

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

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

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Проектирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором для привода вентилятора

УДК 621.313.333.2:621.63.001.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7311	Буронов Одил Эрдонович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

По разделу «Технологическая часть»

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

По разделу «Электромагнитный расчет» специальная часть

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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

Институт Институт электронного обучения
 Направление подготовки (специальность) 140601 Электромеханика
 Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой А.Г. Гарганеев

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Выпускной квалификационной работы дипломированного специалиста
--

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Бурунов Одил Эрдонович

Тема работы:

Проектирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором для привода вентилятора.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 2259/с от 30.03.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	20.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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>Номинальная мощность $P_n=11\text{ кВт}$; Номинальное напряжение $U_n=220/380\text{ В}$; Число полюсов $2p = 4$; Число фаз $m=3$; Высота оси вращения $h=0,132\text{ м}$; Номинальная частота питания $f_n=50\text{ Гц}$; Температура окружающей среды $+40^\circ\text{C}$; Режим работы – продолжительный (S1); Способ монтажа IM1001; Охлаждения ICO141; Степень защиты IP44.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области;</i></p>	<p>1. Электромагнитный расчёт. 2. Тепловой расчёт. 3. Вентиляционный расчёт. 4. Механический расчёт. 5. Специальная часть 6. Технологическая часть. 7. Финансовый менеджмент,</p>

<i>постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 8. Социальная ответственность.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Сборочный чертеж двигателя. 2. Электромагнитный расчет: схема обмотки статора, характеристики. 3. Пазы статора и ротора. 4. Технологическая часть. 5. Презентация в программе Microsoft Power Point.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Основной раздел ВКР	Гирник А.С.
«Технологическая часть»	Баранов П.Р.
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Кузьмина.Н.Г.
«Социальная ответственность»	Сечин А.А.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	21.02.2017 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гирник Андрей Сергеевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7311	Буранов Одил Эрдонович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Буронов Одил Эрдонович

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	140601 Электромеханика

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

1. *Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Формирование плана и графика разработки проекта</i>
2. <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>	<i>Смета затрат на проект</i>
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Оценка технического уровня</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности*
2. *График разработки и внедрения*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7311	Буронов Одил Эрдонович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Буронову Одилу Эрдоновичу

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

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

1. Сборочный чертеж асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, спецификация; 11,0 кВт, 2р=4

2. Годовая программа выпуска изделия 3800 штук

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конструкции электрической машины на технологичность

2. Рассчитать размерные цепи методом полной взаимозаменяемости (проектный метод, два замыкающих звена)

3. Составить схему общей сборки электрической машины

4. Выбрать оборудование, приспособления для сборки и испытаниям электрической машины

5. Разработать маршрутную технологию общей сборки электрической машины

6. Определить нормы времени на операции и оборудование, указать нормы времени на операции и переходы в маршрутных картах

7. Построить график загрузки оборудования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Комплект маршрутных карт и карты эскизов (в приложении)

2. График загрузки оборудования

3. Схема сборки электрической машины

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7311	Буронов О.Э.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА ПОТЕМЕ:
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Буранов Одил Эрдонович

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	140601 Электромеханика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. *Описание рабочего места (электромеханик) на предмет возникновения:*
 - вредных проявлений факторов производственной среды (вредные вещества, освещение, шумы, вибрации)
 - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, пожарной и взрывной природы)
 - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
 - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:*
 - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
 - действие фактора на организм человека;
 - приведение допустимых норм с необходимой размерностью;
 - предлагаемые средства защиты:
2. *Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности*
 - механические опасности (источники, средства защиты);
 - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
 - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
3. *Охрана окружающей среды:*
 - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
 - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
4. *Защита в чрезвычайных ситуациях:*
 - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7311	Буранов Одил Эрдонович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа (ВКР): 142 страниц, 17 таблиц, 16 рисунков, 5 листов графического материала.

Ключевые слова: двигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором, статор, ротор, однослойная обмотка, рабочие и пусковые характеристики.

Объектом исследования является асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором для привода вентилятора.

Целью работы является проектирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором для привода вентилятора. Проведен электромагнитный, тепловой и механический расчёты, разработана технология производства двигателя на программу выпуска 3800 шт./год, проведен экономический расчёт производства двигателя 3800 шт./год, проверена безопасность и экологичность проекта, разработаны чертежи по данным разделам.

ВКР рассчитана с помощью программы Mathcad 14, текст выполнен в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 на белой бумаге формата А4. Чертежи выполнены в графическом редакторе КОМПАС 3D V15 на белой бумаге формата А3.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

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

Оглавление

Введение

1. Электромагнитный расчет	14
1.1 Исходные данные	14
1.2 Выбор основных размеров	14
1.3 Расчет обмотки статора	16
1.4 Расчет размеров зубцовой зоны статора.....	19
1.5 Расчёт ротора	22
1.6 Расчёт магнитной цепи	27
1.7 Параметры рабочего режима	30
1.8 Расчёт потерь.....	36
1.9 Расчёт рабочих характеристик	40
1.10 Расчёт пусковых характеристик	43
1.11 Тепловой расчет	50
1.12 Расчет вентиляции	53
1.13 Механический расчет	54
1.14 Расчет вала на жёсткость	55
1.15 Расчет вала на прочность	58
1.16 Выбор подшипников	60
2. Специальная часть	62
2.1 Тепловой расчёт двигателя при увеличенном моменте нагрузки на 80% и ПВ=50%.....	62
2.2 Тепловой расчет и вентиляционный расчет	63
3. Технология производства электрических машин	67
3.1 Введение	67
3.2 Анализ конструкции электрической машины на технологичность.....	68
3.3 Расчёт размерных цепей методом полной взаимоменяемости	72

3.4 Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки.....	77
3.5. Выбор сборочного оборудования и оснастки	81
3.6 Нормирование сборочных работ и расчет количества технологического оборудования	85
3.7. Расчет коэффициента загрузки для каждого оборудования	88
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	92
4.1 Анализ потенциальных рисков и разработка мер по управлению ими.....	93
4.2 Описание продукции.....	96
4.3 Оценка рынка сбыта и конкурентоспособности создаваемого продукта.....	96
4.4 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	99
4.5. Расчет себестоимости изделия.....	100
4.5.1. Определение материальных расходов.....	100
4.5.2. Затраты на силовую электроэнергию.....	102
4.5.3. Расходы на оплату труда.....	103
4.6. Расчет рентабельности продукции.....	106
4.7. Определение критического объема производства.....	106
5. Социальная ответственность	110
5.1 Введение	110
5.2 Анализ опасных и вредных факторов.....	110
5.3 Техника безопасности	111
5.3.1 Общие правила.....	111
5.3.2. Электробезопасность.....	112
5.4 Производственная санитария.....	113

5.4.1. Шум и вибрация.....	114
5.4.2. Психологические факторы.....	117
5.4.3. Микроклимат.....	117
5.4.4. Образование вредных веществ.....	119
5.4.5. Освещение.....	119
5.5 Пожарная безопасность	120
5.6 Охрана окружающей среды	123
5.6.1. Размещение осветительных приборов.....	124
5.6.2. Расчет осветительной установки.....	125
5.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	127

Маршрутная карта

Карта эскизов

Спецификация

Заключение

Приложения

Введение

Скоротечность научно-технического прогресса требует своевременной и повсеместной автоматизации производственных процессов. Следовательно, появляется необходимость в создании электрических машин, соответствующих по своим показателям и характеристикам довольно разнообразным требованиям многочисленных отраслей народного и промышленного хозяйства.

Под созданием электрической машины понимается её проектирование, изготовление и испытание.

Проектирование электрической машины, есть не что иное, как расчет размеров её отдельных частей, деталей, сборочных единиц, обмоток, рабочих, механических характеристик, так же производят оценку различных показателей, например таких, как технико-экономические показатели спроектированной машины, показатели надежности и т.д.

По разным данным, около 70% всей электрической энергии, преобразуемой в механическую вращательного или поступательного движения, потребляется асинхронными электродвигателями. Широкое применение асинхронных двигателей связано с простотой их конструкции, ее технологичностью и минимальными затратами в эксплуатации, по сравнению с другими видами электрических машин, таких как двигатели постоянного тока, синхронными двигателями и т.д.. Основные тенденции в развитии электромашиностроения.

К основным тенденциям можно отнести:

- Применение утоньшенной корпусной изоляции и обмоточных проводов с малой толщиной изоляции. При этом повышается коэффициент заполнения обмоточного пространства медью и соответственно использование объема машины.

- Использование более нагревостойкой изоляции. В настоящее время наибольшее распространение находит изоляция класса F. В машинах, работающих в более тяжелых условиях, распространена изоляция класса H.

- Применение улучшенных марок электротехнической стали. Сейчас часто используют холоднокатаную электротехническую сталь, обладающую большей магнитной проницаемостью и меньшими удельными потерями в сравнении с горячекатаной.

- Усовершенствование охлаждения машин, путем повышения производительности вентиляторов, уменьшения аэродинамического сопротивления воздухопровода, увеличения поверхности охлаждения, усиления теплопередачи путем лучшего заполнения воздушных прослоек в обмотках пропитываемыми лаками и компаундами.

- Усовершенствование методов расчета машин.

- Улучшение конструкции машин, придание рациональной формы, при обеспечении снижения массы и повышения прочности.

Также сюда можно отнести стремление уменьшить динамический момент инерции, увеличение отношения длины сердечника ротора к его диаметру; повышение надежности.

Выпускная квалификационная работа посвящена:

- проектированию асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором;

- разработке технологического процесса сборки проектируемого двигателя;

- расчету экономической целесообразности производства данного электродвигателя;

- рассмотрению вопросов безопасности и экологичности при осуществлении сборки проектируемого двигателя, разработка мер пожарной безопасности и меры защиты окружающей среды.

1. Электромагнитный расчет

1.1. Исходные данные

Номинальная мощность $P_2=11000$ Вт;

Номинальное напряжение $U=220$ В;

Номинальная частота $f_1=50$ Гц;

Число фаз $m_1=3$;

Число пар полюсов $2p=4$;

Высота оси вращения $h=132$ мм;

Степень защиты: корпуса - IP44;

Система охлаждения по ГОСТ 20459-74: ICO141;

Способ монтажа IM1001.

1.2. Выбор основных размеров статора

1.2.1 Внешний диаметр статора предварительно [1, с.344, табл.9.8]

для $h = 132$ мм $D_a=0,233$ м.

1.2.2 Внутренний диаметр статора

$$D = K_D \cdot D_a = 0,64 \cdot 0,233 = 0,149 \text{ , м.} \quad (1.1)$$

где K_D –коэффициент, характеризующий отношение внутренних и внешних диаметров сердечников статора. Из[1, с.344, табл.9.9] выбираем $K_D=0,64$.

1.2.3 Полюсное деление:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p} = \frac{3,14 \cdot 0,149}{2 \cdot 2} = 0,117 \text{ м} \quad . \quad (1.2)$$

1.2.4 Расчетная мощность

$$P' = P_2 \cdot \frac{k_E}{\eta \cdot \cos \varphi} = 11000 \cdot \frac{0,97}{0,85 \cdot 0,8} = 1,569 \times 10^4 \text{ Вт.} \quad (1.3)$$

где P_2 – мощность на валу двигателя, Вт; k_E – отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению [1, с.345, рис.9.20], $k_E=0,97$; η и $\cos\varphi$ – примерное значение КПД и коэффициента мощности [1, с.345, рис.9.21a] $\eta=0,85$ и $\cos\varphi=0,8$.

1.2.5 Электромагнитные нагрузки (предварительно) [1, с.346, рис.9.22.a] при высоте оси вращения $h=132$ мм, $p=2$, $D_a=0,233$ м

$$A = 27 \cdot 10^3 \frac{A}{m}, \quad B_\delta = 0,87 \text{ Тл.}$$

1.2.6 Обмоточный коэффициент (предварительно)

Обмоточный коэффициент для однослойной обмотки при $2p=4$ (предварительно) выбирается по [1,с.353]

$$k_{об1} = 0,96$$

1.2.7 Расчетная длина магнитопровода определяется по [1,стр.348]:

$$l_\delta = \frac{P'}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot k_{об1} A B_\delta} \quad (1.4)$$

$$l_\delta = \frac{1,569 \times 10^6}{1,11 \cdot 0,149 \cdot 157,08 \cdot 0,96 \cdot 2,7 \times 10^4 \cdot 0,87} = 0,179 \text{ м.}$$

где Ω – синхронная угловая скорость двигателя

$$\Omega = 2\pi \cdot \frac{f}{p} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{50}{2} = 157,08 \text{ рад/с.} \quad (1.5)$$

Коэффициент формы поля, принимаем исходя из того, что оно синусоидально, а влияние уплощения учтем при расчете магнитного напряжения отдельных участков магнитной цепи

$$k_e = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1,11. \quad (1.6)$$

1.2.8 Критерий правильности выбора главных размеров D и l_δ :

$$\lambda = \frac{l_\delta}{\tau} = \frac{0,179}{0,117} = 1,532 \quad \text{м,} \quad (1.7)$$

где отношение $\lambda=l_\delta/\tau$, которое находится в пределах показанных на [1, с.348, рис.9.25] . Допустимые пределы (0,9...1,7).

1.2.9 Конструктивная длина сердечника статора:

$$l_1 = l_{cm1} = l_s = 0,179 \text{ м.} \quad (1.8)$$

Так как длина сердечника не превышает 300 мм, то радиальных вентиляционных каналов не делают. Сердечники шихтуются в один пакет. При этом конструктивная длина и длина стали сердечника статора равны [1, с.349, ф.9.7].

1.3. Расчёт обмотки статора

При расчёте обмотки статора определяется число пазов статора, число 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. Предварительно была выбрана однослойная обмотка.

Схема обмотки статора приведена в Приложении А.

1.3.1 Зубцовое деление статора t_{z1} при $\tau = 0,117 \text{ м}$ [1, с.351, рис.9.26]

Максимальное значение $t_{z1max} = 0,014 \text{ м}$; Минимальное значение $t_{z1min} = 0,011 \text{ м}$;

1.3.2 Число пазов статора

$$Z_{1min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{z1max}} = \frac{3,14 \cdot 0,149}{0,014} = 33,46 ; \quad (1.9)$$

$$Z_{1max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{z1min}} = \frac{3,14 \cdot 0,149}{0,011} = 42,59 .$$

Окончательное число пазов статора выбираем с учётом условий, налагаемых требованиями симметрии обмотки, и желательно получения целого числа пазов на полюс и фазу. Число пазов статора должно быть кратно числу фаз $m=3$,

Принимаем $Z_1 = 36$.

1.3.3 Число пазов на полюс и фазу [1, с.351]

$$q = \frac{Z_1}{2 \cdot p \cdot m} = \frac{36}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 3 \quad (1.10)$$

1.3.4 Зубцовое деление статора (окончательно)

$$t_{z1} = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p \cdot q \cdot m} = \frac{3,14 \cdot 0,149}{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3} = 0,013 \text{ м.} \quad (1.11)$$

1.3.5 Число эффективных проводников в пазу (при, условии, что параллельные ветви обмотки: $a=1$)

$$u'_n = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{1ном} \cdot Z_1} = \frac{3,14 \cdot 0,149 \cdot 2,637 \times 10^4}{24,51 \cdot 36} = 14,335 \quad (1.12)$$

где $I_{1ном}$ – номинальный фазный ток

$$I_{1ном} = \frac{P_2}{m \cdot U_{1ном} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{11000}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,8} = 24,51 \text{ А.} \quad (1.13)$$

1.3.6 Число эффективных проводников в пазу

$$u_n = a \cdot u'_n = 1 \cdot 14,335 = 14,34. \quad (1.14)$$

Округляем до целого числа и принимаем $u_n = 14$

Принимаем число параллельных ветвей: $a=1$.

1.3.7 Окончательное число витков в фазе [1,с.352]

$$w_1 = \frac{u_n \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = \frac{14 \cdot 36}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 84. \quad (1.15)$$

1.3.8 Окончательное значение линейной нагрузки [1,с.353]

$$A = \frac{2 \cdot I_{1ном} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 24,51 \cdot 84 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,149} = 2,637 \times 10^4 \text{ А/м.} \quad (1.16)$$

1.3.9 Магнитный поток [1,с.353] :

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U_1}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{об1} \cdot f_1}, \quad (1.17)$$

где обмоточный коэффициент [1,стр.108]:

$$k_{об1} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2m_1}\right)}{q \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2m_1 \cdot q}\right)} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \beta\right) = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot 3}\right)}{6 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot 3 \cdot 6}\right)} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot 1 = 0,96 \quad (1.18)$$

Предварительно укорочение шага обмотки [1,стр.353]: $\beta=1$

$$\Phi = \frac{0,97 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 84 \cdot 0,96 \cdot 50} = 0,012 \text{ Вб.}$$

1.3.10 Индукцию в воздушном зазоре примем (окончательно):

$$B_{\delta} = \frac{\Phi \cdot p}{D \cdot l_{\delta}} = \frac{0,012 \cdot 2}{0,149 \cdot 0,179} = 0,891 \text{ Тл.} \quad (1.19)$$

Полученное значение B_{δ} входит в пределы рекомендуемой области.

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.

1.3.11 Плотность тока [1, с.354, ф.9.25]

$$J_1 = \frac{A \cdot J}{A} = \frac{1,9 \times 10^{11}}{2,637 \times 10^4} = 7,21 \times 10^6 \frac{A}{m^2}, \quad (1.20)$$

где произведение линейной нагрузки на плотность тока [1, с.355, рис.9.27а];

$$AJ = 1,9 \times 10^{11} \frac{A^2}{m^2}. \quad (1.21)$$

1.3.12 Сечение эффективного проводника (предварительно)

$$q_{эф} = \frac{I_{ном}}{a \cdot J_1} = \frac{24,51}{1 \cdot 7,21 \times 10^6} = 3,402 \times 10^{-6} m^2. \quad (1.22)$$

Сечение элементарного проводника:

$$q_{эл} = \frac{q_{эф}}{n_{эл}} = \frac{3,402 \times 10^{-6}}{6} = 5,669 \times 10^{-7} m^2. \quad (1.23)$$

В обмотках из прямоугольного провода число элементарных проводников может быть взято до 8-10, но при большем $n_{эл}$ возрастают технологические трудности намотки катушек, поэтому в современных машинах стремятся уменьшить число элементарных проводников в одном эффективном до 6-8. Принимаем число элементарных проводников $n_{эл} = 6$ [1, стр.354].

Принимаем обмоточный провод марки ПЭТВ по [1, с.343 приложение 3]

$$d_{эл} = 0,85 \times 10^{-3} \text{ м}, \quad d_{из} = 0,915 \times 10^{-3} \text{ м}, \quad q_{эл} = 0,567 \times 10^{-6} \text{ м}^2,$$

$$q_{эф} = q_{эл} \cdot n_{эл} = 0,567 \times 10^{-6} \cdot 6 = 3,402 \times 10^{-6} \text{ м}^2.$$

1.3.13 Плотность тока (окончательно) [1, стр.354]:

$$J_1 = \frac{I_{ном}}{a \cdot q_{эл} \cdot n_{эл}} = \frac{24,51}{1 \cdot 0,567 \times 10^{-6} \cdot 6} = 7,205 \times 10^6 \frac{A}{м^2}. \quad (1.24)$$

Плотность тока в обмотке статора находится в допустимых пределах, что является критерием правильности произведенных расчетов.

1.4. Расчёт размеров зубцовой зоны статора

Выбор формы паза статора. Круглые обмоточные провода выпянутой обмотки могут быть уложены в пазы произвольной конфигурации, поэтому размеры зубцовой зоны при выпянутой обмотке выбирают таким образом, чтобы параллельные грани имели зубцы, а не пазы статора. Такие зубцы имеют постоянное, не изменяющееся магнитное напряжение зубцов с параллельными гранями оказывается меньше, чем магнитное напряжение трапецидальных зубцов, при том же среднем значении индукции в них. Это объясняется отсутствием в зубцах с параллельными гранями участков с высокой индукцией, напряженность поля в которых резко возрастает из-за нелинейности магнитной характеристики стали, увеличивая суммарное магнитное напряжение зубцов. В большинстве современных двигателей выполняют трапецидальные пазы.

Выбираем трапецеидальный паз статора

1.4.1 Ширина зубца [1, с.362]:

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z1}}{B_{z1} \cdot k_c} = \frac{0,891 \cdot 0,013}{1,7 \cdot 0,97} = 7,03 \times 10^{-3} \text{ м}, \quad (1.25)$$

где B_{z1} – индукция в зубцах статора [1, с.357, табл.9.12]; $B_{z1}=(1,6-1,9) \text{ Тл}$,
принимаем $B_{z1}=1,7 \text{ Тл}$;

k_c – коэффициент заполнения пакета сталью магнитопровода при $h=132 \text{ мм}$, $U_{1н} = 220 \text{ В}$, со способом изолировки листов – оксидирование [1, с.358, табл.9.13]; $k_c=0,97$.

1.4.2 Высота ярма статора;

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot \ell_{cm1} \cdot k_{c1}} = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,46 \cdot 0,179 \cdot 0,97} = 0,0235 \text{ м}. \quad (1.26)$$

где B_a – индукция в ярме статора [1, с.357, табл.9.12]; $B_a=(1,4-1,6) \text{ Тл}$,
принимаем $B_a=1,46 \text{ Тл}$.

1.4.3 Ширина шлица паза:

принимают равной $b_{u1}=3,5 \text{ мм}$, при $p=2$ [1, с.363, табл.9.16].

Высота шлица паза должна быть достаточной для обеспечения механической прочности кромок зубцов удерживающих в уплотненном состоянии проводники паза после заклиновки пазов в асинхронный двигатель при $h=132 \text{ мм}$, $h_{u1}=1 \text{ мм}$ [1, с.361].

1.4.4 Высота паза:

$$h_{m1} = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{0,233 - 0,149}{2} - 0,023 = 0,018 \text{ м}, \quad (1.27)$$

1.4.5 Максимальная ширина паза:

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{m1})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{3,14 \cdot (0,233 + 2 \cdot 0,018)}{36} - 7,03 \times 10^{-3} = 9,21 \times 10^{-3} \text{ м}, \quad (1.28)$$

1.4.6 Минимальная ширина паза:

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{u1} - b_{u1}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{3,14 \cdot (233 + 2 \cdot 1 - 35) \cdot 10^{-3} - 36 \cdot 7,03 \cdot 10^{-3}}{36 - 3,14} = 6,412 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.29)$$

1.4.7 Высота клиновидной части паза:

$$h_k = \frac{b_2 - b_{us}}{2} = \frac{9,21 \cdot 10^{-3} - 3,5 \cdot 10^{-3}}{2} = 1,456 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.30)$$

1.4.8 Высота паза предназначенная для укладки обмотки;

$$h_{n.k} = h_{n1} - (h_{us1} + h_k) = 0,018 - (1 + 1,456) \cdot 10^{-3} = 0,016 \text{ м} \quad (1.31)$$

Размеры паза в свету с учётом припуска на сборку [1, с.365, ф.9.42]

$$\begin{aligned} b'_1 &= b_1 - \Delta b_n = 9,21 \times 10^{-3} - 0,1 \times 10^{-3} = 0,0091 \text{ м} \\ b'_2 &= b_2 - \Delta b_n = 6,412 \times 10^{-3} - 0,1 \times 10^{-3} = 0,0063 \text{ м} \\ h'_{nk} &= h_{nk} - \Delta h_n = 16 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-3} = 0,016 \text{ м} \end{aligned} \quad (1.32)$$

где припуски по ширине и по высоте паза $\Delta b_{n1} = \Delta h_{n1} = 0,1 \text{ мм}$ [1, с.360, табл.9.14].

Паз статора с указанием основных размеров изображён на рисунке 1.1

1.4.9 Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу

$$S_{uz} = b_{uz} \cdot (2 \cdot h_n + b_1 + b_2) = 3 \times 10^{-4} \cdot (2 \cdot 18 + 9,21 + 6,412) \times 10^{-3} = 1,578 \times 10^{-5} \text{ м}^2, \quad (1.33)$$

где b_{uz} – односторонняя толщина изоляции в пазу [1, с.77, табл.3.1]:

$b_{uz} = 3 \text{ мм}$, для однолойной обмотки при высоте оси вращения $h = 132 \text{ мм}$.

марка изоляционного материала пленкостеклопласт - имидофлекс в один слой.

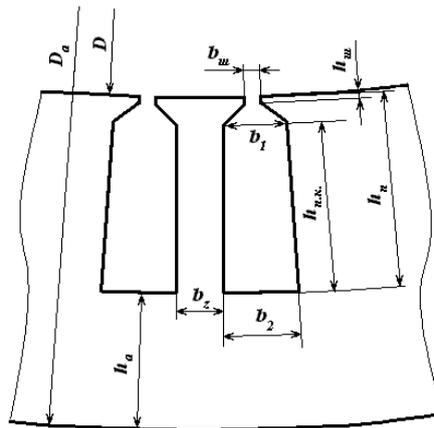


Рисунок 1.1 - Паз статора с основными размерами

1.4.10 Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников:

$$\begin{aligned} S'_n &= \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_{nk} - S_{uz} - S_{np} \\ S'_n &= \frac{0,0091 + 0,0063}{2} \cdot 0,016 - 1,578 \times 10^{-5} - 1,085 \times 10^{-5} = 9,623 \times 10^{-5} \text{ м}^2, \end{aligned} \quad (1.34)$$

где S_{np} - площадь, занимаемая прокладками в пазу:

$$S_{np} = (0,9 \cdot b_1 + 0,4 \cdot b_2) \times 10^{-3} = 0,0003 \cdot (0,9 \cdot 9,21 + 0,4 \cdot 6,412) \times 10^{-3} = 1,085 \times 10^{-5} \quad (1.35)$$

1.4.11 Коэффициент заполнения паза [1, с.366]

$$k_3 = \frac{d_{уз}^2 \cdot u_n \cdot n_{эл}}{S_n} = \frac{(9,15 \times 10^{-4})^2 \cdot 14 \cdot 6}{9,623 \times 10^{-5}} = 0,731 \quad (1.36)$$

Полученное значение коэффициента заполнения паза находится в рекомендуемом пределе ($k_3 = 0,72 \dots 0,74$ для двигателей с $2p=4$).

1.5. Расчёт ротора

1.5.1 При выборе воздушного зазора следует руководствоваться данными выпускаемых двигателей [1, с.367, ф.9.50]

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;

$$\delta = \frac{D}{1,2} \cdot \left(1 + \frac{9}{2 \cdot p} \right) \cdot 10^{-3} = 4,039 \times 10^{-4} \text{ м,} \quad (1.37)$$

1.5.2 Число пазов ротора [1, с.373, табл.9.18].

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 $2p$.

При $2p=4$ и $Z_1=36$ принимаем $Z_2=26$.

1.5.3 Внешний диаметр ротора:

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta = 0,149 - 2 \cdot 4,039 \times 10^{-4} = 0,1483 \text{ м}, \quad (1.38)$$

Конструктивную длину сердечника ротора берём равной длине сердечника статора

$$\ell_2 = \ell_1 = 0,179 \text{ м}, \quad (1.39)$$

1.5.4 Зубцовое деление ротора:

$$t_{z2} = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{\pi \cdot 0,148}{26} = 0,0179 \text{ м}. \quad (1.40)$$

1.5.5 Внутренний диаметр ротора [1, с.385]:

$$D_B = k_B \cdot D_a = 0,23 \cdot 0,233 = 0,054 \text{ м}, \quad (1.41)$$

Сердечники роторов АД, при $D_2 \leq 990 \text{ мм}$, выполняются с непосредственной посадкой на гладкий вал при помощи горячей посадки, внутренний диаметр ротора равен диаметру вала, где при $h=132 \text{ мм}$, $k_B=0,23$ [1, с.385, табл.9.19].

1.5.6 Ток в стержне ротора [1, с.370, ф.9.57]:

$$I_2 = k_i \cdot I_{ном} \cdot v_i,$$

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 [1, с.346, рис.9.22] при $\cos\varphi=0,8$

$$k_i = 0,2 + 0,8 \cdot \cos\varphi = 0,2 + 0,8 \cdot 0,8 = 0,84; \quad (1.42)$$

v_i - коэффициент приведения токов [1, с.374]:

$$v_i = \frac{2 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{об1}}{Z_2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 84 \cdot 0,96}{26} = 18,61 \quad (1.43)$$

Тогда

$$I_2 = 0,84 \cdot 24,51 \cdot 18,61 = 383,049 \text{ А} \quad (1.44)$$

1.5.7 Площадь поперечного сечения стержня [1, с.375]:

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = \frac{383,049}{3,5 \times 10^6} = 1,094 \times 10^{-4} \text{ м}^2, \quad (1.45)$$

где J_2 – плотность тока в стержне ротора машин закрытого обдуваемого исполнения при заливке пазов алюминием $J_2=(2,5-3,5) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ [1, с.375].

Принимаем $J_2=3,5 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$.

1.5.8 Паз ротора.

Для обеспечения высоких энергетических показателей в номинальном режиме работы выбираем пазы с широкой верхней частью – грушевидные.

Ширина шлица $b_{ш2}=1,5 \cdot 10^3 \text{ мм}$, высота шлица $h_{ш2}=7,5 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$, высота перемычки над пазом $h_{ш}^{\wedge}=0,3 \text{ мм}$ [1, с.380].

1.5.9 Ширина зубца ротора:

$$b_{z2} = \frac{B_\delta \cdot t_{z2}}{B_{z2} \cdot k_c} = \frac{0,891 \cdot 0,018}{1,7 \cdot 0,97} = 9,681 \times 10^{-3} \text{ м}, \quad (1.46)$$

где индукция в зубцах ротора [1, с.357, табл.9.12]; принимаем $B_{z2}=1,7 \text{ Тл}$.

1.5.10 Максимальная ширина паза:

$$b_{1p} = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_{u2} - h_u) - Z_2 \cdot b_{z2}}{Z_2 + \pi} = \frac{\pi \cdot (0,148 - 2 \cdot 7,5 \times 10^{-4} - 2 \cdot 0,3 \times 10^{-3}) - 26 \cdot 9,681 \times 10^{-3}}{\pi + 26} = 7,189 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (1.47)$$

1.5.11 Минимальная ширина паза:

$$b_{2p} = \sqrt{\frac{b_{1p}^2 \cdot \left(\frac{Z_2 + \pi}{\pi} - q_c \cdot 4\right)}{\frac{Z_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \sqrt{\frac{(7,189 \times 10^{-3})^2 \cdot \left(\frac{26}{3,14} + \frac{3,14}{2}\right) - 1,094 \times 10^{-4} \cdot 4}{\frac{26}{3,14} - \frac{3,14}{2}}} = 2,689 \times 10^{-3} \text{ м} \quad (1.48)$$

1.5.12 Полная высота паза ротора

$$h_{np} = h_{u2} + h_{u2}' + \frac{b_{21}}{2} + \frac{b_{22}}{2} + h_1 = 0,3 + 7,5 \times 10^{-4} + \frac{7,189 \times 10^{-3}}{2} + \frac{2,689 \times 10^{-3}}{2} + 0,019 = 0,024 \text{ м} \quad (1.49)$$

$$\text{где } h_{1p} = (b_{1p} - b_{2p}) \cdot \frac{Z_2}{2 \cdot \pi} = (7,189 - 2,689) \times 10^{-3} \cdot \frac{26}{2 \cdot 3,14} = 0,019 \text{ м}. \quad (1.50)$$

Паз ротора изображён на рисунке 1.2.

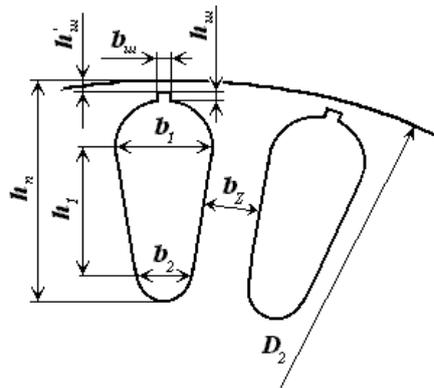


Рисунок 1.2 - Паз ротора с основными размерами.

1.5.13 Сечение стержня (окончательно)[1,с.380]:

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (b_{21}^2 + b_{22}^2) + \frac{1}{2} \cdot (b_{21} + b_{22}) \cdot h_2$$

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (7,189^2 - 2,689^2) \times 10^{-6} + \frac{1}{2} \cdot (7,189 - 2,689) \times 10^{-3} \cdot 19 \times 10^{-3} = 1,151 \times 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (1.51)$$

1.5.14 Плотность тока в стержне (окончательно);

$$J_2 = \frac{I_2}{q_c} = \frac{383,049}{1,151 \times 10^{-4}} = 3,327 \times 10^6 \frac{A}{m^2}, \quad (1.52)$$

1.5.15 Ток в кольце [1, с.376. ф.9.70];

$$I_{кл} = \frac{I_2}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2}} = \frac{383,049}{2 \cdot \sin \frac{3,14 \cdot 2}{26}} = 800,3 \text{ А}. \quad (1.53)$$

1.5.16 Плотность тока в кольце [1, с.376];

$$J_{кл} = 0,85 \cdot J_2 = 0,85 \cdot 3,327 \times 10^6 = 2,828 \times 10^6 \frac{A}{m^2}, \quad (1.54)$$

Плотность тока в короткозамыкающих кольцах выбираем примерно на 15-20% меньше, чем в стержнях. Это объясняется следующим образом. Так как короткозамыкающие кольца, имеют лучшие условия охлаждения по сравнению со стержнями, являются своего радиаторами, которые отводят тепло стержней, улучшая их охлаждение.

1.5.17 Расчет сечения короткозамкнутого кольца [1, с.376, ф.9.72]:

$$q_{кл} = \frac{I_{кл}}{J_{кл}} = \frac{800,3}{2,828 \times 10^6} = 2,83 \times 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (1.55)$$

1.5.18 Высота короткозамкнутого кольца [1, с.377];

$$h_{кл} = 1,25 \cdot h_{п2} = 1,25 \cdot 24 \times 10^{-3} = 30 \times 10^{-3} \text{ м}. \quad (1.56)$$

1.5.19 Ширина короткозамкнутого кольца [1, с.377, ф.9.73];

$$b_{кл} = \frac{q_{кл}}{h_{кл}} = \frac{2,83 \times 10^{-4}}{30 \times 10^{-3}} = 93 \times 10^{-3} \text{ м}. \quad (1.57)$$

1.5.20 Средний диаметр короткозамкнутого кольца [1, с. 244];

$$D_{кл.ср} = D_2 - h_{кл} = (148 - 30) \times 10^{-3} = 0,118 \text{ м}. \quad (1.58)$$

1.6. 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.

Магнитопровод выбирается из стали марки 2212; толщина листов 0,5мм.

1.6.1 Индукция в зубцах статора (окончательно) [1,с.387]:

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z1}}{b_{z1} \cdot k_c} = \frac{0,891 \cdot 13 \times 10^{-3}}{7,03 \times 10^{-3} \cdot 0,97} = 1,7 \text{ Тл.} \quad (1.59)$$

1.6.2 Индукция в зубцах ротора (окончательно):

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z2}}{b_{z2} \cdot k_c} = \frac{0,891 \cdot 18 \times 10^{-3}}{9,681 \times 10^{-3} \cdot 0,97} = 1,7 \text{ Тл.} \quad (1.60)$$

1.6.3 Индукция в ярме статора (окончательно):

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot \ell_{cm1} \cdot k_c} = \frac{12 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 23 \times 10^{-3} \cdot 179 \times 10^{-3} \cdot 0,97} = 1,46 \text{ Тл.} \quad (1.61)$$

1.6.4 Высота ярма ротора

$$h_j = \frac{D_2 - D_j}{2} - h_{n2} = \frac{(148 - 54) \times 10^{-3}}{2} - 24 \times 10^{-3} = 23 \times 10^{-3} \text{ м.} \quad (1.62)$$

1.6.5 Расчетная высота ярма ротора [1,с.395]:

$$h_j^* = \left(\frac{D_2}{2} - h_{n2} \right) \cdot \frac{2+p}{3,2 \cdot p} = \left(\frac{0,148}{2} - 24 \times 10^{-3} \right) \cdot \frac{2+2}{3,2 \cdot 2} = 31 \times 10^{-3} \text{ м}$$

При посадке сердечника непосредственно на вал в двигателях с $2p=4$ необходимо учитывать, что часть магнитных линий потока замыкается через вал.

1.6.5 Индукция в ярме ротора;

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h_j^* \cdot \ell_{cm2} \cdot k_c} = \frac{12 \times 10^{-3}}{2 \cdot 31 \times 10^{-3} \cdot 179 \times 10^{-3} \cdot 0,97} = 1,1 \text{ Тл.} \quad (1.63)$$

Коэффициент воздушного зазора по (1, с.174, ф.4.16).

В связи с тем, что поверхности статора и ротора ограничивающие воздушный зазор, не гладкие, а имеют различные неровности: пазы, углубления для размещения бандажей и др. Магнитное сопротивление участков такого зазора в поперечном сечении машины различно, поэтому

распределение индукции по площади воздушного зазора неравномерно. Наибольшая неровность возникает из-за наличия зубцов на статоре и роторе. Над коронками зубцов магнитные линии потока сгущаются, а над прорезами 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.

$$k_{\delta 1} = \frac{t_{z1}}{t_{z1} - \gamma_1 \cdot \delta} = \frac{13 \times 10^3}{13 \times 10^3 - 5,496 \cdot 4,039 \times 10^{-4}} = 1,206 ; \quad (1.64a)$$

где

$$\gamma = \frac{\left(\frac{b_{\phi 1}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{\phi 1}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{3,5 \times 10^{-3}}{4,039 \times 10^{-4}}\right)^2}{5 + \frac{3,5 \times 10^{-3}}{4,039 \times 10^{-4}}} = 5,496 ;$$

1.6.6 Магнитное напряжение воздушного зазора:

$$F_{\delta} = \frac{2}{\mu} \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} \times 10^6 = 1,59 \times 10^6 \cdot 0,891 \cdot 4,039 \times 10^{-4} \cdot 1,206 = 689,678 \text{ А} . \quad (1.66)$$

1.6.7 Магнитное напряжение зубцовых зон статора:

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1} = 2 \cdot 18 \times 10^{-3} \cdot 1900 = 70,261 \text{ А} \quad (1.67)$$

где напряжённость в зубцах статора АД при индукции $B_{z1}=1,7$ Тл; $H_{z1}=1440$ А/м. [1, с.698, табл.П.17].

1.6.8 Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора:

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2} = 2 \cdot 24 \times 10^{-3} \cdot 1900 = 89,951 \text{ А} ; \quad (1.68)$$

$$h_{z2} = h_{n2} - 0,1 \cdot b_2 = 0,024 - 0,1 \cdot 6,412 \times 10^{-3} = 0,024 \text{ м} \quad (1.69)$$

где напряжённость магнитного поля для стали 2212 при индукции $B_{z2}=1,7$ Тл, $H_{z2}=1900$ А/м. [1, с.698, табл.П.17].

1.6.9 Коэффициент насыщения зубцовой зоны [1, с.391, ф.9.115]:

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} = 1 + \frac{70,261 + 89,951}{689,678} = 1,23. \quad (1.70)$$

Полученное значение коэффициента насыщения зубцовой зоны позволяет 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 $k_z < 1,1$, то зубцовая зона мало использована или воздушный зазор взят большим.

1.6.10 Длина магнитной линии ярма статора:

$$L_a = \frac{\pi \cdot (D_a - h_a)}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot (233 - 23) \times 10^{-3}}{2 \cdot 2} = 165 \times 10^{-3} \text{ м}. \quad (1.71)$$

1.6.11 Длина магнитной линии ярма ротора:

$$L_j = \pi \cdot \frac{d_j + h_j}{2 \cdot p} = 3,14 \cdot \frac{(54 + 23) \times 10^{-3}}{2 \cdot 2} = 60 \times 10^{-3} \text{ м}. \quad (1.72)$$

1.6.12 Магнитное напряжение ярма статора:

$$F_a = L_a \cdot H_a = 165 \times 10^{-3} \cdot 789 = 129,854 \text{ А}, \quad (1.73)$$

где напряжённость магнитного поля ярма статора для стали 2212 при индукции $B_a = 1,46 \text{ Тл}$, $H_a = 789 \text{ А/м}$. [1, с.697, табл.П.1.9].

1.6.13 Магнитное напряжение ярма ротора:

$$F_j = L_j \cdot H_j = 60 \times 10^{-3} \cdot 305 = 18,358 \text{ А}, \quad (1.74)$$

где напряжённость магнитного поля ярма ротора для стали 2013 при индукции $B_j = 1,1 \text{ Тл}$, $H_j = 305 \text{ А/м}$. [1, с.697].

1.6.14 Магнитное напряжение на пару полюсов:

$$F_u = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 689,678 + 70,261 + 89,951 + 129,854 + 18,358 = 998,1 \text{ А} \quad (1.75)$$

1.6.15 Коэффициент насыщения магнитной цепи:

$$k_\mu = \frac{F_u}{F_\delta} = \frac{998,1}{689,678} = 1,45. \quad (1.76)$$

1.6.16 Намагничивающий ток:

$$I_{\mu} = \frac{p \cdot F_u}{0,9 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{об1}} = \frac{2 \cdot 998,1}{0,9 \cdot 3 \cdot 84 \cdot 0,96} = 9,17 \text{ А} . \quad (1.77)$$

1.6.17 Относительное значение намагничивающего тока:

$$I_{\mu}^* = \frac{I_{\mu}}{I_{ном}} = \frac{9,17}{24,51} = 0,37 . \quad (1.78)$$

Относительное значение намагничивающего тока служит определенным критерием правильности 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 материала 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 выбрано размерные соотношения участков магнитопровода. Двигатель будет иметь низкие КПД и $\cos\varphi$. В моём случае относительное значение входит в обозначенные для него пределы $0,2 < I_{\mu}^* < 0,4$ [1, с.396].

1.7 Параметры рабочего режима

Параметрами асинхронного двигателя 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.1.3). Физические процессы в асинхронной машине более наглядно отражает схема, изображённая на рис. 1.3а.

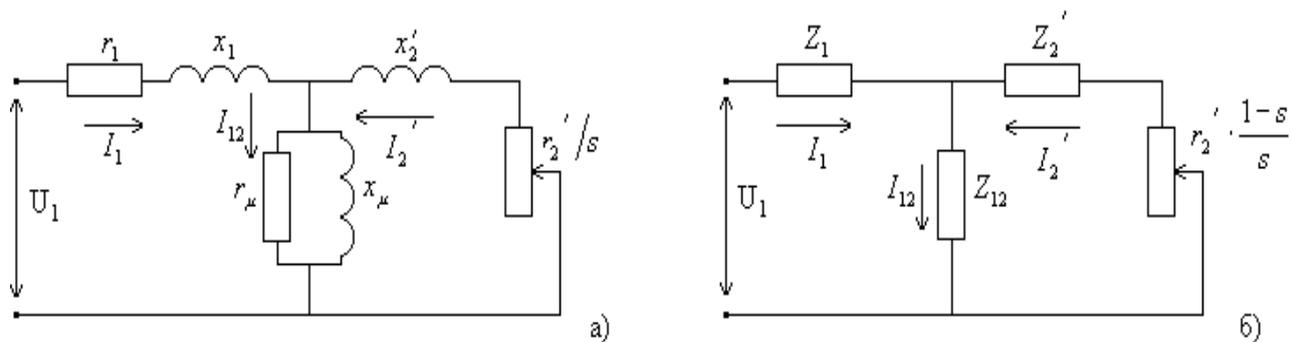


Рисунок 1.3 - Схемы замещения обмотки приведённой асинхронной машины

Но для расчёта оказалось удобнее преобразовать её в схему показанную на рис. 1.3б.

Параметры схемы замещения не остаются неизменными при различных режимах работы машины. С повышением нагрузки увеличивается поток рассеяния, и в связи с этим из-за увеличения 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.

1.7.1 Средняя ширина катушки:

$$b_{км} = \frac{\pi \cdot (D + h_{n1})}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot (149 + 18) \times 10^{-3}}{2 \cdot 2} = 132 \times 10^{-3} \text{ м.} \quad (1.79)$$

1.7.2 Длина лобовой части

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.

$$\ell_{л} = K_{л} \cdot b_{км} + 2B = 1,3 \cdot 208 \times 10^{-3} + 2 \cdot 0,01 = 191 \times 10^{-3} \text{ м}, \quad (1.80)$$

где коэффициент при наличии изоляции в лобовых частях $K_{л}=1,3$ [1, с.399, табл.9.23]; длина вылета прямолинейной части катушек из паза от торца сердечника до начала отгиба лобовой части $B=0,01$ м. [1, с.399].

1.7.3 Вылет лобовых частей обмотки:

$$\ell_{\text{выл}} = K_{\text{выл}} \cdot b_{км} + B = 0,4 \cdot 0,208 + 0,01 = 63 \times 10^{-3} \text{ м}, \quad (1.81)$$

где коэффициент $K_{\text{выл}}=0,26$ определяется по [1, с.399].

1.7.4 Средняя длина витка обмотки:

$$\ell_{\text{ср1}} = 2 \cdot (\ell_{н1} + \ell_{л}) = 2 \cdot (208 + 290) \times 10^{-3} = 0,741 \text{ м}, \quad (1.82)$$

где длина пазовой части $\ell_{н} = \ell_{1} = 0,208$ м.

1.7.5 Длина проводников фазы обмотки:

$$L_1 = \ell_{\text{ср1}} \cdot W_1 = 0,741 \cdot 84 = 62,25 \text{ м}. \quad (1.83)$$

1.7.6 Активное сопротивление фазы обмотки статора для класса нагревостойкости F расчётная температура $t_{\text{расч}}=115$ °C.

$$r_1 = k_T \cdot \rho_{115Cu} \cdot \frac{L_1}{q_{\text{эф}} \cdot a} = 1 \times \frac{10^{-6}}{41} \cdot \frac{62,25}{3,402 \times 10^{-6}} = 0,446 \text{ Ом}, \quad (1.84)$$

где k_T – Коэффициент увеличения активного сопротивления фазы обмотки от действия эффекта вытеснения тока, но т.к. он в асинхронных двигателях проявляется незначительно по [1, стр.398] принимается $k_T=1$;

ρ_{115Cu} – удельное сопротивление материала обмотки для данного класса нагревостойкости изоляции при температуре 115°С, для меди $\rho_{115Cu}=10^{-6} / 41$ Ом·м [1, с.187, табл.5.1].

1.7.7 Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки статора:

$$r_1^* = r_1 \cdot \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 0,446 \cdot \frac{24,51}{220} = 0,05. \quad (1.85)$$

Активное сопротивление фазы короткозамкнутого ротора определяется следующим. 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.

1.7.8 Сопротивление стержня:

$$r_c = \rho_{115Al} \cdot \frac{\ell_2}{q_c} = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{179 \times 10^{-3}}{1,151 \times 10^{-4}} = 7,601 \times 10^{-5} \text{ Ом}, \quad (1.86)$$

где ρ_{115} – удельное сопротивление материала обмотки для данного класса нагревостойкости F изоляции расчётная температура 115°C , для алюминиевого сплава АК12.

$$\rho_{115Al} = \frac{10^{-6}}{20,5} = 4,878 \times 10^{-8} \frac{\text{Ом}}{\text{м}};$$

1.7.9 Сопротивление участка замыкающего кольца, заключённого между двумя соседними стержнями:

$$r_{кл} = \rho_{115Al} \cdot \frac{\pi \cdot D_{кл}}{Z_2 \cdot q_{кл}} = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{\pi \cdot 118 \times 10^{-6}}{26 \cdot 2,83 \times 10^{-4}} = 2,456 \times 10^{-6} \text{ Ом}. \quad (1.87)$$

1.7.10 Активное сопротивление фазы обмотки ротора

$$r_2 = r_c + \frac{2 \cdot r_{кл}}{\Delta^2} = 7,601 \times 10^{-5} + \frac{2 \cdot 2,456 \times 10^{-6}}{0,479^2} = 9,746 \times 10^{-5} \text{ Ом}; \quad (1.88)$$

где Δ – коэффициент приведения тока кольца к току стержня.

1.7.11 Приводим r_2 к числу витков обмотки статора:

$$r_2' = r_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (W_1 \cdot k_{об1})^2}{Z_2} = 9,746 \times 10^{-5} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (84 \cdot 0,96)^2}{26} = 0,292 \text{ Ом}. \quad (1.89)$$

1.7.12 Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки ротора:

$$r_2^* = r_2' \cdot \frac{I_{ном}}{U_{ном}} = 0,292 \cdot \frac{24,51}{220} = 0,033. \quad (1.90)$$

1.7.13 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора [1, с.403]:

$$\lambda_{n1} = \frac{h_2}{3 \cdot b_{u1}} \cdot k_\beta + \left(\frac{3 \cdot h_k}{b_2 + 2 \cdot b_{11}} + \frac{h_{u1}}{b_{u1}} \right) \cdot k'_\beta = \frac{16 \times 10^{-3}}{3 \cdot 6.412 \times 10^{-3}} \cdot 1 + \left(\frac{3 \cdot 1.456 \times 10^{-3}}{6.412 \times 10^{-3} + 2 \cdot 3.5 \times 10^{-3}} + \frac{1 \times 10^{-3}}{3.5 \times 10^{-3}} \right) = 1,445 \quad (1.91)$$

где k_β – коэффициенты учитывающие укорочение шага обмотки при $\beta_1=1$ [1, с.403]; $k'_\beta = 1$.

1.7.14 Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки статора:

$$\lambda_{o1} = 0,34 \cdot \frac{q}{\ell_\delta} \cdot (\ell_{n1} - 0,64 \cdot \beta_1 \cdot \tau)$$

$$\lambda_{o1} = 0,34 \cdot \frac{3}{179 \times 10^{-3}} \cdot (191 \times 10^{-3} - 0,64 \cdot 1 \cdot 117 \times 10^{-3}) = 0,661 \quad (1.92)$$

1.7.15 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора:

$$\lambda_{o1} = \frac{t_{z1}}{12 \cdot \delta \cdot k_\delta} \cdot \xi = \frac{13 \times 10^{-3}}{12 \cdot 4,039 \times 10^{-4} \cdot 1,206} \cdot 1,253 = 2,791,$$

где ξ – коэффициент по (6-171)

$$\xi = 2 \cdot k_{ck} \cdot k_\beta - (t_2 / t_1)^2 \cdot k_{o\delta 1}^2 \cdot (\beta_{ck} + 1)$$

$$\xi = 2 \cdot 1,5 \cdot 1 - \left(\frac{0,018}{0,013} \right)^2 \cdot 0,96^2 \cdot (0+1) = 1,253 \quad (1.93)$$

Значение коэффициента k'_{ck} определим по [1, стр.405], исходя из отношения

$$\frac{t_{z2}}{t_{z1}} = 1,372 \text{ и } \beta_{ck} = 0, \text{ тогда } k'_{ck} = 1,2$$

β_{ck} - коэффициент, определяющий скос пазов, т.к. скоса нет $\beta_{ck} = 0$

Суммарный коэффициент магнитной проводимости статора:

$$\Sigma \lambda_1 = \lambda_n + \lambda_n + \lambda_o = 1,445 + 0,661 + 2,791 = 4,897 \quad (1.94)$$

1.7.16 Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора:

$$x_1 = 15,8 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{W_1}{100} \right)^2 \cdot \frac{\ell_\delta}{p \cdot q} \cdot \Sigma \lambda_1 = 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{84}{100} \right)^2 \cdot \frac{179 \times 10^{-3}}{2 \cdot 3} \cdot 4,897 = 0,816 \text{ Ом} \quad (1.95)$$

1.7.17 Относительное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки статора:

$$x'_1 = x_1 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 0,816 \cdot \frac{24,51}{220} = 0,091. \quad (1.96)$$

Относительные значения индуктивных сопротивлений рассеяния обмотки статора находятся в пределах $x'_1 = (0,08 - 0,14)$.

1.7.18 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки ротора [1, с.408]:

$$\lambda_{n2} = \left[\frac{h_0}{3 \cdot b_{1p}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b_{1p}^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_{u2}}{2 \cdot b_{1p}} \right] + \frac{h_{u2}}{b_{u2}}$$

$$\lambda_{n2} = \left[\frac{0,02}{3 \cdot 7,189 \times 10^{-3}} \cdot \left(1 - \frac{3,14 \cdot 7,189 \times 10^{-3}}{8 \cdot 1,151 \times 10^{-4}} \right)^2 + 0,66 - \frac{1,5 \times 10^{-3}}{2 \cdot 7,189 \times 10^{-3}} \right] + \frac{7,5 \times 10^{-4}}{1,5 \times 10^{-3}} = 1,69. \quad (1.97)$$

1.7.19 Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки ротора по (6-176):

$$\lambda_{r2} = \frac{2,3 \cdot D_{кл}}{Z_2 \cdot \ell_\delta \cdot \Delta^2} \cdot \lg \frac{4,7 \cdot D_{кл}}{2 \cdot b_{кл} + h_{кл}}$$

$$\lambda_{r2} = \frac{2,3 \cdot 0,118}{26 \cdot 0,179 \cdot 0,479^2} \cdot \lg \frac{4,7 \cdot 0,118}{2 \cdot 0,0931 + 0,03} = 0,27. \quad (1.98)$$

1.7.20 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки ротора:

$$\lambda_{o2} = \frac{t_{z2}}{12 \cdot \delta \cdot k_\delta} \cdot \xi = \frac{18 \times 10^{-3}}{12 \cdot 4,039 \times 10^{-4} \cdot 1,206} \cdot 1,002 = 3,072, \quad (1.99)$$

где ξ – коэффициент [1, стр.409]:

$$\xi = 1,002 \text{ т.к. } \frac{z_2}{p} = 13 > 10, \quad (1.100)$$

1.7.21 Суммарный коэффициент магнитной проводимости обмотки ротора:

$$\Sigma \lambda_2 = \lambda_{n2} + \lambda_{r2} + \lambda_{o2} = 1,69 + 0,27 + 3,072 = 5,032 \quad (1.101)$$

1.7.22 Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора:

$$x_2 = 7,9 \cdot f_1 \cdot \ell_\delta \cdot 10^{-6} \cdot \sum \lambda_2$$
$$x_2 = 7,9 \cdot 50 \cdot 0,179 \times 10^{-6} \cdot 5,032 = 3,565 \times 10^{-4} \text{ Ом.} \quad (1.102)$$

1.7.23 Приводим x_2 к числу витков обмотки статора:

$$x_2' = x_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (W_1 \cdot k_{об1})^2}{Z_2} = 3,565 \times 10^{-4} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (84 \cdot 0,96)^2}{26} = 1,07 \text{ Ом.} \quad (1.103)$$

1.7.24 Относительное значение x_2 :

$$x_2^* = x_2' \cdot \frac{I_{ном}}{U_{ном}} = 1,07 \cdot \frac{24,51}{220} = 0,119. \quad (1.104)$$

Относительные параметры асинхронного двигателя переводятся в относительные значения делается для удобства сравнения 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.

1.8. Расчёт потерь

При работе асинхронного двигателя часть расходуемой 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 “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.

1.8.1 Масса стали зубцов статора:

$$m_{z1} = h_{z1} \cdot b_{z1} \cdot Z_1 \cdot \ell_{cm1} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c$$

$$m_{z1} = 18 \times 10^{-3} \cdot 7,03 \times 10^{-3} \cdot 36 \cdot 179 \times 10^{-3} \cdot 0,97 \cdot 7800 = 6,35 \text{ кг}, \quad (1.105)$$

где удельная масса стали $\gamma_c = 7800 \text{ кг/м}^3$ [1, с.412].

1.8.2 Масса стали ярма статора:

$$m_a = \pi \cdot (D_a - h_a) \cdot h_a \cdot \ell_{cm1} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c$$

где $h_a = 0,5(D_a - D) - h_n = 0,5 \cdot (233 - 149) \times 10^{-3} - 18 \times 10^{-3} = 23 \times 10^{-3}$

$$m_a = \pi \cdot (233 - 23) \times 10^{-3} \cdot 23 \times 10^{-3} \cdot 179 \times 10^{-3} \cdot 0,97 \cdot 7800 = 20,95 \text{ кг}, \quad (1.106)$$

1.8.3 Основные потери в стали [1, с.412]:

$$P_{ст.осн} = p_{\%0} \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^\beta \cdot (\kappa_{da} \cdot B_a^2 \cdot m_a + \kappa_{dz} \cdot B_{z1}^2 \cdot m_{z1})$$

$$P_{ст.осн} = 2,5 \cdot \left(\frac{50}{50} \right)^1 \cdot (1,46^2 \cdot 1,6 \cdot 20,95 + 1,8 \cdot 1,7^2 \cdot 6,35) = 229,91 \text{ Вт}, \quad (1.107)$$

где удельные потери в стали для стали 2212 $p_{\%0} = 2,5 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$ [1, с.412], где показатель степени для стали 2212 $\beta = 1$ [1, с.412]; коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов $\kappa_{da} = 1,6$ и $\kappa_{dz} = 1,8$. [1, с.412].

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 (от пульсации индукции в зубцах).

1.8.4 Амплитуда пульсации индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора:

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot \kappa_{\delta} \cdot B_{\delta} = 0,37 \cdot 1,206 \cdot 0,891 = 0,397 \text{ Тл}, \quad (1.108)$$

где коэффициент, зависящий от отношения ширины шлица пазов статора к воздушному зазору $\beta_{02}=0,37$ [1, с.413];

1.8.5 Удельные поверхностные потери:

$$p_{\text{пов2}} = 0,5 \cdot k_{02} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{10000} \right)^{1,5} \cdot (B_{02} \cdot t_{z1} \cdot 10^3)^2$$

k_{02} -коэффициент учитывающий влияния обработки поверхности головок зубцов ротора на удельные потери (1,4...1,8) выбираем $k_{02}=1,4$

$$P_{\text{пов}} = 0,5 \cdot 1,4 \cdot \left(\frac{36 \cdot 1500}{10000} \right)^{1,5} \cdot (0,397 \cdot 0,013 \times 10^3)^2 = 234,899 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (1.109)$$

1.8.6 Полные поверхностные потери ротора:

$$P_{\text{пов2}} = p_{\text{пов2}} \cdot (t_{z2} - b_{\text{ш2}}) \cdot Z_2 \cdot \ell_{\text{см2}}$$

$$P_{\text{пов2}} = 234,899 \cdot (13 - 15) \times 10^{-3} \cdot 26 \cdot 0,179 = 17,991 \text{ Вт}. \quad (1.110)$$

1.8.7 Масса зубцов стали ротора:

$$m_{z2} = h_{z2} \cdot b_{z2} \cdot Z_2 \cdot \ell_{\text{см2}} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c$$

$$m_{z2} = 24 \times 10^{-3} \cdot 9,681 \times 10^{-3} \cdot 26 \cdot 179 \times 10^{-3} \cdot 0,97 \cdot 7800 = 8,087 \text{ кг}. \quad (1.111)$$

1.8.8 Амплитуда пульсаций индукции в среднем сечении зубцов ротора

$$B_{\text{пуль'2}} = \frac{\gamma_1 \cdot \delta}{2 \cdot t_{z2}} \cdot B_{z2} = \frac{5,496 \cdot 4,039 \times 10^{-4}}{2 \cdot 0,018} \cdot 1,7 = 0,105 \text{ Тл}. \quad (1.112)$$

1.8.9 Пульсационные потери в зубцах ротора:

$$P_{\text{пуль'2}} = 0,11 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{\text{пуль'2}} \right)^2 \cdot m_{z2} = 0,11 \cdot \left(\frac{36 \cdot 1500}{1000} \cdot 0,105 \right)^2 \cdot 8,087 = 28,748 \text{ Вт}, \quad (1.113)$$

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

1.8.10 Сумма добавочных потерь:

$$P_{ст.доб} = P_{нов2} + P_{нул2} = 17,991 + 28,748 = 46,739 \text{ Вт.} \quad (1.114)$$

1.8.17 Полные потери в стали

$$P_{ст} = P_{ст.осн} + P_{ст.доб} = 229,907 + 46,739 = 276,646 \text{ Вт.} \quad (1.115)$$

1.8.18 Механические потери для двигателей с внешним обдувом при $0,1 \leq D_a \leq 0,5 \text{ м}$

$$P_{мех} = K_T \cdot \left(\frac{n}{10}\right)^2 \cdot (10 \cdot D_a)^3 = 7 \cdot \left(\frac{1500}{10}\right)^2 \cdot (10 \cdot 0,233) = 52,226 \text{ Вт.} \quad (1.116)$$

где коэффициент: $K_T = 7$ (1.117)

1.8.19 Добавочные потери при номинальном режиме.

Добавочные потери возникают в результате действия потоков рассеяния, пульсаций индукций 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.

$$P_{доб} = 0,005 \cdot \frac{P_2}{\eta} = 0,005 \cdot \frac{1,1 \times 10^3}{0,85} = 64,71 \text{ Вт.} \quad (1.118)$$

1.8.20 Электрические потери при холостом ходе в обмотке статора [1, с.417]:

$$P_{элх,х} = m \cdot I_\mu^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 9,17^2 \cdot 0,446 = 112,589 \text{ Вт.} \quad (1.119)$$

1.8.21 Активная составляющая тока холостого хода [1, с.417]:

$$I_{x,x,a} = \frac{P_{ст} + P_{мех} + P_{элх,х}}{m \cdot U_{ном}} = \frac{276,646 + 52,226 + 112,589}{3 \cdot 220} = 0,669 \text{ А.} \quad (1.120)$$

1.8.22 Ток холостого хода двигателя [1, с.417]:

$$I_{x,x} = \sqrt{I_{x,x,a}^2 + I_\mu^2} = \sqrt{0,669^2 + 9,17^2} = 9,195 \text{ А.} \quad (1.123)$$

где $I_{хр} = I_\mu = 9,17$

1.8.23 Коэффициент мощности при холостом ходе [1, с.417]

$$\cos \phi_{x,x} = \frac{I_{x,x,a}}{I_{x,x}} = \frac{0,669}{9,195} = 0,073 . \quad (1.124)$$

1.9 Расчёт рабочих характеристик

Рабочими характеристиками асинхронного двигателя являются зависимости P_1 , I_1 , $\cos \phi$, η , $s=f(P_2)$. Методы расчёта характеристик базируются на системе уравнений токов и напряжений асинхронной машины, которой соответствует Г-образная схема замещения (рис.9.1). Активные и индуктивные сопротивления схемы замещения являются параметрами машины.

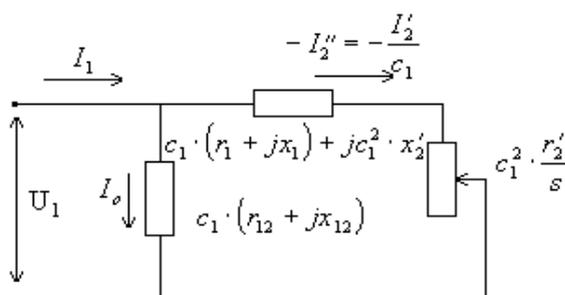


Рисунок 1.4 - Преобразованная Г-образная схема замещения приведённой асинхронной машины

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.

1.9.1 Расчётное сопротивление r_{12} [1, с.410]:

$$r_{12} = \frac{P_{ст.осн}}{m \cdot I_{\mu}^2} = \frac{229,907}{3 \cdot 9,17^2} = 0,911 \text{ Ом.} \quad (1.125)$$

1.9.2 Сопротивление взаимной индукции обмоток статора и ротора [1, с.410]:

$$x_{12} = \frac{U_{ном}}{I_{\mu}} - x_1 = \frac{220}{9,17} - 0,816 = 23,175 \text{ Ом.} \quad (1.126)$$

1.9.3 Коэффициент c_1 [1, с.419]:

$$c_{1a} = \frac{r_{12} \cdot (r_1 + r_{12}) + x_{12} \cdot (x_1 + x_{12})}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = 1.036 \quad c_{1p} = \frac{-x \cdot r_{12} + r_1 \cdot x_{12}}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = 0.018 \quad (1.127)$$

Тогда полное значение коэффициента c_1 будет определяться следующим образом [1,с.419]

$$c_1 = \sqrt{c_1 a^2 + c_1 p^2} = 1,036 \quad (1.128)$$

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 $s=(0,001 \div 0,04)$.

Номинальное скольжение предварительно принимаем равным $s_{н=r_2}^* = 0,022$. Для построения характеристик достаточно рассчитать значения требуемых величин для пяти-шести различных скольжений, выбранных в указанном диапазоне примерно через равные интервалы.

1.9.4. Ток синхронного холостого хода [1, с.212] :

$$I_{oa} = \frac{P_{ст.осн} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3 \cdot U_{1ном}} = \frac{229,907 + 3 \cdot 9,17^2 \cdot 0,446}{3 \cdot 220} = 0,519 \text{ А}; \quad (1.129)$$

$$I_{op} = I_{\mu} = 9,17 \text{ А};$$

$$I_o = \sqrt{I_{oa}^2 + I_{op}^2} = \sqrt{0,519^2 + 9,17^2} = 9,18 \text{ А}. \quad (1.130)$$

1.9.5. Постоянные коэффициенты [1, с.211 6.224]:

$$\begin{aligned} a' &= c_{1a}^2 = 1,073; \\ b' &= 0,037; \\ a &= c_{1a} \cdot r_1 = 0,408; \\ b &= c_{1a} \cdot (x_1 + c_{1r} \cdot x'_2) = 2,001. \end{aligned} \quad (1.131)$$

Результаты расчёта сведены в таблицу 1.1 . а также приводим рабочие характеристики по результатам расчета на рисунке 1.5

Номинальные данные спроектированного двигателя: $P_{2H}=11$ кВт;
 $I_{1НОМ}=24,51$ А; $\eta=0,85$; $U_{1НОМ}=220$ В; $\cos\varphi=0,8$.

Таблица 1.1-Расчет рабочих характеристик.								
N п/п	Расчётная формула	Ед. из м.	Скольжение					
			0,0003	0,002	0,009	0,017	0,0283	0,043
1	$a \cdot r_2' / s$	j	426,84	64,02	14,22	7,53	4,52	2,978
2	$b' \cdot r_2' / s$	Ом	36,033	5,405	1,201	0,636	0,382	0,251
3	$R = a + a' \cdot r_2' / s$	Ом	1046	157,23	35,259	18,859	11,492	7,703
4	$X = b + b' \cdot r_2' / s$	м	38,034	7,406	3,202	2,637	2,383	2,252
5	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ом	1047	157,41	35,405	19,042	11,736	8,025
6	$I_2'' = U_{н1} / Z$	А	0,21	1,398	6,214	11,553	18,746	27,414
7	$\cos \varphi_2' = R / Z$	–	0,999	0,999	0,996	0,99	0,979	0,96
8	$\sin \varphi_2' = X / Z$	–	0,036	0,047	0,09	0,138	0,203	0,281
9	$I_{1a} = I_{oa} + I_2'' \cdot \cos \varphi_2'$	А	0,729	1,915	6,707	11,961	18,874	26,831
10	$I_{1p} = I_{op} + I_2'' \cdot \sin \varphi_2'$	А	9,178	9,236	9,732	10,77	12,976	16,864
11	$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$	А	9,207	9,432	11,82	16,095	22,904	31,691
12	$I_2' = c_1 \cdot I_2''$	А	0,218	1,448	6,438	11,97	19,422	28,403
13	$P_1 = 3 \cdot U_{1r} \cdot I_{1a}$	кВт	3.652	6.899	10.095	19.3	25.14	30.436
14	$P_{\rho 1} = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_1$	Вт	113,488	119,11	187,044	346,83	702,378	1345
15	$P_{\rho 2} = 3 \cdot I_2'^2 \cdot r_2'$	Вт	0,042	1,839	36,355	125,67	330,857	707,586
16	$P_{\rho \sigma \sigma} = P_{\rho \sigma \sigma .н} \cdot (I_1 / I_{1н})^2$	Вт	2.406	6,319	22,134	39,471	62,285	88,543
17	$\Sigma P = P_{cm} + P_{Mex} + P_{\rho 1} + P_{\rho 2} + P_{\rho \sigma \sigma}$	Вт	444,807	456,5	574,405	840,852	1424	2470
18	$P_2 = P_1 - \Sigma P$	кВт	36,327	807,73 8	3852	7053	11030	15240
19	$\eta = 1 - \Sigma P / P_1$	–	0,076	0,639	0,87	0,89	0,88	0,86
20	$\cos \varphi = I_{1a} / I_1$	–	0,079	0,203	0,567	0,743	0,824	0,847

Жирным шрифтом выделены значения номинального режима работы

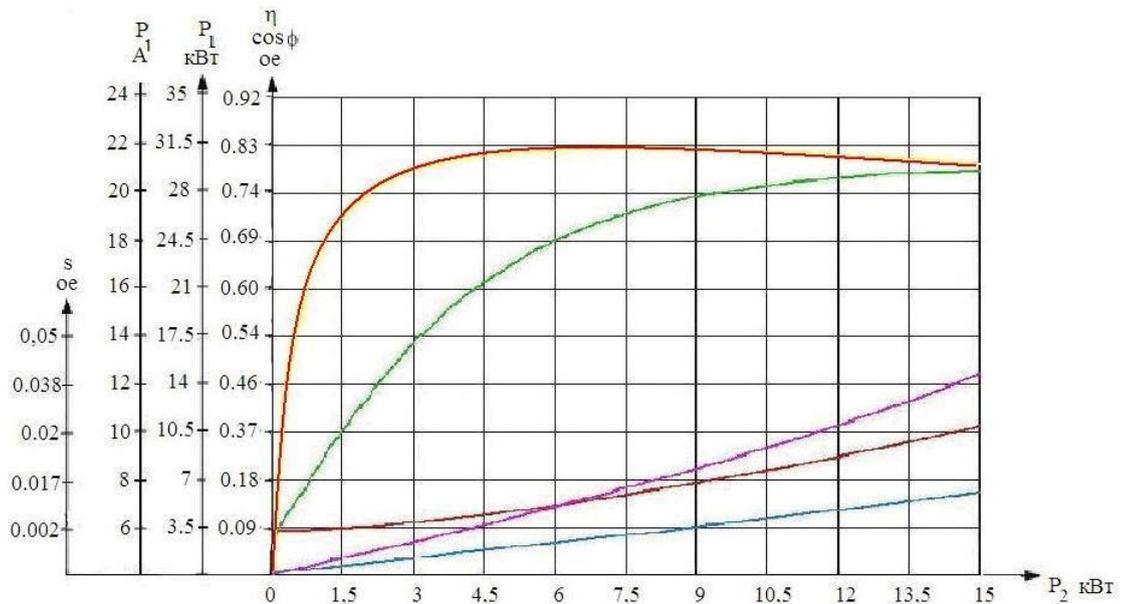


Рисунок 1.5 - Рабочие характеристики проектируемого двигателя.

1.10 Расчёт пусковых характеристик

Расчёт токов с учётом воздействия изменения параметров под влиянием эффекта вытеснения тока (без учёта влияния насыщения от полей рассеяния).
Расчёт для $S=1$.

1.10.1 Активное сопротивление обмотки ротора с учётом воздействия эффекта вытеснения тока

$$r_2 \xi_j = r_2 \cdot KR_j$$

$$r_2 \xi_j = 9.746 \times 10^{-5} \cdot 1.141 = 1.112 \times 10^{-4} \text{ Ом.}$$

высота обмотки стержня

$$h_c = h_{\Pi} - h_{u2}$$

$$h_c = 0.0236 \text{ м.}$$

При литой алюминиевой обмотке ротора и при расчётной температуре $\varrho=115\text{C}$ приведённая высота стержня [1, с.427, ф 9.244]:

$$\xi_j = 63.61 \cdot h_c \cdot \sqrt{s_j}$$

$$\xi_j = 1.499$$

глубина проникновения тока [1, с.427, ф 9.246]

$$h_r = \frac{h_c}{1 + \varphi}$$

$$h_{rj} = 0.0177 \text{ м.}$$

площадь сечения q_r [1, с.429, ф.9.253]:

$$q_{rj} = \frac{\pi \cdot b_1^2}{8} + \frac{b_1 + b_{r_o}}{2} \cdot \left(h_{r_o} - \frac{b_1}{2} \right) \quad q_{rj} = 9.753 \times 10^{-5} \text{ м.}$$

где [1, с.429, ф. 9.255]

$$b_{rj} = b_1 - \frac{b_1 - b_2}{h_1} \left(h_{r_o} - \frac{b_1}{2} \right) \quad b_{rj} = 0.00379 \text{ м.}$$

коэффициент k_r по [1, с.429, ф .9.250]:

$$k_{rj} = \frac{q_c}{q_{rj}}, \quad k_{rj} = 1.18 \text{ м.}$$

Коэффициент общего увеличения сопротивления фазы ротора под влиянием эффекта вытеснения тока [1, с.430, ф 9.257]:

$$K_{Rj} = 1 + \frac{r_c}{r_2} \cdot (k_{r_o} - 1) \quad K_{Rj} = 1.141$$

$$r_{2\xi j} = 1.112 \times 10^{-4} \quad \text{Тогда,}$$

1.10.2 Коэффициент изменения индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора от действия эффекта вытеснения тока [1, с.431, ф 9.262]:

$$K_{xj} = \frac{\xi_n^2 + \lambda_\pi^2 + \lambda_o^2}{\lambda_n^2 + \lambda_\pi^2 + \lambda_o^2} \quad K_{xj} = 0.972$$

коэффициент изменения индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора от действия эффекта вытеснения тока найдем по ф-ле:

$$\Delta\lambda_0 = \left[\frac{h_0}{3 \cdot b} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot \beta^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0.66 - \frac{b_{\phi 2}}{2 \cdot b} \right] \cdot (1 - \phi'_0) \quad \Delta\lambda_0 = 0,1238$$

1.10.3 Индуктивное сопротивление обмотки ротора с учетом влияния эффекта вытеснения тока [1, с.431, ф. 9.261]:

$$x'_{2\xi_j} = x'_{2} \cdot K_{x_j} \quad x'_{2\xi_j} = 1.039 \text{ Ом},$$

1.10.5 Расчёт тока с учётом влияния эффекта вытеснения тока [1, с.437, ф. 9.280]:

$$R_{n_j} = r_l + c_n I \frac{r'_{2\xi_j}}{s_j} \quad R_{n_j} = 0.79 \text{ Ом}$$

1.10.6 Ток в обмотке ротора [1, с.437, ф. 9.281]:

$$I'_{2_j} = \frac{U_l}{\sqrt{(R_{n_j})^2 + (X_{n_j})^2}} \quad I'_{2_j} = 107.9 \text{ А}$$

$$I_{I'_j} = I'_{2_j} \cdot \frac{\sqrt{(R_{n_j})^2 + (X_{n_j} + x_{l2} \cdot k_{\mu})^2}}{c_n I (x_{l2} \cdot k_{\mu})} \quad I_{I'_j} = 111.3 \text{ А}$$

Расчёт пусковых характеристик с учётом влияния вытеснения тока и насыщения от полей рассеяния.

1.10.7 Индуктивные сопротивления обмоток.

Средняя МДС обмотки, отнесённая к одному пазу обмотки статора [1, с.432, ф. 9.]:

$$F_{n.c.p_j} = 0.7 \cdot \frac{k_{нас_j} \cdot I_{ln_j}}{1} \cdot \left(k'_{\beta} + k_y \cdot k_{\phi 01} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \right) \quad F_{n.c.p_j} = 3330 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

1.10.8 Коэффициент C_N [1, с.433, ф. 9-265]:

$$C_N = 0.64 + 2.5 \sqrt{\frac{\delta}{t_1 + t_2}} \quad C_N = 0.926$$

фиктивная индукция потока рассеяния в воздушном зазоре [1, с.433, ф 9.264]:

$$B_{\phi\delta_j} = \frac{F_{n.cpj} \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot \delta \cdot C_N} \quad B_{\phi\delta_j} = 5.574 \quad Tл$$

1.10.9 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора с учётом влияния насыщения [1, с.432, ф 9.266]:

$$c_{эj} = (t_{z1} - b_{ул})(1 - k\delta prj) \quad c_{эj} = 0.00533$$

1.10.10 Уменьшение коэффициента проводимости рассеяния паза статора [1, с.434, ф.9.269]:

$$\Delta\lambda_{n1нас_j} = \frac{h_{у1} + 0,58 \cdot h_{к}}{b_{у1}} \cdot \frac{c_{э1j}}{c_{э1j} + 1,5 \cdot b_{у1}}, \quad \Delta\lambda_{n1нас_j} = 0.265$$

1.10.11 Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза статора с учетом насыщения [1, с.433, ф 9.272]:

$$\lambda_{n1нас_j} = \lambda_n - \Delta\lambda_{n1нас_j} \quad \lambda_{n1нас_j} = 1,18$$

1.10.12. Индуктивное сопротивление обмотки статора с учетом насыщения [1, с.435, ф 9.275]:

$$x_{1нас_j} = x_1 \cdot \frac{\lambda_{n1нас_j} + \lambda_{\partial 1нас_j} + \lambda_{л}}{\lambda_n + \lambda_{\partial} + \lambda_{л}} \quad x_{1нас_j} = 0,51 \text{ Ом}$$

1.10.13 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки ротора с учетом насыщения и вытеснения тока [1, с.434, ф 9-267]:

$$\Delta\lambda_{n2нас} = \frac{h_{у2}}{b_{у2}} \cdot \frac{c_{20}}{b_{у2} + c_{20}} \quad \Delta\lambda_{n2нас_0} = 0,43 \text{ Ом},$$

где c_{20} [1, с.434, ф 9.270]:

$$c_{20} = (t_2 - b_{у2}) \cdot (1 - x_{\delta_0}) \quad c_{20} = 0.0055 \text{ м}$$

1.10.14 Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза ротора с учетом насыщения [1, с.434, ф 9.273];

$$\Delta\lambda_{n2нас_j} = \frac{h_{u2}}{b_{u2}} \cdot \frac{c_{\vartheta 2_j}}{b_{u2} + c_{2_j}} \quad \Delta\lambda_{n2нас_j} = 0,43$$

1.10.15 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния статора с учетом насыщения [1, с.434, ф 9.274]:

$$\lambda_{\partial 2нас_j} = \lambda_{\partial 2} \cdot k_{\partial_j} \quad \lambda_{\partial 2нас_j} = 1,35$$

1.10.16 Приведенное индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора с учетом насыщения и вытеснения тока [1, с.434, ф 9.276]:

$$x'_{2\xi нас_j} = x'_2 \cdot \frac{\lambda_{n2\xi нас_j} + \lambda_{\partial 2нас_j} + \lambda_{n2}}{\lambda_{\partial 2} + \lambda_{n2} + \lambda_{n2}} \quad x'_{2\xi нас_j} = 0,58 \text{ Ом}$$

1.10.17 Коэффициент $c_{1n.нас}$ [1, с.437, ф 9.278]:

$$c_{1n.нас} = 1 + \frac{x_1}{x_{12n}} \quad c_{1n.нас} = 1,024$$

где x_{12n} сопротивление взаимной индукции обмоток в пусковом режиме.

1.10.18 Сопротивления по [1, с.437, ф 9.280]:

$$R_{n_j} = r_1 + \frac{c_{1n} \cdot r'_{2\xi}}{s_j} \quad R_{n_j} = 0,79 \text{ Ом.}$$

$$X_{II} = x_1 + c_{1.нас} \cdot x'_{2\xi} \quad X_{II} = 1,11 \text{ Ом}$$

1.10.19 Токи в обмотке ротора по [1, с.437, ф 9.281]:

$$I'_2 = c_{1n} \cdot I'_2 = \frac{U_{1ном}}{|Z_{ветви}|} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_n'^2 + X_n^2}} \quad I'_2 = 161,9 \text{ А.}$$

1.10.20 Токи в обмотке статора по [1, с.437, ф 9.283]:

$$I_{1n} = \frac{U_{1ном}}{|Z_{cx}|} = I'_{2n} \frac{\sqrt{R_n^2 + (X_n + x_{12})^2}}{c_{1n} \cdot x_{12n}} \quad I_{1n} = 166,9 \text{ А.}$$

1.10.21 Кратность пускового тока с учётом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения [1, с. 437, ф 9.284]:

$$I_{1*} = \frac{I_{1II}}{I_{1ном}} \quad I_{1*} = 7,29$$

1.10.22 Кратность пускового момента с учётом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения [1, с. 437, ф 9.284];

$$M_* = \left(\frac{I'_{2r}}{I_{2ном}} \right)^2 \cdot K_R \frac{S_{ном}}{S} \quad M_* = 2,24 \text{ Мн.}$$

1.10.23 Критическое скольжение [1, с. 439, ф 9.286]:

$$S_{кр} \approx \frac{r'_2}{\frac{x_1}{c_{1П}} + x'_2} \quad S_{кр} \approx 0,27$$

Результаты расчёта сведены в таблице 1.2 . По результатам расчётов строятся пусковые характеристики $M_*, I_* = f(s)$, представленные на рисунке 1.6. Таблица

1.2-Расчет пусковых характеристик.

	Расчётная формула	д	Скольжение S						
			0,9	0,7	0,5	0,2	0,1	0,03	0,001
1	$\xi = 63.61 h_c \sqrt{s}$		1,422	1,254	1.06	0,67	0.474	0.26	0.047
2	$\varphi(\xi)$	–	0.545	0.374	0.239	0.118	0.014	$\frac{4.88 \cdot}{10^{-4}}$	$8 \cdot 10^{-7}$
3	$k_r = q_c / q_r$	–	1,141	1,088	1.054	1.004	0.997	0.995	0.995
4	$K_R = 1 + \frac{r'_c}{r_2} (k_r - 1)$	–	1,11	1.069	1.042	1.003	0.998	0.996	0.996
5	$r'_{2\xi} = K_R r'_2$	М	0,108	0.104	0.101	0.0977	0.0972	0.0971	0.097
6	$k_d = \varphi'(\xi)$	–	0.933	0.94	0.948	0.963	0.974	0.985	0.995
7	$K_x = \Sigma \lambda_{2\xi} / \Sigma \lambda_2$	–	0.975	0.981	0.988	0.994	0.996	0.998	1
8	$x'_{2\xi} = x'_2 K_x$	Ом	1,042	1,049	1,057	1,063	1,065	1,067	1,069
9	$x'_{2\xi нас} = x'_2 \frac{\Sigma \lambda_{2\xi нас}}{\Sigma \lambda_2}$	Ом	0.59	0.61	0.64	0.73	0.85	1.02	1.06
10	$x_{1нас} = x_1 \frac{\Sigma \lambda_{1нас}}{\Sigma \lambda_1}$	-	0.51	0.52	0.54	0.6	0.69	0.8	0.81
11	$c_{1н.нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12н}}$	–	1,015	1,016	1,016	1,018	1,021	1,024	1,024

12	$R_{п.нас} = r_1 + c_{1п.нас} \frac{r'_{2\xi}}{s}$	Ом	0,82	0,9	1,07	1,95	3,43	10,39	298,81
13	$X_{п.нас} = X_{1нас} + c_{1п.нас} x'_{2\xi нас}$	Ом	1,88	1,89	1,9	1,9	1,91	1,91	1,91
14	$I'_{2нас} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_{п.нас}^2 + X_{п.нас}^2}}$	А	107,2	105	100,9	80,7	56	20,8	0,7
15	$I_{1нас} = I'_{2нас} \frac{\sqrt{R_{п.нас}^2 + (X_{п.нас} + X_{12н})^2}}{c_{1п.нас} \cdot X_{12н}}$	А	110,5	108,3	104,2	83,4	58	22,4	6,4
16	$I'_{10} = \frac{I_{10}}{I_{1f}}$	–	4,83	4,733	4,55	3,64	2,53	0,98	0,28
17	$M'_n = \left(\frac{I'_{2п.нас}}{I'_{2ном}} \right)^2 K_R \frac{S_{ном}}{S}$	Нм	1,06	1,26	1,59	2,45	2,35	1,08	0,04
Жирным шрифтом выделены значения при критическом скольжении									

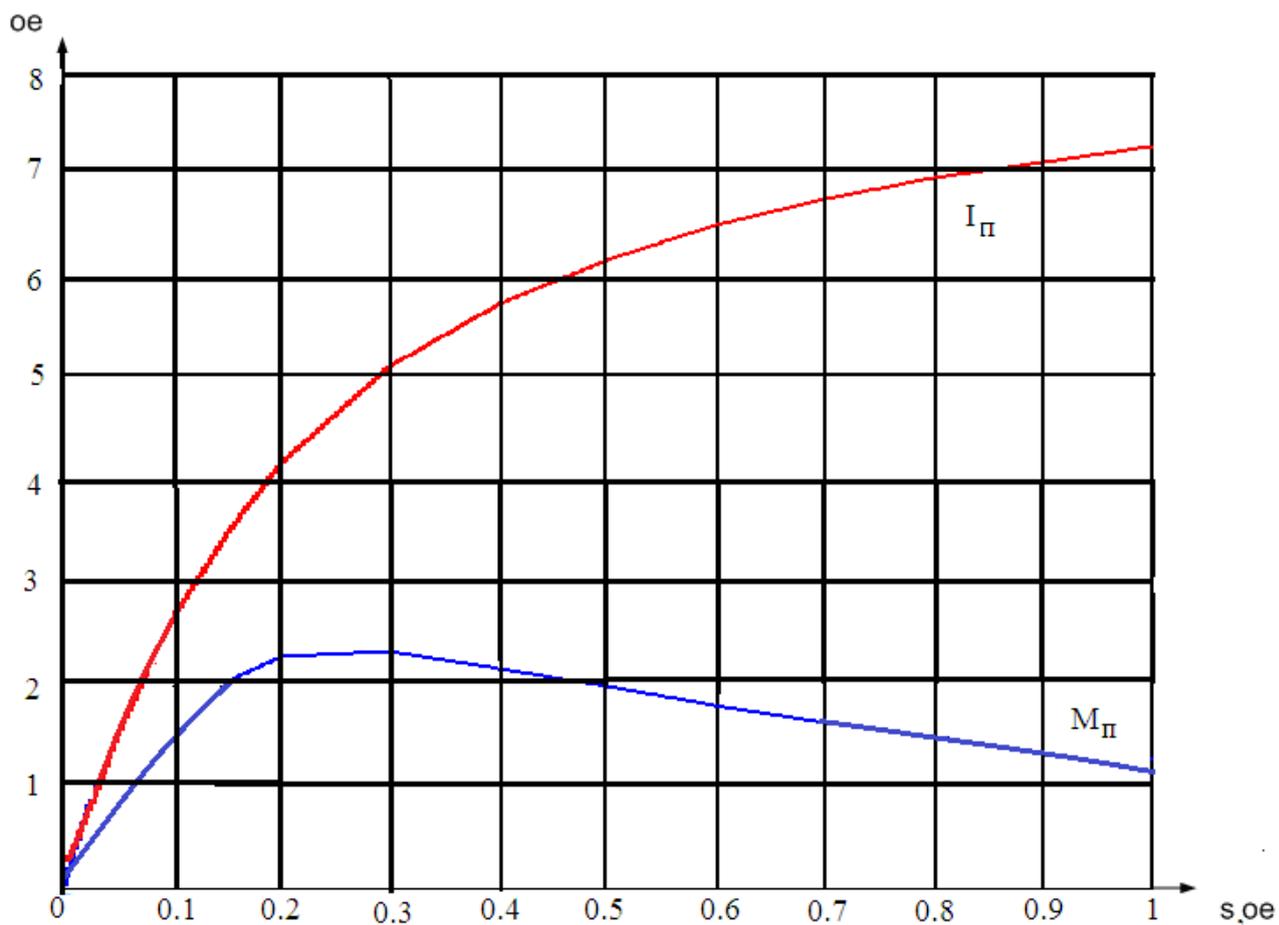


Рисунок 1.6 - Пусковые характеристики проектируемого двигателя.

Спроектированный двигатель удовлетворяет требованиям ГОСТ как по пусковым характеристикам, так и по энергетическим показателям (КПД и $\cos \phi$).

1.11 Тепловой расчет

Расчёт нагрева проводят, используя значения потерь которые получились для номинального режима, но потери в изолированных обмотках статора несколько увеличивают по сравнению с расчётными, предполагая, что обмотки могут быть нагреты до предельно допустимой для принятого класса изоляции температуры при классе нагревостойкости изоляции F – до плюс 140 °С. При этом коэффициент увеличения потерь k_p по сравнению с полученными для расчётной температуры составит $k_p = 1.07$.

1.11.1 Электрические потери в обмотке статора делятся на потери в пазовой части [1. с 449, ф 9.313](с учетом того, что изоляция обмотки класса нагревостойкости F):

$$P'_{\text{э.н1}} = 1.07 \cdot P'_{\text{ЭГ}} \frac{2 \cdot l_{\sigma}}{l_{\text{ср}}} \qquad P'_{\text{э.н1}} = 363,87 \text{ Вт}$$

Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри двигателя [1. с 449, ф 9.315];

$$\Delta v_{\text{ноел}} = K \cdot \frac{P'_{\text{э.н1}} + P_{\text{ст.осн}}}{\pi \cdot D \cdot l_{\sigma} \cdot \alpha_1} \qquad \Delta v_{\text{ноел}} = 13,853 \text{ К}$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи с поверхности, зависит от $D_a = 0.233$ м [1, с 450] $\alpha_1 = 102$ Вт/(м²·°С).

K – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину прямо в окружающую среду, зависит от $2p$, $K = 0,20$ тогда:

Расчётный периметр поперечного сечения паза статора, равный для полужакрытых трапецеидальных пазов [1. с 451, ф 9.317];

$$P_{n1} = 2 \cdot h_n + b_1 + b_2 \qquad P_{n1} = 0,053 \text{ м}$$

$$d_{из} = 9,15 \times 10^{-4}$$

$$d_{эл} = 8,5 \times 10^{-4}$$

$$\frac{d_{эл}}{d_{из}} = 0,929$$

Средняя эквивалентная теплопроводимость пазовой изоляции находится по рис.9-69, [стр. 453]. исходя соотношения и где $\lambda_{эКВ}$ - средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции; для классов нагревостойкости В, F и Н

$\lambda'_{эКВ}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности внутренней изоляции катушки сыпной обмотки из эмалированных проводников.

$$\lambda'_{эКВ} = 1,18 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$$

Для класса нагревостойкости F, $\lambda_{эКВ} = 0,16 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$

1.11.2. Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора [1. с 450, ф 9.316];

$$\Delta U_{из.п1} = \frac{P'_{\vartheta} \cdot n1}{Z_1 \cdot \Pi_{п1} \cdot l\sigma} \cdot \left(\frac{b_{из}}{\lambda_{эКВ}} + \frac{b_{1с} + b_{2с}}{16 \cdot \lambda'_{эКВ}} \right) \quad \Delta U_{из.п1} = 2,895 \text{ К.}$$

1.11.3. Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей [1. с 450, ф 9.316]:

$$\Delta U_{из.п1} = \frac{P'_{\vartheta,п1}}{Z_1 \cdot \Pi_{п1} \cdot l_{\pi} \cdot 2} \cdot \frac{h_n}{12 \cdot \lambda'_{эКВ}} \quad \Delta U_{из.п1} = 1,703 \text{ } ^\circ\text{C}$$

1.11.4. Превышение температуры наружной поверхности лобовых частей над температурой воздуха внутри двигателя [1, с. 452, ф. 9.320]:

$$\Delta U_{нов.п1} = \frac{K \cdot P'_{\vartheta,п1}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot l_{ввл} \cdot \alpha_1} \quad \Delta U_{нов.п1} = 12,949 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где $P'_{\vartheta,п1}$ - электрические потери в обмотке статора в пазовой части.

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя [1,с.455, ф 9.336]:

$$\Delta v_1' = \frac{(\Delta v_{\text{ноел}} + \Delta v_{\text{из.л1}}) \cdot 2 \cdot l_{\text{д}}}{l_{\text{ср}}} + \frac{(\Delta v_{\text{из.л1}} + \Delta v_{\text{ноел.л1}})}{l_{\text{ср}}} = 15,667^{\circ} \text{C}$$

1.11.5. Превышение температуры воздуха внутри машины над температурой окружающей среды определяется в предположении, что температура корпуса равна температуре воздуха внутри машины [1, с.452, ф 9.322]:

$$\Delta v_B = \frac{\sum P'_B}{S_{\text{кор}} \cdot \alpha_B}$$

где $\sum P'_B$ - сумма потерь, отводимых в воздух внутри двигателя [1, с.452, ф 9.324]:

$$\Sigma P'_g = \Sigma P' - (1 - K) \cdot (P'_{\text{Э.л}} + P'_{\text{ст.осн}}) - 0,9 \cdot P'_{\text{мех}} \quad \Sigma P' = 1,579 \times 10^3 \text{ Вт.}$$

Тогда:

$$\Sigma P'_g = 1,057 \times 10^3 \text{ Вт.}$$

где $S_{\text{кор}}$ - эквивалентная поверхность охлаждения корпуса с учетом поверхности ребер станины [1, с.453, ф 9.327]:

$$S_{\text{кор}} = (\pi \cdot D_a + 8 \cdot P_p) \cdot (l_{\text{д}} + 2 \cdot l_{\text{выл}}) \quad S_{\text{кор}} = 0,857 \text{ м}^2$$

где, P_p - условный периметр поперечного сечения ребер корпуса двигателя [1, с.453, рис.9-70], $P_p = 0,26 \text{ м}$, зависит от h .

α_B - коэффициент подогрева воздуха, учитывающий теплоотдающую способность поверхности корпуса и интенсивность перемешивания воздуха внутри машины [1, с.450], $\alpha_B = 23 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, зависит от D_a

тогда:

$$\Delta v_g = \frac{P'_g}{S_{\text{кор}} \cdot \alpha_B} = 53,654 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

1.11.6. Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой внешней среды [1, с.453, ф 9.328]:

$$\Delta v_1 = \Delta v_g + \Delta v_1' = 69,32 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

1.12 Расчет вентиляции.

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

1.12.1 Требуемый для охлаждения расход воздуха [1, с.456, ф9-340]:

$$Q_{\theta} = \frac{k_m \cdot P'_{\theta}}{1100 \cdot \Delta v_{\theta}} \quad Q_{\theta} = 0,59 \quad \frac{M^3}{c}$$

где k_m – коэффициент, учитывающий изменение условий охлаждения по длине поверхности корпуса, обдуваемого наружным вентилятором [1, с.456, ф 9.341]:

$$k_m = m \cdot \sqrt{\frac{n}{100} \cdot Da} \quad k_m = 3.317$$

1.12.2 Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором [1, с.456, ф 9.342]:

$$Q'_{\theta} = 0.6 \cdot Da^3 \cdot \frac{n}{100} \quad Q'_{\theta} = 0,111 \quad \frac{M^3}{c}$$

Расход воздуха θ'_B должен быть больше требуемого для охлаждения машины θ_B , значения соответствуют требованиям.

1.12.3 Требуемый расход воздуха для охлаждения [1, с. 456, ф 9-340]

$$Q_{\theta} = \frac{k_m \cdot P'_{\theta}}{1100 \Delta v_{\theta}} \quad Q_{\theta} = 0,059 \quad \frac{M^3}{c}$$

Так как $Q'_a > Q_a$ то вентиляционный расчет произведен верно.

1.13. Механический расчет

Электрические машины общего назначения обычно выполняют с горизонтальным расположением вала. Вал при такой конструкции несет на себе всю массу вращающихся частей, по которому передается вращающий момент двигателя. При сочленении машины с исполнительным механизмом через ременную и зубчатую передачу, а также и через муфту на вал действуют дополнительные изгибающие силы. На вал также могут воздействовать силы одностороннего магнитного притяжения, вызванные магнитной несимметрией, усилия, появляющиеся из-за наличия небаланса, вращающихся частей, а также усилия, возникающие при появлении крутильных колебаний. Вал должен иметь достаточно прочную конструкцию, чтобы выдержать все действующие на него нагрузки без появления остаточных деформаций. Вал также должен иметь достаточную жесткость, чтобы при работе машины ротор не задевал статор. Критическая частота вращения вала должна быть значительно больше рабочих частот вращения машины.

Валы изготавливают из углеродистых сталей, преимущественно сталь 45. Металл подвергают термической обработке для повышения механических характеристик. Выбираем муфту МУВП1

Основные размеры вала равны размерам вала серийной модели. Конструкция вала приведена на рисунке-1.7.

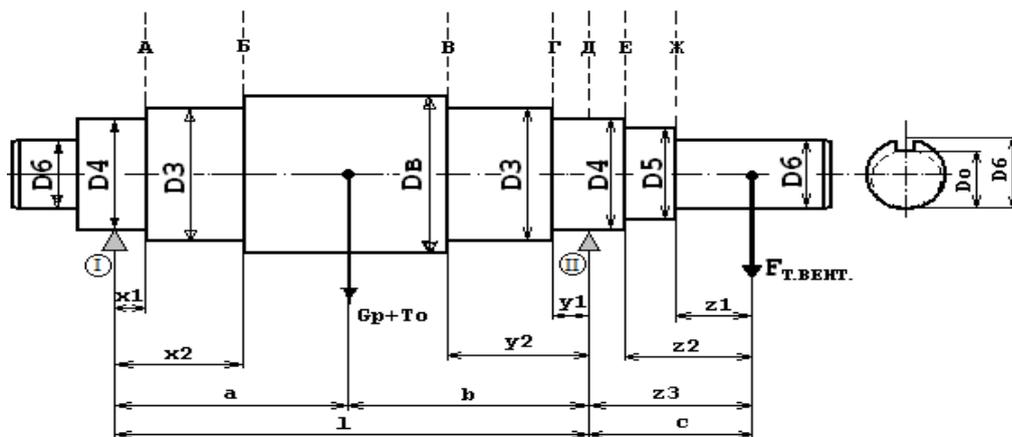


Рисунок 1.7 -Конструкция и основные размеры вала для механического расчёта.

Диаметры ступеней выбираются например так:

Ступени диаметров должны отличаться примерно на шаг ΔD .

Шаг ΔD принимаем 0,0045 м.

$$D3 = Dв - \Delta D.$$

$D4 = D3 - \Delta D$ (но диаметр $D4$ должен получиться как внутренний диаметр у близко выбранного подшипника по [1, стр. 733-736], предпочтительно выбрать среднюю серию).

Если не подходит, то меняем шаг ΔD на другое число, например 0,004, 0,0045, 0,005.

$$x2 = l_{\text{выл}} + x1 + 0,005 \quad x2 = 0,077 \text{ м,}$$

$$y2 = l_{\text{выл}} + y1 + 0,005 \quad y2 = 0,077 \text{ м,}$$

Половина длины выступающего конца вала из [1, стр. 740-741]

$$z2 = z1 + 0,007 \quad z2 = 0,047 \text{ м,} \quad z3 = z2 + y1 \quad z3 = 0,06 \text{ м,}$$

$$a = 0,5 \cdot l_{\delta} + x2 \quad a = 0,167 \text{ м,}$$

$$b = 0,5 \cdot l_{\delta} + y2 \quad b = 0,17 \text{ м,}$$

$$c = z3 \quad c = 0,06 \text{ м,}$$

$$l = a + b \quad l = 0,337 \text{ м,}$$

1.14 Расчёт вала на жёсткость

1.14.1 Определим массу ротора:

$$m_p = 6500 \cdot D_2^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0,148^2 \cdot 0,179 = 25,649 \text{ кг}$$

1.14.2 Определим момент инерции участка вала:

$$J = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = \frac{\pi \cdot 72 \cdot 10^{-3}}{64} = 1,3192 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

1.14.3 Приближённое значение силы тяжести

$$G_p = 9,81 \cdot m_p = 9,81 \cdot 25,649 = 251,618 \text{ Н}.$$

Прогиб валов под действием силы тяжести в середине сердечника ротора.

Для асинхронного двигателя с $h < 132$ мм достаточным приближением можно принять коэффициенты [1, с.246]:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{S}a &= \left(\frac{a^3 - x_2^3}{J_3} \right) + \left(\frac{x_2^3 - x_1^3}{J_2} \right) + \left(\frac{x_1^3 - 0}{J_1} \right) & \mathbf{S}a &= 1.19 \times 10^4 \quad \text{м}^{-1} \\
 \mathbf{S}b &= \left(\frac{b^3 - y_2^3}{J_3} \right) + \left(\frac{y_2^3 - y_1^3}{J_2} \right) + \left(\frac{y_1^3 - 0}{J_1} \right) & \mathbf{S}b &= 1.258 \times 10^4 \quad \text{м}^{-2} \\
 \mathbf{S}o &= \left(\frac{b^2 - y_2^2}{J_3} \right) + \left(\frac{y_2^2 - y_1^2}{J_2} \right) + \left(\frac{y_1^2 - 0}{J_1} \right) & \mathbf{S}o &= 7.744 \times 10^4 \quad \text{м}^{-1}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

1.14.4 Прогиб вала под действием силы тяжести [1, с.245, ф.8.15]

$$f_G = \frac{G_p}{3 \cdot E \cdot I^2} \cdot (a^2 \cdot \mathbf{S}b + b^2 \cdot \mathbf{S}a) \qquad f_G = 2.491 \times 10^{-6} \text{ м}$$

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

1.14.5 Определим номинальный вращающий момент [1, с.246, ф.8.18]:

$$M_{ном} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9,55 \cdot \frac{11000}{1500} = 72,07 \text{ Н} \cdot \text{м} \tag{3.7}$$

1.14.6 Реакция передачи [1, с.246, ф.8.17]

$$F_{II} = \frac{k_n}{r} \cdot M_{ном} = \frac{0,3}{0,04} \cdot 72,073 = 540,547 \text{ Н} \tag{3.8}$$

где $k_n = 0,3$ коэффициент при передаче упругой кулачковой муфтой радиус упругой муфты $r = 0,04$ м.

1.14.7 Прогиб вала посередине сердечника ротора от реакции передачи [1, с.246]

$$f_{II} = \frac{F_{II} \cdot c}{3 \cdot E \cdot I^2} \qquad f_{II} = \frac{5,4 \times 10^2 \cdot 0,06}{3 \cdot 2,06 \times 10^{11} \cdot 0,113^2} = 3 \times 10^{-6} \text{ м}$$

1.14.8 Первоначальное смещение ротора принимается равным по [1, с.247]:

$$e_0 = 0,1 \cdot \delta + f_G + f_{II} = 0,1 \cdot 4,039 \times 10^{-4} + 2,491 \times 10^{-6} + 3 \times 10^{-6} = 4,584 \times 10^{-5} \text{ м} .$$

1.14.9 Начальная сила одностороннего магнитного притяжения [1, с.247]:

$$T_0 = 2,94 \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \frac{e_0}{\delta} \cdot 10^5 = 2,94 \cdot 0,148 \cdot 0,179 \cdot \frac{4,584 \times 10^{-5}}{4,039 \times 10^{-4}} = 887,79 \text{ Н}$$

1.14.10 Прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения [1, с.247]

$$f_T = f_G \cdot \frac{T_0}{G_p} = 2,491 \times 10^{-6} \cdot \frac{887,79}{251,618} = 8,79 \times 10^{-6}, \text{ м.} \quad (3.12)$$

1.14.11 Установившийся прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения [2, с. 79]:

$$f_M = \frac{f_T}{1 - \frac{f_T}{e_0}} = \frac{8,79 \times 10^{-6}}{1 - \frac{8,79 \times 10^{-6}}{4,584 \times 10^{-5}}} = 1,09 \times 10^{-7} \text{ м.} \quad (3.13)$$

1.15.12 Результирующий прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения, реакции передачи и магнитного притяжения [1, с.247]:

$$f = f_G + f_H + f_M = 2,491 \times 10^{-6} + 2,96 \times 10^{-6} + 1,09 \times 10^{-5} = 1,63 \times 10^{-5} \text{ м} \quad (3.14)$$

1.16.13 Результирующий прогиб вала не должен превышать 10% воздушного зазора. Проверим это условие

$$x = \frac{f}{\delta} \cdot 100\% = \frac{1,632 \times 10^{-5}}{4,039 \times 10^{-4}} \cdot 100\% = 4,042 \% . \quad (3.15)$$

1.16.14 Определение критической частоты вращения вала [1, с.248]:

$$n_{кр} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{f_T}{e_0}}{f_G}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{8,188 \times 10^{-6}}{4,584 \times 10^{-5}}}{2,491 \times 10^{-6}}} = 17900 \frac{\text{об}}{\text{мин}} .$$

Согласно [1, с.248] должно выполняться следующее условие

$$n_{\text{эд}} > 1,3 \cdot n_c \cdot (1 - s_H)$$

где

$$n_c \cdot (1 - s_H) \cdot 1,3 = 1,895 \times 10^3 \text{ об/мин}$$

1.15 Расчёт вала на прочность

1.15.1 Изгибающий момент в сечении вала [1,с.249]:

Участок А

$$Mu_A = [k \cdot Fn \cdot c + (Gp + T) \cdot b] \cdot \frac{x_1}{l} = 8.738 \quad H \cdot m$$

Напряжение в сечении А определяем по формуле

$$\sigma_A = \left(\frac{1}{WA} \right) \cdot \sqrt{Mu_A^2 - (k \cdot \alpha \cdot Mn)^2} = 1,19 \times 10^7 \quad H \cdot m$$

где k - коэффициент перегрузки принимается исходя из пусковых характеристик и равен значению относительного пускового момента $k=2,5$
 α - коэффициент для реверсивных машин по [1,с.249] принимается равным $\alpha = 0.6$.

1.15.2 Момент сопротивления при изгибе:

$$WA = 0,1 \cdot D^4 \quad WA = 9,113 \times 10^{-6} \quad m^3 \quad (3.18)$$

1.15.3 Эквивалентное сопротивление при изгибе и кручении:

$$\sigma = \frac{1}{W} \sqrt{M_n^2 + (k \cdot \alpha \cdot M_{ном})^2}$$

1.15.4 Изгибающий момент в сечении вала [с.249, формула 8.32]:

$$T = \frac{T_0}{1 - \frac{f_0}{e_0}} = \frac{887,788}{1 - \frac{8,788 \times 10^{-6}}{4,584 \times 10^{-5}}} = 1,098 \times 10^3 \quad H$$

Аналогично для остальных участков

Участок Б

$$WB = 0.1 \cdot D^3 = 1.213 \times 10^{-5} \quad m$$

$$Mu_B = [k \cdot Fn \cdot c + (Gp + T) \cdot b] \cdot \frac{x_2}{l} = 70.97 \quad m$$

$$\sigma_B = \left(\frac{1}{WB} \right) \cdot \sqrt{Mu_B^2 + (k \cdot \alpha \cdot Mn)^2} = 1,066 \times 10^7 \quad Pa$$

Участок В

$$WB = 0.1 \cdot D3^3 = 1.213 \times 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$MuB = k \cdot Fn \cdot c \cdot \left(1 - \frac{y2}{l}\right) + (G_p + T) \cdot \frac{\alpha \cdot y2}{l} = 254.093 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$\sigma_B = \left(\frac{1}{WB}\right) \cdot \sqrt{MuB^2 + (k \cdot \alpha \cdot Mn)^2} = 2,277 \times 10^7 \text{ Па}.$$

Участок Г

$$WГ = 0.1 \cdot D4^3 = 9.113 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$MuГ = k \cdot Fn \cdot c \cdot \left(1 - \frac{y1}{l}\right) + (G_p + T) \cdot \frac{\alpha \cdot y1}{l} = 107.492 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma Г = \left(\frac{1}{WГ}\right) \cdot \sqrt{MuГ^2 + (k \cdot \alpha \cdot Mn)^2} = 1,673 \times 10^7$$

Участок Д

$$WД = 0.1 \cdot D4^3 = 9.113 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$MuД = k \cdot Fn \cdot z3 = 80.406 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma Д = \left(\frac{1}{WД}\right) \cdot \sqrt{MuД^2 + (k \cdot \alpha \cdot Mn)^2} = 1,479 \times 10^7 \text{ Па}.$$

Участок Е

$$WE = 0.1 \cdot D5^3 = 7.147 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$MuE = k \cdot Fn \cdot z2 = 63.514 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma E = \left(\frac{1}{WE}\right) \cdot \sqrt{MuE^2 + (k \cdot \alpha \cdot Mn)^2} = 1,754 \times 10^7 \text{ Па}$$

Участок Ж

$$WЖ = 0.1 \cdot D0^3 = 4.287 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$MuЖ = k \cdot Fn \cdot z1 = 54.055 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\sigma Ж = \left(\frac{1}{WЖ}\right) \cdot \sqrt{MuЖ^2 + (k \cdot \alpha \cdot Mn)^2} = 2,819 \times 10^7 \text{ Па}$$

Согласно [1,с.250] расчетное значение эквивалентного сопротивления при изгибе и кручении не должно превышать 0,7 предела текучести. Последний может быть определен также по [1,с.250]

$$\sigma_{np} = 3600 \times 10^5 \text{ Па} \qquad 0.7 \cdot \sigma_{i\delta} = 2.52 \times 10^8$$

Должно соблюдаться неравенство:

$$0,7 \cdot \sigma_{i\delta} = 2,52 \times 10^8$$

Самым нагруженным участком оказался участок **Ж**, тогда:

$$\sigma_{эжв} = (\sigma_{Ж}) = 2,819 \times 10^7$$

$$2.819 \times 10^7 < 2.52 \times 10^8$$

Значение $\sigma_{эжв}$ ни в одном сечении не должно превышать $0,7 \cdot \sigma_T$, где σ_T — предел текучести на растяжение. Для стали марки 45 $\sigma_T = 3,6 \cdot 10^8 \text{ Па}$

Проверим условие: $8,7 \cdot 10^6 < 3,6 \cdot 10^8$

Условие прочности выполняется, а, следовательно, вал можно использовать в данной электрической машине.

1.16 Выбор подшипников

1.16.1 Наибольшая радиальная нагрузка на подшипник А[1, с.257]:

$$R_a = F_n \cdot \frac{c}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{a}{l}$$

$$R_a = 540,547 \cdot \frac{0,06}{0,337} + (251,618 + 887,788) \cdot \frac{0,167}{0,337} = 660,149 \text{ Н}$$

1.16.2 Наибольшая радиальная нагрузка на подшипник В[1, с.257]:

$$R_b = F_n \cdot \frac{c+l}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{b}{l}$$

$$R_b = 540,547 \cdot \frac{0,06 + 0,337}{0,337} + (251,618 + 887,788) \cdot \frac{0,167}{0,337} = 1,201 \times 10^3 \text{ Н}$$

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

На шарикоподшипник А:

$$Q_A = k_n \cdot R_a = 1,5 \cdot 660,149 = 990,223 \text{ Н.} \quad (3.23)$$

Принимаем расчётный срок службы подшипников $L_d = 18000$ часов, наибольшая частота вращения 1500 об/мин

1.16.4 Необходимая динамическая грузоподъёмность шарикоподшипника А [1, с.257]:

$$C = \frac{Q_A}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_d \cdot n} = \frac{990,223}{25,6} \cdot \sqrt[3]{18000 \cdot 1500} = 1,16 \times 10^4 \text{ Н.}$$

Выбираем шарикоподшипник легкой и средней серии 209 и 309 с динамической грузоподъёмностью $C=25200$ Н и $C=37000$ Н.

Размеры подшипников

$D=85$ мм, $d=45$ мм, $D=19$ мм, $r=2$ мм

$D=100$ мм, $d=45$ мм, $D=25$ мм, $r=2,5$ мм

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 критическая частота вращения магнит провода ротора. 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 209 и 309 серии.

2. Специальная часть

2.1. Тепловой расчёт двигателя при увеличенном моменте нагрузки на 80% и ПВ=50%

При повторно кратковременном режиме эквивалентный момент определяется по формуле:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_1^{2 \times t_1} + M_2^{2 \times t_2} \dots + M_k^{2 \times t_k}}{t_1 + t_2 + \dots + t_k}}$$

В данном случае при ПВ=50% и моменте нагрузки $M_H=1,8$ от номинального:

-если $P_2=11000$ Вт, то момент $M_H=72$ Н_М

-если $P_2=19800$ Вт, то момент $M_H=130$ Н_М (при 1,8 от M_H)

При ПВ=50% и моменте 130 Н_М во время работы, пауза 50% с моментом $M_H=0$ эквивалентный момент будет:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_{H1}^2 \cdot t + M_{H2}^2 \cdot t}{t + t}} = \sqrt{\frac{t \cdot (M_{H1}^2 + 0)}{2t}} = \frac{M_{H1}}{\sqrt{2}} = \frac{130}{1,41} = 92 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При данном $M_{\text{ЭКВ}}$ эквивалентная мощность

$$P_{\text{ЭКВ}} = M_{\text{ЭКВ}} \cdot n / 9550 = 92 \cdot 1500 / 9550 = 14,45 \text{ кВт.}$$

По полученной эквивалентной мощности находим электрические потери в обмотке статора и определяем нагрев обмотки. При этом потери в стали и механические потери не изменяются.

На рисунках 2.1 и 1.5 показан график загрузки двигателя и определение электрических потерь при ПВ50%.

Из рисунка 1.5 определяем по $P_{\text{ЭКВ}}=14,45$ кВт электрические потери в обмотке статора и ротора:

$$P_{\text{э1}} = 1100 \text{ Вт.}$$

$$P_{\text{э2}} = 562 \text{ Вт.}$$

Эти потери будем использовать в тепловом расчёте.

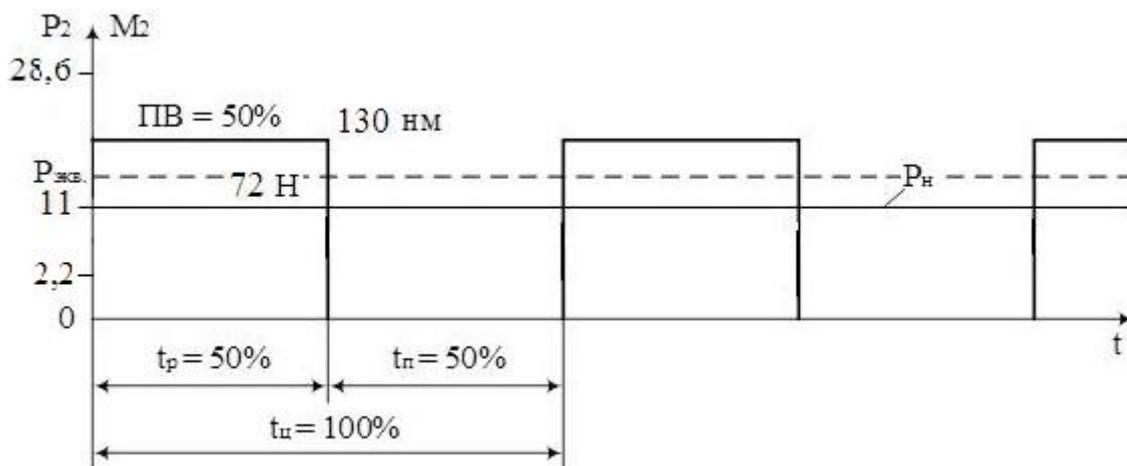


Рисунок 2.1

2.2 Тепловой расчет и вентиляционный расчет

Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри двигателя.

2.2.1 Электрические потери в обмотке статора делятся на потери в пазовой части :

$$P'_{э.н.1} = k_{\rho} \cdot P_{эл} \cdot \frac{2 \cdot l_{\delta}}{l_{сп1}} = 1,07 \cdot 1100 \cdot \frac{2 \cdot 0,179}{0,741} = 569,85 \text{ Вт} \quad (2.1)$$

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

$$\Delta v_{нов1} = K \cdot \frac{P'_{э.н.1} + P_{ст.осн}}{\pi \cdot D \cdot l_{\delta} \cdot \alpha_1}, \quad (2.2)$$

где, α_1 - коэффициент теплоотдачи с поверхности, зависит от D_a [1,450]

$$\alpha_1 = 102 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

K – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину непосредственно в окружающую среду, зависит от $2p$, $K = 0,20$ тогда:

$$\Delta v_{нов1} = 0,2 \cdot \frac{569,855 + 229,907}{3,14 \cdot 0 \cdot 0,149 \cdot 102} = 18,659^\circ\text{C} \quad (2.3)$$

Расчётный периметр поперечного сечения паза статора, равный для полузакрытых трапецеидальных пазов:

$$\Pi_1 = 2 \cdot h_{н.к.} + b_1 + b_2 = 2 \cdot 0,018 + 9,21 \times 10^{-3} + 6,412 \times 10^{-3} = 0,053 \text{ м} \quad (2.4)$$

2.2.2 Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора :

$$\Delta v_{из.л1} = \frac{P'_{э.л.1}}{Z_1 \cdot \Pi_1 \cdot l_{\delta}} \cdot \left(\frac{b_{из.л1}}{\lambda_{э.кв}} + \frac{b_1 + b_2}{16 \cdot \lambda'_{э.кв}} \right), \quad (2.5)$$

где, $\lambda_{э.кв}$ - средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции; для классов нагревостойкости В, F и H

$$\lambda_{э.кв} = 0,16 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)},$$

$\lambda'_{э.кв}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности внутренней изоляции катушки высшей обмотки, из эмалированных проводников.

$\lambda'_{э.кв} = 1,3 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$, зависит от соотношения [1,451]:

$$\frac{d_{эл}}{d_{из}} = \frac{8,5 \times 10^{-4}}{9,15 \times 10^{-4}} = 0,929, \quad (2.6)$$

тогда:

$$\Delta v_{из.л1} = \frac{569,855}{36 \cdot 0,053 \cdot 0,179} \cdot \left(\frac{3 \times 10^{-4}}{0,16} + \frac{(9,21 + 6,412) \times 10^{-3}}{16 \cdot 1,18} \right) = 4,533 \text{ К} \quad (2.7)$$

2.2.3. Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей:

$$\Delta v_{из.л1} = \frac{P'_{э.л.1}}{2 \cdot Z_1 \cdot \Pi_1 \cdot l_{\delta}} \cdot \left(\frac{b_{из.л1}}{\lambda_{э.кв}} + \frac{h_{л1}}{12 \cdot \lambda'_{э.кв}} \right),$$

$$\Delta v_{из.л1} = \frac{607,145}{2 \cdot 36 \cdot 0,053 \cdot 0,191} \cdot \left(\frac{3 \times 10^{-4}}{0,16} + \frac{0,018}{12 \cdot 1,18} \right) = 2,668 \text{ К} \quad (2.8)$$

2.2.4. Превышение температуры наружной поверхности лобовых частей над температурой воздуха внутри двигателя:

$$\Delta v_{пов.л1} = \frac{K \cdot P'_{э.л1}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot l_{выл} \cdot \alpha_1} = \frac{0,2 \cdot 607,145}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,149 \cdot 0,063 \cdot 102} = 20,279 \text{ К} \quad (2.9)$$

где $P'_{э.л1}$ - электрические потери в обмотке статора в пазовой части находятся по [1,с.449] с учетом того, что изоляция обмотки класса нагревостойкости F, $P'_{э.л1} = 607,15 \text{ Вт}$.

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя [1,с.452]:

$$\Delta v'_1 = \frac{(\Delta v_{нов.1} + \Delta v_{из.н1}) \cdot 2 \cdot l_{\delta} + (\Delta v_{из.л1} + \Delta v_{нов.л1}) \cdot 2 \cdot l_{\delta}}{l_{cp1}} \quad (2.10)$$

$$\Delta v'_1 = \frac{(18,659 + 4,533) \cdot 2 \cdot 0,179 + (2,668 + 20,279) \cdot 2 \cdot 0,179}{0,997} = 23,066 \text{ K}$$

Превышение температуры воздуха внутри машины над температурой окружающей среды определяется в предположении, что температура корпуса равна температуре воздуха внутри машины [1,с.452]:

$$\Delta v_B = \frac{\sum P'_B}{s_{кор} \cdot \alpha_B}, \quad (2.11)$$

где, $\sum P'_B$ - сумма потерь, отводимых в воздух внутри двигателя:

$$\sum P'_B = \sum P' - (1 - K) \cdot (P'_{эл.1} + P_{ст.осн}) - 0,9 \cdot P_{мех} \quad , \quad (2.12)$$

$$\sum P' = \sum P + (k_{\rho} - 1) \cdot (P_{\text{эл}1} + P_{\text{эл}2}) = 1,424 \times 10^3 + (1,15 - 1) \cdot (1,1 \times 10^3 + 562) = 1,674 \times 10^3 \text{ Вт.} \quad (2.13)$$

тогда:

$$\sum P'_B = 1,674 \times 10^3 - (1 - 0,2) \cdot (569,855 + 229,907) - 0,9 \cdot 52,226 = 986,879 \text{ Вт,} \quad (2.14)$$

$s_{кор}$ -эквивалентная поверхность охлаждения корпуса [1, с.453]:

$$s_{кор} = \left(\pi \cdot D_a + 8 \cdot P_p \right) \cdot (l_{\delta} + 2 \cdot l_{ввкл}) = (3,14 \cdot 0,233 + 8 \cdot 0,26) \cdot (0,179 + 2 \cdot 0,063) = 0,857 \text{ м}^2$$

где P_p -условный периметр поперечного сечения рёбер корпуса двигателя [1, с.453], $P_p = 0,26 \text{ м}$, зависит от h ,

α_B – коэффициент подогрева воздуха, учитывающий теплоотдающую способность поверхности корпуса и интенсивность перемешивания воздуха внутри машины [1, с.450],

$$\alpha_B = 23 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K}), \text{ зависит от } D_a, \quad (2.15)$$

тогда:

$$\Delta v_B = \frac{986,879}{0,857 \cdot 23} = 50,077 \text{ K} \quad (2.16)$$

2.2.5. Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды[1, с.453]:

$$\Delta v_1 = \Delta v'_1 + \Delta v_B = 23,066 + 50,077 = 73,143 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.17)$$

Для класса нагрев стойкости F (ТИ155) допускаемое превышение температуры обмотки статора составляет $73,143 \text{ } ^\circ\text{C}$, $\Delta Q_1 \leq 0,8 \cdot 115 = 92^0 \text{ C}$

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

2.2.6 Требуемый для охлаждения расход воздуха[1, с.456]:

$$Q_B = \frac{k_m \cdot \sum P'_B}{1100 \cdot \Delta v_B} \quad (2.18)$$

Где k_m – коэффициент, учитывающий изменение условий охлаждения по длине поверхности корпуса, обдуваемого наружным вентилятором:

$$k_m = m \cdot \sqrt{\frac{n}{100} \cdot D_a} = 1,8 \cdot \sqrt{\frac{1500}{100} \cdot 0,233} = 3,317, \quad (2.19)$$

где, $m= 1,8$ для двигателей с $2 \cdot p = 4$ при $h = 132 \text{ мм}$.

тогда:

$$Q_B = \frac{3.317 \cdot 986.879}{1100 \cdot 50.077} = 0,059 \frac{\text{M}^3}{\text{сек}} \quad (2.20)$$

2.2.7 Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором:

$$Q'_B = 0,6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n_1}{100} = 0,6 \cdot (0,233)^3 \cdot \frac{1500}{100} = 0,111 \frac{\text{M}^3}{\text{сек}}, \quad (2.21)$$

$Q'_a > Q_a$ Необходимое условие для охлаждения машин выполнено.

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

Спроектированный двигатель отвечает поставленным в техническом задании требованиям.

3. Технология производства электрических машин

3.1. Введение

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. Различными проектно-технологическими институтами были разработаны типовые технологические процессы и специальное технологическое оборудование, что позволяет резко сократить время технологической подготовки производства и трудоемкость выпускаемых изделий.

Данная часть ВКР определяет, на сколько выпускник освоил дисциплину производства электрических машин по разделу общей сборки спроектированного в данном выше электромагнитном расчёте асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором со следующими параметрами:

- Номинальная мощность $P_2=11000$ Вт;
- Номинальное напряжение $U=220$ В;
- Номинальная частота $f_1=50$ Гц;
- Число фаз $m_1=3$;
- Число пар полюсов $2p=4$;
- Высота оси вращения $h=132$ мм;
- Степень защиты: корпуса - IP44;
- Система охлаждения по ГОСТ 20459-74: ICO141;
- Способ монтажа IM1001.
- КПД составляет 88,6%;
- коэффициент мощности 82,4%;

В этой части работы основой является сборочный чертёж двигателя (приложение 1) со спецификацией (приложение 2), по которому составлен технологический и размерный анализ конструкции электрической машины, схема сборки, маршрутная технология сборки (приложение 3), техническое нормирование сборочных операций, выбор оборудования для технологического процесса и т.д. при годовой программе выпуска изделия 3800 штук.

3.2. Анализ конструкции электрической машины на технологичность.

Технологичностью конструкции изделия называют совокупность свойств изделия, определяющих возможность достижения минимальных средств, затрат, труда, материалов и времени при технологической подготовке производства, изготовлении, эксплуатации и ремонте по сравнению с однотипными конструкциями того же назначения при заданном уровне качества и принятых условиях изготовления, эксплуатации и ремонте.

Оценки технологичности конструкции могут быть количественными и качественными. Количественные показатели (материалоёмкость, трудоёмкость, себестоимость и т.д.) установлены в единой системе технологической подготовки производства (ЕСТПП) и предусматривают наличие изделия-аналога. Качественная оценка руководствуется общими принципами технологичности сборочных единиц, справочной литературой и личным опытом. При этом необходимо обращать внимание на такие показатели как:

- лёгкость и облегчённость установки деталей и сборочных единиц;
- предусмотрены технологические базы, обеспечивающие необходимую точность относительного положения составных частей при сборке;
- предусмотрена базовая составная часть (деталь, сборочная единица), являющаяся основой для установки остальных составных частей изделия;
- желательно, сборка должна проходить без изменения положения базовой составной части;
- в процессе сборки не должно быть подгоночных работ, доработки и доводки деталей;
- для обслуживания и ремонта необходимо предусмотреть применение простых инструментов, и приспособлений;
- быстро изнашиваемые узлы следует выделять в отдельную группу и должны быть легко доступны при эксплуатации и ремонте;

- составные части должны обладать устойчивостью и способностью к складированию;
- должна предусматриваться возможность использования при сборке наиболее эффективных способов и средств сборки.

Для производства асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором разработана и осуществлена прогрессивная технология. Механическая обработка станин, валов и роторов двигателей производится на автоматических линиях, штамповка листов магнитопровода - на прессах-автоматах. Автоматизирована сборка сердечников статора, механизирована сборка и заливка роторов. Укладка статорной обмотки производится на автоматических станках, а пропитка и сушка обмоток на автоматических струйных или вакуум-нагнетательных установках. Испытание узлов двигателей и двигателей в сборе производится на специальных стендах и автоматических испытательных станциях.

Все это обеспечило высокую производительность труда при высоком качестве изготовления.

Общая сборка асинхронного двигателя с ротором, имеющим фигурные пазы, осуществляется из ранее собранных узлов, что позволяет существенно сократить общее время сборки, повысить производительность труда.

При проектировании серии большое внимание было уделено повышению надежности машин. Впервые в мировой практике для асинхронных двигателей общего назначения были стандартизированы показатели надежности. Особое внимание при проектировании уделялось экономичности двигателей.

Двигатели с короткозамкнутым ротором спроектированы оптимальными для нужд народного хозяйства. Критерием оптимизации была принята суммарная стоимость двигателя в производстве и эксплуатации, которая должна быть минимальной.

Статор (поз.1) представляет сборочную единицу, состоящую из станины, сердечника статора и обмотки статора. Станина отливается из

чугуна. Наличие поперечных ребер охлаждения позволяет повысить прочность конструкции и снизить расход конструкционных материалов. Сердечник статора представляет собой шихтованный пакет, набранный из листов электротехнической стали.

Ротор (поз.2) представляет собой вал с насаженным на него по шпонке сердечником, набранным из листов электротехнической стали. Обмотка короткозамкнутого ротора выполняется с заливкой пазов и короткозамыкающих колец алюминием. Подшипниковые щиты (поз.5 и 6) отливаются из чугуна. Выбор чугуна в качестве материала для изготовления подшипниковых щитов обусловлен тем, что двигатель работает в тяжелых условиях и воспринимает большие механические нагрузки. Недостатками чугунного подшипникового щита по сравнению с алюминиевым является его низкая коррозионная стойкость и относительно большая масса.

К преимуществам данной конструкции асинхронного двигателя можно отнести:

1. Возможность сборки электродвигателя из отдельных узлов, контроль которых уменьшает дефектность общей сборки, что позволяет сократить общее время изготовления (параллельно работающие люди) и повысить производительность труда;

2. Максимальное применение стандартных и унифицированных сборочных единиц и деталей таких как метизы, подшипники и клеммная колодка;

3. Наличие рым-болта – для удобства транспортировки двигателя в процессе сборки;

4. Конструкция двигателя позволяет расчленить её на самостоятельные узлы с целью обеспечения возможности их параллельной сборки, автономного контроля, испытания, замены: статор (поз. 1), ротор (поз. 2), коробка выводов (поз. 3), кожух (поз. 4). При этом каждый из узлов содержит не более 12 составных частей.

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

6. Конструкция двигателя позволяет выполнить общую сборку по методу полной взаимозаменяемости.

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

8. Конструкция двигателя позволяет выполнить сборку вдоль главной оси симметрии.

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

10. В конструкции двигателя 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.

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

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

Недостатками данной конструкции являются:

Вследствие большой массы - необходимость применения дополнительных транспортных и грузоподъемных механизмов при перемещении сборочных единиц;

Таким образом основные требования обеспечения технологичности конструкции проектируемого двигателя в целом соблюдены. Таким образом данный двигатель является технологичным.

3.3. Расчет размерных цепей методом полной взаимозаменяемости.

Размерной цепью называют совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное положение поверхностей (или осей поверхностей) одной или нескольких деталей.

Каждый из размеров, образующих размерную цепь, называют звеном. Любая размерная цепь имеет одно замыкающее звено и одно или несколько составляющих. Замыкающим звеном размерной цепи называют звено, исходное при постановке задачи расчета размерной цепи, или полученное в результате ее решения. Составляющие звенья могут быть увеличивающими или уменьшающими. Увеличивающим называют звено, при увеличении которого (при прочих постоянных) замыкающее звено увеличивается, а уменьшающим – звено, при увеличении которого замыкающее звено уменьшается.

Решение задачи расчета размерных цепей при разработке технологического процесса сборки выполняется с целью определения базовых размеров на деталях, выявления не указанных на чертежах зазоров в многозвенных цепях, проверки возможности сборки и отсутствия задеваний вращающихся и неподвижных элементов, снижения точности задания размеров составных частей, определения размеров компенсирующего звена и пр..

Полная взаимозаменяемость – это свойство независимо изготовленных с заданной точностью деталей и сборочных единиц обеспечивать возможность беспригонной сборки или замене при ремонте сопрягаемых деталей и сборочных единиц при соблюдении предъявляемых к изделию требований.

Сущность метода полной взаимозаменяемости состоит в том, что точность замыкающего звена обеспечивается у всех без исключения изделий без какого-либо подбора звеньев или их пригонки. При этом допуски составляющих звеньев рассчитываются по методу минимума-максимума, при котором учитываются только предельные отклонения составляющих звеньев.

В данной части дипломного проекта рассчитаем прямую задачу для замыкающих звеньев: X_1 – осевой зазор между подшипником и щитом подшипниковым (тепловой зазор) и X_2 – между лобовой частью обмотки и подшипниковым щитом (рис.3.2). В прямой задаче следует установить допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев по параметрам замыкающего звена с использованием регулировочного звена.

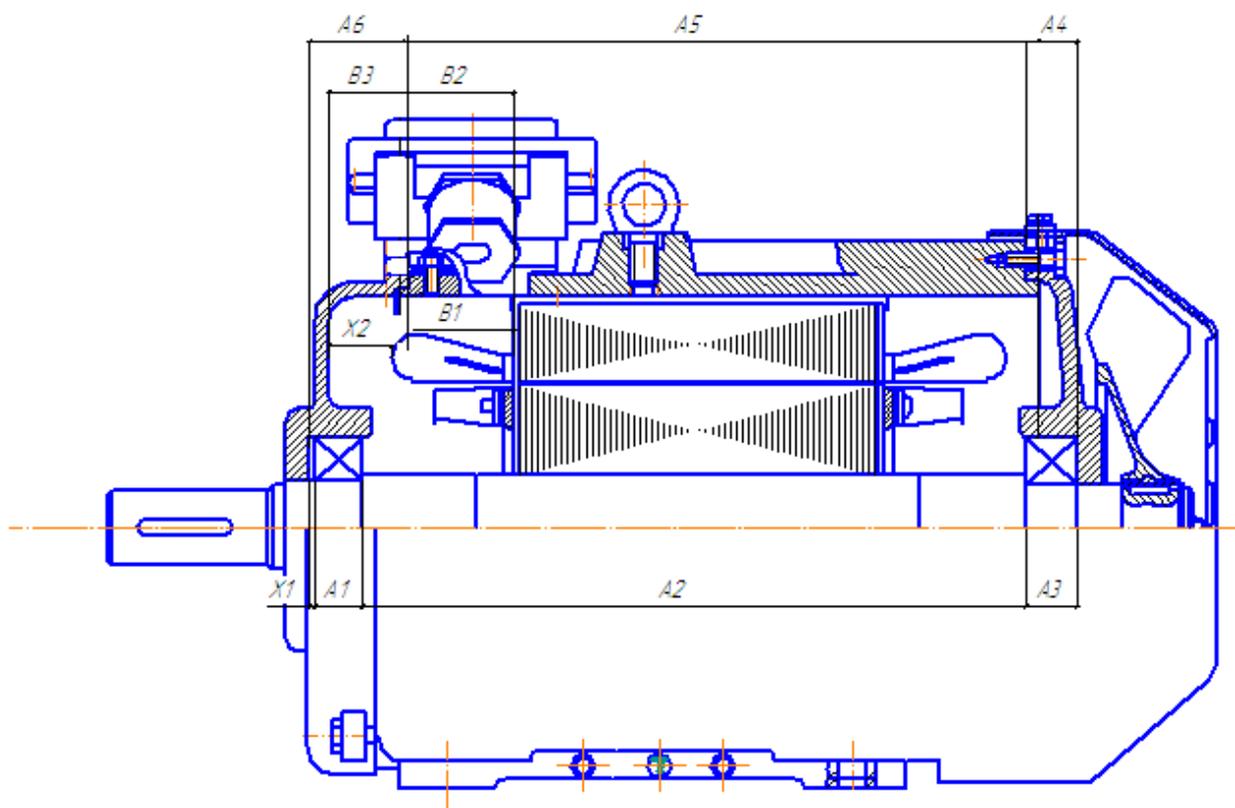


Рисунок 3.1-Размерные цепи двигателя

Исходные данные:

$X_1=1,5\pm 1$ мм – замыкающее звено первой размерной цепи;

$X_2=30\pm 2$ мм – замыкающее звено второй размерной цепи.

Осевая длина подшипника $A_1=19$ мм и $A_3=25$ мм по справочнику [5].

Размеры остальных составляющих звеньев возьмём из сборочного чертежа с учётом масштаба изображения.

- 1) Для замыкающего звена X_1 начертим схему размерных цепей (рис.3.2).

- 2) A1, A2, A3 – уменьшающие звенья;
 A4, A5, A6 – увеличивающие звенья.

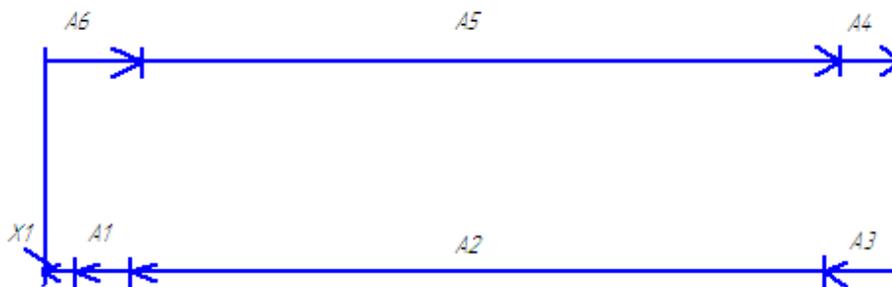


Рисунок 3.2-Схемы размерных цепей для замыкающего звена X1

Уравнение первой размерной цепи:

$$X1 = A4 + A5 + A6 - A1 - A2 - A3 =$$

$$= 18,5 + 320 + 39 - 19 - 332 - 25 = 1,5 \text{ мм};$$

Средний размер составляющих звеньев первой размерной цепи:

$$A_{cp1} = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6) / 6 =$$

$$= (19 + 332 + 25 + 18,5 + 320 + 39) / 6 = 125,6 \text{ мм}.$$

Допуск на замыкающее звено первой размерной цепи: $IT_{\Delta X1} = 1 - (-1) = 2 \text{ мм}.$

Величина среднего допуска первой размерной цепи: $IT_{cp1} = 2 / 6 = 0,33 \text{ мм}.$

Используя средний размер составляющих звеньев A_{cp1} и величину среднего допуска IT_{cp1} найдем квалитет для каждого звена (табл.1.8. [1]) и составим таблицу 1, заполняя её результатами расчётов, допусков и отклонений для первой размерной цепи. Допуск на стандартные размеры подшипников (звено A1 и A3) находим по 7-му квалитету. Допуск на размер остальных составляющих звеньев находится в пределах 12-14 квалитетов.

Звено A5 назначим регулирующим звеном.

Допуск на регулирующее звено A5 равен:

$$IT_{A5} = IT_{\Delta X1} - (IT_{A1} + IT_{A2} + IT_{A3} + IT_{A4} + IT_{A6}) =$$

$$= 2 - (0,022 + 0,89 + 0,022 + 0,33 + 0,39) = 0,346 \text{ мм}.$$

Среднее отклонение регулирующего звена равно:

$$\Delta A5 = \Delta A_{cp1} + \Delta A_{cp2} + \Delta A_{cp3} + \Delta X_{cp1} - \Delta A_{cp4} - \Delta A_{cp6} =$$

$$= 0 + (-0,445) + 0 + 0 - 0,165 - 0,195 = -0,805 \text{ мм.}$$

Таблица 1 – Размеры, допуски и отклонения первой размерной цепи

Звено	Предельный размер	Допуск	Среднее отклонение	Средний размер	Квалитет	Предельное откл.	Примечание
X1	1,5±1	2	0	4	-	J _s , ступень	-
A1	19±0,011	0,022	0	19	12	J _s , вал	Уменьшающее
A2	332 ^{-0,89}	0,89	-0,445	331,555	12	h, вал	Уменьшающее
A3	25±0,011	0,022	0	25	12	J _s , вал	Уменьшающее
A4	18,5 ^{+0,33}	0,33	0,165	18,665	12	H, ступень	Увеличивающее
A5	320 ^{-0,632} _{-0,978}	0,346	-0,805	319,195	12	J _s , вал	Увеличивающее
A6	39 ^{+0,19}	0,39	0,195	39,195	12	H, ступень	Увеличивающее

Номинальный размер:

$$A5^{\max} = A5 + \Delta A5 + ITA5 / 2 = 320 - 0,805 + 0,346 / 2 = 308,31 \text{ мм.}$$

$$A5^{\min} = A5 + \Delta A5 - ITA5 / 2 = 320 - 0,805 - 0,346 / 2 = 307,74 \text{ мм.}$$

Предельный размер составляющего звена A8 = 320^{-0,632}_{-0,978} мм.

Произведём проверку цепи ΔA:

$$\begin{aligned} \Delta X1^{\max} &= (A4^{\max} + A5^{\max} + A6^{\max}) - (A1^{\min} + A2^{\min} + A3^{\min}) = \\ &= (18,83 + 319,368 + 39,39) - (18,989 + 331,11 + 24,989) = 2,5 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta X1^{\min} &= (A4^{\min} + A5^{\min} + A6^{\min}) - (A1^{\max} + A2^{\max} + A3^{\max}) = \\ &= (18,5 + 319,022 + 39) - (19,011 + 332 + 25,011) = 0,5 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Расчетное значение замыкающего звена удовлетворяет заданному допуску звена ΔX1 = 1,5±1 мм.

2) Для замыкающего звена X2 начертим схему размерных цепей (рис.3).

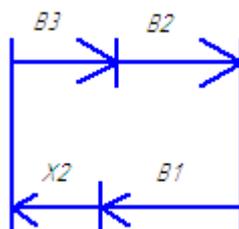


Рис.3-Схемы размерных цепей

B1, – уменьшающее звено;

B2, B3 – увеличивающие звенья.

Уравнение второй размерной цепи:

$$X2 = B2 + B3 - B1 = 56 + 34 - 60 = 30 \text{ мм};$$

Средний размер составляющих звеньев второй размерной цепи:

$$B_{\text{ср}} = (B1 + B2 + B3) / 3 = \\ = (60 + 56 + 34) / 3 = 50 \text{ мм}.$$

Допуск на замыкающее звено второй размерной цепи: $IT_{X2} = 2 - (-2) = 4 \text{ мм}$.

Величина среднего допуска второй размерной цепи: $IT_{\text{ср}2} = 4/5 = 1,33 \text{ мм}$.

Допуск на размер составляющих звеньев находится в пределах 15-го качества. Назначим данный допуск оставшимся звеньям этой цепи и так же составим таблицу 2 с учётом размеров, допусков и отклонений.

Таблица 2 – Размеры, допуски и отклонения второй размерной цепи

Звено	Пред. размер	Допуск	Среднее откл.	Средний размер	Квалитет	Предельное откл.	Примечание
X2	30±2	4	0	32	-	Js, ступень	-
B1	60 ^{+1,2}	1,2	61,2	1,2	15	H, отвести	Уменьшающее
B2	56±0,6	0,6	56,6	1,2	15	Js, ступень	Увеличивающее
B3	34 ^{+1,4} _{-0,2}	1,4	35,4	1,6		Js, ступень	Увеличивающее

Назначим регулирующим звеном B3.

Допуск на регулирующее звено B3 равен:

$$IT_{B3} = IT_{X2} - (IT_{B1} + IT_{B2}) = \\ = 4 - (1,2 + 1,2) = 1,6 \text{ мм}.$$

Среднее отклонение равно:

$$\begin{aligned}\Delta B3 &= \Delta B1 + \Delta X2 - \Delta B2 = \\ &= 0,6 + 0 - 0 = 0,6 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Номинальный размер:

$$B3^{\max} = B3 + \Delta B3 + IT B3/2 = 34 + 0,6 + 1,6/2 = 35,4 \text{ мм};$$

$$B3^{\min} = B3 + \Delta B3 - IT B3/2 = 34 + 0,6 - 1,6/2 = 33,8 \text{ мм.}$$

Предельный размер составляющего звена $B3 = 34_{-0,2}^{+1,4}$ мм.

Произведём проверку:

$$\begin{aligned}X2^{\max} &= (B2^{\max} + B3^{\max}) - (B1^{\min}) = \\ &= (56,6 + 35,4) - 60 = 32 \text{ мм.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}X2^{\min} &= (B2^{\min} + B3^{\min}) - (B1^{\max}) = \\ &= (55,4 + 33,8) - 61,2 = 28 \text{ мм.}\end{aligned}$$

Расчёт соответствует исходному значению $X2 = 30 \pm 2$ мм.

3.4. Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки.

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

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

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

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

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

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

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

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

Схема сборки позволяет отразить маршрут сборки изделия, выделить составные части изделия, которые можно собрать отдельно (организовать параллельную сборку составных частей); оценить предварительно трудоёмкость 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.

Схема общей сборки проектированного асинхронного двигателя на рисунке 3.4. Здесь все основные сборочные единицы двигателя (статор, ротор, коробка выводов) уже собраны и схема показывает в какой последовательности их нужно соединить в одно изделие.

В качестве базовой детали принимаем статор (поз.1), т.к. зафиксировав его в приспособлении, легко с обеих сторон производить сборку. Просовываем в статор ротор в сборе и с щитом подшипниковым, т.е. на ротор (поз.2) одеты внутренние подшипниковые крышки (поз.8), напрессованы подшипники

(поз. 20 и 21), надет щит подшипниковый (поз.5), предварительно нагретые (горячая запрессовка). Крепим передний щит затягиванием болтов (поз. 16), потом крепим на статоре задний подшипниковый щит (поз.6) такими же болтами. Просовываем через крепёжные отверстия шпильки и стягиваем внешние и внутренние подшипниковые крышки (поз. 7 и 8) подшипниковых узлов гайками (поз.10), за ранее набив в узел смазку. Во избежание заклинивания, вследствие кривой посадки по вине сборщика или бракованных деталей, следует прокрутить вал в разные стороны по несколько раз. После ставим вентилятор (поз. 9), надеваем и крепим кожух (поз. 4) болтами (поз. 12). Далее крепим коробку выводов (поз.3) и отправляем на приёмо-сдаточные испытания.

Основной задачей на следующем этапе является составление технологического маршрута, который фиксируется на маршрутных картах (приложение 3), т.е. перечень, указывающий последовательность операций и их выполнение. Технологический маршрут, форма и содержание определена ГОСТ 3.1118-82.

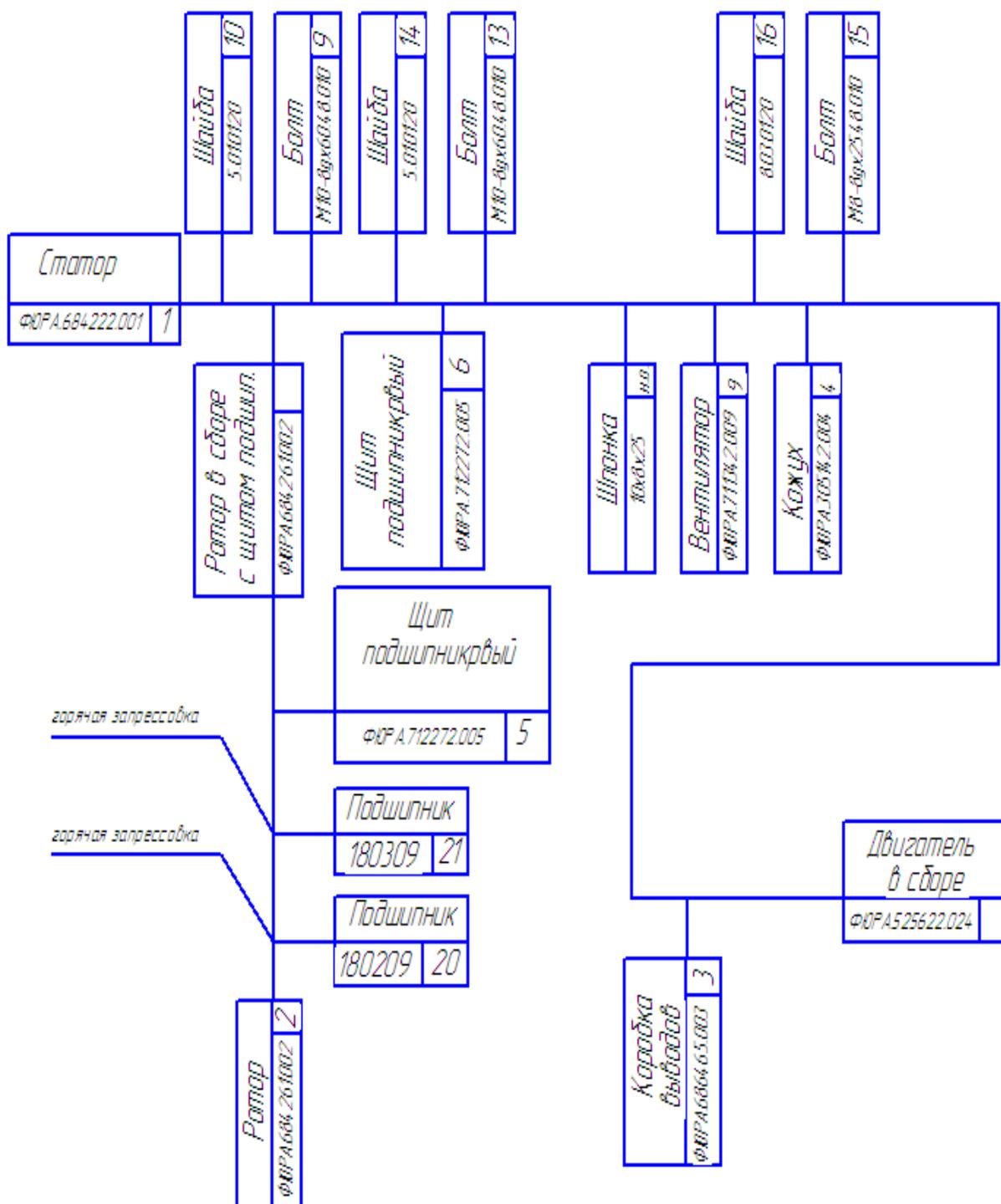


Рисунок 3.4-Схема общей сборки двигателя.

3.5. ВЫБОР СБОРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ОСНАСТКИ

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

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

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

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

Выбор оборудования

Для сборки узлов изделия в целом применяем верстак . Для испытания двигателя на механическую прочность и работу в режимах холостого хода и короткого замыкания используем комплексный испытательный стенд КСПАД. Для проверки электрической прочности применим мегаомметр ЭС0202/1Г. Для нагрева подшипников применим индукционную установку Ид-100. Для продувки сборочных единиц и деталей применим автомат для продувки

СМ-32.

Выбор инструмента

Для повышения производительности применим механизированный инструмент.

Для наворачивания гаек используем электрогайковёрт ИЭ 3113 наибольший диаметр резьбы 16мм, момент затяжки 125н×м, масса 3,8кг, габаритные размеры 363×70×243 мм, питание от сети 220 В.

Для заворачивания винтов используем электровинтовёрт ИЭ 3606, наибольший диаметр резьбы 8мм, момент затяжки 15н×м, габаритные размеры 320×70×130 мм, питание от сети 220 В.

Ротор и статор собирают отдельно друг от друга и затем они поступают на участок общей сборки.

Выбор подъемно-транспортных средств

Для транспортировки деталей, сборочных единиц и готовых изделий применим электропогрузчик ЭП-103К.

Для хранения используем ящик 600х300х200 мм. Для подъёма, перемещения, опускания грузов при сборке используем кран-балку Q=1т.

3.6. Нормирование сборочных работ и график загрузки оборудования

Определение штучного времени.

Весь процесс сборки состоит из 4 операций, список операций таблице 3.3

Таблица 3.3

№	Операция	Оборудование, оснастка
005	Нагрев подшипников Насадка внутренних крышек Запрессовка подшипников Остывание насаженных подшипников	Печь индукционная, щипцы. Стол универсального назначения, щипцы.
010	Насадка левого щита на ротор Посадка ротора в статор Сборка правого щита и соединение со станиной Смазка подшипников и закрывание подшипниковыми крышками Посадка вентилятора, надевание кожуха Крепление коробки выводов	Стол универсального назначения, набор ключей.
015	Контроль размеров	Стол универсального назначения, оснастка для контроля размеров
020	Приемно-сдаточные испытания	Стенд приемно-сдаточных испытаний

Технически обоснованной нормой времени называют регламентированное время выполнения технологической операции в определенных организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства [6, 7].

Штучным временем называют отношение времени выполнения технологической операции к числу изделий одновременно собираемых на одном рабочем месте [6, 7].

При расчетно-аналитическом методе технически обоснованную норму времени устанавливают на каждую сборочную операцию [6, 7]. Для неавтоматизированного производства штучное время равно:

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

T_o - основное (технологическое) время ;

$T_в$ - вспомогательное время;

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

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

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

$$T_{оп} = T_o + T_в$$

Основное время учитывает изменение состояния продукта производства в процессе сборки. Оно затрачивается на выполнение соединений, регулирование, пригонку сопрягаемых деталей, подбор и размерную сортировку деталей, подготовку деталей к сборке [6, 7].

Вспомогательное время учитывает действия, которые сопровождают и обеспечивают выполнение основной работы. Оно включает время на установку, закрепление и снятие собираемой части изделия, управление механизмом и оборудования, а также на контроль выдерживаемых при сборке размеров. Вспомогательное время находят суммированием элементов времени на выполнение перечисленных действий по всем переходам операции, устанавливаемых по нормативам вспомогательного времени. Как и основное, вспомогательное время может быть ручным, машинно-ручным и машинным [6,7].

Время организационного обслуживания рабочего места учитывает затраты времени на подготовку рабочего места к началу работы, замены

инструмента в процессе работы, уборку рабочего места в конце смены, смазку и чистку сборочного оборудования и приспособлений и т.п.. Его определяют в процентах от оперативного времени по нормативам (обычно в пределах 0,6-8%) [6, 7].

Время перерывов в работе на отдых и личные надобности определяют по нормативам, в процентном отношении к оперативному времени (в среднем 2,5%) [6, 7].

Приведём пример расчета норм времени для операции 005 (запрессовка подшипников).

Берутся до 10 подшипников и устанавливаются в печь индукционную. Через 2 минуты, когда они нагреются до 80 градусов Цельсия, вынимаются и в течение 2 минут насаживаются на вал, на который предварительно надеты внутренние подшипниковые крышки и далее в течение одной минуты дать остыть подшипникам.

T_o - основное (технологическое) время: нагревание, запрессовка - 4 мин;

T_e - вспомогательное время: перенос, зажим, дать остыть подшипникам включить и выключить печь – 2,1 мин;

$T_{on} = T_o + T_e = 4 + 2,1 = 6,1$ мин – оперативное время

$T_{об} = 0,05 \cdot T_{on} = 0,05 \cdot 6,1 = 0,305$ мин – время организационного обслуживания рабочего места: убрать мусор, протереть оборудование от пыли и замазученности.

$T_n = 0,03 \cdot T_{on} = 0,03 \cdot 6,1 = 0,183$ мин – время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего.

$T_{n-з} = 0,02 \cdot T_{on} = 0,02 \cdot 6,1 = 0,122$ мин – подготовительно-заключительное время: ознакомиться с чертежом, сдать готовое изделие далее.

$T_{шт} = T_o + T_e + T_{об} + T_n = 4 + 2,1 + 0,305 + 0,183 = 6,59$ мин – штучное время.

Аналогично рассчитаем другие операции и отобразим нормы времени по операциям в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Операция	T ₀ , мин	T _В , мин	T _{оп} , мин	T _{об} , мин	T _п мин	T _{п-з} , мин	T _{шт} , Мин
005	4,00	2,10	6,10	0,305	0,183	0,122	6,59
010	25,00	2,00	27,00	1,35	0,81	0,54	29,16
015	5,00	0,30	5,30	0,27	0,16	0,11	5,72
020	20,00	2,50	22,50	1,13	0,68	0,45	24,30

Определение потребного количества оборудования:

Для определения потребного количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий (в нашем случае 3800 шт/год), суммарные нормы времени по каждому виду оборудования и эффективный годовой фонд производственного времени оборудования, который при сорокачасовой неделе можно рассчитать по формуле:

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

$$F_{\partial} = \left[(365 - 104 - 11) \cdot 8 - 9 \right] \cdot 1 \cdot 1 = 1978 \text{ ч}, \text{ где}$$

$B_{\partial} = 104$ – количество выходных дней в году;

$П_{\partial} = 24$ – количество праздничных дней в году;

$П_{нд} = 9$ – количество предпраздничных дней в году;

K_p – коэффициент учитывающий время пребывания единицы оборудования в ремонте,

$K_p = 0,98$ – для неавтоматизированного процесса сборки

$z = 1$ – число смен работы оборудования

3.7. Расчет коэффициента загрузки для каждого оборудования

Расчетное число каждого из видов сборочного оборудования:

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}}, \text{ где}$$

$N = 3800$ шт/год – годовая программа выпуска;

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

Коэффициент загрузки оборудования:

$$K_z = \frac{C_p}{C_{II}} \cdot 100\% \text{ где}$$

C_{II} – принятое число оборудования, получается округлением расчетного C_p в большую сторону.

Данные расчета коэффициента загрузки каждого вида оборудования представлены в таблице 3.5

Запрессовка (операция 005)

$$C_p = \frac{6,59 \cdot 3800}{60 \cdot 1978} = 0,211$$

Принимаем C_{II} равное 1

$$K_z = \frac{0,211}{1} \cdot 100\% = 21,1\%$$

Сборка двигателя (операция 010)

$$C_p = \frac{29,16 \cdot 3800}{60 \cdot 1978} = 0,934$$

Принимаем C_p равное 1

$$K_3 = \frac{0,934}{1} \cdot 100\% = 93,4\%$$

Контроль размеров (операция 015)

$$C_p = \frac{5,72 \cdot 3800}{60 \cdot 1978} = 0,183$$

Принимаем C_{pl} равное 1

$$K_3 = \frac{0,183}{1} \cdot 100\% = 18,3\%$$

Стенд приемно-сдаточных испытаний (операции 020)

$$C_p = \frac{24,3 \cdot 3800}{60 \cdot 1978} = 0,778$$

Принимаем C_{pl} равное 1

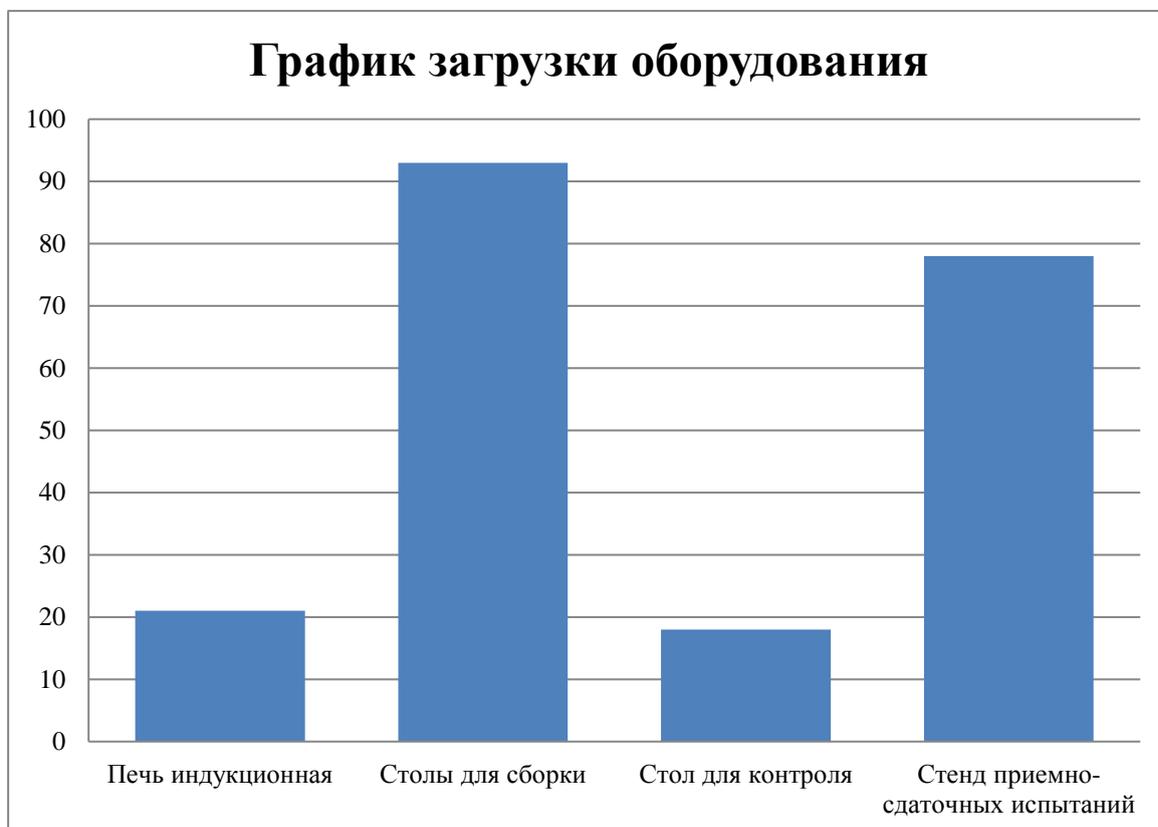
$$K_3 = \frac{0,778}{1} \cdot 100\% = 77,8\%$$

Занесем полученные результаты в таблицу 3.5

Таблица 3.5

Наименование оборудования	C_p	C_{pl}	$K_3, \%$
Печь индукционная	0,211	1	21,1
Столы универсального назначения (сборка двиг.)	0,934	1	93,4
Стол контроля размеров (контроль)	0,183	1	18,3
Стенд приёмно-сдаточных испытаний	0,778	1	77,8

По данным таблицы 3.5 построена диаграмма (рис.3.5), показывающая коэффициенты загрузки для различных типов оборудования, участвующего в процессе общей сборки асинхронного двигателя.



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 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.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В этой части выпускной квалификационной работы (ВКР) рассмотрены вопросы технико-экономического обоснования производств асинхронного двигателя на основе научно-производственное объединение «Сибэлектромотор» (НПО «Сибэлектромотор»).

Целью раздела является решение следующих задач:

- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения проектирования двигателя;
- определение возможных альтернатив проведения проектирования двигателя, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Ресурсосбережение — система мер по обеспечению рационального использования ресурсов, удовлетворению прироста потребности в них народного хозяйства, главным образом за счет экономии [12].

Обеспечение ресурсосбережения — обязательное требование к технике, технологии, организации производства и непроизводственной деятельности, хозяйственному механизму. Новая техника должна требовать меньшего расхода ресурсов как в процессе ее производства, так и в процессе эксплуатации. Новая технология должна быть безотходной или малоотходной, малооперационной [12].

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

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

- многократное использование ограниченных ресурсов;
- повышение безопасности
- обеспечение равенства и занятости.

Асинхронный двигатель является продукцией промышленного назначения. Рынок сбыта весьма жестко ограничен. Это, прежде всего, промышленные, строительные металлургические предприятия (государственные или частные) и совсем небольшой сегмент частных лиц, которые покупают электродвигатели для собственного пользования. Поэтому рекламная компания, прежде всего, ориентирована на промышленные предприятия.

Вышесказанное позволяет выбрать ресурсосберегательное и ресурсоэффективное позицию при выборе производство для продукта данного типа. Согласно заданию по технологической части в выпускной квалификационной работы, планируемый объём производства составляет 3800 штук в год.

4.1. Анализ потенциальных рисков и разработка мер по управлению ими

Под проектными рисками понимается, как правило, предполагаемое ухудшение итоговых показателей эффективности проекта, возникающее под влиянием неопределенности. На данный момент единой классификации проектных рисков предприятия не существует. Однако можно выделить следующие основные виды рисков, присущие практически всем проектам [12]:

- 1) маркетинговый риск;
- 2) риск несоблюдения графика проекта;
- 3) риск превышения бюджета проекта;
- 4) общеэкономические риски.

Маркетинговый риск – это риск недополучения прибыли в результате снижения объема реализации или цены продукции. Этот риск является одним из наиболее значимых для большинства инвестиционных проектов. Причиной

его возникновения может быть неприятие нового продукта рынком или слишком оптимистическая оценка будущего объема продаж. Ошибки в планировании маркетинговой стратегии возникают главным образом из-за недостаточного изучения потребностей рынка: неправильного позиционирования продукции, неверной оценки конкурентоспособности рынка или неправильного ценообразования. Также, к возникновению риска могут привести ошибки в политике продвижения, например, выбор неправильного способа продвижения, недостаточный бюджет продвижения и так далее.

Риски несоблюдения графика и превышения бюджета проекта. Причины возникновения таких рисков могут быть объективными (например, изменение таможенного законодательства в момент растормаживания оборудования и, как следствие, задержка груза) и субъективными (например, недостаточная проработка и несогласованность работ по реализации проекта). Риск несоблюдения графика проекта приводит к увеличению срока его окупаемости как напрямую, так и за счет недополученной выручки. В нашем случае этот риск будет велик: если компания не успеет начать реализацию нового продукта до конца зимнего пика продаж, то понесет большие убытки.

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

Оценка рисков производится в процессе планирования проекта и включает качественный и количественный анализ. Если по итогам оценки проект принимается к исполнению, то перед предприятием встает задача управления выявленными рисками. По результатам реализации проекта накапливается статистика, которая позволяет в дальнейшем более точно

определять риски и работать с ними. Если же неопределенность проекта чересчур высока, то он может быть отправлен на доработку, после чего снова производится оценка рисков.

Важным обстоятельством, которое нужно учитывать, говоря о влиянии научно-технического процесса на конкурентоспособность ресурсоэффективного изделия, является совершенствование существующих и разработка новых видов двигателей, а так же оценка показателей конкурентоспособности осуществляется по техническим и экономическим показателям продукции.

Риски и меры по ограничению их последствий приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Риски и меры по ограничению их последствий

Виды рисков	Меры по ограничению последствий рисков
<ol style="list-style-type: none"> 1. Неустойчивость спроса 2. Риск, обусловленный поведением конкурентов 3. Рост налогов 4. Инфляция 5. Изменения законодательства 6. Появление альтернативного продукта 7. Непредвиденные обстоятельства (аварии, стихийные бедствия, политическая нестабильность) 8. Перевозка грузов 9. Рост цен на ресурсы 10.Нарушение технологии или освоение новой технологии 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Создание резерва для покрытия непредвиденных расходов 2. Систематическое изучение конъюнктуры рынка 3. Обучение персонала работе на новом технологическом оборудовании 4. Определение мер воздействия к неисполнительным работникам 5. Активные маркетинговые действия 6. Страхование имущества и транспортных перевозок 7. Изучение изменений в российском законодательстве 8. Расширение состава поставщиков

Понимание природы проектного риска и его количественная оценка не всегда позволяют эффективно управлять реальными инвестициями. В этом случае особое значение приобретают способы и методы непосредственного

воздействия на уровень риска с целью его максимального снижения, повышения безопасности и финансовой устойчивости.

4.2. Описание продукции

В данной выпускной квалификационной работе проектируется двигатель с короткозамкнутым ротором конструкция которого имеет ряд отличий от общепромышленных асинхронных двигателей, но представляет собой собранный и установленный в определенном порядке набор таких деталей как статор, ротор, подшипниковые щиты, подшипники и т.д. Подобные двигатели используются во многих областях промышленности, в том числе в различных видах кранах и приводах конвейерах и т.д.

НПО «Сибэлектромотор» является действующим предприятием и использует свои существующие ресурсы для производства двигателей, поэтому нет необходимости в приобретении основных средств. Двигатели производятся по специальным заказам, по уже освоенным технологическим процессам и с привлечением квалифицированного персонала. Поэтому издержки на производство двигателей незначительны.

Продукция НПО «Сибэлектромотор» производится из материалов приобретаемых следующими путями:

- Алюминий - Красноярский алюминиевый завод;
- Электротехническая сталь – АО «Северсталь», г. Череповец;
- Валовая и прочая сталь – Новокузнецкий металлургический комбинат;
- Кабельные изделия и изоляционные материалы – АОЗТ «СибКабель»;
- Подшипники – Волгоградский подшипниковый завод;
- Лакокраски – коммерческая структура «Томскснаб»

4.3. Оценка рынка сбыта и конкурентоспособности создаваемого продукта

Конкурентоспособность — комплексная характеристика, которая может выражаться через групповые, интегральные, обобщенные показатели. Целью оценки конкурентоспособности предприятия является определение

положения предприятия на отраслевом, региональном или международном рынках [14].

Оценка факторов конкурентоспособности изделия приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оценка факторов конкурентоспособности изделия [18].

Факторы конкурентоспособности продукции	Заводы изготовители			
	НПО «Сибэлектромотор»	ООО «Мосэлектромаш» г. Лобня	ЗАО «Электромеханическое объединение», г. Санкт-Петербург	ОАО «Электродвигатель», г. Могилевск
1. Продукция	Двигатель с КЗ	Двигатель с КЗ	Двигатель с КЗ	Двигатель с КЗ
1.1 качество	4	4	4	4
1.2 технико-экономические показ.	4	4	4	3
1.3 престиж торговой марки	4	4	5	4
1.4 упаковка	3	4	4	4
1.5 уровень послепродажного обслуживания	5	5	4	4
1.6 гарантия	2 года	2 года	1 год	1 год
1.7 уникальность	Наличие пусковых реостатов в конструкции	Высокий класс изоляции	Температурная защита	Применение вентилятора с пониженным шумом
1.8 надежность	4	4	5	4
1.9 защищенность патента	5	5	5	5
2. Цена				
2.1 продажная	5	4	5	4
2.2 скидки	До 10%	До 8%	5%	До 8%
2.3 сроки платежа	До 1 мес.	До 1 мес.	До 1 мес.	До 1 мес.
3. Каналы сбыта				
3.1 форма сбыта				
3.1.1. прямая	4	4	3	3
3.1.2. через торговых Представителей	4	4	4	4
3.1.3 оптовые посредники	4	4	4	4

3.2 система транспортировки	Авто, ж.д. ,авиа	Авто, ж.д. ,авиа	Авто, ж.д. ,авиа	Авто, ж.д. ,авиа
4. Продвижение продукции на рынках				
4.1 реклама				
4.1.1 для потребителей	4	4	5	4
4.1.2 для торговых посредников	5	4	4	4
4.2 индивидуальная продажа	4	4	4	3
4.2.2 показ образцов продукции	4	5	4	4
4.4 продажа продукции через интернет	5	4	4	4
Примечание: оценка факторов конкурентоспособности продукции производится по пятибалльной шкале.				

Проанализировав таблицу 4.2., можно сделать вывод, что основными конкурентами являются отечественные производители двигателей, такие как ЗАО «Электромеханическое объединение», г. Санкт-Петербург, ООО «Мосэлектромаш» г. Лобня и т.д. Отечественные производители имеют свой сложившийся рынок сбыта, определяемый в основном географическим расположением производителей.

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.

4.4. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности проектной разработки с имеющимися аналогами и определить направления для ее будущего совершенствования.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B \cdot \text{Б}$$

где K – конкурентоспособность инженерного решения или конкурента;

B – вес показателя (в долях единицы);

Б – балл.

К основным требованиям, предъявляемым к проектируемому двигателю можно отнести: высокий пусковой момент, энергосберегающий, высокий класс изоляции, регулирование скорости вращения и уровень шума.

1. Высокий пусковой момент – главная техническая характеристика для металлургических и крановых двигателей.

2. Энергосберегающий – потребление меньшего количество электроэнергии по сравнению аналогичными продуктами.

3. Высокий класс изоляции – одна из главных технических характеристик для металлургической и крановых двигателей.

4. Регулирование скорости вращения – является технической особенностью для данного типа двигателя.

5. Уровень шума – наиболее актуальная техническая характеристика для всех видов двигателей.

Таблица 4.3 – Конкурентные технические решения

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы
1. Высокий пусковой момент	0,35	5
2. Энергосберегающий	0,25	4
3. Высокий класс изоляции	0,2	5
4. Регулирование скорости вращения	0,2	4
5. Уровень шума	0,1	4
Итого	1	

Конкурентоспособность инженерного проекта:

$$K = 0.35 \cdot 5 + 0.25 \cdot 4 + 0.2 \cdot 5 + 0.2 \cdot 4 + 0.1 \cdot 4 = 4.95$$

4.5. Расчет себестоимости изделия

Себестоимость проектируемого электродвигателя складывается из следующих основных статей:

- материальные расходы;
- расходы на силовую электроэнергию;
- расходы на оплату труда;
- отчисления на социальные нужды;
- накладные расходы.
- расходы на продажу;

Расчет произведен по данным и методике, принятой в НПО «Сибэлектромотор». Установленные ставки и тарифы приняты в расчётах по состоянию на первый квартал 2016 года.

Расчёт затрат представлен для двух вариантов двигателя: базовый вариант – это изделие завода НПО «Сибэлектромотор», а 2-ой вариант – предлагаемый усовершенствованный проект.

4.5.1. Определение материальных расходов

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

Стоимость основных материалов определяется произведением нормы расхода каждого материала на его цену и рассчитывается по формуле:

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

где $Ц_{\text{м}}$ – цена материала за единицу, руб./кг,

P – норма расхода материала.

Материальные расходы предприятия для изготовления единицы продукции, рассматриваются для двух вариантов, базового (1 вариант) и предлагаемого (2 вариант), и их стоимость указаны в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Затраты на материалы

Наименование материала	Цена, руб/кг	Норма расхода вес, шт.		Сумма, руб.		Удельный вес, %
		1 вар	2 вар	1 вар	2 вар	
1. Черные металлы						60,0
Чугун СЧ-20	58,5	38,2	37,1	2234,7	2170,2	
Валовая сталь	50,1	17,61	16,2	881,7	881,4	
Электротехническая сталь	73,9	44,9	41,9	3318,1	3096,2	
Прочие чёрные металлы	84,4	17,2	16,7	1451,6	1409,1	
2. Цветные металлы						3,0
Алюминий сплав АК47	216,0	1,6	1,3	346,5	280,8	
Прочие цветные металлы	231,2	0,2	0,17	46,2	39,3	
3. Прочие материалы						5,0
Подшипники	325	2	2	650	650	
4. Кабельные изделия						25,0
Обмоточный провод ПЭТ	244,8	3,1	2,4	2982,8	2309,3	
Провод установочный ПВКФ	244,8	1,8	1,5	440,6	367,2	
5. Изоляция						10,5
Стеклолакоткань ЛСК	244,8	1,08	1,06	264,4	259,4	
Ст.пласт ССП БИД 8,2*3,5	214	0,38	0,18	81,3	38,5	
Синтофлекс или Элифлекс	645,9	0,13	0,13	83,9	83,9	
Плётка ПЭТ-Э	520	0,009	0,019	4,7	4,7	
Резина трубка ТСКП	54,4	2,8	2,6	152,3	141,4	
6. Лакокраски	205,0	1,5	1,1	307,5	225,5	2,5
Всего				13239	11887	100

Как видно по расчетам из таблицы 4.4 – для второго варианта самым дорогим пунктом материальных расходов являются покупные материалы (60%), так же дорого обходятся кабельные изделия (25%).

Затраты на основные материалы с учётом транспортных расходов составят:

-1 Вариант технологии: $C_m = M \cdot K_{\text{тзр}} = 13,2 \cdot 1,14 = 15,1$ тыс. руб

-2 Вариант технологии: $C_m = M \cdot K_{\text{тзр}} = 11,9 \cdot 1,14 = 13,5$ тыс. руб

где $K_{ТЗР} = 1.14$ - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Уменьшение во втором варианте норм расхода материалов, позволило сэкономить 1,3 тыс. руб. или 10,6 % в расчёте на единицу изделия.

4.5.2. Затраты на силовую электроэнергию

Затраты на силовую электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{\Sigma N \cdot t_{шт} \cdot k_z \cdot k_{op} \cdot k_{зд} \cdot k_{п.с} \cdot Цэ}{k_{п.д.}}, \text{руб./шт.}$$

где N - установленная мощность электродвигателей, Квт,

k_z – средний коэффициент загрузки электродвигателей по мощности, 0,65

k_{op} – коэффициент, учитывающий одновременность работы электродвигателей, 0,80

$k_{зд}$ – средний коэффициент загрузки электродвигателей во времени; 0,85

$k_{п.с}$ – коэффициент потери электроэнергии в сети , 1,05

$Цэ$ – цена 1кВт часа электроэнергии. 5,4

$k_{п.д.}$ – средний коэффициент полезного действия двигателей, 0,88.

Затраты на силовую электроэнергию приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Расчет расходов на силовую электроэнергию

№	Операции	Мощность двигателя, кВт	Трудоемкость работ, час./шт.		Стоимость электроэнергии, руб./шт.	
			1 вариант	2 вариант	1 вариант	2 вариант
1	Токарная	8,5	1,7	1,6	42,4	38,7
2	Фрезеровальная	7,5	0,7	0,6	21,4	12,8
3	Штамповочная	7,5	0,3	0,3	6,4	5,4
4	Токарная	5,5	0,6	0,5	8,8	8,1
5	Сверлильная	10	1,3	1,2	41,3	37
6	Прессовочная	7,5	0,2	0,1	3,5	2,6
7	Шлифовочная	5,5	0,2	0,1	2,4	1,9
Всего			5,0	4,4	126,2	106,3

Из-за ряда конструктивных отличий во втором варианте трудоемкость механических работ сократилась на 0,6 час./шт. Поэтому расходы на

электроэнергию в предлагаемом варианте уменьшились на 19,9 руб./шт. или на 16 % по сравнению с базовым.

4.5.3. Расходы на оплату труда

Эти расходы включают в себя основную и дополнительную заработную плату рабочих.

Основная заработная плата предусматривает оплату труда за проработанное время. Основная заработная плата рабочих определяется на основании трудоёмкости изготовления электродвигателя по операциям, тарифной сетке и тарифных ставок.

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{т}} + P_{\text{р}} + H_{\text{д}} + \text{р. к.}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{т}}$ – тарифная заработная плата;

$P_{\text{р}}$ – премия; размер премии повременщикам составляет в среднем 23% от тарифной заработной платы

$H_{\text{д}}$ – надбавки; средний процент надбавок составляет 20% от тарифной заработной платы

р.к. – районный коэффициент 1,5%.

Основная заработная плата рассчитана на основании данных планово-экономического отдела НПО "Сибэлектромотор".

Расходы на оплату труда приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Тарифная заработная плата

№ п/ п	Наименование	Кол-во деталей	Виды работ	Разряд	Трудоемкость, час		Стоимость нормы часа, руб./час	Тарифная заработная плата, руб./шт.	
					Норма времени			1 вар	2 вар
					1 вар	2 вар			
1	Станина	1	Заготовительная	3	0,39	0,36	85,4	33,3	30,7
			Токарно-черновая	3	0,40	0,35	84,3	35,4	32,9
			Токарно-чистовая	4	0,32	0,32	94,3	33,0	31,1
			Токарная ЧПУ	6	0,47	0,43	134,5	65,9	60,5
			Фрезерная	5	0,25	0,22	102,4	24,5	22,5
			Сверлильная	4	0,83	0,79	89,4	83,1	81,4
							275	259,2	
2	Вал	1	Фрезерная	3	0,3	0,29	82,7	24,1	24
			Центровальная	4	0,14	0,12	97,2	13,7	11,7
			Токарная	4	0,11	0,1	94,9	10,4	9,5
			Шлифовальная	4	0,20	0,14	95,3	14,2	11,5
							62,4	56,7	
3	Ротор на валу	1	Штамповочная	3	0,05	0,03	82,3	4,1	2,5
			Токарная	4	0,15	0,12	94,5	16,0	13,2
			Прессовочная	4	0,06	0,04	92,1	5,5	3,7
			Балансировочная	4	0,33	0,31	95,7	31,5	29,7
							57,1	49,1	
4	Щит подшипниковый	1	Обезжиривание, грунтование	3	0,03	0,03	79,7	2,4	2,4
			Токарная ЧПУ	6	0,21	0,22	132,2	33,2	31,8
			Сверлильная, зеркальная, нарезная	4	0,30	0,26	85,6	12,8	26,5
							65,3	60,7	
5	Вентилятор	1	Литейная	5	0,11	0,10	94,2	10,3	9,42
			Токарная	4	0,13	0,12	84,3	12,6	11,80
			Сверлильная	4	0,16	0,14	85,1	13,6	11,90
			Балансировка	5	0,10	0,08	92,4	9,2	7,40
							45,7	40,50	
6	Коробка выводов	1	Литейная	5	0,05	0,03	94,2	4,71	2,80
			Фрезеровальная	4	0,10	0,08	84,7	8,47	6,70
			Сверлильная	4	0,01	0,01	85,3	0,90	0,80
							14,1	10,30	
7	Кожух	1	Штамповочная	3	0,05	0,03	79,3	2,9	2,40
			Обезжиривание, грунтование	3	0,10	0,09	83,7	8,4	7,50
							12,3	9,90	
8	Статор	1	Штамповочная	4	0,20	0,19	84,5	16,8	16,20
			Токарная	4	0,21	0,21	83,2	20,7	19,10
			Точить сердечник	5	0,28	0,24	98,1	29,4	27,50
			Намоточные-обмоточные	6	1,30	1,10	132,1	171,6	145,30
			Изолировочно-пропиточные	6	0,30	0,27	124,6	37,3	33,60
			Прессовочная	5	0,14	0,08	91,1	9,1	7,30
							284,3	249	

9	Двигатель	1	Слесарные работы	4	0,20	0,15	83,2	45,4	12,50
			Собрать полностью	5	0,48	0,43	94,8	45,4	40,70
			Отделочные	3	0,35	0,34	78,3	27,4	26,60
			Оформить	4	0,20	0,19	84,2	16,8	16,00
			Покрасить	3	0,18	0,17	68,3	25,4	11,60
			Проверка ОТК	6	0,55	0,53	125,2	68,8	66,30
							10,00	8,06	

Определим основную заработную плату:

-1 вариант технологии:

$$Z_{\text{осн}} = (Z_{\text{т}} \times P_{\text{р}} \cdot N_{\text{д}} \times \text{р.к.}) = 1.0 \times 1.43 \times 1.5 = 2.1 \text{ тыс. руб.}$$

-2 вариант технологии:

$$Z_{\text{осн}} = (Z_{\text{т}} \times P_{\text{р}} \cdot N_{\text{д}} \times \text{р.к.}) = 0.9 \times 1.43 \times 1.5 = 1.9 \text{ тыс. руб.}$$

Дополнительная заработная плата составляет 14% от основной заработной платы производственных рабочих. Таким образом дополнительная заработная плата будет равна:

-1 вариант технологии:

$$C_{\text{доп}} = C_{\text{з/п}} \cdot 0.14 = 2.1 \cdot 0.14 = 0.29 \text{ тыс. руб./шт.}$$

-2 вариант технологии:

$$C_{\text{доп}} = C_{\text{з/п}} \cdot 0.14 = 1.9 \cdot 0.14 = 0.27 \text{ тыс. руб./шт.}$$

Уменьшив во втором варианте трудоемкость ручных работ на 1,94 час./шт., сэкономили тарифную заработную плату на 93 руб./шт. или на 9,3 % по сравнению с базовым вариантом.

Расчёт себестоимости электродвигателя приведён в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Расчет себестоимости асинхронного двигателя

№	Статьи затрат	Сумма затрат, тыс.руб/шт		Отклонение тыс.руб	Структура затрат, %
		1 вар	2 вар		
1	Расходы на основные материалы	15,10	13,5	1,6	50,94
2	Расход на силовую электроэнергию	0,12	0,10	0,02	0,37
3	Полная заработная плата	2,39	2,19	0,2	8,26
4	Отчисления на социальные нужды	0,73	0,67	0,06	2,53
5	Накладные расходы	9,70	8,78	0,92	33,15
	Итого производственная Себестоимость	28,04	25,24	2,80	95,25
6	Расходы на продажу*	1,36	1,26	0,10	4,75
	Итого полная себестоимость	29,40	26,50	2,90	100

Основную часть расходов составляют расходы на основные материалы в размере 50,94 %. Полная себестоимость во втором варианте сократилась на 2,9 тыс. руб./шт. или на 9,86 % по сравнению с базовым вариантом. Себестоимость предлагаемого варианта двигателя составляет 26,5 тыс.руб. из них 13,5 тыс руб. (50,94 %) составляет расходы на сырье и материалы. Предложенная в работе технические мероприятия по совершенствованию технической продукции позволило сократить себестоимость на 2,9 тыс руб. (9,86 %).

4.6. Расчет рентабельности продукции

После анализа цен на продукцию основных производителей и поставщиков двигателей этого типа, можно сделать вывод, что средняя цена в начале 2016 года (ООО «Мосэлектромаш», ЗАО «Электромеханическое объединение») на подобные двигатели 36 тыс.руб [18]. Поэтому, для обеспечения успешной конкуренции, стабильного спроса и привлечение покупателей более выгодной ценой. Устанавливается цену на продукцию 35 тыс. руб. (без учета НДС).

Рентабельность выпускаемого двигателя составит:

-1) вариант технологии:

$$\text{Рент} = \frac{C_{\text{рын}} - C_{\text{полн}}}{C_{\text{полн}}} \cdot 100\% = \frac{35 - 29.4}{29.4} \cdot 100 = 19\%$$

-2) вариант технологии:

$$\text{Рент} = \frac{C_{\text{рын}} - C_{\text{полн}}}{C_{\text{полн}}} \cdot 100\% = \frac{35 - 26.5}{26.5} \cdot 100 = 32\%$$

Рентабельность выпускаемого двигателя во втором варианте выросла на 68 % по сравнению с базовым вариантом.

4.7. Определение критического объема производства

Критическая программа - это такой объем производство, при котором выручка от реализации равна себестоимости его изготовления.

Критический объем производства определяется по формуле [15]:

$$Q_{кр} = \frac{C_{пост}}{C_{ед} - C_{пер}}, \text{ шт./год}$$

где $C_{ед}$ – цена единицы продукции;

$C_{пост}$ – постоянные издержки, т.е. расходы, которые не зависят от объема от производства (в нашем случае принимаются в виде суммы годовых накладных расходов и расходов на продажу).

$C_{пер}$ – переменные издержки, т.е. расходы изменяются пропорционально объему производства (в нашем случае принимаются в виде суммы расходов на основные материалы, силовую электроэнергию, полную заработную плату, отчисления на социальные нужды).

-1) вариант технологии:

$$Q_{кр} = \frac{44240}{35 - 18.34} = 2655 \text{ шт./год}$$

-2) вариант технологии:

$$Q_{кр} = \frac{44240}{35 - 16.46} = 2386 \text{ шт./год}$$

При сокращении во втором варианте переменных расходов на 1,88 тыс. руб./шт. или на 10,25%, снижается критический объем производства на 269 шт./год или на 10,13% по сравнению с базовым вариантом.

Диапазон безопасности - это важнейшая характеристика успешной работы предприятия:

$$J_{без} = \frac{Q_t - Q_{кр}}{Q_t} \cdot 100\%$$

где Q_t - планируемый объем производства;

$Q_{кр}$ - критический объем производства.

-1) вариант технологии

$$J_{без} = \frac{3800 - 2655}{3800} \cdot 100 = 30,1 \%$$

-2) вариант технологии

$$J_{без} = \frac{3800 - 2386}{3800} \cdot 100 = 37,2 \%$$

Сокращение во втором варианте критического объема производства увеличивает диапазон безопасности на 17,6% при сравнении с базовым вариантом.

По данным расчётов на рисунках 4.1. и 4.2. представлены графики безубыточности для базового и проектируемого вариантов.

Расчет показал, что производство двигателей в объеме 3.8 тыс. шт. в год обеспечивает превышение выручки от реализации продукции над затратами по производству. Рентабельность производства планируется 32%. Критический объём производства составляет 2388 шт. в год, причем при таком количестве предприятие может работать без убытков, получая прибыль. Построены графики безубыточности, из которых видно, что сократили затраты на производство продукции и уменьшили проценты накладных расходов.

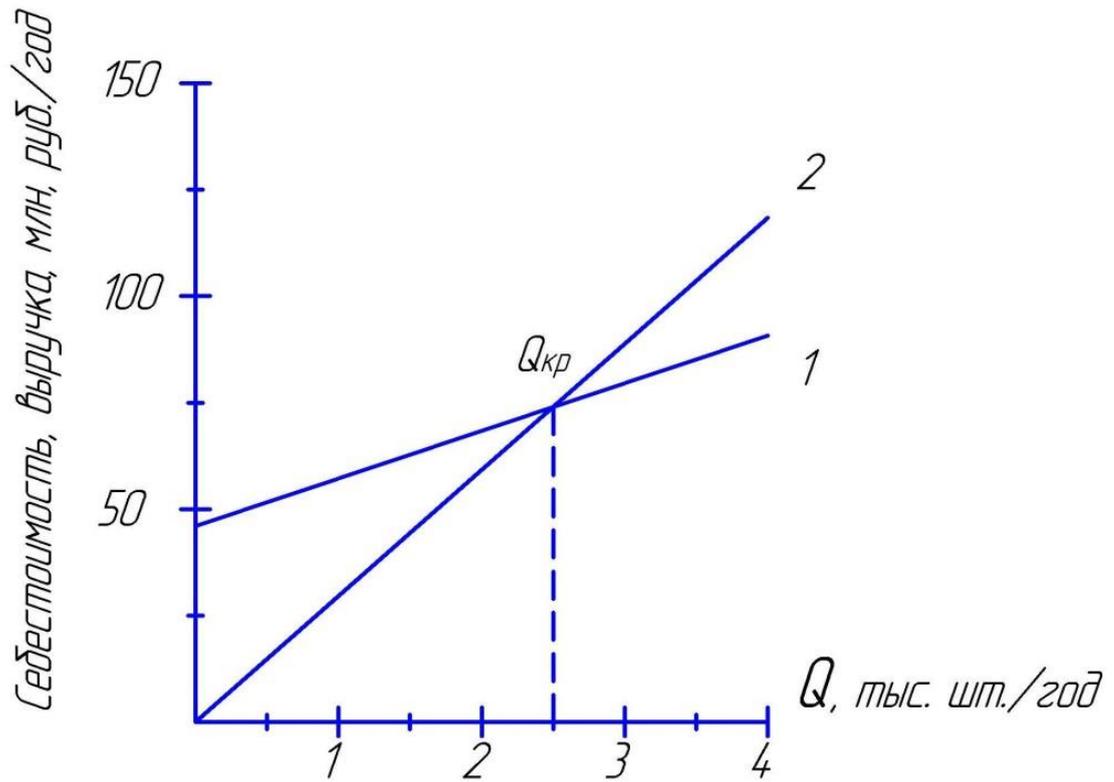


Рисунок 4.1. – График безубыточности для первого варианта технологии
1 – полная себестоимость продукции, 2 – выручка от реализации продукции

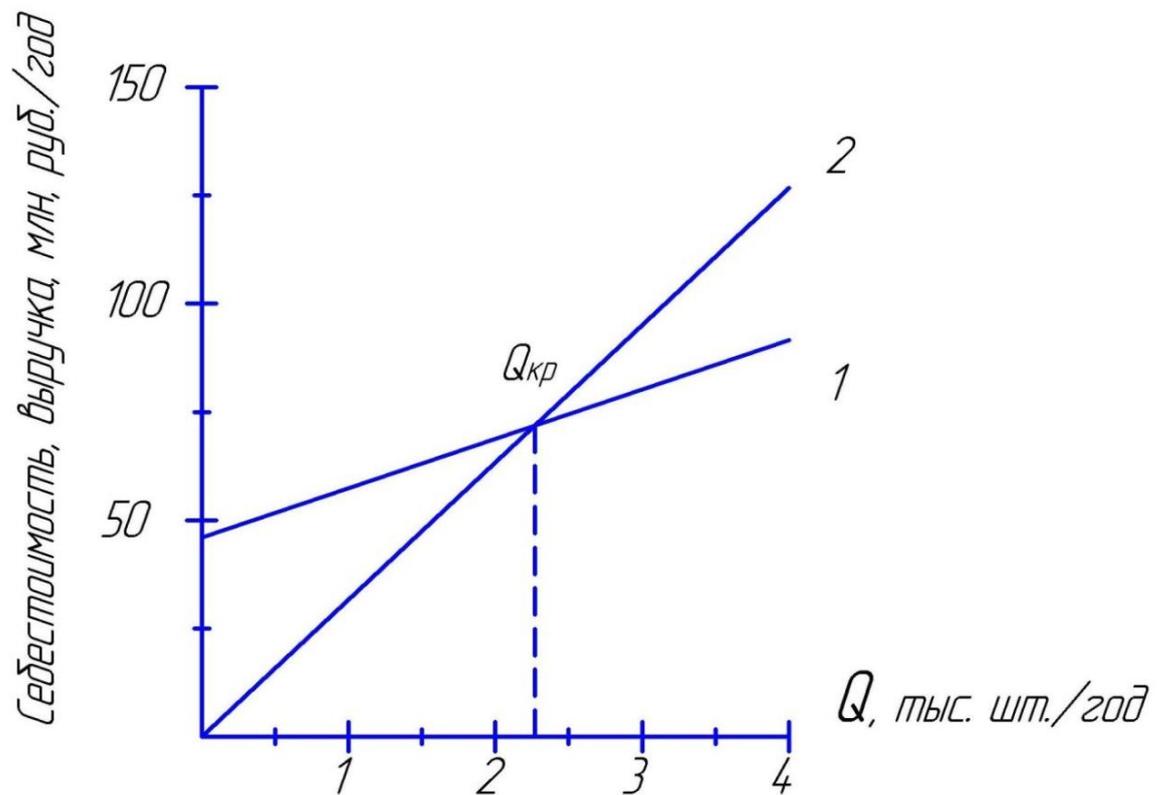


Рисунок 4.2 – График безубыточности для второго варианта технологии
1 – полная себестоимость продукции, 2 – выручка от реализации продукции

5. Социальная ответственность

5.1. Введение

В данном разделе рассмотрим безопасность и экологичность технологического процесса изготовления и сборки статора асинхронного двигателя. 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 [19].

На данном участке выполняются следующие виды работ: работа с ручным инструментом, настройке работы оборудования, работа с транспортными приспособлениями.

Для осуществления технологического процесса сборки статора применяется следующее оборудование: стол поворотный, кран-балка, радиально-сверлильный станок, токарно-винторезный станок, токарно-карусельный станок, продольно-фрезерный станок, гидравлические приспособления, верстак цеховой, сверла различного диаметра, резцы, и др.

5.2 Анализ опасных и вредных факторов

При сборке статоров асинхронного двигателя возникает ряд вредных и опасных производственных факторов.

Опасные факторы, возникающие при данном технологическом процессе:

- Поражение электрическим током, при работе испытательной станции.
- Получение механических травм, при слесарно сборочных работах.
- Получение ожогов при пожаре, вследствие повреждения электропроводки и электрооборудования в целом.

Наряду с опасными факторами можно выделить вредные факторы, которые приводит к нарушению нормального режима работы. К ним относятся:

- Отклонение параметров микроклимата на участке общей сборки асинхронного двигателя от установленных норм.
- Шум при работе с ручным механизированных инструментом.
- Образование вредных веществ.
- Недостаточная освещенность рабочей поверхности.

5.3. Техника безопасности

5.3.1 Общие правила

Наиболее вероятную опасность при работе на станках составляет втягивание одежды во вращающиеся части станков в случае отсутствия защитного ограждения. В связи с этим на участке сборки статора запрещается работать на неисправном оборудовании, со снятием ограждения, производить ремонт и настройку станка при его работе. Одежда должна быть подобрана по размеру и застегнута так, чтобы не было свободно развивающихся концов. Волосы должны быть убраны под головной убор. Запрещается также снимать и надевать одежду возле работающего станка [20].

Также рабочий на участке может пострадать в случае загромождения своего рабочего места. Поэтому готовую продукцию рабочий должен складировать в определенном месте и таким образом, чтобы не было возможных падений элементов и нагромождений проходов.

В процессе работы на токарных и сверлильных станках образуется стружка, которая отлетает и может служить причиной травмирования.

Общие требования:

К самостоятельной работе на участке изготовления и сборки статора допускаются лица прошедшие аттестацию в квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте и имеющие группу допуска не ниже 3.

Первичных инструктаж рабочий получают на рабочем месте до начала производственной деятельности.

Рабочий должен работать в спецодежде.

Необходимо соблюдать:

- правила внутреннего распорядка;
- правила личной гигиены (работать в спецодежде);
- курить только в специально отведенных местах;
- соблюдать производственную и технологичную дисциплину, при работе быть внимательным.

При получении травмы или недомогания нужно немедленно обратиться в здравпункт и сообщить мастеру или начальнику цеха.

5.3.2. Электробезопасность

Согласно ПУЭ цеха, в котором производится сборка статора, относится, к помещению с повышенной опасностью поражения людей электрическим током, т.к. имеется токопроводящий железобетонный пол. Необходимо применять определенный комплекс защитных мер, обеспечивающих достаточную электробезопасность [21].

Во избежание поражения рабочего электрическим током согласно ПУЭ все токоведущие части на участке изолированы и закрыты. Конструкция станков предусматривает заземление, сопротивление которого не должно превышать 4 Ом (установки до 1000 В) [22].

Для снижения опасности поражения электрическим током, рабочие носят обувь на резиновой подошве, на рабочих местах предусмотрены резиновые защитные коврики.

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

Применение только одного организационных и технических мероприятий по предупреждению поражения электрическим током не может в полной мере обеспечить необходимость при эксплуатации электроустановок. Это возможно, если наряду с выполнении предписанных ПТЭ и ПТБ потребителей организационных защитных мер использовать технические средства защиты, к которым относят: электрическую изоляция токоведущих частей, защитное заземление, зануление ГОСТ 12.1.038.-82, 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.

5.4. Производственная санитария

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

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

Немаловажным фактором обеспечения требуемых условий труда является наличие правильно спроектированного освещения. Основное назначения освещения на производстве – наилучших условий для работы зрительного аппарата человека. На участке механической обработки подшипниковых щитов освещение искусственное, которое обеспечивает электрическими источниками света.

5.4.1. Шум и вибрация

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

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, технические и физиологические нарушения, снижает работоспособность и создаёт предпосылки для общих профессиональных заболеваний и производственного травматизма.

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

Продолжительный шум стать причиной функциональных изменений сердечнососудистой и нервной систем. С целью проверки соответствия уровня шума требованиям санитарных норм производят его изменение. 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 [23].

Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечнососудистой и нервной систем. Измерение шума проводят с целью 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. Согласно санитарным нормам [24] установлены нормы шума на рабочих местах.

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

В таблице 5.1. приведены уровни звукового давления, измеренные восьми октановых полосах со среднегеометрическими частотами для постоянных рабочих мест в производственных помещениях.

Таблица 5.1. Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного звука

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

Вредным производственным фактором является вибрация механические колебания твёрдых тел, передаваемые организму человека. Они могут быть причиной расстройства сердечнососудистой 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 частотой резонанса всего организма человека или некоторых органов. Измерение вибраций производится в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.012-2004.

Колебания с частотой 16-20 Гц ощущаются как звук и вибрация. В производственных условиях ощущаются в основной 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 ведёт к поражению сердечнососудистой системы, вестибулярного аппарата. Опасная вибрация на частоте 6 – 9 Гц.

Данный цех по санитарным нормам вибрации относится к категории 3-технологической типа «А». Нормы на вибрацию приведены в таблице 7.2.

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.

Таблица 5.2. Санитарные нормы вибрации категории 3 – технологической типа «А»

Средне-геометрические частоты полос	Допустимые значения по осям x_0, y_0, z_0							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		м/с×10 ⁻²		дБ	
	1/3 окт.	1/1 окт.	1/3 окт.	1/1 окт.	1/3 окт.	1/1 окт.	1/3 окт.	1/1 окт.
1,6	0,090		49		0,90			
2	0,080	0,14	48	53	0,63	1,30	102	108
3,15	0,063		46		0,32			
4	0,056	0,10	45	50	0,22	0,45	93	99
5	0,056		45		0,18			
6,3	0,056		45		0,14			
8	0,56	0,10	45	50	0,11	0,22	37	93
10	0,071		47		0,11			
12,5	0,090		49		0,11			
16	0,112	0,20	51	56	0,11	0,20	37	92
20	0,140		53		0,11			
25	0,180		55		0,11			
31,5	0,224	0,40	57	62	0,11	0,20	37	92
40	0,280		59		0,11			

50	0,355		61		0,11	0,20		
63	0,450	0,30	63	68	0,11		37	92
80	0,560		65					
Корректированные и эквивалентные корректированные значения значения и их уровни		0,10		50		0,20		92

5.4.2. Психологические факторы

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, предрасположенность к простудным заболеваниям. В целях борьбы с переутомлением необходима нормализация режима труда и отдыха желательно увеличение свободного времени за счет увеличения разнообразия работы за рабочий день.

5.4.3. Микроклимат

Под микроклиматом понимают качество воздушной среды в рабочей зоне. Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях, в частности в рабочих зонах. Рабочей зоной называется пространство, высотой до 2-х метров над уровнем пола или площадки, на которых находятся место постоянного или временного пребывания работающих (более 2-я часов непрерывно).

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

Значения перечисленных параметров непосредственно к проектируемому участку с категорией по тяжести Пб. приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Метеорологические условия для рабочей зоны

Параметры	Сезоны года			
	Холодный		Тёплый	
	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
Температура, °С	17-19	15-22	19-21	16-27
Влажность, %	60-40	15-75	60-40	15-75
Скорость воздуха, м/с	0,2	0,2-0,4	0,2	0-0,5

Оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны регламентированы ГОСТ 12.1.1005-88.

Высокая интенсивность теплового облучения – инфракрасное излучение и высокая температура воздуха могут оказать крайне неблагоприятное на организм человека. Тепловое излучение интенсивностью до 350 Вт/м² не вызывает неприятного ощущения, при 1050 Вт/м² уже через 3 – 5 мин на поверхности кожи появляется неприятное жжение, температура кожи повышается на 8 – 10 градусов по Цельсию, а при 3500 Вт/м² через несколько секунд возможны ожоги. При облучении интенсивностью 700 – 1400 Вт/м² частота пульса увеличивается на 5 – 7 ударов в минуту. Время пребывания в зоне теплового облучения лимитируется в первую очередь температурой кожи, болевое ощущение появляется при температуре кожи 40 – 45 градусов по Цельсию, в зависимости от участка тела. Помимо непосредственного воздействия на человека лучистая теплота нагревает окружающие конструкции. Эти вторичные источники отдают теплоту окружающей среде излучением и конвекцией, в результате чего теплота воздуха внутри помещения повышается.

Тепловое облучение работающих не должно быть более 35 Вт/м². Тепловое облучение лица и пруди работающих на постоянных и непостоянных местах может достигать 140 Вт/м² при обязательном использовании средств индивидуальной защиты, в том числе защиты глаз.

5.4.4. Образование вредных веществ

На рассматриваемом участке при изготовлении и сборки статора происходит образование пыли и других вредных факторов.

Таблица 5.4. Допустимые концентраций вредных веществ.

Вещества	ПДК, мг/м	Класс опасности	Агрегатное состояние
СО	20	4	Газ
Пыль	6	4	Аэрозоль
Вредные пары	6	4	Аэрозоль

Периодический контроль содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ осуществляется силами заводской лаборатории или санитарно-гигиенической станции. С учётом предельно-допустимых концентраций вредных веществ, эти участки оснащаются вытяжной вентиляцией.

5.4.5. Освещение

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятии обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности. От освещения в значительной степени зависят: сохранность зрения работника, состояние его центральной нервной системы, безопасность на производстве, производительность труда и качество выпускаемой продукции.

В нормах [25] рекомендуемая освещённость производственных участков, содержащих необходимое оборудование для сборки двигателя, при системе общего освещения, должна быть не менее 200 лк.

При плохом освещении рабочий быстро устает, работает медленнее, возникает опасность ошибочных действий. Кроме того, плохое освещение может привести к некоторым профессиональным заболеваниям или ЧП.

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 использовать люминесцентные лампы, так как их освещение приближено к естественному.

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

5.5. Пожарная безопасность

Участок сборки статора асинхронного двигателя, согласно [НПБ 105-03] относится к категории «Д», т.е. это производство, в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Источниками зажигания могут служить случайные искры различного происхождения (электрические, от обработки материала заточными и режущими станками и инструментом). Причиной возгорания может быть и повреждение электропроводки или электрооборудования в целом, курение в не установленном месте, замазученность оборудования и т.д.

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

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

Содержание зданий и помещений на объединении:

На входных дверях участка изготовление статора должны быть вывешены категории взрывопожароопасности (А, Б, В, Г, Д); 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; ранение в цехах сырья, полуфабрикатов, горючих жидкостей разрешается только не более суточной, сменой потребности; использовать ГЖ (ГСМ жидкость) и ЛВЖ (легковоспламеняющаяся жидкость) для мойки деталей и узлов запрещается; для использованных обтирочных материалов на участке должны быть установлены металлические ящики с крышкой. По окончании смены они должны очищаться; сварочные работы, и другие огневые работы на участке изготовление и сборки статора должны производиться только по письменному разрешению и согласовываться с пожарной охраной, с пожарной охраной, с соблюдением всех указанных мероприятий; спец. Одежду следует хранить в специальных кабинках, изолированных от участка проведения механических и сборочных работ. В карманах не должны храниться промасленная ветошь. Спец. Одежда должна своевременно стираться.

На территории участка изготовления и сборки статоров запрещается:

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

- пользоваться неисправными, кустарного производства электроприборами;
- оставлять включенными станки, электроприборы без просмотра;
- при работе с огнеопасными жидкостями использовать инструмент могущий вызвать искрообразование;
- соприкосновение промасленной одежды, масел и др. жиров с арматурой кислородных баллонов;
- использоваться не просушенными коврами, 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 и принять меры к ликвидации очага пожара или действовать по указанию старшего начальника или ДПД;
- знать пути эвакуации из помещения (образец представлен на рисунке);
- знать пожароопасность своего цеха, участка и при обнаружении нарушений противопожарного характера устранить их или сообщить начальнику цеха;
- знать и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения;

На участке изготовление и сборки статора используются средства пожаротушения, такие как:

- Огнетушитель ОУ-3 – Углекислотный, предназначенный для тушения загорания установок под напряжением до 1000 В. При загорании снять огнетушитель, поднести к загоранию, выдернуть чеку и нажать на рычаг, а затем направить раструб 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.

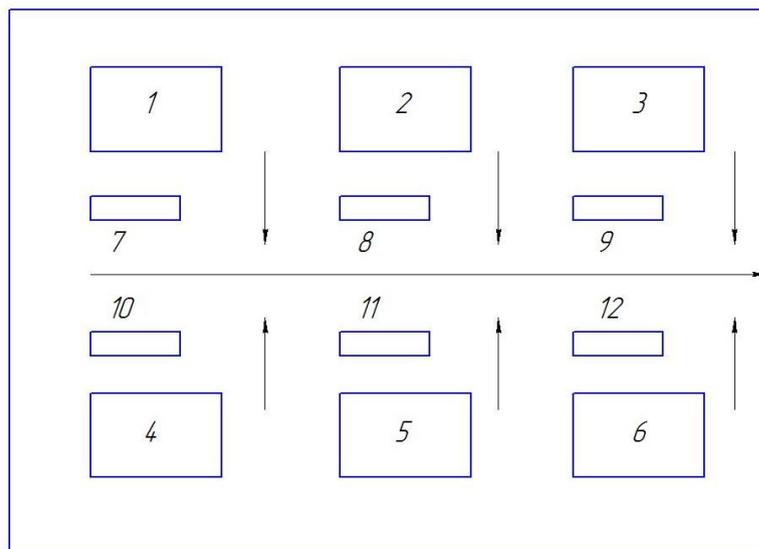


Рисунок 5.1. План эвакуации

1, 2, 3, 4, 5, 6, -станки; 7,8, 9, 10, 11,12 –места складывания

5.6. Охрана окружающей среды

Защита окружающей среды – это комплексная проблема, требующая усилия учёных многих специальностей. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий, является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это требует решения целого комплекса сложных технологических и конструктивных задач, основанных на исследовании новейших научно-технических 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 мероприятия по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение

промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

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

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

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

С целью охраны окружающей среды от загрязнений предусматривается внедрение:

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

5.6.1. Размещение осветительных приборов

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

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

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

$$\lambda = L/h$$

где L – расстояние между светильниками.

h – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью.

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

Выбираем люминесцентный светильник с защищённой решёткой:

Тип ОДО, $\lambda=1,2$ размеры помещения A=15 м, B=10 м

$$h = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7 \text{ м}$$

$$L = 1,2 \cdot 2,7 = 3,24 \text{ м}$$

$$L/3 = 1 \text{ м}$$

Размещаем светильники в три ряда. В каждом ряду можно установить 7 светильников типа ПВЛ мощностью 2*40 Вт (Д*Ш*В=1230*226*155), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении

$$n = 42$$

5.6.2. Расчет осветительной установки

Расчет производится методом коэффициента использования. Применяя этот метод можно определить световой поток лампы, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности с учетом света, отражённого стёклами, стендами и потоками. Метод коэффициента использования применяется только при расчете общего равномерного освещения.

Величина светового потока лампы:

$$F = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{250 \cdot 1.5 \cdot 150 \cdot 1.1}{42 \cdot 0.6} = 2455.3 \text{ лк.}$$

где E – минимальная освещённость, лк

k – коэффициент запаса

S – площадь помещения

λ – коэффициент использования светового потока

Z – коэффициент неравномерности освещения

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

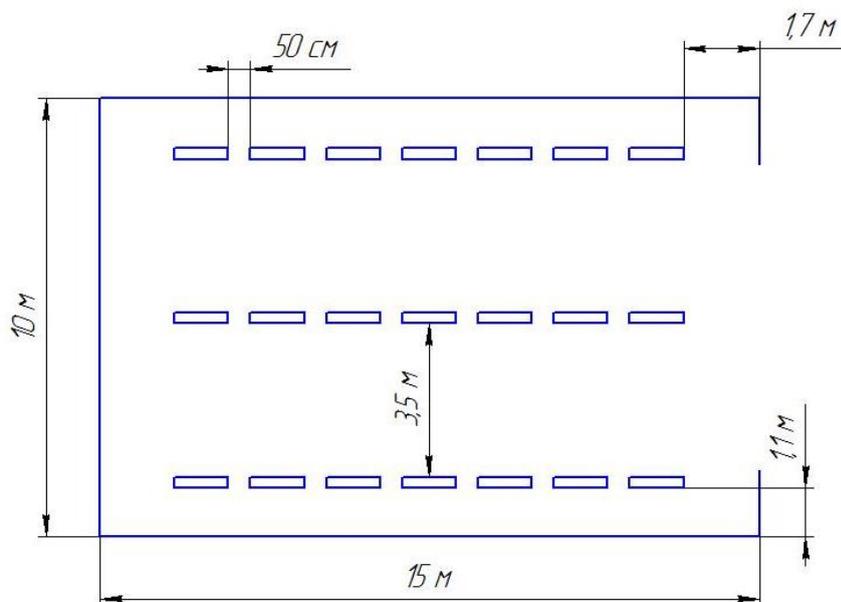


Рисунок 5.2. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Рассчитаем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} = \frac{150}{2.7 \cdot (15+10)} = 2.2$$

Коэффициент использования светового потока составляет: $\eta = 0,6$

Коэффициенты отражения:

$\rho_n = 70\%$ - состояние потолка

$\rho_0 = 70\%$ - состояние стен

Коэффициент неравномерности Z введен в формулу светового потока, потому что освещенность, подчитанная без этого коэффициента, является не минимальной, как требуют нормы, а средней. Введением коэффициента Z это несоответствие устраняется. Для люминесцентных ламп $Z = 0,9$; $E = 250$ лк –

минимальная нормативная освещённость, принимается по СНиП 42-01.2100. Выбор ламп по освещённости – наиболее подходящий, по люксам: 250>200.

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2450 Лм. Делаем проверку выполнения условия.

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

Получаем $-10\% \leq -0,2\% \leq +20\%$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = 42 \cdot 40 = 1680 \text{ Вт}$$

В ходе расчета были рассчитаны 21 светильных установок, в каждом светильнике установлены 2 лампы, общее число ламп 42. Световой поток каждой лампы составляет 2455.6 лк. Общая электрическая мощность осветительных установок составляет 1680 Вт.

5.7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы. К ним относятся взрывы, пожары, отключение электроэнергии, наводнение, землетрясение и т.д. Поэтому на производственном объекте надо предусмотреть максимально эффективную безопасность от такой угрозы и даже резервные источники жизнедеятельности для некоторых случаев наступившей катастрофы. К таким источникам относятся дизельный генератор для выработки электроэнергии, резервная скважина питьевой воды и т.д. В разделе производственная и экологическая безопасность был проведён анализ опасных и вредных факторов, техника безопасности рабочего и пожарной безопасности, производственная санитарная, рассмотрены разделы микроклимата, и охрана окружающей среды, произведен расчет освещения цеха.

Дубл.			
Взам.			
Подп.			

								6
--	--	--	--	--	--	--	--	---

	ИнЭО			

Комплект документов
на технологический процесс
сборки двигателя

ТЛ								1
----	--	--	--	--	--	--	--	---

Разр.	Буронов		
Подп.	Баранов		

Двигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором

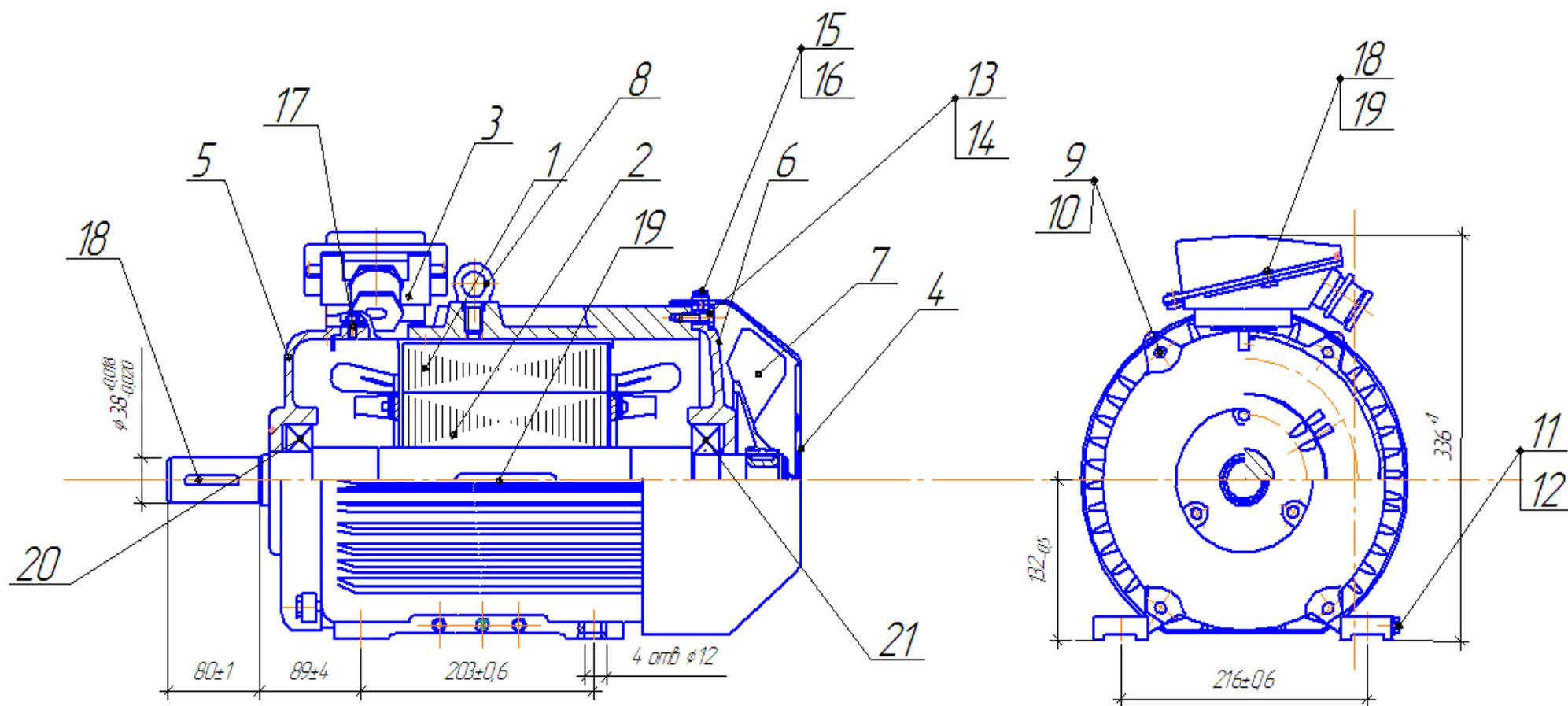
ФЮРА.525622.024 СБ

6

ИнЭО

ФЮРА.525622.024 СБ

АД132



КЭ Карта эскизов

6

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
А3			ФЮРА.525622.024 СБ	Сборочный чертёж		
<i>Сборочные единицы</i>						
		1	ФЮРА.684222.001	Статор	1	
		2	ФЮРА.684261.002	Ротор	1	
		3	ФЮРА.686465.003	Коробка выводов	1	
		4	ФЮРА.305142.004	Кожух	1	
<i>Детали</i>						
		5	ФЮРА.712272.005	Щит подшипниковый	1	
		6	ФЮРА.712272.006	Щит подшипниковый	1	
		7	ФЮРА.711342.009	Вентилятор	1	
<i>Стандартные изделия</i>						
		8		Рым-болт М12 ГОСТ 4751-73	1	
		9		Болт М8-8gx60.48.010 ГОСТ 7798-70	4	
		10		Шайба 8.03.0120 ГОСТ 6958-78	4	
ФЮРА525622.024						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.	Буронов				Лит.	Лист
Пров.	Баранов					1
Н.контр.						2
Утв.					ИнЭО ТПУ гр. 3-7311	

Копировал

Формат А4

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		11		Болт М8-8дх25.48.010 ГОСТ 7798-70	1	
		12		Шайба 8.03.0120 ГОСТ 6958-78	1	
		13		Болт М12-8дх60.48.008 ГОСТ 7798-70	4	
		14		Шайба 12.05.019 ГОСТ 6958-78	4	
		15		Болт М6-8дх20.48.010 ГОСТ 7798-70	4	
		16		Шайба 6.02.0120 ГОСТ 6958-78	4	
		17		Болт М6-8дх20.48.010 ГОСТ 7798-70	4	
		18		Шпонка 2-10х8х60 ГОСТ 23360-78	1	
		19		Шпонка 2-10х8х90 ГОСТ 23360-78	1	
		20		Подшипник 180209 ГОСТ 8882-75	1	
		21		Подшипник 180309 ГОСТ 8882-75	1	

Инд. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инд. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ФЮРА525622.024

Лист
2

Копировал

Формат А4

Заключение

В процессе выполнения данной выпускной квалификационной работы в соответствии с заданием спроектирован асинхронный двигатель с фазным ротором мощностью $P_{2H}=11$ кВт, числом полюсов $2p=4$, напряжением $U_H=220/380$ В, высотой оси вращения $h=132$ мм.

Главные размеры двигателя, выбранные в электромагнитной расчете, составили: наружный диаметр магнитопровода статора $D_a=0,233$ м; внутренний диаметр магнитопровода статора $D=0,149$ м; длина воздушного зазора $l_\delta=0,179$ м; длина сердечника статора $l=0,179$ м.

Число пазов статора и ротора $Z_1=36$, $Z_2=26$. Обмотки статора и ротора выбраны однослойными петлевыми. Номинальные токи обмоток статора и ротора составили $I_{1ном}=24,51$ А, $I_{2ном}=383,049$ А.

Рассчитанные пусковые и рабочие данные двигателя при номинальной нагрузке составили: КПД $\eta_{ном} = 0.85$; коэффициент мощности $\cos\varphi_{ном} = 0.8$, пусковой ток $I_{п} = 7,9$ о.е.; пусковой момент $M_{п}=2,24$ о.е. Полученные значения удовлетворяют требованиям, предъявляемые к двигателю.

В результате проведенного теплового расчета найдено коэффициент подогрева воздуха, учитывающий теплоотдающую способность поверхности корпуса и интенсивность перемешивания воздуха внутри машины $\Delta u_B = 53,65^\circ\text{C}$. Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой внешней среды $\Delta u_1 = 69,32^\circ\text{C}$. Данный расчет показал, что полученные температуры входят в допустимые пределы для выбранного класса изоляции F.

Механический расчет вала показал, что жесткость и критическая частота вращения вала удовлетворяют требуемым условиям. В результате был выбран шарикоподшипник радиальный однородный, условное обозначение 309, $d=45$ мм, $D=100$ мм, $B=25$ мм, $r=2,5$ мм, динамическая грузоподъемность $C_0=37000$ Н, ГОСТ 8882-75.

В специальной части проекта определено, тепловой расчёт двигателя при увеличенном моменте нагрузки на 80% и ПВ=50% Вентиляционный расчёт асинхронных двигателей, так же как и тепловой, на первоначальном этапе

проектирования, может быть выполнен приближённым методом, который заключается в сопоставлении расхода воздуха, необходимого для охлаждения двигателя и расхода, который может быть получен при данной конструкции и размерах двигателя.

Разработанный технологический процесс общей сборки двигателя обеспечивает выпуск продукции в размере 3800 шт./год. Для выпуска продукции сделан выбор оборудования, который состоит из следующих оборудований:

- Печь индукционная
- Столы для сборки
- Стенд приемно- сдаточных испытаний

Составлен график загрузки оборудования, на котором видно, что наиболее загруженным оборудованием является столы для сборки двигателя. Определены нормы времени технологического процесса. Также была составлена маршрутная карта, в которой поэтапно отражены все операции по сборке двигателя.

В ходе расчета была проведена калькуляция себестоимости продукции. Установлена конкурентоспособная цена и рентабельность продукции. Также был построен график безубыточности, определяющий критический объем производства, определена критическая программа выпуска для предприятия.

Ресурсоэффективность данного проекта заключается в том, что при проведении организационно-технических мероприятий удалось сократить норму расхода материалов, расходы на силовую электроэнергию, расходы на оплату заработной платы. Себестоимость спроектированного двигателя составило 26,5 тыс.руб. на 9,86 % меньше по сравнению с базовым вариантом. Установлено цена на продукция в размере 35 тыс.руб. (без учета НДС). Рентабельность выпускаемого двигателя составило 32%. Снижение норм расходов на основные материалы, расходы на силовую электроэнергию и оплату труда позволило увеличить рентабельность выпускаемого двигателя на 68 % по сравнению с базовым вариантом. Такие показатели являются главными критериями успешности разработанного проекта.

Проведен анализ опасных и вредных факторов при производстве. Рассмотрены правила техники и пожарной безопасности. Проведен расчет искусственного освещения. В ходе расчета были рассчитаны 21 светильная

установка, в каждом светильнике установлены 2 лампы, общее число ламп 42. Световой поток каждой лампы составляет 2455,6 лк. Общая электрическая мощность осветительных установок составляет 1680 Вт, что удовлетворяет требованиям.

В целом, спроектированный асинхронный двигатель с фазным ротором удовлетворяет требованиям, определенным заданием.

Conclusion

In the process of implementation of this qualification work in accordance with the assignment designed asynchronous motor with squirrel-cage rotor power $R_N=11$ kW number of poles $2p=4$, voltage $u_n=220/380$, the height of the axis of rotation $h=132$ mm.

The main dimensions of the engine that is selected in the electromagnetic calculation, was as follows: the outer diameter of the magnetic circuit of the stator $D_a=0.233$ m; inner diameter of the magnetic circuit of the stator $D=0,149$ m; length of the air gap $l_\delta=0,179$ m; length of stator core $l=0.179$ m.

The number of grooves of the stator and rotor $Z_1=36$, $Z_2=26$. The windings of the stator and rotor single layer selected loop. The nominal current of the stator windings and rotor amounted $N_{om}=24.51$, $N_{om}=383.049$ A.

Calculated starting and operating data of the engine at rated load amounted to: efficiency $\eta_{om} = 0.8$, power factor $\cos\varphi_{om} = 0.8$, inrush current $I_{om} = 7.9$ o.e.; starting torque $M_p=2.24$ o.e. The value obtained satisfy the requirements of the engine.

As a result of thermal calculation was found that the temperature rise of stator and rotor above the ambient temperature are $\Delta v_B = 53,65^\circ\text{C}$ for stator and $\Delta v_1 = 69,32^\circ\text{C}$ for the rotor. This calculation showed that the resulting temperature enter the allowable limits for the selected class f insulation

Mechanical shaft calculation showed that the stiffness and critical speed of the shaft satisfy the required conditions. As a result, the profit of the selected radial ball bearing uniform, symbol 309, $d=45$ mm, $D=100$ mm, $B=25$ mm, $r=2.5$ mm, dynamic load rating $C_0=37000$ N, GOST 8882-75.

In the special part of the project determined that a smooth start of the engine may be provided with a five-speed rheostat.

The technological process of Assembly of the stator provides an output of 3800 units per year. For manufacturing products made choice of equipment, which consists of following machines:

- turning and screw machine
- longitudinal – milling machine
- the pressure of the hydraulic

Schedule of equipment loading, which shows that the most downloaded equipment is planing machine 6305. Defined standards of time of the process. Was drawn up a roadmap, which covers all stages of the operation for assembling the stator.

During calculation was conducted on the cost of production. Set competitive price and profitability of products. Also built a break-even chart that defines the critical volume of production, the critical release program for the enterprise, presents a SWOT analysis of products.

The efficiency of this project lies in the fact that when carrying out organizational and technical measures have managed to reduce the rate of flow of materials, the cost of power electricity, the cost of wages. The projected cost of the engine was 26.5 thousand rubles 9,86 % less compared to the baseline option. Set the price for products in the amount of 35 thousand rubles (without VAT). The profitability of manufactured engine was 32%. To reduce costs for basic materials costs for power energy and labor has allowed to increase the profitability of manufactured engine by 68% compared to the baseline option. Such indicators are the main criteria for the success of the developed project.

The analysis of dangerous and harmful factors in production. Reviewed regulations and fire safety. The calculation of artificial lighting. During calculation were calculated 21 setting illuminating each lamp with 2 lamps total number of lamps 42. Luminous flux of each lamp is 2455,6 lk. The total electrical power lighting systems is 1680 watts and meets the requirements.

Overall, the designed asynchronous motor with slip-ring rotor satisfies the requirements defined by the job.

Список использованных источников

1. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов /И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под ред. И.П. Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. - 757 с.: ил.
2. Инженерное проектирование электрических машин: Учеб. для вузов/О.Д. Гольдберг, Л.Н. Макаров, С.П. Хелемская 2016-526с.
3. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник/ А. Э. Кравчик и др. – М.: Энергоатомиздат 1982. – 504 с.
4. Конструирование асинхронных двигателей. Методически указания к выполнению курсового проекта для студентов электротехнических специальностей ТПУ дневной заочной и вечерней форм обучения. -Томск: изд. ТПУ 1994.-28 с. Составители: Жадан В.А., Игнатович В.М., Ройз Ш.С.
5. Расчет асинхронных микродвигателей однофазного и трехфазного тока: /Е. М. Лопухина, Г. С. Сомихина.
6. Антонов В.М. Технология производства электрических машин: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1993. – 592 с.: ил.
7. Допуски и посадки: 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. Ленингр. отд-ние, 1982. – Ч. 1. 543 с., ил.
8. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин. Мелкосерийное и единичное производство. - М.: Машиностроение, 1974.
9. Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения: Справочник. /Под ред. В.К. Замятина - М.: Машиностроение, 1995. – 607 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.-655 с.
11. СанПиН 2.2.4.548 – 96 г. Гигиенические требования к микроклимату производственного помещения.

12. НПБ 105-03. Нормы пожарной безопасности. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
13. В.Н. Смагин. Экономика предприятия: учебное пособие – 2-изд., испр. – М.: КНОРУС, 2007. – 160 с.
14. Крушвиц Л. Инвестиционные расчеты - сб.: Санкт-Петербург, 2001 г.
15. Планирование на предприятии: Учебное пособие для вузов / А. И. Ильин. — 2-е изд., перераб. Минск: Новое знание, 2001.— 634 с.: ил.
16. Сайт <http://www.eldin.ru/> дата обращения 04.17
17. Сайт <http://www.vetc.ru/> дата обращения 04.17