4. Минимальные габариты, масса и стоимость тормозного устройства.
5. Заданный уровень надежности.
6. Минимальный износ тормозных накладок при заданных тормозном моменте, моменте инерции движущихся масс электропривода и максимальной скорости вращения ротора АД.
7. Радиальные габариты, не превышающие габариты АД.
8. Минимальные осевые габариты.
9. Возможность регулировки зазора между тормозными накладками и тормозном диске при регламентных работах.

1. Требования к конструкции

Одной из важных технических операций, оказывающая существенное влияние на показатели надежности, безопасности, экономичности при эксплуатации ЭП, является операция торможения двигателя при отключении от сети переменного тока, т.е. при нажатии кнопки стоп. В зависимости от предъявляемых требований к торможению электродвигателя, например период включения, точность и скорость останова и т.п., эта операция может осуществляться различными способами.

В ЭП, где не предъявляются высокие требования к останову двигателя, его торможение можно осуществить подобно процессу пуска, с помощью различных вариантов электрических схем магнитных пускателей, предусматривающих как прямой пуск, так и прямое отключение от сети, останов при этом происходит через некоторое время, пока момент нагрузки не превысит статический момент на валу двигателя.

В реверсивных магнитных пускателях предусмотрен режим торможения противовключением. При изменении чередования фаз питающего АД напряжения, меняется направление вращения вала двигателя. Сначала происходит снижение скорости вращения вала до нулевой отметки, затем осуществляется разгон в противоположную сторону. В момент, когда скорость достигает нулевого значения, двигатель принудительно отключается от сети. В этом случае необходимо применять специальное реле.

При динамическом режиме торможения обмотку статора АД отключают от сети переменного тока, и подключают к источнику питания постоянного тока. Ток протекая по обмотке статора создает неподвижное в пространстве магнитное поле. При вращении ротора в нем наводится ЭДС, под действием которой в обмотке ротора протекает ток создающий поток также неподвижный в пространстве. Взаимодействие тока ротора с результирующим магнитным полем АД создает тормозной момент, за счет чего возникает эффект торможения, но в роторе при этом выделяются потери в виде тепла.

Следующий способ торможения АД, это торможение при самовозбуждении АД, который реализуется при помощи специальных схем включения. Он основан на том, что после отключения АД от сети, его электрическое поле затухает не мгновенно, а в течение некоторого, пусть и не большого интервала времени. За счет энергии этого поля обеспечивается процесс самовозбуждения АД и реализуется его торможение. На практике применение нашли также конденсаторное и магнитное торможение.

Практические возможности торможения АД существенно расширились в связи с использованием тиристорных пускорегулирующих устройств, которые позволяют осуществлять как пуск двигателя, так и его торможение. Для обеспечения интенсивного торможения двигателя часто используется комбинированный способ торможения, например динамическое торможение в сочетании с магнитным торможением.

Многие вышеперечисленные способы торможения зачастую не могут обеспечить высокие требования к надежности и скорости торможения АД, поэтому для обеспечения нормальной эксплуатации большинство машин и механизмов необходимо снабжать специальными самотормозящими АД или электродвигателями с надежно действующими тормозными устройствами, обеспечивающими в нужный момент остановку машины обеспечивая безопасность работы механизма и увеличивать его производительность за счет сокращения времени переходного процесса в момент останова.

Такие электродвигатели необходимы не только в грузоподъемных машинах, но и в деревообрабатывающей промышленности для быстрого останова пилы, фрезы и т.д. Потребность в этих электродвигателях во всех отраслях увеличивается.

2. Электромагнитный расчет

2.1 Выбор главных размеров

Здесь и далее используется методика [1].

2.1.1 Выбираем предварительно по табл.6.6, [1] для $h = 90$ мм внешний диаметр статора

$$D_a = 149 \text{ мм.}$$

2.1.2 Определяем внутренний диаметр статора

$$D = K_D \cdot D_a,$$

где K_D – коэффициент, характеризующий отношение внутренних и внешних диаметров сердечников статора. Из табл.6.7, [1] выбираем $K_D = 0,66$

$$D = 0,57 \cdot 0,149 = 0,085 \text{ м.}$$

2.1.3 Находим полюсное деление по формуле

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,085}{2} = 0,133 \text{ м.}$$

2.1.4 Расчетная мощность

$$P' = P_2 \cdot \frac{k_E}{\eta \cdot \cos \varphi},$$

где P_2 – мощность на валу двигателя, Вт; k_E – отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению по рис. 6.8, [1], $k_E = 0,959$; η и $\cos \varphi$ – примерное значение КПД и коэффициент мощности по рис. 6.9, [1] $\eta = 0,85$ и $\cos \varphi = 0,87$

$$P' = 3000 \cdot \frac{0,959}{0,85 \cdot 0,87} = 3890 \text{ Вт}$$

2.1.5 Электромагнитные нагрузки (предварительно) по рис. 6.11, [1]

$$A = 20 \cdot 10^3 \text{ А/м; } B_\delta = 0,73 \text{ Тл}$$

Обмоточный коэффициент (предварительно)

$$k_{o\delta 1} = 0,96$$

2.1.6 Расчетная длина магнитопровода

$$l_\delta = \frac{P'}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot k_{o\delta 1} A B_\delta}$$

где Ω – синхронная угловая скорость двигателя по формуле

$$\Omega = 2\pi \cdot \frac{f}{p} = 2\pi \cdot \frac{50}{1} = 314,2 \text{ рад/с,}$$

$$l_\delta = \frac{3890}{1,11 \cdot 0,085^2 \cdot 314,2 \cdot 0,96 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 0,73} = 0,11 \text{ м}$$

Критерием правильности выбора главных размеров D и l_δ служит отношение $\lambda = l_\delta / \tau$, которое должно находиться в пределах показанных на рис.6.14, [1]

$$\lambda = \frac{l_\delta}{\tau} = \frac{0,11}{0,133} = 0,827$$

Полученное значение находится в допустимом пределе.

Для расчёта магнитной цепи помимо длины воздушного зазора необходимо определить полную конструктивную длину и длину стали сердечников статора

и ротора. Так как длина сердечника не превышает 250-300 мм, то радиальных вентиляционных каналов не делают. Сердечники шихтуются в один пакет. Для такой конструкции конструктивная длина и длина стали сердечника статора равна .

$$l_1 = l_{cm1} = l_\delta = 0,11 \text{ м}$$

2.1.7 Конструктивную длину сердечника ротора берём равной длине сердечника статора

$$l_2 = l_1 = 0,11 \text{ м}$$

2. 2. Расчёт обмотки статора

При расчёте обмотки статора определяется число пазов статора, число в витков в фазе обмотки и сечение проводника. При этом число витков фазы обмотки статора должно быть таким, чтобы линейная нагрузка двигателя и индукция в воздушном зазоре как можно более близко совпадали с их значениями принятыми предварительно при выборе главных размеров, а число пазов статора обеспечивало достаточно равномерное распределение катушек обмотки.

Число пазов статора выбираем с учётом условий, налагаемых требованиями симметрии обмотки, и желательно получения целого числа пазов на полюс и фазу. В то же время нужно учесть проведённые предварительные расчёты, из которых следует вывод, что мы не можем принять число пазов большим т.к. это приведёт к увеличению магнитной индукции в зубце статора и негативно отразится на энергетических показателях двигателя и на кратности пускового момента, что в нашем случае недопустимо. В проведённых предварительных расчетах мы варьировали числом пазов статора руководствуясь приведенными соображениями (1, с. 170) и пришли к выводу, что наиболее приемлемое число пазов статора равно 24.

Принимаем $Z_1=24$

2.2.2 Число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{Z_1}{2p \cdot m} = \frac{24}{2 \cdot 3} = 4$$

2.2.3 Зубцовое деление статора (окончательно)

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{2p \cdot q \cdot m} = \frac{\pi \cdot 0,085}{2 \cdot 4 \cdot 3} = 0,011 \text{ м}$$

2.2.4 Число эффективных проводников в пазу (при, условии, что число параллельных ветвей $a=1$) по формуле

$$u'_n = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{1ном} \cdot Z_1},$$

где $I_{1ном}$ – номинальный фазный ток по формуле 6.18 [1]

$$I_{1ном} = \frac{P_2}{m \cdot U_{1ном} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{3000}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,87} = 6,2 \text{ А},$$

отсюда

$$u'_n = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{1ном} \cdot Z_1} = \frac{\pi \cdot 0,085 \cdot 20 \cdot 10^3}{6,2 \cdot 24} = 39,2 \approx 40$$

Принимаем число параллельных ветвей $a=1$, тогда число эффективных проводников в пазу будет равно

$$u_n = a \cdot u'_n = 1 \cdot 40 = 40$$

2.2.5 Окончательное число витков в фазе по формуле

$$w_1 = \frac{u_n \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = \frac{40 \cdot 24}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 160$$

2.2.6 Окончательное значение линейной нагрузки по формуле

$$A = \frac{2 \cdot I_{ном} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 6,2 \cdot 160 \cdot 3}{\pi \cdot 0,085} = 22,1 \cdot 10^3 \text{ А/м}$$

Значения А незначительно отличается от принятого ранее значения.

2.2.7 Магнитный поток по формуле

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U_1}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{об1} \cdot f_1} = \frac{0,959 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 160 \cdot 0,96 \cdot 50} = 0,0062 \text{ Вб},$$

2.2.8 Индукцию в воздушном зазоре рассчитаем по формуле

$$B_\delta = \frac{\mu \cdot \Phi}{D \cdot \ell_\delta} = \frac{1 \cdot 0,0062}{0,085 \cdot 0,11} = 0,662 \text{ Тл}$$

Сечение эффективного проводника определяется, исходя из тока одной параллельной ветви и допустимой плотности тока в обмотке. 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 повышение температуры обмотки, и во-вторых, на КПД двигателя. В асинхронных двигателях общего назначения при принятой в них системе косвенного охлаждения влияние плотности тока на нагрев обмотки более существенно, чем на КПД. Нагрев пазовой части обмотки зависит от произведения линейной нагрузки на плотность тока. Поэтому выбор допустимой плотности тока производят с учётом линейной нагрузки.

2.2.9 Плотность тока по формуле

$$J_1 = \frac{A \cdot J}{A} = \frac{138 \cdot 10^9}{22,1 \cdot 10^3} = 6,24 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$$

где А·J– произведение линейной нагрузки на плотность тока, рис.6.16,а [1];

$$A \cdot J = 138 \cdot 10^9 \text{ А}^2/\text{м}^3$$

2.2.10 Сечение эффективного проводника (предварительно по формуле 6.24 [1])

$$q_{эф} = \frac{I_{ном}}{a \cdot J_1} = \frac{6,2}{1 \cdot 6,24 \cdot 10^6} = 0,985 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Для насыпных обмоток могут быть использованы обмоточные провода диаметром не более 1,8 мм, однако в современных двигателях для повышения надёжности обмотки и упрощения её укладки в пазы используют провода меньшего диаметра. При ручной укладке диаметр провода не должен превышать 1,7 мм. Если расчетное сечение эффективного проводника в машинах со насыпной обмоткой выше значений, соответствующих указанным диаметрам, то эффективный проводник разделяется на несколько элементарных $n_{эл}$.

По таблице П-28 [1] выбираем провод ПЭТВ:

$$d_{эл} = 1,18 \text{ мм}, d_{из} = 1,26 \text{ мм}, q_{эл} = 1,094 \text{ мм}^2, n_{эл} = 1.$$

2.2.11 Плотность тока (окончательно)

$$J_1 = \frac{I_{1н}}{a \cdot q_{эл} \cdot n_{эл}} = \frac{6,2}{1 \cdot 1,094 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 5,619 \cdot 10^6 \frac{A}{м^2}$$

Схема трехфазной обмотки статора представлена на рисунке 2.1.

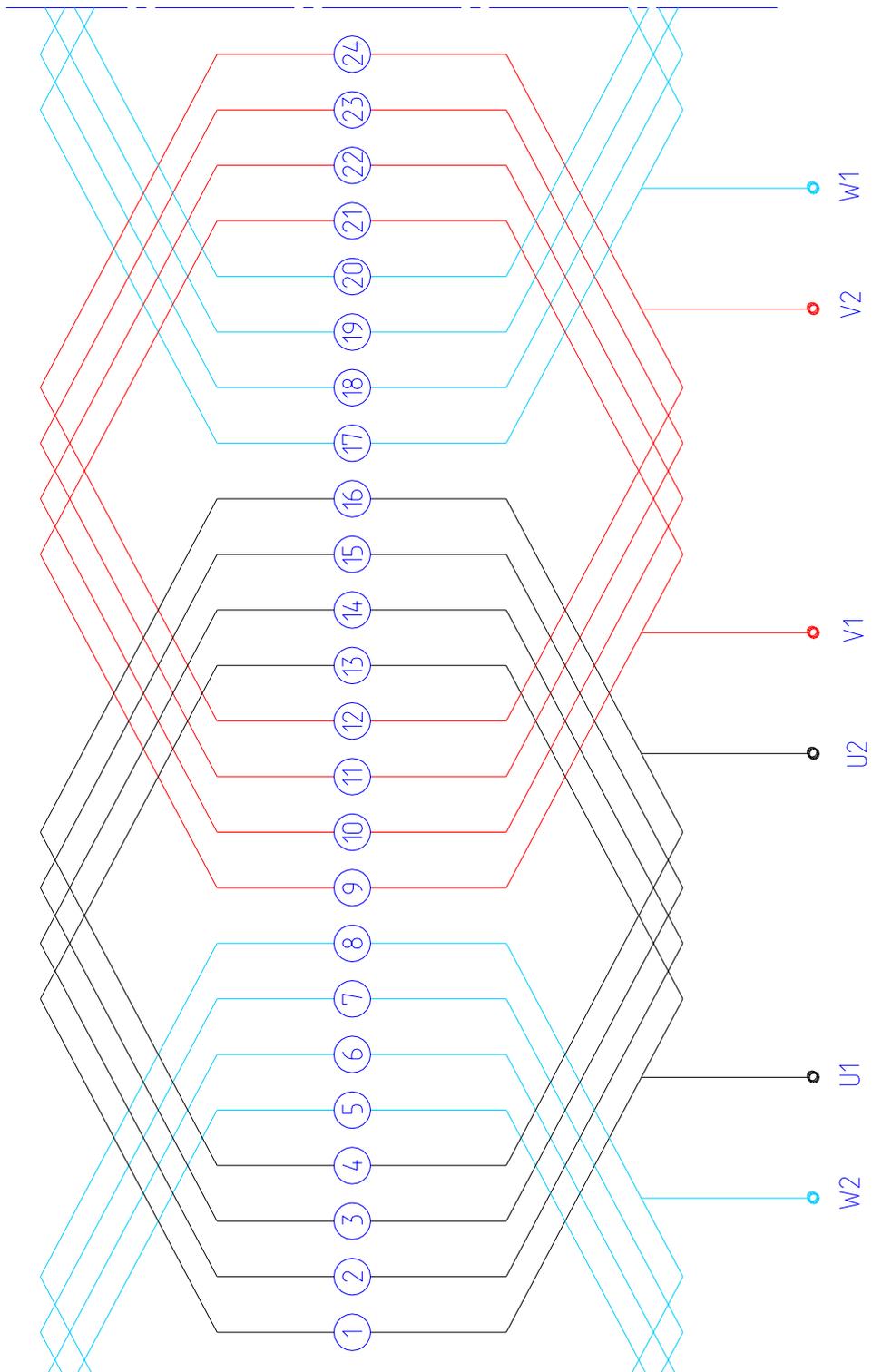


Рисунок 2.1 Схема обмотки

2.3 Расчёт размеров зубцовой зоны статора

Размеры пазов в электрических машинах должны быть выбраны таким образом, чтобы, во-первых, площадь паза соответствовала количеству и размерам размещаемых в нём проводников обмотки с учётом всей изоляции и во-вторых, чтобы значения индукции в зубцах и ярме статора находились в определённых пределах, зависящих от типа, мощности, исполнения машины и от марки электротехнической стали сердечника.

2.3.1 Ширина зубца

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot \ell_{\delta}}{B_{z1} \cdot \ell_{cm1} \cdot k_c} = \frac{0,662 \cdot 0,011 \cdot 0,11}{1,9 \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 0,004 \text{ м},$$

где B_{z1} – индукция в зубцах статора.

Индукцию в зубцах статора принимаем $B_{z1} = 1,9 \text{ Тл}$

k_c – коэффициент заполнения пакета сталью по табл.6.11 [1]; $k_c = 0,97$

4.2 Высота ярма статора [1, с.175]

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot \ell_{cm1} \cdot k_{c1}} = \frac{0,0062}{2 \cdot 1,6 \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 0,018 \text{ м}$$

где B_a – индукция в ярме статора; предварительно принимаем $B_a = 1,6 \text{ Тл}$

2.3.2 Ширину шлица принимаем $b_{u1} = 3,0 \text{ мм}$ по табл.6.12 [1]; высоту шлица принимаем $h_{u1} = 0,5 \text{ мм}$ [1, стр.178]

2.3.3 Высота паза [1, стр.178, ф.6.40]

$$h_n = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{0,149 - 0,085}{2} - 0,018 = 0,014 \text{ м} = 14 \text{ мм}$$

2.3.4 Максимальная ширина паза по формуле

$$b_1 = \frac{\pi \cdot D + 2h_{u1} - b_{u1} - Z_1 b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{\pi \cdot 85 + 2 \cdot 0,5 - 3,0 - 24 \cdot 4}{24 - \pi} = 7,9 \text{ мм}$$

2.3.5 Минимальная ширина паза по формуле

$$b_2 = \frac{\pi \cdot D + 2h_{n1}}{Z_1} - b_{z1} = \frac{\pi \cdot 85 + 2 \cdot 14}{24} - 4 = 11,1 \text{ мм}$$

2.3.6 Высота паза, предназначенная для укладки обмотки по формуле

$$h_1 = h_n - \left(h_{u1} + \frac{b_1 - b_{u1}}{2} \right) = 14 - \left(0,5 + \frac{7,9 - 3,0}{2} \right) = 11 \text{ мм}$$

2.3.7 Размеры паза в свету с учётом припуска на сборку по формуле

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_n = 7,9 - 0,1 = 7,8 \text{ мм}$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_n = 11,1 - 0,1 = 11 \text{ мм}$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_n = 11 - 0,1 = 10,9 \text{ мм}$$

2.3.8 Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу по формуле

$$S_{uz} = b_{uz} \cdot (2h_n + b_1 + b_2) = 0,25 \cdot (2 \cdot 14 + 7,9 + 11,1) = 11,7 \text{ мм}^2$$

где b_{uz} – односторонняя толщина изоляции в пазу табл.3.8 [1]; $b_{uz} = 0,25 \text{ мм}$

Площадь поперечного сечения прокладок [1, стр.179]

$$S_{np} = 0 \text{ м}.$$

2.3.9 Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников по формуле

$$S'_n = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_1 - (S_{uz} + S_{np}) = \frac{7,8 + 11}{2} \cdot 10,9 - (11,7 + 0) = 90,5 \text{ мм}^2$$

2.3.10 Коэффициент заполнения паза [1, стр.180]

$$\kappa_z = \frac{d_{uz}^2 \cdot U_n \cdot n_{эл}}{S'_n} = \frac{1,26^2 \cdot 40 \cdot 1}{90,5} = 0,701$$

Полученное значение коэффициента заполнения паза находится в рекомендуемом пределе (0,7—0,72).

Размеры паза статора представлены на рисунке 2.2

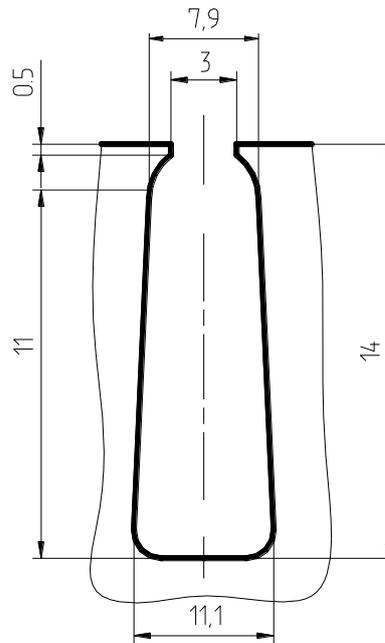


Рисунок 2.2 Размеры паза статора

2.4 Расчёт ротора

2.4.1 Воздушный зазор следует выбирать, руководствуясь данными выпускаемых двигателей по рис.6.21 [1]

Правильный выбор воздушного зазора во многом определяет энергетические показатели асинхронного двигателя. Чем меньше воздушный зазор, тем меньше его магнитное сопротивление и магнитное напряжение, составляющее основную часть суммарной МДС магнитной цепи всей машины. Поэтому уменьшение зазора приводит к соответственному уменьшению МДС магнитной цепи и намагничивающего тока двигателя, благодаря чему возрастает его коэффициент мощности и уменьшаются потери в меди обмотки статора. Но чрезмерное уменьшение воздушного зазора приводит к возрастанию амплитуд 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.

В современных асинхронных двигателях зазор выбирают, исходя из минимума суммарных потерь. Согласно рекомендациям выбираем $\delta=0,2$ мм.

2.4.2 Число пазов ротора по табл.6.15 [1]

Число пазов ротора следует выбирать особенно тщательно. Это объясняется тем, что в поле воздушного зазора машины помимо основной присутствует целый спектр гармоник более высокого порядка, поэтому ток в стержнях обмотки имеет сложный гармонический состав.

В результате взаимодействия токов и полей высших гармоник возникают электромагнитные моменты, которые при неблагоприятном соотношении Z_1 и Z_2 могут существенно ухудшать механическую характеристику двигателя, так как момент на валу машины является суммой моментов, обусловленных всеми взаимодействующими гармониками.

Исследования, проведённые для изучения влияния соотношений чисел зубцов на статоре и роторе на кривую момента, а также на шумы и вибрации, позволили определить наилучшие соотношения Z_1 и Z_2 для короткозамкнутых двигателей с различными числами $2p$.

Согласно табл.6.15 [1]

при $2p=2$ и $Z_1=24$ принимаем $Z_2=18$.

2.4.3 Внешний диаметр ротора

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta = 0,085 - 2 \cdot 0,0002 = 0,085 \text{ м}$$

2.4.4 Зубцовое деление ротора

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{\pi \cdot 0,085}{18} = 0,015 \text{ м}$$

2.4.5 Внутренний диаметр ротора по формуле

Так как сердечник непосредственно насаживается на гладкий вал при помощи горячей посадки, то внутренний диаметр ротора равен диаметру вала.

$$D_j = D_B = k_B \cdot D_a = 0,23 \cdot 0,149 = 0,034 \text{ м}$$

где k_B – коэффициент по табл.6.16 [1]; $k_B=0,23$

2.4.6 Ток в стержне ротора по формуле 6.60 [1]

$$I_2 = k_i \cdot I_1 \cdot \frac{2 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{об1}}{Z_2} = 0,896 \cdot 6,2 \cdot \frac{2 \cdot 3 \cdot 160 \cdot 0,96}{18} = 281,3 \text{ А}$$

где k_i – коэффициент, учитывающий влияние тока намагничивания и сопротивления обмоток на соотношение I_1/I_2 , его приблизительное значение может быть рассчитано в зависимости от номинального $\cos\varphi$, которым задавались в начале расчета рис.6.22 [1]

$$k_i = 0,2 + 0,8 \cdot \cos\varphi = 0,2 + 0,8 \cdot 0,87 = 0,896$$

2.4.7 Площадь поперечного сечения стержня по формуле

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = \frac{281,3}{3,5 \cdot 10^6} = 80,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

где J_2 – плотность тока в стержне ротора машин закрытого обдуваемого исполнения при заливке пазов алюминием [1, стр.186]; $J_2 = 3,5 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$

2.4.8 Паз ротора

Для обеспечения высоких энергетических показателей в номинальном режиме работы, и достаточно высоким пусковым моментом принимаем пазы ротора с узкой нижней частью и немного большей верхней частью паза. Это выполняется для усиления эффекта вытеснения тока в пазу ротора. Паз выполняем грушевидной формы. Размеры паза ротора были определены из предварительных расчётов с учетом технического задания.

[1, стр.188]: ширина шлица $b_{ш2} = 1,5 \text{ мм}$, высота шлица $h_{ш2} = 0,75 \text{ мм}$.

2.4.9 Ширина зубца ротора

$$b_{z2} = \frac{B_\delta \cdot t_2 \cdot \ell_\delta}{B_{z2} \cdot \ell_{cm2} \cdot k_c} = \frac{0,662 \cdot 0,015 \cdot 0,11}{1,8 \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 0,0059 \text{ м}$$

где B_{z2} – индукция в зубцах ротора по табл.6.10 [1]; принимаем $B_{z2} = 1,8 \text{ Тл}$

2.4.10 Максимальная ширина паза

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_{ш} - 2 \cdot h'_{ш}) - Z_2 \cdot b_{z2}}{\pi + Z_2} = \frac{\pi \cdot (85 - 2 \cdot 0,75 - 2 \cdot 1) - 18 \cdot 5,9}{\pi + 18} = 7,0 \text{ мм}$$

2.4.11 Минимальная ширина паза по формуле

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \cdot \left(\frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - q_c \cdot 4}{\frac{Z_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \sqrt{\frac{7,0^2 \cdot \left(\frac{18}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - 80,4 \cdot 4}{\frac{18}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = 3,0 \text{ мм}$$

2.4.12 Полная высота паза ротора

$$h_{п2} = h_{ш2} + \frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{2} + h_1 = 0,75 + \frac{7}{2} + \frac{3}{2} + 11,5 = 17,2 \text{ мм}$$

где по формуле 6.76[1]

$$h_1 = b_1 - b_2 \cdot \frac{Z_2}{2 \cdot \pi} = 7 - 3 \cdot \frac{18}{2 \cdot \pi} = 11,5 \text{ мм}$$

2.4.13 Площадь поперечного сечения стержня формуле

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot b_1^2 + b_2^2 + \frac{1}{2} \cdot b_1 + b_2 \cdot h_1 = \frac{\pi}{8} \cdot 7^2 + 3^2 + \frac{1}{2} \times 7 + 3 \cdot 11,5 = 80,1 \text{ мм}^2$$

Размер паза ротора рисунок 2.3.

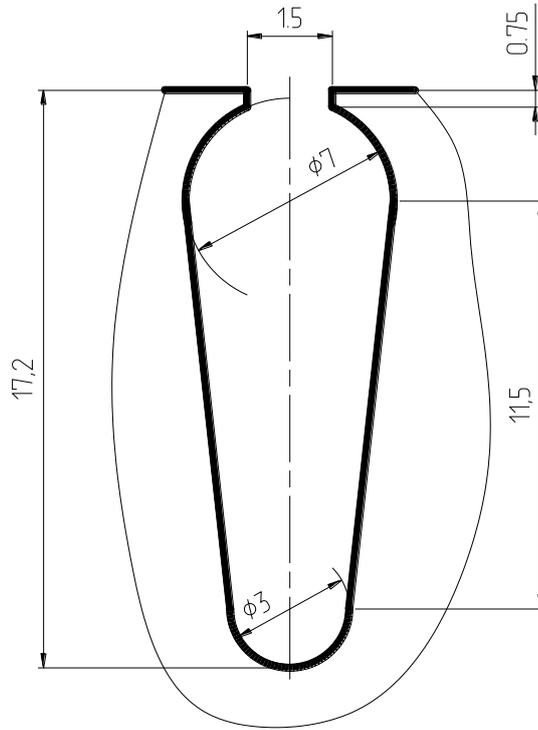


Рисунок 2.3 Размеры паза ротора

2.4.14 Плотность тока в стержне (окончательно)

$$J_2 = \frac{I_2}{q_c} = \frac{281,3}{80,1 \cdot 10^{-6}} = 3,513 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2}$$

2.4.15 Ток в кольце по формуле

$$I_{кл} = \frac{I_2}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2}} = \frac{281,3}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot 1}{18}} = 810 \text{ A}$$

2.4.16 Плотность тока в кольце [1, стр.186]

Плотность тока в замыкающих кольцах выбираем на 15% меньше, чем в стержнях. Это объясняется следующим образом. Так как замыкающие кольца, имея лучшие условия охлаждения по сравнению со стержнями, являются своего рода радиаторами, которые отводят тепло стержней, усиливая их охлаждение.

$$J_{кл} = 0,85 \cdot J_2 = 0,85 \cdot 3,513 \cdot 10^6 = 2,986 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2}$$

2.4.17 Сечение короткозамкнутого кольца по формуле

$$q_{кл} = \frac{I_{кл}}{J_{кл}} = \frac{810}{2,986 \cdot 10^6 \cdot 10^{-6}} = 271,3 \text{ мм}^2$$

2.4.18 Высота короткозамкнутого кольца [1, стр.186]

$$h_{кл} = 1,25 \cdot h_{н2} = 1,25 \cdot 17,2 \cdot 10^{-3} = 0,022 \text{ м} = 22 \text{ мм}$$

2.4.19 Длина короткозамкнутого кольца [1, стр.244]

$$a_{кл} = \frac{q_{кл}}{h_{кл}} = \frac{271,3 \cdot 10^{-6}}{0,022} = 0,013 \text{ м}$$

2.4.20 Средний диаметр короткозамкнутого кольца [1, стр. 244]

$$D_{кл.ср} = D_2 - b_{кл} = 0,085 - 0,022 = 0,063 \text{ м}$$

2.5 Расчёт магнитной цепи

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

2.5.1 Индукция в зубцах статора (окончательно) по формуле

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot \ell_{\delta}}{b_{z1} \cdot \ell_{cm1} \cdot k_c} = \frac{0,662 \cdot 0,011 \cdot 0,11}{0,004 \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 1,9 \text{ Тл}$$

2.5.2 Индукция в зубцах ротора:

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot \ell_{\delta}}{b_{z2} \cdot \min \cdot \ell_{cm2} \cdot k_c} = \frac{0,662 \cdot 0,015 \cdot 0,11}{0,0063 \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 1,598 \text{ Тл}$$

По табл.П.17 ,[1] стали марки 2013 определяем напряженность магнитного поля зубцов ротора АД:

$$H_{z2} = 850 \text{ А/м},$$

2.5.3 Индукция в ярме статора (окончательно) по формуле

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot \ell_{cm1} \cdot k_c} = \frac{0,0062}{2 \cdot 0,018 \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 0,905 \text{ Тл}$$

2.5.4 Расчётная высота ярма ротора по формуле

$$h_j = \frac{2+p}{3,2 \cdot p} \cdot \left(\frac{D_2}{2} - h_{n2} \right) = \frac{2+1}{3,2 \cdot 1} \cdot \left(\frac{0,085}{2} - 0,0172 \right) = 0,023 \text{ м}$$

2.5.5 Индукция в ярме ротора по формуле

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h_j \cdot \ell_{cm2} \cdot k_c} = \frac{0,0062}{2 \cdot 0,023 \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 1,233 \text{ Тл}$$

2.5.6 Коэффициент воздушного зазора [1, стр.106]

Поверхности статора и ротора ограничивающие воздушный зазор, не гладкие а имеют пазы. Магнитное сопротивление участков такого зазора в поперечном сечении машины различно, поэтому распределение индукции по площади воздушного зазора неравномерно. Наибольшая неравномерность возникает из-за наличия зубцов на статоре и роторе. Над коронками зубцов магнитные линии потока сгущаются, а над прорезями пазов плотность линии уменьшается. В кривой индукции в воздушном зазоре появляются провалы. Магнитное сопротивление и магнитное напряжение воздушного зазора при неравномерной индукции возрастают.

Увеличение магнитного напряжения учитывается введением коэффициента воздушного зазора. Этот коэффициент, полученный расчётом полей в зазорах с различным соотношением ширины зубцов и пазов, показывает насколько возрастает магнитное напряжение зазора при зубчатой поверхности статора или ротора по сравнению с магнитным напряжением зазора между гладкими поверхностями.

Коэффициент воздушного зазора по формуле 4.14,4.15[1]

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma \cdot \delta} = \frac{0,011}{0,011 - 11,25 \cdot 0,0002} = 1,254$$

$$\gamma = \frac{\left(\frac{b_{w1}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{w1}}{\delta}} = \frac{0,003 / 0,0002}{5 + 0,003 / 0,0002} = 11,25$$

2.5.7 Магнитное напряжение воздушного зазора:

$$F_{\delta} = \frac{2}{\mu} \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot 10^6 = 1,59 \cdot 0,662 \cdot 0,0002 \cdot 1,254 \cdot 10^6 = 264,1 A$$

По табл.П.17 ,[1] , для стали марки 2013 определяем напряженность магнитного поля для зубцов АД: $H_{z1}=2070 A/м$.

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1} = 2 \cdot 0,014 \cdot 2070 = 57,7 A$$

2.5.7 Магнитное напряжение зубцов ротора :

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2} = 2 \cdot 0,0169 \cdot 1670 = 28,8 A$$

где H_{z2} – напряжённость магнитного поля для стали 2013 $H_{z2}=850 A/м$.

2.5.8 Коэффициент насыщения зубцовой зоны по формуле

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_{\delta}} = 1 + \frac{57,7 + 28,8}{264,1} = 1,327$$

Полученное значение коэффициента насыщения зубцовой зоны позволяет предварительно оценить правильность выбранных размерных соотношений и обмоточных данных проектируемого двигателя. Если $k_z > 1,5 \div 1,6$, имеет место чрезмерное насыщение зубцовой зоны; если $k_z < 1,2$, то зубцовая зона мало использована или воздушный зазор взят большим. Длина магнитной линии ярма статора по формуле

$$L_a = \frac{\pi \cdot D_a - h_a}{2p} = \frac{\pi \cdot 0,149 - 0,032}{2} = 0,234 м$$

2.5.9 Длина магнитной линии ярма ротора по формуле

$$L_j = 2 \cdot h_j = 2 \cdot 0,023 = 0,046 м$$

где h_j – высота спинки ротора

2.5.11 Магнитное напряжение ярма статора по формуле

$$F_a = L_a \cdot H_a = 0,234 \cdot 155 = 36,3 A$$

где H_a – напряжённость магнитного поля ярма статора по табл.П.16 [1]; для стали 2013 $H_a=155 A/м$.

2.5.12 Магнитное напряжение ярма статора по формуле

$$F_j = L_j \cdot H_j = 0,047 \cdot 277 = 13 A$$

где H_j – напряжённость магнитного поля ярма ротора по табл.П.16 [1]; для стали 2013 $H_j=277 A/м$.

2.5.13 Магнитное напряжение на пару полюсов по формуле

$$F_u = F_{\delta} + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 264,1 + 57,7 + 28,8 + 36,3 + 13 = 399,8 A$$

2.5.14 Коэффициент насыщения магнитной цепи по формуле

$$k_{\mu} = \frac{F_y}{F_{\delta}} = \frac{399,8}{264,1} = 1,514$$

2.5.15 Намагничивающий ток по формуле

$$I_{\mu} = \frac{p \cdot F_y}{0,9 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{\sigma 01}} = \frac{1 \cdot 399,8}{0,9 \cdot 3 \cdot 160 \cdot 0,96} = 0,97 \text{ A}$$

2.5.16 Относительное значение намагничивающего тока по формуле

$$I_{\mu}^* = \frac{I_{\mu}}{I_{1ном}} = \frac{0,97}{6,2} = 0,18$$

Относительное значение намагничивающего тока служит определённым критерием правильности выбора и расчёта размеров и обмотки двигателя. Если $I_{\mu}^* < 0,2 \div 0,18$, то это свидетельствует о том, что размеры машины выбраны завышенными и активные материалы недоиспользованы. Такой двигатель может иметь высокие КПД и $\cos\varphi$, но плохие показатели расхода материалов на единицу мощности, большую массу и габариты. Если $I_{\mu}^* > 0,3 \div 0,35$, то это означает, что либо его габариты взяты меньшими, чем следовало, либо неправильно выбраны размерные соотношения участков магнитопровода. Двигатель будет иметь низкие КПД и $\cos\varphi$.

В небольших двигателях мощностью менее 2 – 3 кВт I_{μ}^* может достигать значения 0,5–0,6, несмотря на правильно выбранные размеры и малое насыщение магнитопровода. Это объясняется относительно большим значением магнитного напряжения воздушного зазора, характерным для двигателей малой мощности.

2.6 Параметры рабочего режима

Параметрами асинхронной машины называют активные и индуктивные сопротивления обмоток статора x_1, r_1 , ротора x_2, r_2 , сопротивление взаимной индуктивности x_{12} и расчётное сопротивление r_{12} , введением которого учитывают влияние потерь в стали статора на характеристики двигателя.

Известные из общей теории электрических машин схемы замещения фазы асинхронной машины, основанные на приведении процессов во вращающейся машине к неподвижной (рис.2.4). Физические процессы в асинхронной машине более наглядно отражает схема, изображённая на рис.2.4а.

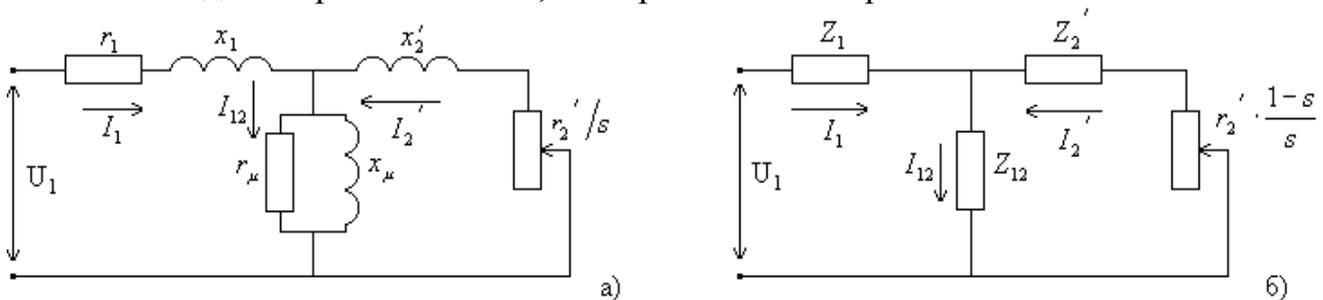


Рисунок 2.4. Схемы замещения фазы обмотки приведённой асинхронной машины

Но для расчёта оказалось удобнее преобразовать её в схему показанную на рисунке 2.4б.

Параметры схемы замещения не остаются неизменными при различных режимах работы машины. С увеличением нагрузки увеличивается поток рассеяния, и в связи с этим из-за возрастания насыщения отдельных участков магнитопровода полями рассеяния уменьшаются индуктивные сопротивления x_1 и x_2 .

Увеличение скольжения в двигателях приводит к возрастанию действия эффекта вытеснения тока, что вызывает изменение сопротивлений обмотки ротора r_2 и x_2 . При расчёте рабочих режимов машины в пределах изменения скольжения от холостого хода до номинального эти изменения незначительны и ими обычно пренебрегают.

2.6.1 Средняя ширина катушки по формуле

$$b_{km} = \frac{\pi \cdot D + h_{n1}}{2p} = \frac{\pi \cdot 0,085 + 0,014}{2} = 0,133 \text{ м}$$

2.6.2 Длина лобовой части по формуле

Лобовая часть катушек имеет сложную конфигурацию. Точный расчёт её длины и длины вылета лобовой части требует предварительного определения всех размеров катушки и сопряжён со значительным объёмом расчётов, данные которых в дальнейшем электромагнитном расчёте обычно не используются. Для машин малой и средней мощности достаточно точные для практических расчётов результаты дают эмпирические формулы, учитывающие основные особенности конструктивных форм катушек.

$$\ell_l = K_l \cdot b_{km} + 2B = 1,45 \cdot 0,133 + 2 \cdot 0,01 = 0,213 \text{ м}$$

где K_n – коэффициент по табл.6.19 [1]; $K_n=1,45$

B – длина вылета прямолинейной части катушек из паза от торца сердечника до начала отгиба лобовой части [1, стр.197]; $B=0,01$ м.

2.6.3 Вылет лобовых частей обмотки по формуле

$$\ell_{\text{выл}} = K_{\text{выл}} \cdot b_{\text{квт}} + B = 0,44 \cdot 0,133 + 0,01 = 0,069 \text{ м}$$

где $K_{\text{выл}}$ – коэффициент по табл.6.19 [1]; $K_{\text{выл}}=0,44$

2.6.4 Средняя длина витка обмотки по формуле

$$\ell_{\text{ср1}} = 2 \cdot \ell_{n1} + \ell_n = 2 \cdot 0,11 + 0,213 = 0,648 \text{ м}$$

где ℓ_n – длина пазовой части; $\ell_n = \ell_1 = 0,11$ м

2.6.5 Длина проводников фазы обмотки по формуле

$$L_1 = \ell_{\text{ср1}} \cdot W_1 = 0,648 \cdot 160 = 103,6 \text{ м}$$

2.6.5 Активное сопротивление фазы обмотки статора по формуле

$$r_1 = \rho_{115} \cdot \frac{L_1}{q_{\text{эф}} \cdot a} = \frac{10^{-6}}{41} \cdot \frac{103,6}{0,985 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 2,566 \text{ Ом}$$

где ρ_{115} – удельное сопротивление материала обмотки по табл.4-1 [1]; для данного класса нагревостойкости изоляции расчётная температура 115°C , для меди

$$\rho_{115} = 10^{-6} / 41 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

2.6.6 Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки статора [1, с.245]

$$r_1^* = r_1 \cdot \frac{I_{1н}}{U_{1н}} = 2,566 \cdot \frac{6,2}{220} = 0,072$$

Активное сопротивление фазы короткозамкнутого ротора определяется следующим образом. За фазу обмотки, выполненной в виде беличьей клетки, принимают один стержень и два участка замыкающих колец. Токи в стержнях и замыкающих кольцах различны, поэтому их сопротивления при расчёте общего сопротивления фазы должны быть приведены к одному току. Таким образом, сопротивление фазы короткозамкнутого ротора является расчётным, полученным из условия равенства электрических потерь в сопротивлении r_2 от тока I_c и суммарных потерь в стержне и участках замыкающих колец реальной машины.

2.6.7 Сопротивление стержня определяется по формуле

$$r_c = \rho_{115} \cdot \frac{\ell_2}{q_c} = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{0,11}{80,1 \cdot 10^{-6}} = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$$

где ρ_{115} – удельное сопротивление материала обмотки по табл.4-1 [1]; для данного класса нагревостойкости изоляции расчётная температура 115°C , для алюминия $\rho_{115} = 10^{-6} / 20,5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

2.6.8 Сопротивление участка замыкающего кольца, заключённого между двумя соседними стержнями [1, с.202 формула 6.166]

$$r_{\text{кл}} = \rho_{115} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{к.ср}}}{Z_2 \cdot q_{\text{кл}}} = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{\pi \cdot 0,063}{18 \cdot 271,3 \cdot 10^{-6}} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$$

2.6.9 Активное сопротивление фазы обмотки ротора по формуле

$$r_2 = r_c + \frac{2 \cdot r_{\text{кл}}}{\Delta^2} = 67 \cdot 10^{-6} + \frac{2 \cdot 2,0 \cdot 10^{-6}}{0,347^2} = 100 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$$

2.6.10 Приводим r_2 к числу витков обмотки статора по формуле

$$r_2' = r_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot W_1 \cdot \kappa_{об1}^2}{Z_2 \cdot K_c} = 100 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot 160 \cdot 0,96^2}{18 \cdot 0,97} = 1,566 \text{ Ом}$$

2.6.11 Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки ротора [1, с.245]

$$r_2^* = r_2' \cdot \frac{I_{1н}}{U_{1н}} = 1,566 \cdot \frac{6,2}{220} = 0,044$$

2.6.12 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора по табл.6-22 [1]

$$\lambda_{п1} = \frac{h_2}{3 \cdot b_2} \cdot k_\beta + \left(\frac{h_1}{b_1} + \frac{3 \cdot h_k}{b_2 + 2b_{у1}} + \frac{h_{у1}}{b_{у1}} \right) \cdot \kappa'_\beta = \frac{0,0104}{3 \cdot 0,0111} \cdot 1 + \left(\frac{3 \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{0,0111 + 2 \cdot 0,003} + \frac{0,00075}{0,003} \right) \cdot 1 = 1,272$$

где k_β и κ'_β – коэффициенты учитывающие укорочение шага обмотки [1, с.199];

2.6.13 Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки статора по формуле 6.154 [1]

$$\lambda_1 = 0,34 \cdot \frac{q}{\ell_\delta} \cdot \ell_{л1} - 0,64 \cdot \beta \cdot \tau = 0,34 \cdot \frac{4}{0,11} \cdot 0,213 - 0,64 \cdot 1 \cdot 0,133 = 1,579$$

2.6.14 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора по формуле 6.170 [1]

$$\lambda_{д1} = \frac{t_1}{12 \cdot \delta \cdot k_\delta} \cdot \xi = \frac{0,011}{12 \cdot 0,0002 \cdot 1,254} \cdot 0,883 = 3,262$$

где ξ – коэффициент по формуле 6.172 [1];

при полузакрытых или полуоткрытых пазах статора с учетом скоса пазов:

$$\xi = 2 \cdot \kappa'_{ск} \cdot \kappa_\beta - \kappa_{об1}^2 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \cdot 1 + \beta_{ск}^2 = 2 \cdot 1,05 \cdot 1 - 0,96^2 \cdot 1,327^2 = 0,883$$

где $\beta_{ск}$ – коэффициент скоса, выраженный в долях зубцового деления ротора; так как скос пазов на статоре отсутствует, то $\beta_{ск} = 0$.

$\kappa'_{ск}$ – коэффициент по рис.6-39д [1]; при $t_2/t_1 = 1,327$ и $\beta_{ск} = 0$, $\kappa'_{ск} = 1,05$

2.6.15 Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора

$$x_1 = 15,8 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{W_1}{100} \right)^2 \cdot \frac{\ell'_\delta}{p \cdot q} \cdot \lambda_{л1} + \lambda_{п1} + \lambda_{д1} = 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{160}{100} \right)^2 \cdot \frac{0,11}{1 \cdot 4} \cdot 1,272 + 1,579 + 3,262 = 3,411 \text{ Ом}$$

2.6.16 Относительное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки статора [1, с.205]

$$x_1^* = x_1 \cdot \frac{I_{1н}}{U_{1н}} = 3,411 \cdot \frac{6,2}{220} = 0,095$$

2.6.17 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки ротора по табл.6-23 [1]

$$\lambda_{п2} = \left[\frac{h_0}{3 \cdot b_1} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b_1^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0,66 \right] \cdot k_{д1} + 0,3 + 1,12 \cdot \frac{h_{у2} \cdot 10^{-6}}{I_2} = \left(\frac{0,0127}{3 \cdot 0,003} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot 0,007^2}{8 \cdot 80,1 \cdot 10^{-6}} \right)^2 + 0,66 - \frac{0,003}{2 \cdot 0,003} \right) \cdot 1 + 0,3 + 1,12 \cdot \frac{0,75 \cdot 10^{-6}}{281,3} = 1,277$$

2.6.18 Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки ротора по формуле

$$\lambda_{л2} = \frac{2.3 \cdot D_{кл.сп}}{Z_2 \cdot \ell'_\delta \cdot \Delta^2} \cdot \lg \frac{4.7 \cdot D_{кл.сп}}{2 \cdot a_{кл} + b_{кл}} = \frac{2.3 \cdot 0,063}{18 \cdot 0,11 \cdot 0,347^2} \cdot \lg \frac{4.7 \cdot 0,063}{2 \cdot 0,013 + 0,022} = 2,254$$

2.6.19 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора по формуле

$$\lambda_{д2} = \frac{t_2}{12 \cdot \delta \cdot k_\delta} \cdot \xi = \frac{0,015}{12 \cdot 0,0002 \cdot 1,254} \cdot 1,006 = 4,933$$

где ξ – коэффициент по формуле

$$\xi = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot p}{Z_2} \right)^2 - \frac{\Delta_z}{1 - p/Z_2} = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 1}{18} \right)^2 = 1,006$$

где Δ_z находят по кривым по рис.6.39 а, [1]; $\Delta_z = 0$

2.6.20 Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора по формуле

$$x_2 = 7.9 \cdot f_1 \cdot l_\delta \cdot \lambda_{л2} + \lambda_{л2} \cdot \lambda_{д2} + \lambda_{ск} \cdot 10^{-6} = 7.9 \cdot 50 \cdot 0,11 \cdot 1,277 + 2,254 + 4,933 \cdot 10^{-6} = 3,7 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

2.6.21 Приводим x_2 к числу витков обмотки статора по формуле

$$x_2' = x_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot W_1 \cdot K_{об1}^2}{Z_2 \cdot K_{ск}} = 370 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot 160 \cdot 0,96^2}{18 \cdot 1} = 5,78 \text{ Ом}$$

2.6.22 Относительное значение x_2 [1, с.205]

$$x_2^* = x_2' \cdot \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 5,78 \cdot \frac{6,2}{220} = 0,16$$

Представление параметров асинхронного двигателя в относительные значения делается для удобства сопоставления параметров отдельных машин и упрощения расчёта характеристик.

Так, относительные значения индуктивных сопротивлений рассеяния обмотки статора и приведённого сопротивления обмотки ротора большей частью находятся в пределах $x_1^* = 0,08 \div 0,14$ и $x_2^* = 0,1 \div 0,16$.

Относительные значения активных сопротивлений обмотки статора и приведённого сопротивления обмотки ротора близки друг к другу и обычно составляют несколько сотых долей.

Полученные значения параметров обмотки статора и ротора находятся в рекомендуемом пределе.

2.7 Расчёт потерь

При работе асинхронного двигателя часть подводимой мощности расходуется на нагрев проводников, перемагничивание сердечника, создание необходимого для охлаждения потока воздуха, трение вращающихся частей о воздух, трение

в подшипниках и т.д. Эту часть мощности называют потерями, так как она как бы «теряется» при электромеханическом преобразовании энергии.

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

Основные потери в стали асинхронных двигателей рассчитываются только в сердечнике статора, так как частота перемагничивания ротора, равная $f_2 = s \cdot f_1$ в режимах, близких к номинальному, очень мала и потери в стали ротора даже при больших индукциях незначительны.

2.7.1 Масса стали зубцов статора по формуле

$$m_{z1} = h_{z1} \cdot b_{z1} \cdot Z_1 \cdot \ell_{cm1} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = 0.014 \cdot 0.004 \cdot 24 \cdot 0.11 \cdot 0.97 \cdot 7800 = 1,1 \text{ кг}$$

где γ_c – удельная масса стали [1, с.206]; $\gamma_c = 7800 \text{ кг/м}^3$

2.7.2 Масса стали ярма статора по формуле

$$m_a = \pi \cdot D_a - h_a \cdot h_a \cdot \ell_{cm1} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = \pi \cdot 0.149 - 0.032 \cdot 0.032 \cdot 0.11 \cdot 0.97 \cdot 7800 = 9,8 \text{ кг}$$

2.7.3 Основные потери в стали по формуле

$$P_{ст.осн} = p_{1,0\%} \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^\beta \cdot \kappa_{да} \cdot B_a^2 \cdot m_a + \kappa_{дз} \cdot B_z^2 \cdot m_{z1} = 2.6 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{1.5} \cdot 1.6 \cdot 0,905^2 \cdot 9,8 + 1.8 \cdot 1.9^2 \cdot 1,1 = 53,3 \text{ Вт}$$

где $p_{1,0\%}$ – удельные потери в стали по табл.6-24 [1]; для стали 2013 $p_{1,0\%} = 2.6 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$

β – показатель степени по табл.6-24 [1]; для стали 2013 $\beta = 1.5$

$\kappa_{да}$ и $\kappa_{дз}$ – коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов [1, с.206]; $\kappa_{да} = 1.6$ и $\kappa_{дз} = 1.8$.

Добавочные потери в стали, возникающие при холостом ходе, подразделяются 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).

2.7.4 Амплитуда пульсации индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора по формуле

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot \kappa_\delta \cdot B_\delta = 0.35 \cdot 1,254 \cdot 0.662 = 0,29 \text{ Тл}$$

где β_{02} – зависит от отношения ширины шлица пазов статора к воздушному зазору $\beta_{02} = f(b_{шл1}/\delta)$ по рис.6-41 [1]; $\beta_{02} = 0.35$

2.7.5 Удельные поверхностные потери по формуле

$$p_{нов2} = 0.5 \cdot \kappa_{02} \cdot \left(\frac{Z_2 \cdot n}{10000}\right)^{1.5} \cdot B_{02} \cdot t_1 \cdot 10^3 = 0.5 \cdot 1.4 \cdot \left(\frac{18 \cdot 3000}{10000}\right)^{1.5} \cdot 0,29 \cdot 0.011 \cdot 10^3 = 91,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \text{ где } \kappa_{02}$$

– коэффициент, учитывающий влияние обработки поверхности ротора на удельные потери [1, с.207]; $\kappa_{02} = 1.4$.

2.7.6 Полные поверхностные потери ротора по формуле

$$P_{нов2} = p_{нов2} \cdot t_2 - b_{ц2} \cdot Z_2 \cdot \ell_{cm2} = 91,6 \cdot 0.015 - 0,003 \cdot 18 \cdot 0,11 = 2,1 \text{ Вт}$$

2.7.7 Масса зубцов стали ротора по формуле

$$m_{z2} = h_{z2} \cdot b_{z2} \cdot Z_2 \cdot \ell_{cm2} \cdot k_c \cdot \gamma_c = 0.0169 \cdot 0.0063 \cdot 18 \cdot 0.11 \cdot 0.97 \cdot 7800 = 1,6 \text{ кг}$$

2.7.8 Амплитуда пульсаций индукции в среднем сечении зубцов ротора по формуле

$$B_{\text{пульс}} = \frac{\gamma_1 \cdot \delta}{2 \cdot t_2} \cdot B_{z2} = \frac{2,508 \cdot 0.0002}{2 \cdot 0.015} \cdot 1.598 = 0.027 \text{ Тл}$$

2.7.9 Пульсационные потери в зубцах ротора по формуле

$$P_{\text{пульс}} = 0.11 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{\text{пульс}} \right)^2 \cdot m_{z2} = 0.11 \cdot \left(\frac{24 \cdot 3000}{1000} \cdot 0.027 \right)^2 \cdot 1,6 = 0,673 \text{ Вт}$$

Поверхностные и пульсационные потери в статоре двигателя с короткозамкнутым ротором обычно очень малы, так как в пазах таких роторов ширина шлица ротора небольшая и пульсации индукции в воздушном зазоре над головками зубцов статора незначительны. При закрытых пазах ротора расчёт этих потерь в статоре двигателя не производится.

2.7.10 Сумма добавочных потерь по формуле

$$P_{\text{см.доб}} = P_{\text{пов2}} + P_{\text{пульс}} = 2,1 + 0,673 = 2,773 \text{ Вт}$$

2.7.11 Полные потери в стали по формуле

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{см.осн}} + P_{\text{см.доб}} = 53,3 + 2,8 = 56,1 \text{ Вт}$$

2.7.12 Механические потери по формуле

$$P_{\text{мех}} = K_T \cdot \left(\frac{n}{10} \right)^2 \cdot D_a^4 = 1,3 \cdot \left(\frac{3000}{10} \right)^2 \cdot 0.149^4 = 57,7 \text{ Вт}$$

где K_T – коэффициент [1, с.208]; при $2p=2$ $K_T = 1,3$

2.7.13 Добавочные потери при номинальном режиме [1, с.209]

Добавочные потери возникают за счёт действия потоков рассеяния, пульсаций индукции в воздушном зазоре, ступенчатости кривых распределения МДС обмоток статора и ротора. В короткозамкнутых роторах, кроме того, возникают потери от поперечных токов, то есть токов между стержнями, замыкающихся через листы сердечника ротора. ГОСТ устанавливает средние расчётные добавочные потери при номинальной нагрузке, равные 0.5% номинальной мощности.

$$P_{\text{доб}} = 0.005 \cdot \frac{P_2}{\eta} = 0.005 \cdot \frac{3000}{0.85} = 17,7 \text{ Вт}$$

2.7.14 Электрические потери при холостом ходе в обмотке статора по формуле

$$P_{\text{эл.х.х}} = m \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 0,97^2 \cdot 2,57 = 7,2 \text{ Вт}$$

2.7.15 Активная составляющая тока холостого хода по формуле

$$I_{\text{х.х.а}} = \frac{P_{\text{ст}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{эл.х.х}}}{m \cdot U_{1H}} = \frac{56,1 + 57,7 + 7,2}{3 \cdot 220} = 0,183 \text{ А}$$

2.7.16 Ток холостого хода двигателя по формуле

$$I_{\text{х.х}} = \sqrt{I_{\text{х.х.а}}^2 + I_{\mu}^2} = \sqrt{0,183^2 + 0,97^2} = 0,98 \text{ А}$$

2.7.17 Коэффициент мощности при холостом ходе по формуле

$$\cos \varphi_{\text{х.х}} = \frac{I_{\text{х.х.а}}}{I_{\text{х.х}}} = \frac{0,183}{0,98} = 0,186$$

2.8 Расчёт рабочих характеристик

Рабочими характеристиками асинхронного двигателя называют зависимости P_1 , I_1 , $\cos\varphi$, η , $s=f(P_2)$. Методы расчёта характеристик базируются на системе уравнений токов и напряжений асинхронной машины, которой соответствует Г-образная схема замещения (рис.2.5). Активные и индуктивные сопротивления схемы замещения являются параметрами машины.

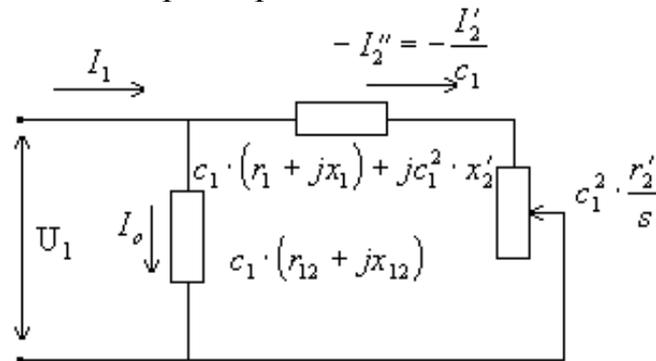


Рисунок 2.5. Преобразованная Г-образная схема замещения приведённой асинхронной машины.

Коэффициент c_1 представляет собой взятое с обратным знаком отношение вектора напряжения фазы U_1 к вектору ЭДС E_1 , при синхронном вращении машины с учётом сдвига фаз этих векторов.

2.8.1 Расчётное сопротивление r_{12} по формуле

$$r_{12} = \frac{P_{\text{см.осн}}}{m \cdot I_{\mu}^2} = \frac{53,3}{3 \cdot 0,96^2} = 19 \text{ Ом}$$

2.8.2 Сопротивление взаимной индукции обмоток статора и ротора по формуле

$$6.180 [1]; \quad x_{12} = \frac{U_{1H}}{I_{\mu}} - x_1 = \frac{220}{0,96} - 3,4 = 224,2 \text{ Ом}$$

2.8.3 Коэффициент c_1 по формуле 6.218 [1];

$$c_1 \approx 1 + \frac{x_1}{x_{12}} = 1 + \frac{3,411}{224,2} = 1,015$$

Была использована приближённая формула

$$\gamma = \arctg \frac{r_1 \cdot x_{12} - r_{12} \cdot x_1}{r_{12} \cdot r_1 + r_{12} \cdot x_{12} + x_{12} \cdot x_1 + x_{12}} = \arctg \frac{2,6 \cdot 224,2 - 19 \cdot 3,4}{19 \cdot 2,6 + 19 + 224,2 \cdot 3,4 + 224,2} = 0,009$$

Расчёт рабочих характеристик можно проводить с помощью круговой диаграммы или аналитическим методом. Расчёт по круговой диаграмме более нагляден, но менее точен, так как требует графических построений, снижающих точность расчёта. Аналитический метод более универсален, позволяет учитывать изменение отдельных параметров при различных скольжениях и может быть легко переведён на язык программ при использовании ЭВМ в расчётах.

Для расчёта рабочих характеристик выбираем аналитический метод. Расчёт характеристик проводим, задаваясь значениями скольжений в диапазоне $s=(0,011 \div 0,08)s_H$. Номинальное скольжение предварительно принимаем равным $s_H=r_2^* = 0,044$. Для построения характеристик достаточно рассчитать значения

требуемых величин для пяти-шести различных скольжений, выбранных в указанном диапазоне примерно через равные интервалы.

2.8.4 Активная составляющая тока синхронного холостого хода по формуле

$$I_{oa} = \frac{P_{cm.очн} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3 \cdot U_1} = \frac{53,3 + 3 \cdot 0,96^2 \cdot 2,6}{3 \cdot 220} = 0,092 \text{ A}$$

2.8.5 Постоянные коэффициенты по формуле

$$a' = c_1^2 = 1.015^2 = 1.031; \quad a = c_1 \cdot r_1 = 1.015 \cdot 2,6 = 2,605$$

$$b' = 0; \quad b = c_1 \cdot x_1 + c_1 \cdot x'_2 = 1.015 \cdot 3,4 + 1.015 \cdot 5,8 = 9,4$$

Результаты расчёта сведены в таблице 1.1

Таблица 1.1

N п/п	Расчётная формула	Еде- ница.	Скольжение						
			0,001	0,011	0,022	0,044	0,051	0,069	0,08
1	$b' \cdot r_2' / s$	Ом	0	0	0	0	0	0	0
2	$R = a + a' \cdot r_2' / s$	Ом	1616	149,3	75,95	39,28	34,24	25,99	22,77
3	$X = b + b' \cdot r_2' / s$	Ом	9,415	9,415	9,415	9,415	9,415	9,415	9,415
4	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ом	1616	149,59	76,53	40,39	35,52	27,64	24,64
5	$I_2'' = U_{n1} / Z$	А	0,136	1,471	2,875	5,447	6,195	7,959	8,927
6	$\cos \varphi_2' = R / Z$	–	1	0,998	0,992	0,972	0,964	0,94	0,924
7	$\sin \varphi_2' = X / Z$	–	0,006	0,063	0,123	0,233	0,265	0,341	0,382
8	$I_{1a} = I_{oa} + I_2'' \cdot \cos \varphi_2'$	А	0,228	1,559	2,944	5,388	6,065	7,574	8,342
9	$I_{1p} = I_{op} + I_2'' \cdot \sin \varphi_2'$	А	0,967	1,059	1,32	2,236	2,609	3,677	4,377
10	$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$	А	0,994	1,885	3,227	5,834	6,602	8,42	9,42
11	$I_2' = c_1 \cdot I_2''$	А	0,138	1,493	2,918	5,53	6,289	8,08	9,063
12	$P_1 = 3 \cdot U_{1n} \cdot I_{1a} \cdot 10^{-3}$	кВт	0,15	1,029	1,943	3,556	4,003	4,999	5,505
13	$P_{\varphi 1} = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_1 \cdot 10^{-3}$	кВт	0,008	0,027	0,08	0,262	0,335	0,546	0,683
14	$P_{\varphi 2} = 3 \cdot I_2'^2 \cdot r_2' \cdot 10^{-3}$	кВт	0,001	0,01	0,04	0,144	0,186	0,307	0,386
15	$P_{доб} = P_{доб.н} \cdot \left(\frac{I_1}{I_{1n}} \right)^2$	кВт	0,002	0,003	0,005	0,016	0,021	0,034	0,042
16	$\sum P = P_{cm} + P_{мех} + P_{\varphi 1} + P_{\varphi 2} + P_{доб}$	кВт	0,122	0,154	0,239	0,536	0,656	1	1,225
17	$P_2 = P_1 - \sum P$	кВт	0,028	0,876	1,704	3,000	3,347	3,999	4,28
18	$\eta = 1 - \sum P / P_1$	–	0,187	0,851	0,877	0,849	0,836	0,8	0,777
19	$\cos \varphi = I_{1a} / I_1$	–	0,229	0,827	0,912	0,924	0,919	0,9	0,886

По результатам расчётов строятся рабочие характеристики, которые представлены на рисунке 2.6 стр.53.

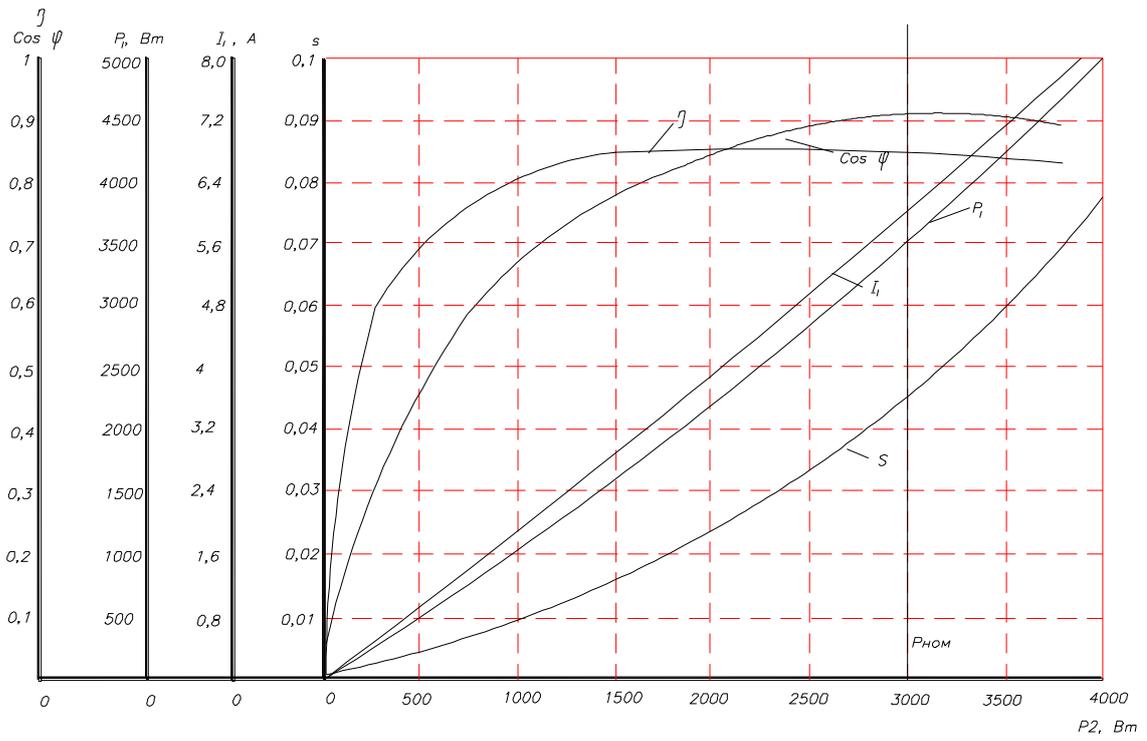


Рисунок 2.6 Рабочие характеристики

2.9 Расчёт пусковых характеристик

Расчёт токов с учётом влияния изменения параметров под влиянием эффекта вытеснения тока (без учёта влияния насыщения от полей рассеяния).

Расчёт для $S=1$.

2.9.1 Активное сопротивление обмотки ротора с учётом влияния эффекта вытеснения тока ($v_{расч}=115^\circ\text{C}$; $\rho_{75}=10^{-6}/20.5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$)

$h_c=h_{п}-h_{ш}=0.0155 \text{ м}$;

по формуле $\xi = 63.61 \cdot h_c \cdot \sqrt{s} = 63,61 \cdot 0.0155 = 0,983$;

по рис. 6.46 [1] для $\xi = 0,983$ $\varphi = 0,35$;

глубина проникновения тока по формуле

$$h_r = \frac{h_c}{1+\varphi} = \frac{0.0155}{1+0,35} = 0.0115 \text{ м};$$

площадь сечения q_r по формуле

$$q_r = \frac{\pi b_1^2}{8} + \frac{b_1 + b_r}{2} \left(h_r - \frac{b_1}{2} \right) = \frac{\pi 0.007^2}{8} + \frac{0.007 + 0.003}{2} \left(0.0115 - \frac{0.007}{2} \right) = 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \quad \text{где} \quad \text{по}$$

коэффициент k_r по формуле

$$k_r = q_c / q_r = 80,1 / 59,0 = 1,357 ;$$

коэффициент общего увеличения сопротивления фазы ротора под влиянием эффекта вытеснения тока по формуле

$$K_R = 1 + \frac{r_c}{r_2} (k_r - 1) = 1 + \frac{67,2 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-6}} (1,357 - 1) = 1,24 ;$$

приведённое активное сопротивление ротора с учётом влияния эффекта вытеснения тока [1, с.249]:

$$r'_{2\xi} = K_R r'_2 = 1,24 \cdot 1,566 = 1,941 \text{ Ом}.$$

2.10.2 Коэффициент изменения индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора от действия эффекта вытеснения тока по формуле

$$K_x = \frac{\lambda_{n2\xi} + \lambda_{r2} + \lambda_{\sigma 2} + \lambda_{ск2}}{\lambda_{n2} + \lambda_{r2} + \lambda_{\sigma 2} + \lambda_{ск2}} = \frac{1,156 + 2,254 + 4,933}{1,277 + 2,254 + 4,933} = 0,985 ;$$

где $\lambda_{n2\xi}$ – коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния с учетом эффекта вытеснения тока, по табл.6.23 [1]:

$$\begin{aligned} \lambda_{n2\xi} &= \left(\frac{h_1}{3b_1} \left(1 - \frac{\pi b_1^2}{8q_c} \right)^2 + 0.66 - \frac{b_{ш}}{2b_1} \right) k_\sigma + 0.3 + 1.12 \frac{h_{ш2} \cdot 10^6}{I_2} = \\ &= \left(\frac{0.0115}{3 \cdot 0.007} \left(1 - \frac{\pi \cdot 0.007^2}{8 \cdot 80,1 \cdot 10^{-6}} \right)^2 + 0.66 - \frac{1,5}{2 \cdot 0.007} \right) 0.94 + \frac{0.0001 \cdot 10^6}{281,3} = 1,147; \end{aligned}$$

индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора с учётом действия эффекта вытеснения тока по формуле 6.250 [1];

$$x'_{2\xi} = x'_2 K_x = 5,775 \cdot 0,985 = 5,686 \text{ Ом}.$$

2.9.3 Пусковые параметры по формуле

$$x_{12n} = k_\mu x_{12} = 1.514 \cdot 224,2 = 339,5 \text{ Ом},$$

Подробный расчёт для S=1.

2.9.4 Индуктивные сопротивления обмоток. Принимаем [1, с.219]: $k_H=1.4$
средняя МДС обмотки, отнесённая к одному пазу обмотки статора
по формуле

$$F_{n.c.p} = 0.7 \frac{I_1 k_{нас} u_{n1}}{a} \left(k'_\beta + k_y \cdot k_{о61} \frac{Z_1}{Z_2} \right) = 0.7 \frac{21,7 \cdot 1.4 \cdot 40}{1} \left(1 + 1 \cdot 0.96 \frac{24}{18} \right) = 1934 \text{ A},$$

коэффициент C_N по формуле 6.254 [1]

$$C_N = 0.64 + 2.5 \sqrt{\frac{\delta}{t_{z1} + t_{z2}}} = 0.64 + 2.5 \sqrt{\frac{0.0002}{0.011 + 0.015}} = 0,931,$$

фиктивная индукция потока рассеяния в воздушном зазоре по формуле

$$B_{\Phi\delta} = \frac{F_{n.c.p} \cdot 10^{-6}}{1.6\delta \cdot C_N} = \frac{1934 \cdot 10^{-6}}{1.6 \cdot 0.0002 \cdot 0,931} = 6,492 \text{ Тл.}$$

По рис.6.50 [1] для $B_{\Phi\delta} = 6,492$ Тл находим $k_\delta=0.63$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора с учётом влияния насыщения по формуле

$$c_{\varepsilon 1} = (t_{z1} - b_{ш1})(1 - k_\delta) = (0.011 - 0.003)(1 - 0.63) = 0.003 \text{ м.}$$

Уменьшение коэффициента проводимости рассеяния паза статора
по формуле

$$\Delta\lambda_{n1нас} = \frac{h_{u1} + h_k}{b_{u1}} \frac{c_{\varepsilon 1}}{c_{\varepsilon 1} + 1.5b_{u1}} = \frac{0.00075 + 0.00035}{0.003} \frac{0.003}{0,003 + 1.5 \cdot 0.003} = 0.001.$$

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза статора с учетом насыщения
по формуле 6.261 [1]

$$\lambda_{n1нас} = \lambda_{n1} - \Delta\lambda_{n1нас} = 1.272 - 0.001 = 1.271.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния
статора с учетом насыщения по формуле 6.263 [1]

$$\lambda_{\partial 1нас} = \lambda_{\partial 1} k_\delta = 3,262 \cdot 0.63 = 2,055.$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора с учетом насыщения по
формуле

$$x_{1нас} = x_1 \frac{\sum \lambda_{1нас}}{\sum \lambda_1} = 3,4 \frac{1,236 + 2,055 + 1,579}{1,272 + 3,262 + 1,579} = 2,717 \text{ Ом.}$$

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза ротора с учетом
насыщения по формуле

$$\lambda_{n2\xi нас} = \lambda_{n2\xi} = 0,383.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния
статора с учетом насыщения по формуле

$$\lambda_{\partial 2нас} = \lambda_{\partial 2} k_\delta = 4,933 \cdot 0,63 = 3,108.$$

Приведенное индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора с учетом
насыщения и вытеснения тока по формуле

$$x'_{2\xi_{нас}} = x'_2 \frac{\sum \lambda_{2\xi_{нас}}}{\sum \lambda_2} = 4,18 \text{ Ом},$$

коэффициент $c_{1п.нас}$ по формуле

$$c_{1п.нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12п}} = 1 + \frac{2,717}{339,5} = 1,008.$$

2.9.6 Расчет токов и моментов:

токи по формуле

$$I'_{2нас} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{a_n^2 + b_n^2}} = \frac{220}{\sqrt{4,5^2 + 6,9^2}} = 21,7 \text{ А},$$

Кратность пускового тока с учётом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения [1, с. 251]:

$$I_{п*} = \frac{I_{1нас}}{I_{ном}} = \frac{40,78}{5,834} = 6,579$$

Кратность пускового момента с учётом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения [1, с. 251]:

$$M'_n = \left(\frac{I'_{2п.нас}}{I'_{2ном}} \right)^2 K_R \frac{S_{ном}}{S} = \left(\frac{21,671}{5,53} \right)^2 1,24 \frac{0,044}{1} = 1,781$$

Результаты расчёта сведены в таблице 2.2. По результатам расчётов строятся пусковые характеристики $M_*, I_* = f(s)$, которые представлены на рисунке 2.7.

Таблица 2.2 Расчёт пусковых характеристик с учётом эффекта вытеснения тока и насыщения от полей рассеяния.

№	Расчётная формула	Ед	Скольжение S					
			1	0.8	0.5	0.2	0,1	0.001
1	$\xi = 65.15 h_c \sqrt{s}$	–	0,983	0,88	0,695	0,44	0,311	0,031
2	$\varphi(\xi)$	–	0,35	0,313	0,247	0,156	0,111	0,011
3	$k_r = q_c / q_r$	–	1,357	1,321	1,257	1,167	1,122	1,024
4	$K_R = 1 + \frac{r'_c}{r_2} (k_r - 1)$	–	1,24	1,216	1,173	1,113	1,082	1,016
5	$r'_{2\xi} = K_R r'_2$	Ом	1,941	1,903	1,836	1,742	1,694	1,591
6	$k_d = \varphi'(\xi)$	–	0,97	0,975	0,98	0,99	1	1
7	$K_x = \Sigma \lambda_{2\xi} / \Sigma \lambda_2$	–	0,985	0,985	0,986	0,987	0,988	0,988
8	$x'_{2\xi} = x'_2 K_x$	Ом	5,686	5,689	5,692	5,698	5,704	5,704
9	$x'_{2\xi_{нас}} = x'_2 \frac{\Sigma \lambda_{2\xi_{нас}}}{\Sigma \lambda_2}$	Ом	4,18	4,253	4,435	4,999	5,431	5,704
10	$x_{1нас} = x_1 \frac{\Sigma \lambda_{1нас}}{\Sigma \lambda_1}$	–	2,717	2,753	2,844	3,117	3,3	3,391
11	$c_{1п.нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12п}}$	–	1,008	1,008	1,008	1,009	1,01	1,01
12	$R_{п.нас} = r_1 + c_{1п.нас} \frac{r'_{2\xi}}{s}$	Ом	4,523	4,964	6,268	11,36	19,67	1609
13	$I'_{2нас} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_{п.нас}^2 + X_{п.нас}^2}}$	А	21,671	21,243	19,937	15,178	10,217	0,138
14	$I_{1нас} = I'_{2нас} \frac{\sqrt{R_{п.нас}^2 + X_{п.нас}^2} - X_{12п}}{c_{1п.нас} \cdot X_{12п}}$	А	40,780	25,859	23,137	15,972	10,391	0,657
15	$I_{п*} = \frac{I_{1п.нас}}{I_{1ном}}$	–	6,579	4,207	3,764	2,598	1,69	0,107
16	$M'_{п} = \left(\frac{I'_{2п.нас}}{I'_{2ном}} \right)^2 K_R \frac{S_{ном}}{S}$	–	1,781	1,449	1,788	2,013	1,65	0,028

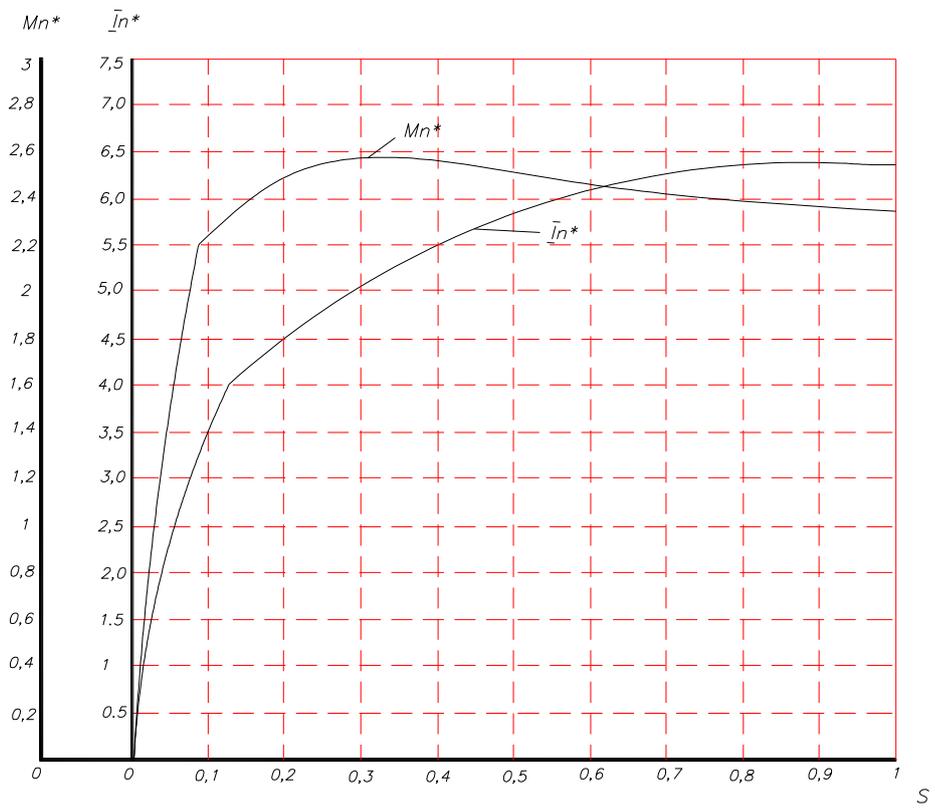


Рисунок 2.7 Пусковые характеристики

2.10 Тепловой и вентиляционный расчёт

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

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

2.10.1 Электрические потери в обмотке статора в пазовой части по формуле

$$P'_{\text{э,п1}} = k_p \cdot P_{\text{э1}} \cdot \frac{2 \cdot \ell_1}{\ell_{\text{сп1}}} = 1.07 \cdot 262 \cdot \frac{2 \cdot 0.11}{0.648} = 99,5 \text{ Вт}$$

где k_p – коэффициент увеличения потерь [1, с.235]; $k_p=1.07$

2.10.2 Электрические потери в обмотке статора в лобовой части по формуле

$$P'_{\text{э,л1}} = k_p \cdot P_{\text{э1}} \cdot \frac{2 \cdot \ell_{\text{л1}}}{\ell_{\text{сп1}}} = 1.07 \cdot 254 \cdot \frac{2 \cdot 0.213}{0.648} = 192,6 \text{ Вт}$$

2.10.3 Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри двигателя по формуле

$$\Delta\theta_{\text{нов1}} = K \cdot \frac{P'_{\text{э,п1}} + P_{\text{ст.осн}}}{\pi \cdot D \cdot \ell_1 \cdot \alpha_1} = 0.22 \cdot \frac{99,5 + 53,3}{\pi \cdot 0.085 \cdot 0.11 \cdot 140} = 8,2^\circ \text{C}$$

где K – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину непосредственно в окружающую среду по табл.6-30 [1]; при $2p=2$, $K=0.22$

α_1 – коэффициент теплоотдачи с поверхности сердечника статора по рис.6-59а [1]; $\alpha_1=140 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

2.10.4 Расчётный периметр поперечного сечения паза статора по формуле

$$P_{\text{н1}} = 2 \cdot h_n + b_1 + b_2 = 2 \cdot 0.011 + 0.007 + 0.003 = 0.032 \text{ м}$$

2.10.5 Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора по формуле.6.315.[1]

$$\Delta\theta_{\text{из,п1}} = \frac{P'_{\text{э,п1}}}{Z_1 \cdot P_{\text{н1}} \cdot \ell_1} \cdot \left(\frac{b_{\text{из1}}}{\lambda_{\text{эКВ}}} + \frac{b_1 + b_2}{16 \cdot \lambda'_{\text{эКВ}}} \right) = \frac{99,5}{24 \cdot 0.032 \cdot 0.11} \cdot \left(\frac{0.4 \cdot 10^{-3}}{0,16} + \frac{0.007 + 0.003}{16 \cdot 1,4} \right) = 2,5^\circ \text{C}$$

где $\lambda_{\text{эКВ}}$ – средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции [1, с.237];

$$\lambda_{\text{эКВ}} = 0.16 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$$

$\lambda'_{\text{эКВ}}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности внутренней изоляции катушек всыпной обмотки из эмалированных проводников с учё-

том не плотности прилегания проводников друг к другу по рис.6-62[1]; $\lambda'_{\text{экв}}=1,4 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$

2.10.6 Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей

$$\Delta\theta_{\text{из,л1}} = \frac{P'_{\text{э,л1}}}{2 \cdot Z_1 \cdot \Pi_{\text{л1}} \cdot \ell_{\text{л1}}} \cdot \left(\frac{b_{\text{из,л1}}}{\lambda'_{\text{экв}}} + \frac{h_{\text{н1}}}{12 \cdot \lambda'_{\text{экв}}} \right) = \frac{192,6}{2 \cdot 24 \cdot 0,0032 \cdot 0,11} \cdot \left(\frac{0,04 \cdot 10^{-3}}{0,16} + \frac{0,014}{12 \cdot 1,4} \right) = 0,8^{\circ}\text{C}$$

где $\Pi_{\text{л1}}$ – периметр условной поверхности охлаждения лобовой части одной катушки [1, с.237]; $\Pi_{\text{л1}} \approx \Pi_{\text{н1}} = 0,0032 \text{ м}$

$b_{\text{из,л1}}$ – односторонняя толщина изоляции лобовой части катушки $b_{\text{из,л1}} = 0,04$

2.10.7 Превышение температуры наружной поверхности изоляции лобовых частей обмотки над температурой воздуха внутри машины по формуле

$$\Delta\theta_{\text{пов,л1}} = \frac{K \cdot P'_{\text{э,л1}}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot \ell_{\text{выл1}} \cdot \alpha_1} = \frac{0,22 \cdot 192,6}{2 \cdot \pi \cdot 0,085 \cdot 0,069 \cdot 140} = 8,3^{\circ}\text{C}$$

2.10.8 Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри машины по формуле

$$\Delta\theta'_1 = \frac{\Delta\theta_{\text{пов,л1}} + \Delta\theta_{\text{из,л1}} \cdot 2 \cdot \ell_1}{\ell_{\text{сп1}}} + \frac{\Delta\theta_{\text{из,л1}} + \Delta\theta_{\text{пов,л1}} \cdot 2 \cdot \ell_1}{\ell_{\text{сп1}}} = \frac{8,2 + 2,5 \cdot 2 \cdot 0,11}{0,648} + \frac{0,8 + 8,3 \cdot 2 \cdot 0,11}{0,648} = 9,6^{\circ}\text{C}$$

2.10.9 Эквивалентная поверхность охлаждения корпуса по формуле

$$S_{\text{кор}} = \pi \cdot D_a + 8 \cdot \Pi_p \cdot \ell_1 + 2 \cdot \ell_{\text{выл1}} = \pi \cdot 0,149 + 8 \cdot 0,2 \cdot 0,11 + 2 \cdot 0,069 = 0,512 \text{ м}^2$$

где Π_p – условный периметр поперечного сечения рёбер станины по рис.6-63[1]; $\Pi_p = 0,2 \text{ м}$

2.10.10 Сумма потерь отводимых в воздух внутри двигателя по формуле

$$\sum P'_B = \sum P' - 1 - K \cdot P'_{\text{э,л1}} + P_{\text{ст.осн}} - 0,9 \cdot P_{\text{мех}} = 580,5 - 1 - 0,22 \cdot 99,5 + 53,3 - 0,9 \cdot 57,7 = 409,4 \text{ Вт}$$

где по формуле $\sum P' = \sum P + \kappa_p - 1 \cdot P_{\text{э1}} + P_{\text{э2}} = 522 + 1,07 - 1 \cdot 254 + 136 = 580,5 \text{ Вт}$

Превышение температуры воздуха внутри машины над температурой окружающей среды по формуле

$$\Delta\theta_B = \frac{\sum P'_B}{S_{\text{кор}} \cdot \alpha_B} = \frac{409,4}{0,512 \cdot 20} = 39,95^{\circ}\text{C}$$

где α_B – коэффициент подогрева воздуха [1, с.235 рис.6-59а]; $\alpha_B = 26 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$

2.10.11 Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды по формуле

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta'_1 + \Delta\theta_B = 9,6 + 39,95 = 49,55^{\circ}$$

Полученное значение превышения температуры не превышает допустимое превышение температуры для принятого класса изоляции F.

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

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

$$\kappa_m = m \cdot \sqrt{\frac{n}{100}} \cdot D_a = 1.8 \cdot \sqrt{\frac{3000}{100}} \cdot 0.149 = 3.8$$

где κ_m – коэффициент [1, с.240]; для двигателе с $2p = 2$ при $h = 0.090$ м, $m = 1.8$

2.10.13 Требуемый для охлаждения расход воздуха по формуле

$$Q_B = \frac{\kappa_m \cdot \sum P'_B}{1100 \cdot \Delta\theta_B} = \frac{3.8 \cdot 409.4}{1100 \cdot 39.95} = 0.035 \frac{м^3}{с}$$

2.10.14 Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором

$$Q'_B = 0.6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n}{100} = 0.6 \cdot 0.149^3 \cdot \frac{3000}{100} = 0.06 \frac{м^3}{с}$$

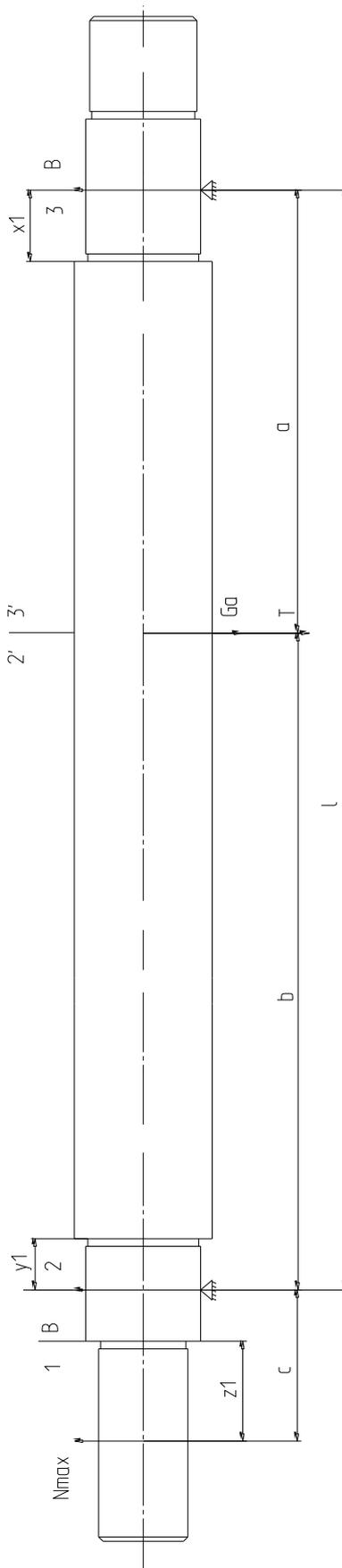
$Q'_B > Q_B$ необходимое условие для охлаждения машин выполнено.

Нагрев частей двигателя находится в допустимых пределах.

Вентилятор обеспечивает необходимый расход воздуха.

3 Механический расчёт

II Схема нагружения вала



см

Типоразмер обозначения	a	b	c	l	x1	y1	z1
AД90	11,4	11,7	4,0	23,0	1,15	1,54	2,5

Рисунок 3.1 Схема нагружения вала

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

$$m_p = 6500 \cdot D_2^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0.11^2 \cdot 0.098 = 11,6 \text{ кг}$$

Сила тяжести ротора

$$G_p = 9.81 \cdot m_p = 9.81 \cdot 11,6 = 114,7 \text{ Н}$$

Определим поперечную силу, приложенную к выступающему концу вала

$$F_n = k_n \cdot \frac{M_n \cdot 2}{D_1} = 0.3 \cdot \frac{20,98 \cdot 2}{0,16} = 78,7 \text{ Н,}$$

где M_n – номинальный вращающий момент;

$$M_n = 9550 \cdot \frac{P_2}{n_n} = 9550 \cdot \frac{3000}{2868} = 22,98 \text{ Нм,}$$

n_n – частота вращения вала ротора $n_n = n \cdot (1 - S) = 3000 \cdot (1 - 0.044) = 2868 \text{ об/мин}$

k_n – коэффициент, при подаче упругой муфтой $k_n = 0,3$

D_1 – диаметр по центрам пальцев муфты $D_1 = 0,16 \text{ м}$

Прогиб вала по середине сердечника под действием силы тяжести

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

$$= \frac{113,5}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,228} \cdot (7,605 \cdot 10^3 \cdot 0,142^2 + 2,649 \cdot 10^6 \cdot 0,142^2) = 1,893 \cdot 10^{-4}$$

где E - модуль упругости E=2,06* 10¹¹ Па,

$$S_A = \sum \frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i} = 1,341 \cdot 10^7 \quad S_B = \sum \frac{y_i^3 - y_{i-1}^3}{J_i} = 7,605 \cdot 10^3$$

Вал разбивают на три участка a, b, c – это расстояния от места приложения силы до ближайшей опоры a=142*10⁻³м, b=142*10⁻³м, c=55*10⁻³ м

Прогиб вала по середине магнитопровода ротора от поперечной силы муфты

$$f_n = \frac{F_n \cdot c}{3 \cdot E \cdot l^2} \left(\frac{3}{2} \cdot l \cdot S_0 - S_B \right) \cdot a + S_A \cdot b =$$

$$= \frac{78,7 \cdot 0,055}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,228^2} \left(\frac{3}{2} \cdot 7,721 \cdot 228 \cdot 10^4 - 7,605 \cdot 10^3 \right) \cdot 142 \cdot 10^{-3} + 1,341 \cdot 10^7 \cdot 142 \cdot 10^{-3} = \text{где}$$

$$= 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$S_0 = \sum \frac{y_i^2 - y_{i-1}^2}{J_i} = 7,721 \cdot 10^4 \frac{1}{\text{м}}$$

l –расстояние между опорами l=228*10⁻³м,

Первоначальное смещение ротора:

$$l_0 = 0,1 \cdot \delta + f_q + f_n = 0,1 \cdot 0,0003 + 1,893 \cdot 10^{-4} + 5,317 \cdot 10^{-4} = 0,021 \text{ м,}$$

Начальная сила одностороннего магнитного притяжения

$$T_0 = 2,94 \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \frac{l_0}{\delta} = 2,94 \cdot 0,11 \cdot 0,127 \cdot \frac{0,021}{0,0002} = 349 \text{ Н,}$$

Прогиб вала от силы T₀

$$f_m = \frac{f_q \cdot T_0}{G_p} = \frac{1,893 \cdot 10^{-4} \cdot 349}{113,5} = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ ,м}$$

Установившийся прогиб вала от одностороннего момента притяжения

$$f_m = \frac{f_m}{1 - m} = \frac{5,8 \cdot 10^{-4}}{1 - 0,028} = 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ ,}$$

где m=f_т/l₀=0,028

Суммарный прогиб по середине магнитопровода ротора

$$F = f_m + f_q + f_n = 5,9 \cdot 10^{-5} + 1,8 \cdot 10^{-5} + 5,3 \cdot 10^{-5} = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Критическая частота вращения

$$n_k = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-m}{f_q}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-0,028}{1,8 \cdot 10^{-5}}} = 2,15 \cdot 10^4 \text{ об/мин}$$

Коэффициент нагрузки $k=2$

Напряжение на свободном конце вала в сечении А:

Изгибающий момент в расчетном сечении

$$M_{uA} = k \cdot F_n \cdot Z = 2 \cdot 78,7 \cdot 0,0020 = 8,6 \text{ Нм}$$

где $Z=0,002$ м - расстояние указано на эскизе вала

Момент сопротивления при изгибе

$$W_A = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,027^3 = 1,96 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

где $d=0,027$ м - диаметр вала в сечении А

Напряжение изгиба

$$\begin{aligned} \sigma_{npA} &= \frac{1}{W_A} \cdot \sqrt{MuA^2 + (\kappa \cdot \alpha \cdot M_n)^2} = \\ &= \frac{1}{1,96 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{8,6^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 20,9)^2} = 1,762 \cdot 10^7 \text{ Па} \end{aligned}$$

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

Напряжение в сечении 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 $Z=0,055$ м - расстояние указано на эскизе вала.

Момент сопротивления при изгибе

$$W_B = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,028^3 = 1,563 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

где $d=0,028$ м - диаметр вала в сечении Б

Напряжение изгиба

$$\begin{aligned} \sigma_{npB} &= \frac{1}{W_B} \cdot \sqrt{MuB^2 + (\kappa \cdot \alpha \cdot M_n)^2} = \\ &= \frac{1}{1,563 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{28,27^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 30)^2} = 3,565 \cdot 10^7 \text{ Па} \end{aligned}$$

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

Напряжение в сечении В:

$$\begin{aligned} M_{uB} &= k \cdot F_n \cdot C \cdot \left(1 - \frac{y}{l}\right) + \left(G_p + T\right) \cdot \frac{a \cdot y}{l} = \\ &= 2 \cdot 257 \cdot 0.055 \cdot \left(1 - \frac{0.008}{0.216}\right) + \left(9,4 + 298,442\right) \cdot \frac{0.108 \cdot 0.008}{0.216} = 28,614 \text{ Нм} \end{aligned}$$

Момент сопротивления при изгибе

$$W_B = 0.1 \cdot d^3 = 0.1 \cdot 0.040^3 = 1,563 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

где $d=0,040$ 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:

$$\begin{aligned} M_{u\Gamma} &= \left(k \cdot F_n \cdot C \cdot \left(1 - \frac{y}{l}\right) + \left(G_p + T\right) \cdot b\right) \cdot \frac{X}{b} = \\ &= \left(2 \cdot 257 \cdot 0.055 \cdot \left(1 - \frac{0.008}{0.216}\right) + \left(9,4 + 298,442\right) \cdot 0,108\right) \cdot \frac{0,008}{0.216} = 4,877 \text{ Нм} \end{aligned}$$

Момент сопротивления при изгибе

$$W_\Gamma = 0.1 \cdot d^3 = 0.1 \cdot 0.025^3 = 1,563 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

где $d=0,025$ 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.

Для подбора подшипников электрической машины, прежде всего, определяем реакции опор. Для двух опорного вала с соединительной муфтой реакции опоры определяются по следующим формулам:

Данные для расчёта: $G_p = 43,487 \text{ Н}$; $T_0 = 297,26 \text{ Н}$; $F_{II} = 59,875 \text{ Н}$;

3.1 Наибольшая радиальная нагрузка для опоры А на подшипник расположенный ближе к выходному концу вала [1, с.404, ф. 9-37]

$$R_a = F_{II} \cdot \frac{c}{l} + G_p + T_0 \cdot \frac{b}{l} = 59,875 \cdot \frac{0,053}{0,215} + 43,487 + 297,26 \cdot \frac{0,108}{0,215} = 184,994 \text{ Н}$$

Принимаем при нагрузке с умеренными толчками ($k_n = 1,5$ - коэффициент учитывающий характер нагрузки двигателя).

3.2 Приведенная динамическая нагрузка [1, с.404, ф.9-35,а]

$$Q_A = k_n \cdot R_a = 1,5 \cdot 184,994 = 277,491 \text{ Н}$$

Принимаем расчётный срок службы подшипников $L_d = 18000$ часов [1, с.405].

3.3 Необходимая динамическая грузоподъёмность шарикоподшипника [1, с.405, ф.9-38]

$$C = \frac{Q_A}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_d \cdot n} = \frac{277,49}{25,6} \cdot \sqrt[3]{18000 \cdot 3000} = 4097 \text{ Н}$$

При диаметре вала 25 мм выбираем по [1, с.482, табл.П-36] шарикоподшипник лёгкой серии 205, $C = 10800$ (Н).

3.4 Наибольшая радиальная нагрузка для опоры В на другой подшипник [1, с.404, ф. 9-37]

$$R_b = F_{II} \cdot \frac{c+l}{l} + G_p + T_0 \cdot \frac{a}{l} = 59,875 \cdot \frac{0,053 + 0,215}{0,215} + 43,487 + 297,26 \cdot \frac{0,108}{0,215} = 244,869 \text{ Н}$$

3.5 Для однорядных радиальных подшипников динамическая приведённая нагрузка на один подшипник [1, с.404, ф.9-35,а]

$$Q_B = k_n \cdot R_B = 1,5 \cdot 244,869 = 367,303 \text{ Н}$$

3.6 Необходимая динамическая грузоподъёмность шарикоподшипника [1, с.405, ф.9-38]

$$C_B = \frac{Q_B}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_d \cdot n} = \frac{367,303}{25,6} \cdot \sqrt[3]{18000 \cdot 3000} = 5423 \text{ Н}$$

При диаметре вала 25 мм выбираем по [1, с.482, табл.П-36] шарикоподшипник лёгкой серии 205, $C=10800$ (Н).

В данном разделе дипломного проекта был произведен механический расчет вала на прогиб и на прочность: вследствие чего были определены величины прогибов на основных участках вала и суммарный прогиб посередине магнитопровода ротора $f = 1,202 \cdot 10^{-5}$ м, критическая частота вращения магнитопровода ротора $n_k = 2,505 \cdot 10^4$ об/мин. Исходя из воспринимаемых валом нагрузок, его размеров, намеченных предварительно, и допустимых напряжений, выбран материал вала Ст.45, который удовлетворяет предъявляемым требованиям, так же выбраны подшипники серии 180205.

4 Технологическая часть

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 дипломной работы входит проектирование технологического процесса сборки статора асинхронного двигателя.

При этом необходимо: оценить технологичность конструкции сборочной единицы, разработать маршрутную технологию, выбрать необходимое оборудование и рассчитать его количество для изготовления 1250 двигателей в год, рассчитать усилие запрессовки статора.

4.1 Постановка задачи

Задачей технологической части дипломной работы является проектирование технологического процесса сборки статора асинхронного двигателя для привода тали. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- провести оценку технологичности статора;
- рассчитать усилие запрессовки сердечника с катушкой в станину и выбрать тип прессы;
- составить схему сборки и определить нормы времени;
- составить маршрутную технологию сборки статора.
- выбрать оборудование для сборки и механической обработки статора;
- определить возможность производства;
- построить график загрузки оборудования;
- разработать маршрутную технологию;
- сборочный чертеж статора АД со спецификацией.

Исходные данные для проектирования технологического процесса:

- рабочий чертеж статора;
- годовой объём выпуска деталей: $N=1250$ шт/год.
- Сборочная единица: статор.

4.2 Описание сборочной единицы

Конструкция статора зависит от степени защиты и высоты оси вращения ЭМ. Для АД закрытого исполнения (IP44) применяют литые чугунные станины, выполненные в виде сравнительно тонкостенной трубы с отлитыми заодно лапами и высокой степенью оребрения.

Станина отливается из чугуна. Этот материал легко поддается механической обработке. Требования по твердости установлены по ГОСТ 1412-85.

Основными параметрами статора, влияющими на качество машины являются размер и форма отверстия D под сердечник статора, смещение ΔC оси расточки относительно осей отверстий в лапах, отклонение высоты оси расточки относительно опорной плоскости лап (размер h), размер D1 замков (выточек для посадки подшипниковых щитов) и смещение их оси относительно отверстия сердечника статора, определяемое относительным расположением поверхностей Б и В.

Размер и форма отверстия D оказывают влияние на плотность посадки сердечника статора, отвод теплоты от него, а так же на деформацию сердечника по внутреннему диаметру и как следствие на один из важнейших параметров машины – равномерность воздушного зазора.

Установочные размеры C и h статора определяют пространственное положение оси отверстия относительно опорной плоскости лап и установочных отверстий.

Технические требования предъявляемые к станинам:

1. Точность обработки замковых поверхностей по 7-8 качеству;
2. Точность поверхности под статор по 7-8 качеству;
3. Допуск не цилиндричности поверхности под статор не более 0,18 мм;
4. Торцевое биение замковых поверхностей не более 0,02 мм.

Конструкторской и измерительной базами, служит поверхность под запрессовку статора.

4.3 Анализ исходных данных

Анализ исходных данных для проектирования технологического процесса сборки статора.

Сборка сердечника и корпуса выполняется посадкой с натягом. Для осуществления посадки, корпус нагревают индукционным методом или в печах. Ввиду этого необходимо использовать электропечь. Неподвижное соединение наиболее характерно для данного электродвигателя. Неподвижные соединения обеспечивают неизменное положение собранных деталей. Неподвижные неразбираемые соединения выполняют сваркой, клепкой, пайкой, а также посадкой с натягом, неподвижные разбираемые соединения посадками с зазором, при этом неподвижность собираемых деталей обеспечивается шпонками, штифтами. Особые требования предъявляются к разбираемым соединениям: Разбираемые соединения должны быть точны, прочны, допускать многократную сборку и разборку и иметь хороший внешний вид, без вмятин и забоин. Технологический процесс сборки представляет собой часть производственного процесса, непосредственно связанного с последовательным соединением, взаимной ориентировкой и фиксацией деталей и узлов, для получения готового изделия удовлетворяющего установленным требованиям. Так как в процессе изготовления статора в сборе необходимо обрабатывать опорные поверхности, замковые поверхности, внутреннюю поверхность станины то необходимы токарный и фрезерный станок. Для запрессовки статора в станину необходим гидропресс. Также необходимо предусмотреть ряд вспомогательных инструментов (оправки, захваты, керн, молотки)

4.4 Анализ технологичности статора

Технологичность конструкции изделия представляет собой совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных показателей качества, объёма выпуска и условий выполнения работ. Статор состоит из станины и сердечника статора.

Конструкция заготовки станины отвечает основным техническим требованиям, предъявляемым к корпусным деталям:

- заготовка имеет определённые углы конусности, для обеспечения разъёма литейных форм, без резких углов и поворотов;
- заготовка имеет простое внешнее очертание, плавные переходы от одних поверхностей к другим, а так же минимальное число внутренних полостей;
- конструкция заготовки обеспечивает направленное затвердевание металла и достаточную сопротивляемость усадочным и термическим напряжениям;
- форма отливки позволяет уменьшить механическую обработку до минимума;
- конструкция обеспечивает технологичность моделей, а также возможность применения простой и унифицированной оснастки;

По сложности конфигурации отливки станины относятся к 3-ей группе сложности - преимущество отливки коробчатой или цилиндрической формы ответственного назначения. По назначению отливки, станины, относятся ко второй группе отливки - деталей, испытываемых на прочность, работающих при статических нагрузках, а также в условиях трения скольжения.

Для получения заготовки принимается способ литья в кокиль. Этот способ литья деталей из чугуна, стали и цветных сплавов. Отливки имеют мелкозернистую структуру, повышенные механические характеристики, минимальные припуски на механическую обработку.

Преимуществами этого способа литья по сравнению с литьём в песчаные формы являются повышенные (на 10-20%) механические свойства сплавов, более низкая (на 15-20%) себестоимость процесса, меньшая (в 1,5-2 раза) трудоёмкость

механической обработки отливок, а также более высокая производительность труда.

Недостаток - высокая трудоёмкость изготовления металлических форм и обработки корпуса станины резанием.

Конструктивное исполнение статора отвечает следующим технологическим требованиям:

- конструкция статора обеспечивает свободный доступ сборочных инструментов к соответствующим местам соединения деталей;

- в конструкции сборочной единицы исключена необходимость проведения промежуточной разборки и повторной сборки его составных частей;

- конструкция статора позволяет выполнить общую сборку по методу полной взаимозаменяемости;

в конструкции статора есть базовая деталь (станина), являющаяся основой для установки остальных составных частей. Для обеспечения устойчивости и необходимой точности установки станина наибольшая по габаритам деталь, не деформирующаяся под действием сборочных усилий, имеет развитые базовые опорные поверхности и позволяет проводить сборку в основном без изменения её положения;

- удобство монтажа и демонтажа.

4.6 Расчёт усилия запрессовки сердечника статора

Сердечники статора запрессовывают в корпус на гидравлических прессах. На рисунке 4.1 показана типовая схема запрессовки, которая используется практически на всех заводах.

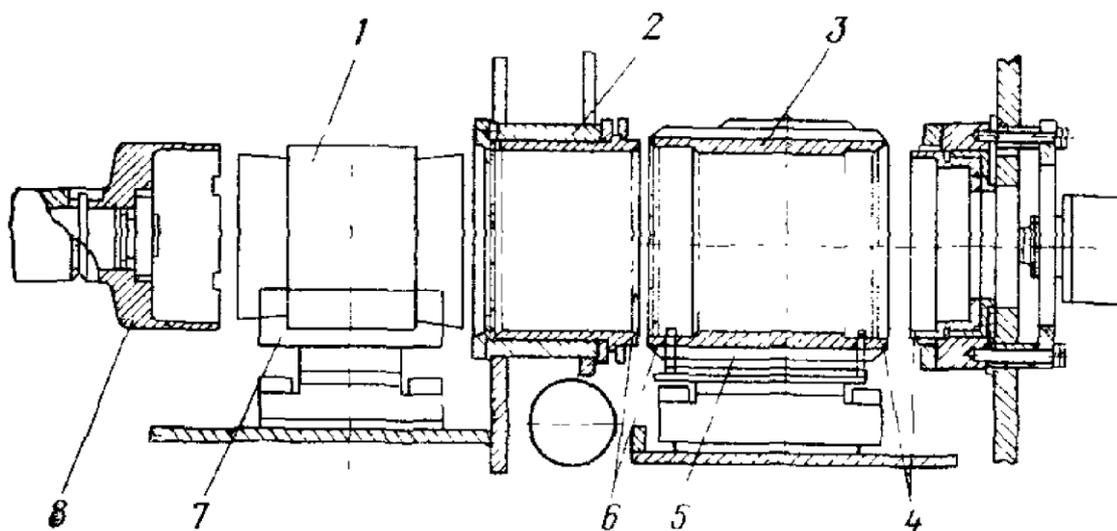


Рисунок 4.1 - Схема запрессовки сердечника статора в корпус.

Сердечник статора 1 и корпус 3 устанавливают на стол подачи, сердечник - в призму 7, ориентируя по выводным концам, а корпус - на спутник 5. После включения пресса стол подачи перемещается на позицию прессования, где корпус центрируется по замкам 4 и 6 и зажимается. Затем прессующая головка 8 перемещает сердечник по призме и через направляющую головку 2 запрессовывает его в корпус. Как только сердечник входит во втулку, стол подачи возвращается в исходное положение. По окончании прессования статор освобождается и сталкивается с центрирующего кольца. При переналадке пресса на другую длину изделий необходимо сменить дистанционные и центрирующие кольца. Для лучшей запрессовки на корпусе должны быть предусмотрены заходные фаски.

Наиболее часто неподвижные соединения при сборке образуются путём запрессовки соединяемых деталей.

Рассчитаем усилие запрессовки сердечника с катушками в станину

Исходные данные:

- наружный диаметр сердечника с катушками $D=149_{-0,1}$ мм;
- номинальный диаметр соединения $d=149$ мм;
- диаметр отверстия в станине $\varnothing 149^{+0,002}$ мм;
- осевая длина сердечника с катушками $L=110$ мм.

Сборку подобных соединений (с натягом) осуществляют под действием осевой силы, создаваемой прессом (продольнопрессовое соединение)

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

$$P = f_3 \pi d L p = 0,14 \cdot \pi \cdot 149 \cdot 110 \cdot 4,568 = 70256 \text{ Н} = 70,2 \text{ кН},$$

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

$$p = \frac{1}{d} \cdot \frac{\delta_p \cdot 10^{-3}}{\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}} = \frac{1}{149} \cdot \frac{18,08 \cdot 10^{-3}}{\frac{0,72}{20,6 \cdot 10^4} + \frac{2,318}{20,6 \cdot 10^4}} = 4,568 \text{ – давление на поверхности}$$

контакта, МПа

$$\delta_p = \delta_{\max} - 1,2 R_{a1} + R_{a2} = 20 - 1,2 \cdot 0,8 + 0,8 = 18,08 \text{ – расчётный натяг}$$

в соединении, мкм;

$$\delta_{\max} = e_{sB} - EI_0 = 20 - 0 = 20 \text{ – максимальный натяг в соединении, мкм;}$$

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

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

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

2.67];

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

$$C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_2 = \frac{199^2 + 149^2}{199^2 - 149^2} + 0,28 = 2,318 \text{ – расчётный коэффициент для}$$

сердечника с катушками;

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

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

Осевая сила, которую должен развивать пресс, равна 70,2 кН. Выбираем гидравлический одностоечный пресс типа П7320 [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 сердечника с катушками 149 мм, а суммарная длина станины и сердечника с катушками не более 270 мм, данный пресс можно применять для сборки статора.

4.7 Составление схемы сборки и маршрутной технологии

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

1. Сборочная единица не должна быть слишком большой по габаритным размерам и массе или состоять из большого количества деталей и сопряжений. В то же время излишнее "дробление" машины на сборочные единицы не рационально, т.к. это усложняет процесс комплектования при сборке, создает дополнительные трудности в организации сборочных работ.
2. Если в процессе сборки требуется проведение испытаний, обкатка, специальная слесарная пригонка узла машины, то он должен быть выделен в особую сборочную единицу
3. Сборочная единица при монтаже ее в машине не должна подвергаться какой-либо разборке, а если этого избежать нельзя, то соответствующие разборочные работы необходимо предусмотреть в технологии.
4. Большинство деталей машины, исключая ее базовые детали (станину, раму, и пр.), а также детали крепления резьбовых соединений, должны войти в те или иные сборочные единицы, чтобы сократить количество отдельных деталей, подаваемых на общую сборку.
5. Трудоемкость сборки должна быть примерно одинакова для большинства сборочных единиц составных частей машины.

Схема сборки, являясь первым этапом разработки технологического процесса, в наглядной форме отражает маршрут сборки изделия и его составных частей.

Технологическую схему сборки составляют на основе сборочных чертежей изделия.

Схема сборки позволяет отразить маршрут сборки изделия, выделить составные части изделия, которые можно собрать отдельно (организовать

параллельную сборку составных частей); оценить предварительно трудоемкость сборки отдельных составных частей; иногда выявить конструктивные неувязки; выявить и сравнить варианты технологического процесса. На базе схемы сборки разрабатывается маршрутная технология, устанавливающая последовательность и содержание операций.

Основной задачей на данном этапе является составление технологического маршрута, т.е. перечень, указывающих последовательность операций и их выполнение. Технологический маршрут фиксируется на маршрутных картах, форма и содержание которых определена ГОСТ 3.1118-82.

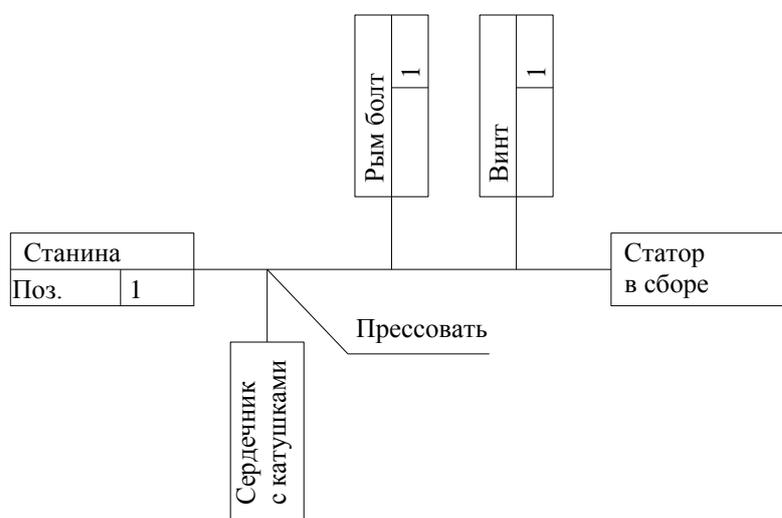


Рисунок 4.1 Схема сборки

4.8 Выбор технологического оборудования и оснастки

По данной схеме обработки, которая была выбрана ранее (токарным вариантом), обработки станины на универсальном оборудовании требуются револьверные или карусельные станки. Дальнейшая обработка станин заключается в фрезеровании лап на вертикально или продольно- фрезерном станках. Потом сверление отверстий и нарезание в них резьбы на радиально-сверлильных станках (согласно указаниям [8]). Поэтому при изготовлении статора необходимо следующее оборудование:

1. Токарно-винторезный станок 165:

- наибольший диаметр обрабатываемой заготовки:
над станиной 200мм;
над суппортом 115мм.
- наибольшая длина обрабатываемой заготовки 350мм;
- частота вращения шпинделя 320-3000 об/мин;
- подача суппорта: продольная 0,01-
0,175мм/мин; поперечная 0,005-
0,09мм/мин;
- мощность эл. двигателя главного привода 1,1кВт;
- длина 1310мм;
- ширина 690мм;
- высота 1360мм.

По аналогии выбираем и другие станки.

2. Резьбонарезной станок 5991;

3. Продольно фрезерный 6605;

4. Вертикально-сверлильный станок 2М55;

5. Пресс гидравлический (выбран ранее) П7320.

4.9 Расчет норм времени

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

Техническое нормирование операций

Прежде чем перейти к техническому нормированию операций составим маршрутную карту по операциям.

Для неавтоматизированного производства штучное время равно:

$$T_{шт} = T_0 + T_B + T_{об} + T_{п},$$

где $T_{шт}$ – штучное время, отношение времени выполнения технологической операции к числу изделий, мин.;

T_0 – основное время учитывает изменение состояния продукта в процессе обработки, мин.;

T_B – вспомогательное время, учитывает действия, которые сопровождают и обеспечивают выполнение основной работы, мин.

$$T_{оп} = T_0 + T_B;$$

где $T_{оп}$ – оперативное время, мин.

$T_{об}$ – время организационного обслуживания рабочего места, мин. Составляет определенный процент от $T_{оп}$, в зависимости от операций.

$T_{п}$ – время перерывов в работе на отдых и личные надобности, мин. Составляет также определенный процент от $T_{оп}$, в зависимости от операций.

При обработке изделий партиями в серийном производстве определяют штучно – калькуляционное время $T_{шт.к}$, мин.

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{N \cdot k},$$

где $T_{п.з}$ – подготовительно – заключительное время, затрачиваемое работником на ознакомление с чертежом, подготовку и наладку оборудования, мин. Составляет определенный процент от $T_{оп}$, в зависимости от операции.

где N – программа выпуска 1250шт/год;

k –1,03 – коэффициент учитывающий брак.

Нормы времени приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Техническое нормирование операций

Переход	T ₀ , мин	T _в , мин	T _{оп} , мин	T _{об} , мин	T _{пз} , мин	T _{шт} , мин	T _{шт.к} , мин
005 комплектующая	1,5	0,5	2	0,1	12	2,1	2,102
010 термическая	6,48	1,072	7,552	0,491	28	8,043	8,049
015 прессовка статора	1,2	0,581	2,362	0,166	35	2,528	2,535
020 сверлильная	7,758	2,492	10,25	0,615	13	10,865	10,868
025 токарная	5,68	0,737	6,417	0,417	31	6,834	6,84
030 фрезерная	0,34	0,13	0,47	0,024	10	0,494	0,496
035 сборочная	1,117	0,32	1,437	0,072	10	1,509	1,511
040 контрольная	1,1	0,31	1,41	0,069	10	1,465	1,478

Определение потребного количества оборудования

Для определения потребного количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий(1250шт/год), суммарные нормы времени по каждому виду оборудования и эффективный годовой фонд производственного времени оборудования, который при сорокачасовой неделе можно рассчитать по формуле:

$$F_{\phi} = (365 - B_{\phi} - \Pi_{\phi}) \cdot 8 - \Pi_{\phi} \cdot K$$

$$F_{\phi} = (365 - 105 - 12) \cdot 8 - 3 \cdot 0,94 = 1862 \text{ час.}$$

где B_д = 105 – количество выходных дней в году;

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

$P_{пд} = 3$ – количество предпраздничных дней в году;

$K = 0,94$ – коэффициент, учитывающий время пребывания станка в

ремонте.

Расчетное число каждого из видов оборудования

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_0}$$

где $N = 1250$ шт/год – годовая программа выпуска;

$T_{шт.к}$ – сумма $T_{шт.к}$ для единицы оборудования.

Коэффициент загрузки оборудования

$$K_z = \frac{C_p}{C_{п}} \cdot 100\%$$

где $C_{п}$ – принятое число оборудования, получается округлением расчетного в большую сторону.

Данные расчета коэффициента загрузки каждого вида оборудования представлены в таблице 4.2,

Таблица 4.2 Данные расчета коэффициента загрузки

Наименование оборудования	C_p	$C_{п}$	$K_z, \%$
Токарно-винторезный станок мод. 165	0,86	2	86
Продольно-фрезерный станок мод. 6605	0,78	1	78
Радиально-сверлильный станок мод. 2М55	0,36	3	36
Печь	0,81	2	81
Пресс	0,94	1	94

На рисунке 4.3 по данным таблицы 4.2 построена диаграмма, показывающая коэффициенты загрузки для различных типов оборудования.

График загрузки оборудования

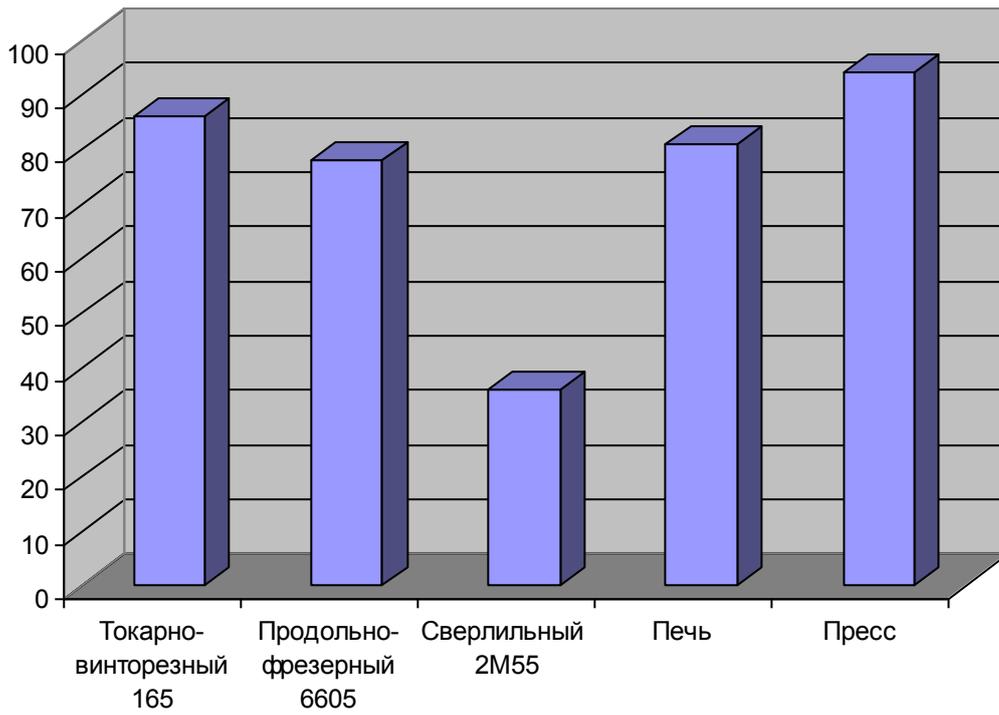


Рисунок 4.3

Заключение

При выполнении первого раздела работы, во-первых, изучили конструкцию машины и ее составных частей, основное назначение составных частей машины, технические требования к сборке машины и ее узлов по данным чертежей и технических условий или стандартов, требования к испытаниям и приемке составных частей машины и машины в целом.

Во-вторых, оценили технологичность конструкции статора электрической машины - как сборочной единицы.

В-третьих, зная исходные данные, выбрали организационную форму сборочного процесса.

При выполнении второго раздела работы провели изыскание наиболее рационального метода достижения требуемой точности машины, изучили взаимосвязи ее сборочных единиц, разработали последовательности их комплектации.

После изучения сборочных чертежей и точностного анализа конструкции разбили изделие на сборочные единицы - составные части. Это основная работа при проектировании технологического процесса сборки.

В четвёртом разделе, на основе составленного маршрутного технологической процесса сборки подобрали для каждой операции оборудование и оснащение и подъемно-транспортные средства, обеспечивающие функционирование процесса сборки и обосновали сделанный выбор, руководствуясь содержанием операций, особенностями конструкции изделия, объемом производства и справочными данными.

Провели нормирование сборочных работ.

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.

Данные электродвигатели состоят из собственно двигателя и электромагнитного тормозного устройства, смонтированного на подшипниковом щите и валу двигателя и размещенного под защитным кожухом. Тормозное устройство состоит из электромагнита, тормозного диска, пружин и системы настройки тормозного момента. При включении двигателя на номинальное напряжение одновременно через диодный мостик включается электромагнит тормоза и двигатель растормаживается. Время замедления срабатывания тормоза при номинальном напряжении: при включении двигателя не более 0,04 сек, при отключении двигателя не более 0,2 сек. Область применения: подъемники, механизмы поворота и др.

Основные технические характеристики двигателя:

- номинальная мощность нагрузки – 3 кВт;
- номинальное напряжение – 220 В;
- частота вращения – 3000 об/мин

5.1 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 Определение объема работ	Руководитель	15	1
		Инженер	10	1
2	Подбор литературы	Руководитель	15	1
3	Подготовка оборудования	Руководитель	15	1
		Инженер	10	1
4	Сбор исходных данных на предприятии	Инженер	10	10
5	Обзор теории	Руководитель	15	1
		Инженер	10	1
6	Электромагнитный расчет	Инженер	10	8
7	Расчет технологической части	Руководитель	15	2
		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	Руководитель	15	3
		Инженер	10	3
12	Сдача проекта	Руководитель	15	1
		Инженер	10	1

Руководитель - 11 дней.

Инженер - 33 дней.

5.1.1 Смета затрат на подготовку проекта

Суммарные издержки на проектирование определяем по выражению:

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

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

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

И_{мат} - материальные издержки;

И_{ам} - амортизационные издержки;

И_{пр} - прочие издержки;

И_{накл} - 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	11	17452,6
Инженер 10р	3,62	15	15	1,3	20732	987,3	33	32580,9
Итого					54054	2573,9	33	50033,5

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

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 (3 дня).

Зарплата

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + D) \cdot k_2}{21} \cdot X = \frac{(23300 \cdot 1,1 + 2200) \cdot 1,3}{21} \cdot 11 = 17452,6 \text{ руб.}$$

Расчет для инженера 10 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{(14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3)}{21} \cdot 33 = 32580,9 \text{ руб.}$$

Тогда

$$I_{з.пл. \Sigma} = \sum I_{з.пл.} = 17452,6 + 32580,9 = 50033,5 \text{ руб.}$$

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.

$$I_{соц} = 0,3 \cdot I_{з.пл. \Sigma} = 0,3 \cdot 50033,5 = 15010 \text{ (руб)}$$

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).

$$I_{мат} = 950 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

первоначальная стоимость ПК;

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

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.

$$\begin{aligned} I_{пр} &= 0,1 \cdot (I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам}) = \\ &= 0,1 \cdot (50033,5 + 15010 + 950 + 294,9) = 6,629 \text{ руб.} \end{aligned}$$

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.

$$I_{накл} = 2 \cdot I_{з.пл. \Sigma} = 2 \cdot 50033,5 = 100067 \text{ руб.}$$

5.1.7 Себестоимость проекта

$$\begin{aligned} \sum I_{проекта} &= I_{з.пл.} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам} + I_{пр} + I_{накл} \\ &= 50033,5 + 15010 + 950 + 294,9 + 6629 + 100067 = 172938,8 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 5.3. Таблица

5.3 – Смета затрат на подготовку проекта

№ п/п	Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
1	Заработная плата	$I_{з.пл.}\Sigma$	50033,5
2	Социальные отчисления	$I_{соц}$	15010
3	Материальные затраты	$I_{мат}$	950
4	Амортизационные отчисления	$I_{ам}$	294,9
5	Прочие издержки	$I_{пр}$	6629
6	Накладные расходы	$I_{накл}$	100067
7	Себестоимость проекта	$\Sigma I_{проекта}$	172983,8

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 5.4).

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

$$M_{осн} = P \cdot Ц_m$$

Где $Ц_m$ - 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 76-180205	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:

$$\mathcal{E} = \frac{\sum N \cdot t_{\text{ум}} \cdot k_3 \cdot k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{зд}} \cdot k_{\text{нс}} \cdot C_{\mathcal{E}}}{k_{\text{нд}}}, \text{ руб / шт}$$

n

где N – установленная мощность электродвигателей, кВт;

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

K_{op} - коэффициент, учитывающий одновременность работы электродвигателей; 0,8

K_{zd} - средний коэффициент загрузки электродвигателей во времени; 0,85

$K_{ис}$ - коэффициент отражающий потери электроэнергии в сети; 1,05

$C_{э}$ - цена 1кВт часа электроэнергии; 4,2руб.

$KПД$ - 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 6.5–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 двигателя ОАО «ТЭМЗ» 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 ОАО «ТЭМЗ» 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.

ОАО «ТЭМЗ» является действующим предприятием и использует свои существующие ресурсы для производства энергоэффективного АД КЗ ротором и частотно-регулируемый двигателей, поэтому нет необходимости в приобретении основных средств.

Результаты анализа сведем в таблицу 5.8

Таблица 5.6– Оценка факторов конкурентоспособности изделия

Факторы конкурентоспособности изделия	Российские предприятия		Зарубежные предприятия	
	ОАО «ТЭМЗ»	ОАО «Элдин»,	«Белробот»,	«Сименс»,
Изделие	АД КЗ ротором для привода тали			
1.Качество	4	4	4	4
2.Технико-экономические показатели	4	4	3	4
3.Престиж торговой марки	4	5	4	4
4. Упаковка	5	4	4	3
5.Уровень послепродажного обслуживания	5	5	5	3
6.Гарантия	2 года (5)	2 года (5)	1 года (4)	1 года(4)
7.Уникальность	(4) Пристроенный тормоз	(4) Встроенный тормоз	(4) Пристроенный тормоз	(4) Пристроенный тормоз с ручным растормаживанием
8.Надежность	5	5	4	4
9.Защищенность патента	5	5	5	5
Цена				
1.Продажная	4	4	5	5

Продолжение таблицы 5.6

2.Процент скидки	(5) До 10%	(4) До 8%	(3) До 6%	(4) До 8%
3.Сроки платежа	(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 оптовые посредники	4	4	3	4
2.Система транспортировки	(5) Авто-, ж/д., авиа			
Продвижение изделия на рынках				
1.Реклама:				
1.1. для потребителей	5	5	3	4
1.2. для торговых посредников	5	4	4	4
2.Индивидуальная продажа:	4	4	3	3
2.1. способы стимулирования потребителей				
2.2. показ образцов товаров	5	4	4	4
3.Телевизионный маркетинг	4	3	4	4

Продолжение таблицы 5.6

4. Продажа товаров через 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.

6 Специальная часть

Электромагнитное тормозное устройство состоит из двух основных частей – электромеханический фрикционный дисковый тормоз (ЭФТ) и системы управления электромагнитным приводом (СУ). ЭФТ служит для создания тормозного момента на приводном валу и содержит нормально замкнутый фрикционный тормозной узел и электромагнитный привод в виде растормаживающего электромагнита постоянного тока, предназначенного для размыкания этого тормозного узла.

Особенностью электромагнитного привода тормозного устройства является изменение магнитной проводимости основному потоку в момент подключения к сети и после притяжения якоря к сердечнику из-за наличия начального рабочего воздушного зазора, проводимость которого во много раз ниже проводимости стальных участков магнитной системы. Поэтому для поддержания величины магнитного потока, создающего силу электромагнитного притяжения выше или равной противодействующему усилию якоря, необходима величина МДС срабатывания также многократно больше таковой величины, достаточной для удержания якоря в притяннутом положении в номинальном режиме. В электромагнитах, предусматривающих специальную схему форсировки, на интервале срабатывания подводится мощность в несколько раз больше той, которая потребляется в номинальном режиме. Это позволяет уменьшить среднюю мощность за весь рабочий цикл, а значит уменьшить габариты, массу, повысить быстродействие за счет уменьшения постоянной времени обмотки.

Перспективными направлениями при разработке конструкций серийных тормозных АД является использование электромагнитного привода тормозного узла постоянного тока с СУ, в которой реализуется фазовое управление напряжением питания электромагнитом тормоза, т.е. задание параметров быстродействия осуществляется путем формирования оптимального изменения питающего напряжения. Данный способ форсировки реализуется при питании электромагнитного привода через СУ с управляемым тиристорным преобразователем напряжения. Среднее напряжение, питающее электромагнит,

регулируется за счет изменения угла управления тиристора: при малых углах осуществляется форсировка, при больших углах – питание катушки в номинальном режиме при притянута якоря. В связи с бурным развитием микропроцессорной техники перспективной является разработка СУ, в которой силовая часть схемы будет управляться программируемым микроконтроллером. Данные разработки обеспечат достижение любого заданного коэффициента форсировки, надежную работу полупроводниковых элементов, а значит, и надежность всего электромагнитного привода.

В настоящей выпускной квалификационной работе необходимо спроектировать асинхронный двигатель механизма перемещения тали.

При проектировании самотормозящихся электродвигателей и электродвигателей со встраиваемыми тормозами необходимо учитывать многообразные требования.

1. Электродвигатели, снабженные тормозным устройством, должны быть максимально унифицированы с электродвигателями общего исполнения и иметь минимальные габариты и вес.
2. Энергетические показатели СЭД должны быть близкими энергетическим показателям обычных электродвигателей.
3. Должна обеспечиваться высокая надежность и долговечность тормозного устройства и самого электродвигателя.
4. Маховый момент тормозной системы должен быть минимальным.
5. Необходимо, чтобы тормозное устройство обеспечивало плавность торможения, безударное срабатывание при высоком тормозном моменте, а также быстрое замыкание и размыкание тормозных поверхностей.
6. Электродвигатель должен иметь достаточный тормозной момент для заданных условий работы.
7. Конструкция тормозного устройства должна отличаться простотой и малой стоимостью изготовления, а также обеспечивать удобство осмотра.
8. Электродвигатель с тормозом должен допускать большую частоту включения

ний и надежно срабатывать при снятии напряжения сети.

9. Тормозная система должна обеспечивать работу электродвигателя в любом положении.

10. Износ трущихся элементов должен быть минимальным.

11. Должны быть предусмотрены регулировка величины тормозного момента и автоматическая компенсация износа тормозных накладок.

6 Конструкции электродвигателей

6.1 Самотормозящиеся электродвигатели

В отличие от электродвигателей со встраиваемыми и пристраиваемыми электромагнитами, у которых для управления тормозным устройством выполняется специальная обмотка, в самотормозящихся электродвигателях (СЭД) управление тормозом осуществляется с помощью магнитного потока самого электродвигателя, т.е. в СЭД магнитное поле статора используется как для создания растормаживающего усилия на тормозе, так и для создания вращающего момента на роторе.

В настоящее время из литературы известно большое число конструктивных исполнений самотормозящихся электродвигателей. Анализ известных конструкций СЭД позволил систематизировать их и установить возможные источники возникновения растормаживающих усилий в этих электродвигателях.

Конструкции электродвигателей имеют в сумме следующие существенные недостатки:

- 1) часть магнитного потока статора расходуется на создание растормаживающего усилия, что приводит к увеличению габаритов электродвигателя;
- 2) вспомогательный ротор работает в режиме короткого замыкания, поэтому такие СЭД имеют низкие энергетические показатели и увеличенный перегрев обмотки.
- 3) СЭД имеет увеличенную длину статора, а также имеется сложность обеспечения механической связи вспомогательного ротора с тормозным диском.
- 4) увеличенный расход активных и конструктивных материалов на 1 кВт по

лезной мощности.

5) наличие массивного магнитопроводящего якоря приводит к увеличению реактивного сопротивления и соответственно к уменьшению пускового момента и энергетических показателей.

СЭД с конусным ротором благодаря компактности и простоте конструкции в настоящее время успешно используются для различных целей. Однако повсеместного внедрения во многих отраслях промышленности, где используются электрические машины, они не получили из-за своих недостатков.

1) электродвигатели непригодны для установки в любом положении, так как расположение электродвигателя валом вверх или вниз требует замены тормозной пружины.

2) осевое перемещение вала на некоторых типах составляет 3-4 мм, что не позволяет обеспечить жесткое соединение таких электродвигателей с приводом.

3) каждый лист статора и ротора имеет свои размеры, поэтому для их изготовления необходимо иметь довольно сложное оборудование.

4) потери на 10 - 18% больше потерь в двигателях с цилиндрическим ротором.

5) с увеличением числа пар полюсов у электродвигателей с конусным ротором по сравнению с обычными наблюдается значительное снижение коэффициента мощности.

6) отсутствует возможность регулировать величину тормозного момента.

В силу присущих самотормозящим АД вышеперечисленных недостатков, наибольшее применение нашли пристроенные и встроенные тормозные устройства.

Схема конструкции самотормозящегося асинхронного двигателя с коническим смещающимся ротором показана на рис. 6.1.

Пакет статора 1 набирается из листов электротехнической стали и крепится в корпусе (станине) 2 двигателя, как у обычного асинхронного двигателя. Однако в

отличие от последнего внутренняя поверхность пакета самотормозящегося двигателя имеет коническую форму.

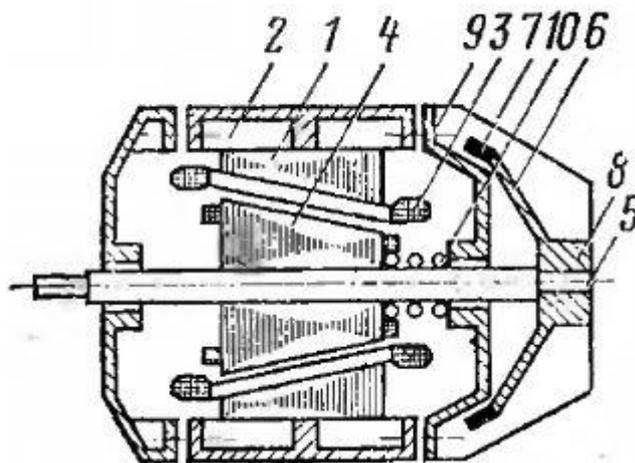


Рисунок 6.1 Двигатель с коническим ротором.

6.2 Электродвигатели с электромагнитными тормозами

Тормоз, комплекс устройств для снижения скорости движения или для осуществления полной остановки машины или механизма, а в подъемно транспортных механизмах также для удержания груза в подвешенном состоянии

Для управления тормозом служит привод, который может быть механическим, гидравлическим, пневматическим, вакуумным, электромагнитным, электрогидравлическим, электромеханическим, и т.п. При механическом управлении тормозное усилие передается от рычага к рабочим элементам тормоза через систему тяг, рычагов, шарниров. При значительном удалении тормоза от места управления механический привод становится громоздким. Более совершенны гидравлическая система управления тормозом и пневматическая система. Пневматические и электропневматические системы привода тормоза, в которых основными силовыми органами являются тормозные силовые цилиндры, связанные воздушной магистралью с компрессором через кран машиниста, а системой рычагов с фрикционными колодками, применяются на железнодорожном подвижном составе.

При ЭП тормоза используют электрогидравлические или электромеханические толкатели, которые представляют собой устройства, состоящие из преобразователя энергии с самостоятельным двигателем и собственно толкателя со штоком, движущимся поступательно и соединенным с рычажной системой тормоза. Толкатели тормоза нечувствительны к перегрузкам, дают возможность работать с большой частотой включений, благодаря чему их можно использовать в системах регулирования скорости движения рабочих органов машины.

Но в большинстве ЭП применение находят тормозы с приводом от электромагнитов, называемые электромагнитные. Эти тормозы подразделяются по роду тока - на постоянного и переменного тока: по длине хода якоря - на длинноходовые и короткоходовые; по режиму работы - продолжительностью включения 15,25,40 и 60% от времени цикла работы. Короткоходовой тормоз имеет ход якоря электромагнита, близкий или равный перемещению фрикционных элементов, а ход якоря электромагнита длинноходового электромагнита в несколько раз превышает это перемещение. За счет этого в соответствии с правилами механики требуемое усилие электромагнита длинноходового тормоза может быть во столько же раз меньше.

В дисковых тормозах момент трения создается в результате прижатия дисков, вращающихся вместе с валом механизма, к закрепленным дискам, подшипниковым щитам. Дисковыми тормозами можно получать высокие значения момента торможения, возрастающие с увеличением числа дисков. Момент торможения обеспечивается пружиной, которая осуществляет прижатие подвижного диска к неподвижному элементу. Кроме того, эти тормоза отличаются компактностью, возможностью относительно легкой защиты их от окружающей среды (вплоть до герметизации). Растормаживание осуществляется, как и в обычных тормозах, при подаче напряжения на двигатель, и обмотку электромагнита

Недостатки - плохой отвод тепла от поверхности трения, особенно в многодисковых тормозах.

В качестве способа торможения асинхронного двигателя выбираем дисковую пристроенную тормозную систему, т.к. эта система наиболее проста и унифицирована: не требует специального проектирования двигателя, как самотрозящие двигатели (двигатель рассчитывается как обычный двигатель серии 4А или АИ по методике [1]), дисковый тормоз является наиболее простым и долговечным.

Подробно рассмотрим конструкцию и принцип действия данного тормоза.

Основными конструктивными элементами тормоза представленного на рисунке 6.2 а) является: короткоходовой электромагнит с ходом якоря 0.55 - 0.65 мм и тормозной диск с фрикционными накладками. При малом ходе якоря преимущественно применяется прямоходовые магнитные системы броневого типа.

В сердечник поз.4 запрессованы штифты поз. 12, которые одновременно являются направляющими при поступательном перемещении якоря поз.6. Винтовые цилиндрические тормозные пружины поз. 16 равномерно расположенные по окружности сердечника весьма облегчают регулировку положения якоря и оказывают мощное механическое тормозное усилие на якорь при обесточенном электромагните. Внутри сердечника уложена обмотка электромагнита поз.5, постоянного напряжения.

Тормозной диск поз.7 отливается из сплава алюминия на чугунную втулку поз.3 и представляет с ним единую конструкцию. Диск свободно перемещается на валу на фиксированную величину, ограниченную стопором. По окружности диска с внешней и внутренней стороны крепится фрикционный материал с коэффициентом трения $K = 0.7 - 0.8$. Винтовая цилиндрическая пружина поз.9 оказывает небольшое усилие достаточное для перемещения диска при растормаживании.

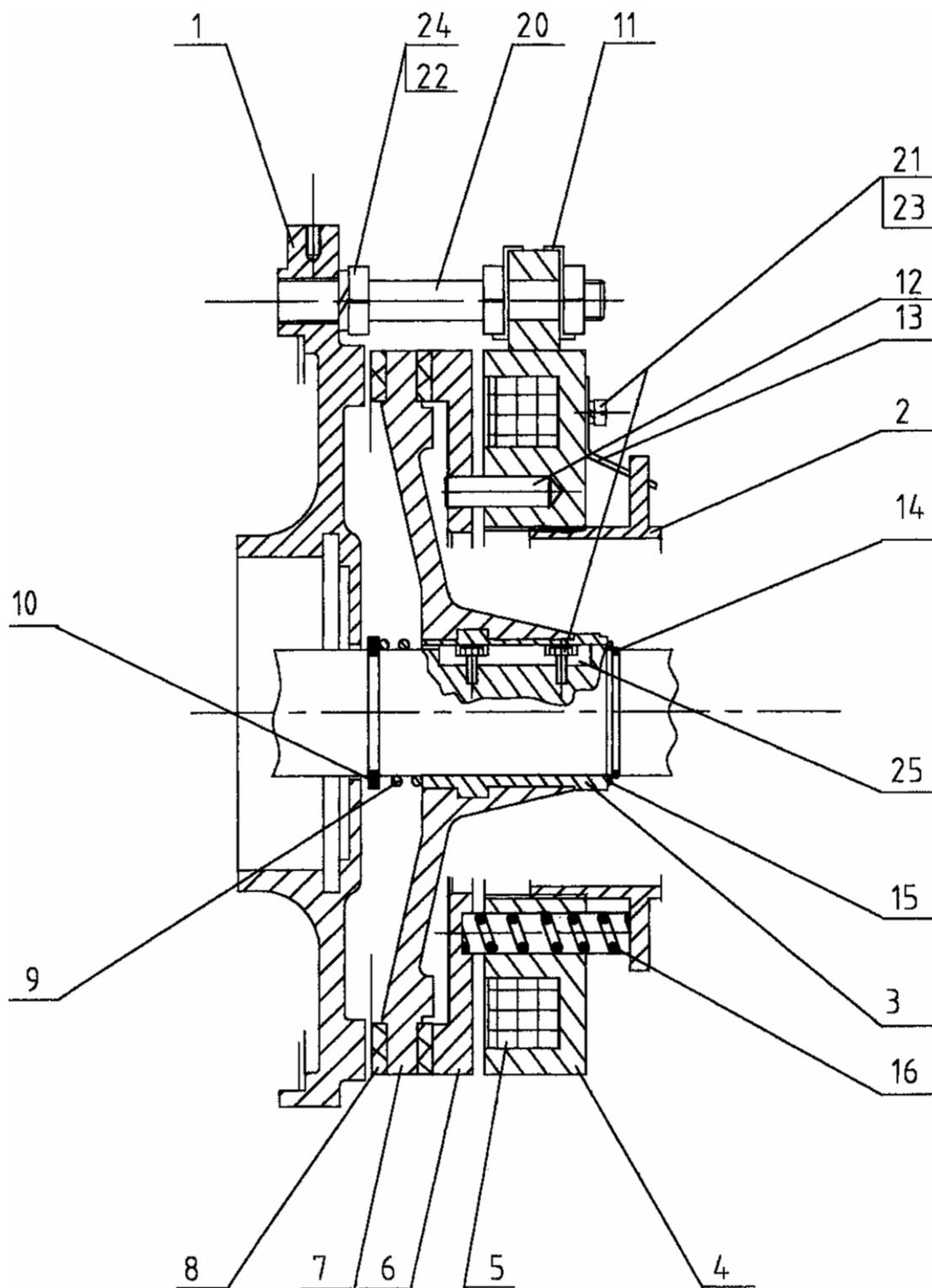


Рисунок 6.2 Электромагнитный тормоз

Тело сердечника вытачивается на токарном станке из электротехнической стали Ст3, затем фрезеруются крепежные элементы. Он крепится с помощью резьбовых шпилек поз.20, которые одновременно крепят подшипниковый щит поз.1 к станине. Равномерность распределения и оптимальное число крепежных элементов существенно облегчает регулировку положения электромагнита, а

также зазор S_1 между щитом и диском при износе фрикционных элементов. Поэтому в данной конструкции изнашивание тормозных поверхностей не влечет за собой изменения величины воздушного зазора S_1 . В сердечник ввинчивается металлический стакан поз.2. Он предназначен для фиксации пружин в пазах сердечника и регулировки их степени сжатия. Винт поз.21 предотвращает самоотвинчивание металлического стакана при вибрации двигателя во время его работы.

6.3 Принцип действия электромагнитного дискового тормоза

Эскиз асинхронного двигателя с пристроенным тормозным устройством представлен на рисунке 6.2).

В исходном положении при отключенном двигателе, обмотка электромагнита обесточена, якорь, под действием пружин, прижат к тормозному диску. Тормозной диск под действием этого усилия прижимается к тормозной плоскости, обеспечивая заторможенное состояние двигателя.

При пуске АД одновременно запитывается постоянным или выпрямленным током, через схему управления (СУ), обмотка электромагнита тормоза. При прохождении тока по обмотке создается МДС, под действием которой возбуждается магнитный поток, который замыкается через рабочий зазор S_2 и через якорь электромагнита. В течение определенного времени происходит нарастание магнитного потока, до тех пор пока сила тяги электромагнита не станет равной противодействующей силе тормозных пружин. В этот момент якорь начнет движение, что приведет к уменьшению рабочего зазора S_2 , и в момент когда зазор достигнет конечной величины, произойдет притягивание якоря электромагнита к сердечнику.

Во время движения якоря, под действием пружины, тормозной диск переместится на фиксированную величину зазора S_1 , фрикционные элементы отойдут от тормозной плоскости. Произойдет растормаживание двигателя и скорость вращения ротора достигнет номинальной. В процессе работы двигате-

ля электромагнит тормоза находится во включенном состоянии и удерживает диск в притянутом положении.

Процесс торможения начинается после отключения двигателя от сети переменного тока. Одновременно обесточивается обмотка электромагнита тормоза, в следствии чего магнитный поток в рабочей цепи в течении определенного времени уменьшается и в тот момент, когда сила тяги электромагнита становится меньше противодействующего усилия пружины, происходит отлипание якоря от электромагнита. Якорь под действием тормозных пружин начнет движение в направлении тормозного диска. В момент контакта якорь будет иметь запас по ходу, в следствии чего, в результате мощного механического усилия оказываемого тормозными пружинами якорь создаст необходимое усилие для перемещения тормозного диска на фиксированный зазор S_1 . В момент достижения конечной величины зазора, фрикционные элементы войдут в контакт с тормозной плоскостью щита, обеспечивая тем самым тормозной момент необходимый для торможения двигателя. После полной остановки вала процесс торможения заканчивается.

6.4 Расчёт электромагнита постоянного тока

Выбор размеров

6.4.1 Диаметр сердечника якоря

Выбирается максимальным в зависимости от диаметра подшипникового щита, для большего тормозного момента.

$$d_c = 0,02821 \text{ м}$$

6.4.2 Диаметр якоря

$$d_я = 0,046 \text{ м}$$

6.4.3 Высота якоря

$$h_я = (0,1 - 0,15) \cdot d_я = (0,1 - 0,15) \cdot 0,046 = (0,0046 - 0,0069) \text{ м}$$

Принимаем: $h_я = 0,0046 \text{ м}$

6.4.4 Ширина якоря и корпуса

$$b_я = b_{ck} = (1,3 - 1,4) \cdot h_я = (0,0598 - 0,0644) \text{ м}$$

Принимаем: $b_я = b_{ck} = 0,062 \text{ м}$

6.4.5 Площадь сечения сердечника

$$S_c = \pi \cdot \frac{d_c^2}{4} = \pi \cdot \frac{0,02821^2}{4} = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

6.4.6 Площадь сечения якоря

$$S_{я \text{ min}} = 0,7 \cdot S_c = 0,7 \cdot 6,25 \cdot 10^{-4} = 4,375 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$S_{я \text{ max}} = 0,8 \cdot S_c = 0,8 \cdot 6,25 \cdot 10^{-4} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

6.4.7 Толщина якоря

$$a_{я \text{ min}} = \frac{S_{я \text{ min}}}{b_я} = \frac{4,375 \cdot 10^{-4}}{0,062} = 7,056 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$a_{я \text{ max}} = \frac{S_{я \text{ max}}}{b_я} = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{0,062} = 8,065 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Принимаем: $a_я = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

6.4.8 Площадь сечения якоря окончательно

$$S_я = a_я \cdot b_я = 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,062 = 4,65 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

6.4.9 Площадь сечения корпуса

$$S_k = S_{ck} = 651,752 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

6.4.10 Толщина корпуса

$$a_{ck} = \frac{S_{ck}}{b_{ck}} = \frac{651,752 \cdot 10^{-6}}{62 \cdot 10^{-3}} = 0,011 \text{ м}$$

6.4.11 Площадь сечения корпуса окончательно

$$S_{ck} = a_{ck} \cdot b_{ck} = 0,011 \cdot 0,062 = 6,82 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

6.4.12 Расстояние от осевой линии до корпуса

$$h = 0,92 \cdot d_n = 0,92 \cdot 0,046 = 0,042 \text{ м}$$

6.4.13 Радиус вращения якоря

$$r_я = h + a_{ck} = 0,042 + 0,011 = 0,053 \text{ м}$$

6.4.14 Длины участков

$$\text{Якорь: } l_я = h + a_я + \frac{a_{ck}}{2} = 0,042 + 7,5 \cdot 10^{-3} + \frac{0,011}{2} = 0,055 \text{ м}$$

$$\text{Основание ярма: } l_{oc} = h + a_{ck} \cdot 1,5 = 0,042 + 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 = 0,059 \text{ м}$$

$$\text{Скоба: } l_c = 0,07 \quad l_k = l_c + h_n = 0,07 + 4,6 \cdot 10^{-3} = 0,075 \text{ м}$$

В данном разделе дипломного проекта был произведен расчет электромагнита постоянного тока асинхронного двигателя для механизма перемещения тали.

7 Безопасность и экологичность проекта

Введение

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Техника безопасности представляет собой систему организационных технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие опасных производственных факторов, которые приводят к несчастным случаям на производстве. Производственная санитария представляет собой систему организационных, гигиенических и санитарно-технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие вредных производственных факторов, которые приводят к профессиональному заболеванию.

В данном разделе мы рассмотрим безопасность и экологичность технологического процесса сборки асинхронного двигателя с тормозным устройством. Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование: транспортная система, ручные инструменты. Технологический процесс сборки включает в себя следующие виды работ: продувку деталей, работу с транспортными приспособлениями.

7.1 Анализ опасных и вредных факторов

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ "Опасные и вредные производственные факторы. Классификация", опасные и вредные производственные факторы делятся на:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Рассмотрим некоторые из этих факторов:

1. Вредные факторы:

- уровень шума;

- отклонение параметров микроклимата;
- вибрация;
- недостаточная освещенность;
- запыленность.

2. Опасные факторы:

- отравление;
- поражение электрическим током;
- ожоги.

К опасным факторам можно отнести такие факторы:

- Поражение электрическим током при работе на токарных и сверлильных станках;
- Получение механических травм при работе на токарных и сверлильных станках;

К вредным факторам можно отнести такие факторы:

- Шум при работе токарных и сверлильных станков;
- Вибрация при работе токарных и сверлильных станков;
- Отклонение параметров микроклимата на участке обработки вала ротора от установленных норм;
- Недостаточная освещенность;

Также к вредным факторам можно отнести наличие в воздухе пыли.

7.2 Производственная санитария

Под производственной санитарией понимается система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов.

Для создания приемлемых условий труда необходимо учесть ряд моментов. Во-первых, необходимо чтобы микроклимат в помещении соответствовал установленным нормам. Во-вторых, необходимо следить за уровнем шума в помещении.

Установлено, что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека.

При длительном воздействии шума на организм человека происходят такие явления как снижение остроты зрения и слуха, повышение кровяного давления, снижение внимания.

Продолжительный шум может стать причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем. С целью проверки соответствия уровня шума требованиям санитарных норм производят его измерение. На основании замеров производится разработка 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.

Немаловажным фактором обеспечения требуемых условий труда является наличие правильно спроектированного освещения.

Основное назначение освещения на производстве – создание наилучших условий для работы зрительного аппарата человека. На участке механической обработки подшипниковых щитов освещение искусственное, которое обеспечивается электрическими источниками света.

7.2.1 Шум и вибрация

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 нежелательные явления:

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

Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем. Шум не благоприятно воздействует на организм человека, технические и физиологические нарушения, снижает работоспособность и создаёт предпосылки для общих профессиональных заболеваний и производственного травматизма.

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.

Большое влияние на умственную работу оказывают звуковые раздражители. Они затрудняют сосредоточение внимания, оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье человека, изменяют нервные процессы, вызывают утомляемость, затрудняют прием и восприятие информации. Уровень шума можно понизить в источнике, на пути его распространения или рационально спланировав помещение. На стенах и потолке должны размещаться звукопоглощающие панели.

Звукоизоляция нормируется по ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ "Средства и методы защиты от шума". Нормируемыми параметрами шума являются уровни среднеквадратичных звуковых давлений (дБ) и уровни звука (дБА), измеряемые по шкале "А" шумомера. Уровень шума в помещении, где выполняются работы, не должны превышать 8 дБА, в действительности на рабочих местах уровень шума превышает этой величины.

Диапазон звуковых давлений для человека $P_0=2 \cdot 10^5$ Па - порог слышимости на частоте 1000 Гц, которое едва ощущается человеческим ухом. При звуковом давлении $P_0=2 \cdot 10^2$ Па - верхний болевой предел слышимости. Болевой порог.

Нормативным документом рассматривающим уровни шума для различных категорий рабочих мест, служебных помещений является ГОСТ 12.1.003-88.

В таблице 7.1 приведены уровни звукового давления, измеренные в восьми октановых полосах со среднегеометрическими частотами для постоянных рабочих мест в производственных помещениях.

Таблица 7.1 – Уровни звукового давления

Уровни звукового давления, Дб, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
95	87	82	78	75	73	71	69

Необходимые условия для снижения шума:

- На данном участке, при выполнении мероприятий по сокращению проникновения шумов с улицы, световые проёмы целесообразно закладывать стеклоблоками. Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твёрдых тел, передаваемые организму человека. Они могут быть причиной расстройства сердечно-сосудистой и нервной системы, а также опорно-двигательной системы человека. Измерение вибрации производится прибором ВШВ-003, снабженным микрофоном и датчиком вибрации.

Источником вибрации являются различные технологические процессы, механизмы, машины и их рабочие органы.

Вибрация неблагоприятно воздействует на организм человека, особенно если частота ее колебаний совпадает с частотами резонанса всего организма человека или некоторых органов. Измерение вибраций производится в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.012-78.

Колебания с частотой 16 - 20 Гц ощущаются как звук и вибрация. В производственных условиях ощущаются в основном 35 - 250 Гц. Вибрация характеризуется: частотой колебания, амплитудой смещения, колебательной скоростью, колебательным ускорением. Вибрация может быть общей или локальной. Локальная - при работе с ручным инструментом. Общая вибрация - поражается сердечно-сосудистая система, вестибулярный аппарат. Опасная вибрация на частоте 6 - 9 Гц.

Для помещений, предназначенных для установки слесарно-обрабатывающего оборудования, исключение возможной вибрации достигается путем увеличения массы фундамента рабочей площадки, устранение жестких связей между фундаментом оборудования и рабочей площадкой, облицовкой листов покрытия пола вибродемпфирующими материалами.

7.2.2 Психологические факторы

Утомление:

Утомление - это процесс понижения работоспособности, временный упадок сил. Существуют признаки хронического утомления: ощущение утомления до начала работы, повышенная раздражительность, снижение интереса к работе и окружающим, снижение аппетита, потеря веса, нарушение сна, бессонница,

						,%	
холодный	Средней тяжести	16	17-19	15-22	15-75	40-60	0,2
теплый		21	19-21	16-27	15-75	40-60	0,2

Анализ метрологических параметров позволяет сделать вывод о соответствии их требуемым нормам. Рабочие места оборудованы вытяжной вентиляцией. Способ поддержания микроклимата: летом – вентиляция, зимой – отопление.

7.3 Освещение

Другой не мало важной задачей на производстве, является создание наилучших условий для видения. Эту задачу можно решить только осветительной системой. В этих нормах рекомендуется освещённость участков, содержащих нужное оборудование, должна быть не менее 250 лк.

Освещение должно быть таким, чтобы не давать глазам ощущения напряжения. При плохом освещении оператор быстро устает, работает медленнее, возникает опасность ошибочных действий. Кроме того, плохое освещение может привести к некоторым профессиональным заболеваниям. Нормы освещенности в вычислительном центре установлены в соответствии с СНиП 23-05-95. Должны обеспечиваться следующие условия:

- равномерность и устойчивость освещенности;
- мягкие тени;
- защита глаз от прямых попаданий солнечных лучей.

В светлое время дня необходимый уровень освещенности обеспечивается естественным путем (через оконные проемы). В вечерние время применяется искусственное освещение (лампы накаливания, люминесцентные лампы и др.). Предпочтительнее люминесцентные, так как их освещение приближено к естественному.

Освещенность рабочей поверхности должна быть достаточно высокой и вместе с тем равномерной.

7.3.1 Расчет искусственного освещения

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

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

7.3.2 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.

7.3.3 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.

7.3.4 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:
 - Л71ВОЗ - мощность лампы 10x30 Вт
 - Л71В84-мощность лампы 8x40 Вт

7.3.5 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 7.3 Значение коэффициента запаса

Характеристика объекта	Люминесцентные лампы	Лампы накаливания
Помещения с большим выделением пыли	2.0	1.7
Помещения со средним выделением пыли	1.8	1.5
Помещения с малым выделением пыли	1.5	1.3

7.3.6 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

Расчет искусственного освещения

Система освещения производственных помещений:

- Общее равномерное освещение лампами накаливания;

Тип светильника: - Универсальный без затемнителя;

Выполняемые работы имеют высокую точность и относятся к 1 категории.

Размеры производственного помещения:

- Высота 5 м;

- Длина 16 м;

- Ширина 10 м;

Потолок и стены светлые, пол темный.

Площадь помещения:

$$S = AB = 10 \cdot 16 = 160 \text{ м}^2 \quad (7.1)$$

Находим величину минимально допустимой табличной освещенности:

$$E_n = 100 \text{ Лк}$$

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

Свес светильника:

$$h_e = 1 \text{ м}$$

Тогда высота подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h = 5 - 1 - 0,8 = 3,2 \text{ м} \quad (7.2)$$

где 0.8 высота рабочей поверхности.

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

$$\frac{L}{h} = 1,1$$
$$L = 1,1 \cdot 3,2 = 3,52 \text{ м} \quad (7.3)$$

Устанавливаем светильники:

по длине (отступив от стен 2м) на расстоянии 3м.

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

В результате разметки принимаем 8 светильников.

Для определения коэффициента использования находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{160}{3,2 \cdot (16 + 10)} = 1,92 \quad (7.4)$$

Коэффициент использования: $\eta = 0,43$

Расчетный световой поток:

$$F = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{100 \cdot 1,3 \cdot 160 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,43} = 6651,16 \text{ Лк} \quad (7.5)$$

где k - коэффициент запаса;

Z - коэффициент учитывающий отклонение от средней величины.

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

$$\frac{6651,16}{8100} = 0,82; \quad 8 \cdot 0,82 = 6,56 \text{ шт} \quad (7.6)$$

Принимаем 8 светильников. В связи с этим проведем окончательную разметку светильников.

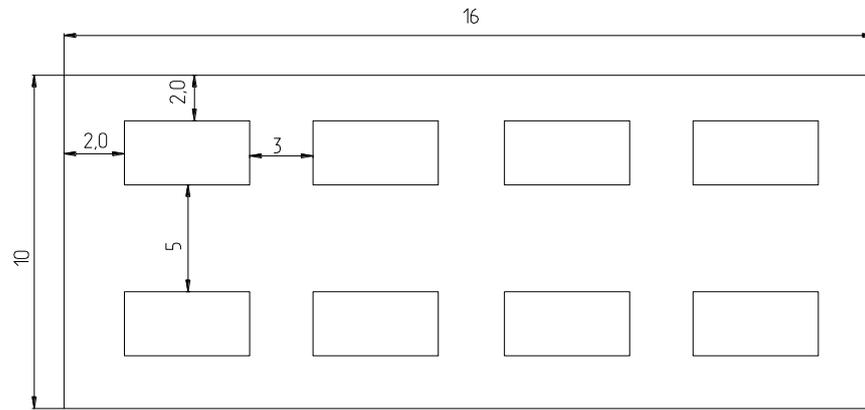


Рисунок 7.1 План размещения светильников в цеху.

7.4 Техника безопасности

1. К самостоятельной работе слесаря-сборщика электрических машин допускаются лица прошедшие медицинское освидетельствование, курсовое обучения по теоретическим знаниям и практическим навыкам в работе в объёме программы, аттестацию квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте.
2. Первичный инструктаж рабочий получает на рабочем месте до начала производственной деятельности. Первичный инструктаж производит мастер цеха. Повторный инструктаж рабочий получает - ежеквартально.
3. После первичного инструктажа в течении первых двух - пяти смен должен выполнять работу под наблюдением мастера, либо наставника, после чего оформляется допуск к самостоятельной работе, который фиксируется датой и подписью инструктирующего и инструктируемого в журнале инструктажа.
4. 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. Рабочий должен работать в спецодежде:
 - Костюм ХБ ГОСТ 27575-87 Ми;
 - Перчатки ХБ вязанные ГОСТ 5007-87 Ми;
 - Ботинки кожаные с металлическим носком ГОСТ 28807-90 Мун;

- Рукавицы комбинированные ГОСТ 124010-75.
- 6. Необходимо соблюдать:
 - Правила внутреннего распорядка, не допускать распития спиртных напитков
 - Правила личной гигиены (работать в спецодежде, спецобуви и других СИЗ, пищу принимать только в отведённых для этих целей помещениях)
 - Курить разрешается в специально отведённых местах
- 7. соблюдать производственную и технологическую дисциплину, при выполнении работ быть внимательным не отвлекаться посторонними делами и не отвлекать других. Выполнять только ту работу, которая поручена мастером.
- 8. При получении травмы или недомогания нужно немедленно обратиться в здравпункт и по возможности в течении суток сообщить мастеру или начальнику цеха.
- 9. за не соблюдение требований инструкции по охране труда рабочий несёт дисциплинарное взыскание и материальное:
 - Перевод на нижеоплачиваемую должность сроком до 3-х месяцев
 - Уголовную ответственность

Требования безопасности перед началом работы:

1. Надеть спецодежду, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты.
2. Проверить общее состояние рабочего места и убедиться, что проходы не загромождены, освещены и нет выбоин на полу.
3. Работать инструментом, отвечающим требованиям ГОСТ 12.2.027-80:
 - Молотки, зубила, бородки, обжимки, керны и т.д. не должны иметь скошенных бойков и заусенцы;
 - Гаечные ключи должны быть исправными и соответствовать размерам болтов и гаек; Нарастивать ключи другими предметами запрещается.
4. Проверить исправность тележки, конвейера и зажимных приспособлений.
5. Проверить исправность проводов и шлангов (нет ли утечки масла).
6. При работе с грузоподъёмными механизмами нужно проверить их исправность

(тормоза, состояния троса, ограничителя подъёма высоты и станцию (пульт) управления на передвижения тельфера и наличия заземления).

7. О всех обнаруженных неисправностях сообщить мастеру и до его указания к работе не приступать.
8. К работе с электроинструментом допускаются лица, прошедшие инструктаж по 1 группе безопасности.

Требования безопасности во время работы:

1. Выполнять только ту работу, которая поручена мастером или начальником цеха.
2. Не загромождать рабочее место деталями. Своевременно убирать бракованные детали, не допуская их накопления.
3. Установку и съём тяжёлых деталей производить с помощью другого рабочего или грузоподъёмных механизмов и приспособлений.
4. Пользоваться только исправным инструментом, предусмотренным для данных работ технологической картой.
5. При работе с абразивным кругом, пользоваться защитными очками.
6. Не останавливать вращающийся инструмент руками или каким-либо предметом.
7. При опрессовке узлов, их испытаниях на пневматических приспособлениях съём и укладку изделий производить только при полной неподвижности штока, не производить самостоятельно наладку и исправления пресса.
8. Детали укладывать в специальную тару или в стеллажи, если складирование производится на полу, то укладывать детали надо устойчиво, высота штабеля должна быть не более 1м, как указано в техпроцессе.
9. При работе на гидравлических прессах устанавливать запрессованные детали строго вертикально, без перекосов, т.к. они могут вылететь в сторону.
10. Напряжение переносного инструмента должно быть не выше 42В.
11. К работе с бензином и легко-воспламеняющимися веществами допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности и противопожарным правилам.

12.Остерегайся срыва ключа. Правильно накладывай ключ на гайку. При работе ключами не применяй прокладки, не удлиняй ключ для усиления затяжки.

13. Чалочные приспособления и подъёмные механизмы должны быть вполне годными и допущены к эксплуатации, на которых должны быть вывешены бирки с указанием грузоподъёмности, даты испытания и номера (шифра).

14.Тара должна иметь номер и указания наибольшего веса груза для транспортировки которого она предназначена. Ёмкость тары должна исключать возможность перегрузки грузоподъёмной машины.

15.Лицам, моложе 18-ти лет запрещается работать с грузоподъёмными механизмами.

Требования безопасности в аварийных ситуациях:

1. При авариях и возникновении производственных травм немедленно известить мастера или начальника цеха, обеспечивая сохранение до расследования обстановки без изменения (если это не угрожает жизни и здоровью окружающих работников, не приведёт к аварии и не нарушит производственного процесса).

2. Оказать первую помощь пострадавшему (отключение эл.установки, снятие напряжения с токоведущих частей и отделения от них пострадавшего, вынос его из опасной зоны, проведение искусственного дыхания, наружного массажа сердца, остановка кровотечения, создания покоя, вызов скорой помощи).

3. В случае пожара немедленно вызвать пожарную команду и принять меры по ликвидации пожара имеющимися средствами пожаротушения.

Требования безопасности по окончании работы:

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

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

3. Произвести уборку рабочего места.

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

7.4.1 Электробезопасность

Оборудование на заводе (станки, механизированный ручной инструмент), представляет для человека большую потенциальную опасность, так как в процессе эксплуатации или при проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением.

Применение только одних организационных и технических мероприятий по предупреждению поражения электрическим током не может в полной мере обеспечить необходимую электробезопасность при эксплуатации электроустановок. Это возможно, если наряду с выполнением предписанных ПТЭ и ПТБ потребителей организационных защитных мер использовать технические средства защиты, к которым относят: электрическую изоляцию токоведущих частей, защитное заземление, зануление, выравнивание потенциалов, защитное отключение, электрическое разделение сети, малое напряжение, двойную изоляцию. Использование этих средств в различных сочетаниях позволяет обеспечить защиту людей от прикосновения к токоведущим частям, от опасности перехода напряжения на металлические нетоковедущие части.

7.4.2 Пожарная безопасность

Участок сборки тормозного устройства согласно НПБ-105-2003 относится к категории «В», т.е. помещения, в которых находятся (обращаются) горючие или трудно горючие материалы и вещества, а также материалы и вещества, способные при взаимодействии с водой, кислородом, воздухом и друг с другом, только гореть при условии, что помещения не относятся к категории А и Б.

По степени пожарной опасности, цех можно отнести к категории В, т.к. в ней ведутся работы с применением твердых сгораемых материалов с температурой воспламенения свыше 120°C. По огнестойкости, участок сборки можно отнести к помещениям I группы, т.е. стены кирпичные, а перегородки бетонные.

Лица, не прошедшие противопожарный инструктаж к работе не допускаются. Каждый работающий на объединении, независимо, от занимаемой должности должен знать и строго соблюдать установленные правила пожарной

безопасности не допускать действия которые могут привести к пожару или загоранию.

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

Содержание зданий и помещений на объединении:

- на входных дверях производственных помещений, складах должны быть вывешены категории взрывопожароопасности (А,Б,В,Г,Д,Е)
- все производственные и вспомогательные помещения должны 1 раз в смену очищаться от промышленных отходов и горючих материалов.
- проходы, тамбуры, выхода, коридоры, лестничные клетки не разрешается загромождать.
- все выхода должны открываться по направлению из здания, помещения.
- хранение в цехах сырья, полуфабрикатов, горючих жидкостей разрешается только не более суточной, сменной потребности.
- использовать ГЖ (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 ЛВЖ и ГЖ.
- скапливать на рабочем месте мусор, промасленную ветошь.
- использовать не по назначению противопожарный инвентарь.
- загромождать различными предметами проходы, выхода.
- самовольно подключать в электросеть электронагревательные приборы, пользоваться неисправными, кустарного производства электроприборами.
- оставлять включенными станки, электроприборы без просмотра.
- при работе с огнеопасными жидкостями использовать инструмент могущий вызвать искрообразование.
- соприкосновение промасленной одежды, масел и др. жиров с арматурой кислородных баллонов.
- пользоваться не просушенными ковшами, инструментами при разливе металла пользоваться заливщикам неисправной и необработанной огнезащитным составом спец. одеждой.
- хранить без упаковки и рассыпать уретропин.

Каждый работающий на объединении должен знать:

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

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

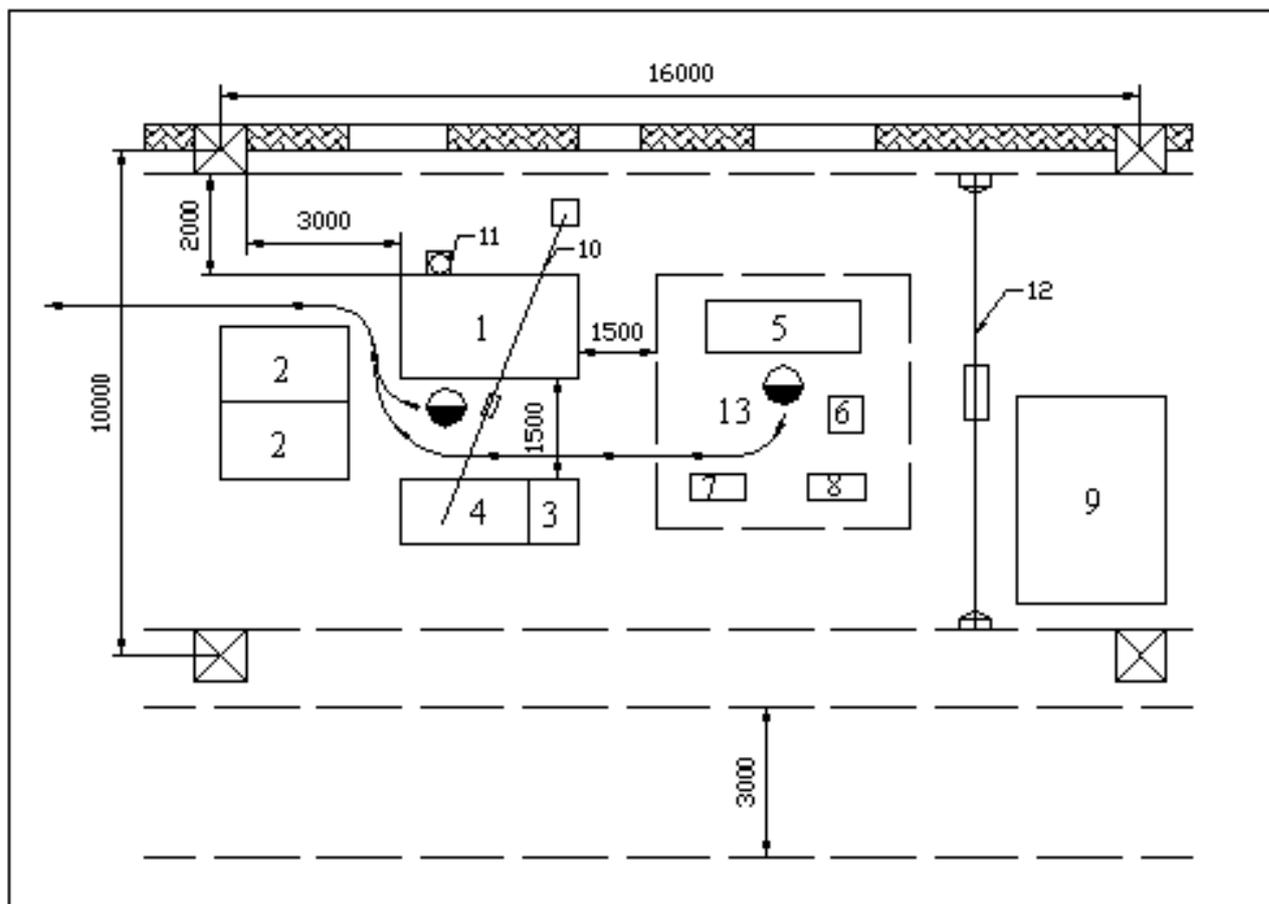
При загорании снять огнетушитель, поднести к очагу загорания, не менее 1 метра, прочистить спрыск иглой или гвоздем, повернуть рычаг до отказа до 180°, перевернуть огнетушитель вверх дном и направить струю на огонь. Действие огнетушителя 60 секунд, длина струи пены 6-8 метров. Выход пены из огнетушителя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

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

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

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

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



13	Испытательная станция				1	
12	Кран – Балка				1	
11	Вытяжка				1	
10	Кран – Укосина				1	
9	Тара				1	
8	Электрошкаф				1	
7	Электрошкаф				1	
6	Пульт управления				1	
5	Верстак				1	
4	Верстак				1	
3	Пресс пневматический				1	
2	Тара				2	
1	Верстак				1	
№ п/п	Наименование оборудования	Модель	Инв.№	Класс ш.х.зр.	Кол.	Примеч.

Рисунок 7.2 План эвакуации из цеха при пожаре

7.5 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.).

Заключение

В данной работе был спроектирован трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для механизма перемещения тали. В качестве базовой модели выбрана конструкция асинхронных двигателей серии АД90Е, которые предназначены для наиболее широкого применения в различных отраслях народного хозяйства.

В начале расчета двигателя были получены значения электромагнитных нагрузок $A=22100$ А/м и $B_{\delta}=0,662$ Тл, входящие в рекомендуемые пределы. От электромагнитных нагрузок зависят не только размеры машины, а также и ее характеристики. Так как двигатель обладает небольшой мощностью, то упрощения укладки обмотки в пазы принята трехфазная однослойная обмотка. Число пазов статора принято стандартному и равно $Z_1=24$, т.о. обмотка имеет целое число пазов на полюс и фазу ($q=4$).

Плотность тока в обмотке статора получилась незначительной, что характерно для двигателей такой мощности. Для обмотки статора используется стандартный эмалированный провод с диаметром $d_{из}=1,26$ мм, это позволяет применять механизированную укладку обмотки, коэффициент заполнения паза соответствует механизированной укладке. В расчете зубцовой зоны статора была принята конфигурация пазов, при которой зубцы имеют постоянное поперечное сечение по всей высоте, т.е. в зубцах не будет участков с высокой индукцией и суммарное магнитное напряжение будет меньше, чем у зубцов другой конфигурации. По этой же причине были выбраны грушевидные пазы ротора.

Воздушный зазор был выбран достаточно малым, 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 $\cos \varphi=0,924$ и КПД=0,849. Число пазов ротора выбрано по рекомендациям, которые основаны на изучении влияния соотношения числа зубцов статора и ротора на кривую момента, а также на шумы и вибрации.

В расчете пусковых характеристик кратность пускового тока получилась в допустимых пределах, установленных стандартом (ГОСТ 19523 - 74), а пусковой

момент достаточным, его кратность не превысила заданное значение установленного стандартом. Можно задавать пусковой момент, меняя плотность тока в обмотке ротора или индукцию в зубцах ротора.

Тепловой расчет показал, что у двигателя имеется температурный запас по температуре нагрева обмотки статора, а вентилятор обеспечивает расход воздуха почти с двукратным запасом.

В механическом расчете определен суммарный прогиб вала от действия силы тяжести ротора и силой, обусловленной соединением муфтой. По критической частоте вращения, вал имеет огромные запасы.

Список использованных источников

1. 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.
2. Гусельников Э.М. и Цукерман Б.С.Самотормозящие электродвигатели, М.: Энергия, 1971.-96 с., ил.
3. 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.
4. Антонов М.В. Технология производства электрических машин. -М.: Энергоиздат, 1982. 512 с.
5. Амиров Ю.Д. Технологичность конструкции изделия. Справочник.-М.: Машиностроение,1990. 768 с.
6. Миллер Э.Э. техническое нормирование труда в машиностроении.-М.: Машиностроение, 1972. 248 с.
7. 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 .
8. 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.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т1
Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова - М.: Машиностроение,1983
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т2
Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова-М.:Машиностроение,1983
11. Астафьев В.Б., Джуробаев К.Т. Экономика в электротехническом производстве.
12. Экономика и организация производства в дипломных проектах –Л.: Машиностроение. 1977. 206 с.

13. ГОСТ 12. 0. 003 – 74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
14. ГОСТ 12. 1. 003 – 83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
15. ГОСТ 12. 1.004 – 91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
16. ГОСТ 12. 1.005 – 88 (с изм. №1 от 2000г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).
17. ГОСТ 12. 1. 012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
18. ГОСТ 12. 1. 030 - 81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
19. ГОСТ 12. 2. 003 - 91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
20. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
21. СНиП 2. 04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
22. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
23. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
24. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
25. СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий
26. НПБ 105-2003 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
27. Правила устройства электроустановок. ПУЭ
28. Internet Explorer. Поисковая система Google..
29. Wildi, Theory Electrical Machines, Drivers, and Power Systems / T. Wildi. – 3-rd ed. – New Jersey: Prentice Hall, 1997. – 814 p.
30. 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.
31. Shigley, Joseph E. Mechanical Engineering Design / J.E. Shigley, C. R. Mishke. – 6 ed. – New York: McGraw – Hill, 2001. – 1248 p.: il.

32. Yates, Christopher St. J. *Economics* / C. St. J. Yates. – Oxford: Prentice Hall, 1998.
– 154 p