

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

Институт Институт электронного обучения
Специальность 140601 Электромеханика
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Проектирование асинхронного взрывозащищенного двигателя для химического производства

УДК 621.313.333-213.34.001.63:66.013

Студент

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

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Технология производство»

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

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г.	Д.Т.Н.		

Томск – 2017 г.

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

Институт Институт электронного обучения
Специальность 140601 Электромеханика
Кафедра Электротехнических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

<i>Дипломного проекта</i>

(бакалаврской работы, дипломного проекта, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Давронову Олимжону Эрдон угли

Тема работы:

Проектирование асинхронного взрывозащищенного двигателя для химического производства	
Утверждена приказом (номер, дата)	№ 2259/с от 30.03.2017г.
Срок сдачи студентом готовой работы	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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, или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияние на окружающую среду, энергозатратам, экономический анализ и т.д.)</i>	<i>Номинальная мощность $P_n = 22 \text{ кВт}$;</i> <i>Число фаз $m = 3$;</i> <i>Номинальное напряжение $U_n = 220/380 \text{ В}$,</i> <i>Число полюсов $2p = 2$;</i> <i>Частота напряжения $f = 50 \text{ Гц}$;</i> <i>Высота оси вращения $h = 180 \text{ мм}$;</i> <i>Режим работы : продолжительный S1.</i> <i>Степень защиты IP54;</i> <i>Способ монтажа IM1081;</i> <i>Система охлаждения IC0141</i>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих</i>	<i>Целью данного проекта является изучение проектирования асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. В специальной части предстоит рассмотреть работу двигателя при однофазном питании от сети. Разработать процесс общей сборки асинхронного двигателя с необходимой документацией.</i>

<i>разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	1. Сборочный чертёж двигателя 2. Электромагнитный расчет 3. Специальная часть

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
<i>Электромагнитный, тепловой, механический расчеты. Специальная часть.</i>	<i>Федянин А.Л.</i>
<i>Технологическая часть.</i>	<i>Баранов П.Р.</i>
<i>Социальная ответственность.</i>	<i>Сечин А.А.</i>
<i>Экономическая часть.</i>	<i>Кузьмина Н.Г.</i>
Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранных языках: <i>Литературный обзор.</i> <i>Электромагнитный расчет.</i> <i>Тепловой расчет.</i> <i>Механические расчет.</i> <i>Расчет пусковых и рабочих характеристик.</i> <i>Специальная часть.</i> <i>Технологическая часть.</i> <i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</i> <i>Социальная ответственность.</i> <i>Заключение.</i>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику				
Задание выдал руководитель:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Федянин А.Л.	к.т.н.		
Задание принял к исполнению студент:				
Группа	ФИО	Подпись	Дата	
3-7311	Давронов О.Э.			

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА ПОТЕМЕ: ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Давронов Олимжон Эрдон угли

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

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

1. Сборочный чертеж взрывозащищенного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, спецификация, 22 к Вт, 2р=2.	
2. Годовая программа выпуска изделия 5000 штук	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конструкции ротора на технологичность	2. Рассчитать размерные цепи методом полной взаимозаменяемости (проектный метод, два замыкающих звена).
3. Составить схему сборки ротора	3. Выбрать оборудование, приспособления для сборки и испытаниям электрической машины.
4. Разработать маршрутную технологию сборки Ротора.	5. Определить нормы времени на операции и оборудование.
6. Построить график загрузки оборудования	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

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

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	Давронов Олимжон Эрдон угли		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Давронов Олимжон Эрдон угли

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:

2. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)

Формирование плана и графика разработки проекта

3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР

Смета затрат на проект

4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)

Оценка технического уровня

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	Давронов Олимжон Эрдон угли		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА ПОТЕМЕ: «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-7311	Давронов Олимжон Эрдон угли

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования		Направление/специальность	140601 Электромеханика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

- 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:

- 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;
- 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)
- Охрана окружающей среды:
 - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
 - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);
- 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	Давронов Олимжон Эрдон угли		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 130 страниц, таблиц 14, 18 иллюстрации, 17 использованных источников, 6 листов графического материала.

ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

В процессе работы спроектирован асинхронный электродвигатель.

Были выполнены: электромагнитный расчёт, тепловой расчёт, вентиляционный расчёт, энергетические показатели двигателя при однофазном питании. Также был разработан технологический процесс сборки двигателя. Рассчитана себестоимость изготовления спроектированного двигателя. Рассмотрены вопросы производственной и экологической безопасности.

Текстовая часть выпускной квалификационной работы выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2010 и представлена на CD-R (в конверте на обороте обложки). Графическая часть выполнена в системе автоматизированного проектирования КОМПАС 3DV11, расчеты выполнены в системе компьютерной алгебры MathCAD 14.

Оглавление

Введение

1. Электромагнитный расчет

1.1	Исходные данные	10
1.2	Выбор основных размеров статора.....	10
1.3	Расчет обмотки статора	11
1.4	Расчет размеров зубцовой зоны статора.....	15
1.5	Расчёт ротора	18
1.6	Расчёт магнитной цепи	23
1.7	Параметры рабочего режима	26
1.8	Расчёт потерь.....	32
1.9	Расчёт рабочих характеристик	35
1.10	Расчёт пусковых характеристик	39
1.11	Тепловой расчет	46
1.12	Расчет вентиляции	49
1.13	Механический расчет	50
1.14	Расчет вала на жёсткость	51
1.15	Расчет вала на прочность	53
1.16	Выбор подшипников	54

2. Специальная часть

2.1	Однофазный режим работы трехфазного двигателя	56
2.2	Расчет номинального режима	59
2.3	Расчет вспомогательной обмотки	61
2.4	Расчет пускового тока	65

3. Технология производства электрических машин

Технологический процесс общей сборки взрывозащищенного

АД с к.з. ротором

3.1	Введение	68
3.2	Служебное назначение и особенности конструкции электрической машины	69

3.3 Оценка технологичности конструкции	71
3.4 Расчет размерных цепей методом полной взаимозаменяемости	72
3.5 Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки ЭМ	79
3.6 Выбор сборочного оборудования и оснастки	82
3.7 Нормирование сборочных работ и расчет количества технологического оборудования для обеспечения заданной программы	87
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и Ресурсосбережение	
4.1 Общие сведения	90
4.2 Смета затрат на проектирование	91
4.3 Оценка технического уровня	96
4.4 Вывод	99
5. Социальная ответственность	
5.1 Введение	100
5.2 Анализ опасных и вредных факторов	100
5.3 Техника безопасности	102
5.4 Расчет искусственного освещения	105
5.5 Производственная санитария	109
5.6 Чрезвычайная ситуация	113
5.7 Охрана окружающей среды	116
Маршрутная карта	
Карта эскизов	
Спецификация	
Заключение	
Приложения	

1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РАСЧЕТ

1.1 Исходные данные

Номинальная мощность $P_2=22000$ Вт;

Номинальное напряжение $U=220/380$ В;

Номинальная частота $f_1=50$ Гц;

Число фаз $m_1=3$;

Число пар полюсов $2p=2$;

Высота оси вращения $h=180$ мм;

Степень защиты IP54;

Система охлаждения ICA03;

Способ монтажа IM1081.

1.2 Выбор основных размеров статора

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

для $h = 180$ мм $D_a=0,313$ м.

1.2.2 Внутренний диаметр статора $K_D = 0.54$ [1. таб. 9.9]

$$D = K_D \times D_a = 0.54 \times 0.313 = 0.169 \text{ м}$$

1.2.3 Полюсное деление [1. Формула 9.3]:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p} = \frac{3,14 \cdot 0,169}{2 \cdot 1} = 0,265 \text{ , м.}$$

1.2.4 Расчетная мощность [1. Формула 9.4]:

$$P' = P_2 \cdot \frac{k_E}{\eta \cdot \cos \phi} = 26325, \text{ В} \cdot \text{А}$$

где P_2 – мощность на валу двигателя, Вт; η и $\cos \phi$ – примерное значение КПД и коэффициента мощности [1, с.345, рис.9.21а] $\eta=0,9$ и $\cos \phi=0,91$; k_E – отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению [1, с.345, рис.9.20], $k_E=0,98$.

1.2.5 Электромагнитные нагрузки (предварительно) [1, с.346, рис.9.22.а] при высоте оси вращения $h=180$ мм, $2p=2$, $D_a=0,313$ м

$$A=38 \cdot 10^3, \text{ А/м}; \quad B_\delta=0.74, \text{ Тл.}$$

1.2.6 Выбираем обмоточный коэффициент для двухслойной обмотки, так как номинальная мощность более 12-15 кВт

$$K_{об1} = 0,91$$

1.2.7 Расчетная длина магнитопровода определяется по [1, стр.348, ф.9.6]:

$$l_\delta = \frac{P'}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot k_{об1} A B_\delta} = 0,103 \text{ м}$$

где Ω – синхронная угловая скорость двигателя [1, с. 348, ф 9.5]

$$\Omega = 2\pi \cdot \frac{f}{p} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{50}{1} = 314,159 \text{ рад/с.}$$

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

$$k_\phi = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1,11.$$

1.2.8 Критерий правильности выбора главных размеров D и l_δ :

$$\lambda = \frac{\ell_\delta}{\tau},$$

где отношение $\lambda = l_\delta / \tau$, которое находится в пределах показанных на [1, с.348, рис.9.25] . $\lambda = 0.388$. Допустимые пределы (0,2...0,9).

1.2.9 Конструктивная длина сердечника статора

$$\ell_1 = \ell_{cm1} = \ell_\delta = 0,103 \text{ м.}$$

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 двухслойная обмотка.

1.3.1 Зубцовое деление статора t_{z1} при $\tau = 0,265$ м [1, с.351, рис.9.26]

Максимальное значение $t_{z1max}=0,018$ м; Минимальное значение $t_{z1min}=0,0145$ м;

1.3.2 Число пазов статора найдем по формуле 9.16[1]

$$Z_{1min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1max}} = 29.4961$$

$$Z_{1max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1min}} = 36.6158$$

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]

$$q = \frac{Z_1}{2 \cdot p \cdot m} = \frac{36}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 6$$

1.3.4 Зубцовое деление статора (окончательно)

$$t_{z1} = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p \cdot q \cdot m} = \frac{\pi \cdot 0,176}{2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 6} = 0,0147 \text{ м.} \quad t_{z1} = 0,015 \text{ м}$$

1.3.5 Число эффективных проводников в пазу (при, условии, что параллельные ветви обмотки: $a=1$) по формуле 9.17[1]

$$I_{ном} = \frac{P_2}{m \cdot U_{ном} \cdot \eta \cdot \cos \phi} = 40,7 \text{ А.}$$

где $I_{ном}$ – номинальный фазный ток

1.3.6 Число эффективных проводников в пазу

$$u_n = a \cdot u'_n = 13,77 \text{ А.}$$

Принимаем $u_n = 18$ В

Число параллельных ветвей примем: $a = 1$.

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

$$w_1 = \frac{U_n \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m_1} = 84$$

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

$$A = \frac{2 \cdot I_{1n} \cdot w_1 \cdot m_1}{\pi \cdot D} = 3.86 \cdot 10^4 \frac{A}{м}$$

Полученное значение находится в допустимом пределе ($37 \dots 39 A \cdot 10^3 A / м$).

1.3.9 Магнитный поток [1. с.353, ф. 9.22]:

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U_1}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{об1} \cdot f_1}$$

Коэффициент распределения обмотки [1, с.108, ф. 3.4]:

$$k_{об1} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2m_1}\right)}{q \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2m_1 \cdot q}\right)} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \beta\right) = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot 3}\right)}{6 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot 3 \cdot 6}\right)} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot 1 = 0,956$$

Укорочение шага двухслойной обмотки выбирают так, чтобы шаг обмотки был равен целому числу, а коэффициент укорочения составлял приблизительно $b_I = 0,8$.

Шаг двухслойной обмотки по пазам

Округляем шаг до целого числа $y_1 = 0,8 \cdot \frac{Z_1}{2p} = 14,4$

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U_1}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{об1} \cdot f_1} = 0,0129 \text{ Вб}$$

1.3.10 Индукцию в воздушном зазоре примем (окончательно) [1. ф. 9.23]:

$$B_\delta = \frac{\Phi \cdot p}{D \cdot l_\delta} = \frac{16 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{176 \cdot 10^{-3} \cdot 132 \cdot 10^{-3}} = 0,739 \text{ Тл}$$

Полученное значение B_δ входит в пределы рекомендуемой области $0,73 \dots 0,75$ Тл [см 1, рис.9-22]

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]

$$J_1 = \frac{A \cdot J}{A} = 4.79 \times 10^6 \frac{A}{m^2}$$

где произведение линейной нагрузки на плотность тока [1, с.355, рис.9.27а]; $AJ=185 \cdot 10^9$, A^2/m^3 .

1.3.12 Сечение эффективного проводника (предварительно)

$$q_{эф} = \frac{I_{ном}}{a \cdot J_1} = 8,5 \cdot 10^{-6}, m^2.$$

Принимаем $n_{эл} = 4$

Сечение элементарного проводника:

$$q_{эл} = \frac{q_{эф}}{n_{эл}} = \frac{8,5 \cdot 10^{-6}}{4} = 2,125 \cdot 10^{-6}, m^2.$$

В обмотках из круглого 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 3-5. Принимаем число элементарных проводников $z_x = \frac{z}{A}$ [1,стр.354].

Принимаем обмоточный провод марки П-28 ПЭТ-155 по [1,с.713]

$$d_{эл}=1,7 \cdot 10^{-3} m, d_{из}=1,785 \cdot 10^{-3} m, q_{эл}=2,27 \cdot 10^{-6} m^2,$$

$$q_{эф} = q_{эл} \cdot n_{эл} = 2,125 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 9,08 \cdot 10^{-6} m^2$$

1.3.13 Плотность тока (окончательно) [1,с.356,ф 9.27]:

$$J_1 = \frac{I_{ном}}{a \cdot q_{эл} \cdot n_{эл}} = 4,48 \cdot 10^6, \frac{A}{м^2}.$$

1.4. Расчёт размеров зубцовой зоны статора

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

В связи с тем, что обмоточный провод круглого сечения, то он может быть уложен в пазы произвольной конфигурации, поэтому размеры зубцовой зоны выбираем таким образом, чтобы параллельные грани имели зубцы, а не пазы статора. Такие зубцы имеют постоянное, неизменяющееся с высотой зубца поперечное сечение, индукция в них также не меняется и магнитное напряжение зубцов с параллельными гранями оказывается меньше, чем магнитное напряжение трапецеидальных зубцов при том же среднем значении индукции в них.

Выбираем трапецеидальный паз статора как показано на рисунке 1.

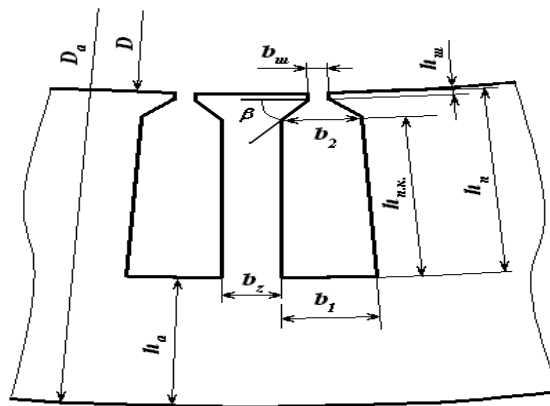


Рисунок 1- Паз статора с указанием основных размеров

1.4.1 Ширина зубца [1, с.362]:

$$b_{z1} = \frac{B_{\sigma} \cdot t_1}{B_{z1} \cdot K_C}$$

где B_{z1} – индукция в зубцах статора [1, с.357, табл.9.12]; $B_{z1}=(1,6-1,9) \text{ Тл}$,
принимаем $B_{z1}=1,8 \text{ Тл}$;

K_C – коэффициент заполнения пакета сталью магнитопровода при $h=180 \text{ мм}$, $U_{1H}=380 \text{ В}$, со способом изолировки листов оксидирование [1, с.358, табл.9.13]; $K_C=0,97$.

$$b_{z1} = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

1.4.2 Высота ярма статора;

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot \ell_{cm1} \cdot k_{c1}} = 41,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

где B_a – индукция в ярме статора [1, с.357, табл.9.12]; $B_a=(1,4-1,6) \text{ Тл}$,
принимаем $B_a=1,55 \text{ Тл}$.

1.4.3 Ширина шлица паза принимают равной $b_{ш1}=4 \text{ мм}$, при $2p=2$ [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 $h=180 \text{ мм}$, $h_{ш1}=1 \text{ мм}$ [1, с.361].

1.4.4 Высота паза:

$$h_{n1} = \frac{D_a - D}{2} - h_a = 30,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

1.4.5 Максимальная ширина паза [1, ф. 9.39]:

$$b_{12} = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{n1})}{Z_1} - b_{z1} = 13,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

1.4.6 Минимальная ширина паза [1, ф.9.40] при : $b = 45^\circ$

$$b_{11} = \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot h_{u1} - b_{u1}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.4.7 Высота паза предназначенная для укладки обмотки;

$$h_1 = h_n - (h_{u1} + \frac{b_2 - b_{u1}}{2}) = 0,0269 \text{ м}$$

Размеры паза в свету с учётом припуска на сборку согласно таблице 9.14 [1, с.365, ф.9.42] $\Delta b_{n1} = \Delta h_{n1} = 0,2 \text{ мм}$

$$b'_{11} = b_{11} - \Delta b_n = 13,7 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$b'_{12} = b_{12} - \Delta b_n = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_n = 26,7 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Паз статора с указанием основных размеров изображён на рисунке 1.

1.4.8 Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу [1, с.365, ф 9.46]:

$$S_{из} = b_{из} \cdot (2 \cdot h_{n1} + b_{11} + b_{21}) = 3,36 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

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

$b_{из} = 0,4 \text{ мм}$, для двухслойной обмотки при высоте оси вращения $h = 180 \text{ мм}$, марка изоляционного материала пленкостеклопластимидофлекс в один слой.

1.4.9 Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников [1, с.365, ф 9.48]:

$$S'_n = \frac{b'_{11} + b'_{21}}{2} \cdot h'_{nk} - S_{из} - S_{np} = 2,532 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

1.4.10 Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу [1, с.365, ф 9.46]:

$$S_{из} = b_{из} \cdot (2 \cdot h_{n1} + b_{11} + b_{21}) = 3,364 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

1.4.11 Площадь прокладки между слоями:

$$S_{np} = (0,4 \cdot b_1 + 0,9 \cdot b_2) = 3,364 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

1.4.12 Коэффициент заполнения паза [1,с.366]

$$\kappa_z = \frac{d_{из}^2 \cdot u_n \cdot n_{эл}}{S'_n} = 0,705$$

коэффициента заполнения паза находится в рекомендуемом пределе ($\kappa_z = 0,69 \dots 0,71$ для двигателей с $2p=2$).

1.5. Расчёт ротора

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

$$\delta = \frac{D}{1.2} \cdot \left(1 + \frac{9}{2 \cdot p} \right) \cdot 10^{-3} = 0,5 \times 10^{-3} \text{ м},$$

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 [1. Рис 9-31];

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 высокого порядка, поэтому токи 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 $2p=2$ и $Z_1=36$ принимаем $Z_2=48$ *(пазы без скоса)*

1.5.3 Внешний диаметр ротора:

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta = 0,168 \text{ , м}$$

Конструктивную длину сердечника ротора берём равной длине сердечника статора

$$\ell_2 = \ell_1 = 0,103 \text{ м}$$

1.5.4 Зубцовое деление сердечника ротора:

$$t_{z2} = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = 0,011 \text{ , м}$$

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

$$D_j = D_B = k_B \cdot D_a = 0,072 \text{ , м}$$

Внутренний диаметр ротора равен диаметру вала, так как сердечник непосредственно насажен на вал, где при $h=180$ мм , $k_B=0,23$ [1, с.385, табл.9.19].

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

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

Значение коэффициента k_i возьмем

$$k_i = 0,2 + 0,8 \cdot \cos \varphi = 0,928$$

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 $\cos\varphi=0,89$.

v_i - коэффициент приведения токов [1,с.374 формула 9-66]:,

$$v_i = \frac{2 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{об1}}{Z_2} = 9,43$$

Тогда:

$$I_2 = k_i \cdot I_{ном} \cdot v_i = 356,3 \text{ A}$$

1.5.7 Площадь поперечного сечения стержня [1, с.375, ф 9.68]:

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = 1,1877 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

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 $J_2=3 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$.

1.5.8 Паз ротора.

Для обеспечения высоких энергетических показателей в номинальном режиме работы выбираем пазы с широкой верхней частью – грушевидные, как показано на рисунке 2.

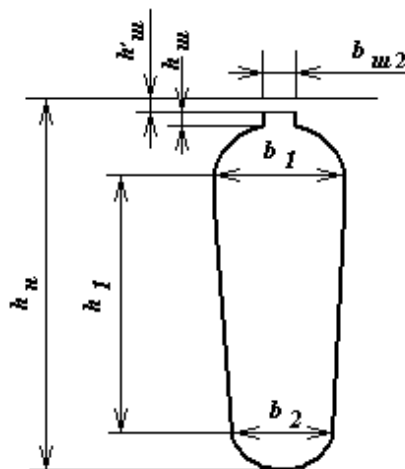


Рисунок 2-Грушевидный паз ротора с основными размерами

Ширина шлица $b_{ш2}=1,5$ мм, высота шлица $h_{ш2}=0,7$ мм, высота перемычки над пазом $h'_{ш}=1$ мм [1, с.380]

1.5.9 Ширина зубца ротора[1. с.380, ф 9.75]:

$$b_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z2}}{B_{z2} \cdot k_c} = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ , м}$$

где B_{z2} -индукция в зубцах ротора [1, с.357, табл.9.12];
принимая $B_{z2}=1,9$ Тл.

1.5.10 Максимальная ширина паза:

$$b_{21} = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_{ш2} - h'_{ш}) - Z_2 \cdot b_{z2}}{Z_2 + \pi} = 0,006 \text{ м}$$

$$b_{2p} = \sqrt{\frac{b_{1p}^2 \cdot \left(\frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2} \right) - q_c \cdot 4}{\frac{Z_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = 3,1 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Диаметр закругления нижней части должен гарантировать выполнение условия высококачественной заливки пазов алюминием

1.5.12 Полная высота паза ротора:

$$h_{np} = h_{ш2} + h'_{ш2} + \frac{b_{21}}{2} + \frac{b_{22}}{2} + h_1 = 0,0274 \text{ м}$$

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

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (b_{21}^2 + b_{22}^2) + \frac{1}{2} \cdot (b_{21} + b_{22}) \cdot h_2 = 1,1892 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

1.5.14 Плотность тока в стержне (окончательно);

$$J_2 = \frac{I_2}{q_c} = 2,996 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

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

$$I_{кл} = \frac{I_2}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ А}$$

где

$$\Delta = 2 \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot P}{Z_2}\right) = 0.131$$

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

$$J_{кл} = 0,85 \cdot J_2 = 2,547 \cdot 10^6 \frac{A}{M^2}$$

Плотность тока выбирают в среднем на 15-20% меньше чем в стержнях. Это объясняется тем что, короткозамыкающие кольца (Рисунок 3), имеют лучшие условия охлаждения по сравнению со стержнями, являются своего радиаторами, которые отводят тепло стержней, улучшая их охлаждение.

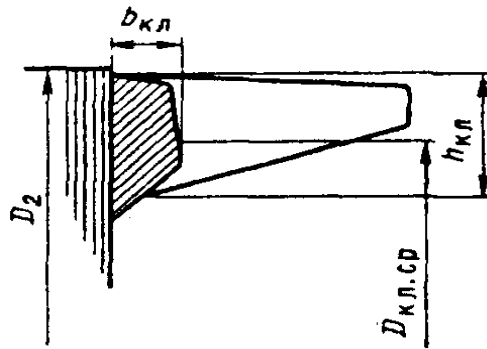


Рисунок 3-Размеры замыкающих колец.

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

$$q_{кл} = \frac{I_{кл}}{J_{кл}} = 1,07 \cdot 10^{-3}, M^2$$

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

$$h_{кл} = 1,2 \cdot h_{n2} = 33 \cdot 10^{-3}, M$$

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

$$b_{кл} = \frac{q_{кл}}{h_{кл}} = 32 \cdot 10^{-3}, M$$

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

$$D_{кл.ср} = D_2 - h_{кл} = 0,135 M$$

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 2013; толщина листов 0,5мм.

1.6.1 Индукция в зубцах статора (окончательно) [1,с.387, ф 9.105]:

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z1}}{b_{z1} \cdot k_c} = 1,811 \text{ Тл}$$

1.6.2 Индукция в зубцах ротора (окончательно):

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z2}}{b_{z2} \cdot k_c} = 1,903 \text{ Тл}$$

1.6.3 Индукция в ярме статора (окончательно):

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h_j \cdot \ell_{cm1} \cdot k_c} = 1,552 \text{ Тл}$$

1.6.4 Высота ярма ротора[1. ф. 9-124];

$$h_j = \frac{D_2 - D_j}{2} - h_{n2} = 21 \cdot 10^{-3}, \text{ м}$$

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

$$h'_j = \left(\frac{D_2}{2} - h_{n2} \right) \cdot \frac{2+p}{3,2 \cdot p} = 53 \times 10^{-3} \text{ м}$$

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

1.6.5 Индукция в ярме ротора[1. с.395, ф 9.122];

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h'_j \cdot \ell_{cm2} \cdot k_c} = 1,215 \text{ Тл}$$

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

$$k_{\delta 1} = \frac{t_{z1}}{t_{z1} - \gamma_1 \cdot \delta} = 1,2003 ;$$

$$\text{Где } \gamma = \frac{\left(\frac{b_{u1}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{u1}}{\delta}} = 4,923 ;$$

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.

1.6.6 Магнитное напряжение воздушного зазора:

$$F_{\delta} = \frac{2}{\mu} \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} \times 10^6 = 704,98 \text{ А}$$

1.6.7 Магнитное напряжение зубцовых зон статора[1, с. 387, ф 9.104]:

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1} = 95.77 \text{ А}$$

где напряженность в зубцах АД при индукции [1, с.698, табл.П.17].

$$B_{z1}=1,8128 \text{ Тл}; H_{z1}=1570 \text{ А/м. (статора)}$$

$$B_{z2}=1,9045 \text{ Тл}; H_{z2}=2070 \text{ А/м. (ротора)}$$

1.6.8 Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора [1, с. 387, ф 9.108]:

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2} = 112,567 \text{ А}$$

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

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} = 1,3 \quad b_{\text{сз}} = \frac{q_{\text{сз}}}{h_{\text{сз}}} = 32 \cdot 10^{-3}, \text{ м}$$

Полученное значение коэффициента насыщения зубцовой зоны позволяет оценить правильность выбранных размерных соотношений и обмоточных данных проектируемого двигателя. Если $k_z > 1,2 \div 1,6$, 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 [1, с. 394, ф 9.119]:

$$L_a = \frac{\pi \cdot (D_a - h_a)}{2 \cdot p} = 426 \cdot 10^{-3}, \text{ м}$$

1.6.11 Магнитное напряжение ярма статора [1, с. 395, ф 9.121]:

$$F_a = L_a \cdot H_a = 268,68 \text{ А}$$

где напряжённость магнитного поля ярма статора для стали 2013 при индукции $B_a = 1,55 \text{ Тл}$, $H_a = 630 \text{ А/м}$. [1, с.697, табл.П.1.9].

1.6.12 Магнитное напряжение ярм ротора [1. ф. 9-121]:

$$F_j = L_j \cdot H_j = 38,79 \text{ А}$$

1.6.13 Высота спинки ротора [1, с. 395, ф 9.126]:

$$h_j = \frac{D_2 \cdot D_j}{2} - h_{n2} = 0,021 \text{ м}$$

1.6.14 Длина средней магнитной линии потока в ярме ротора [1, с.395, ф. 9.127]:

$$L_j = \frac{(D_s + h_j) \times \pi}{2p} = 0,1453 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

1.6.15 Напряженность поля H_j при индукции B_j для стали 2013 таб. П-1.6

$$H_j = 267 \frac{\text{А}}{\text{м}} \quad B_j = 1,215 \text{ Тл}$$

1.6.16 Магнитное напряжение на пару полюсов[1, с.396, ф. 9.128]:

$$F_y = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 1220.8 \text{ A}$$

1.6.17 Коэффициент насыщения магнитной цепи[1, с.396, ф. 9.129]:

$$k_\mu = \frac{F_y}{F_\delta} = 1,732$$

1.6.18 Намагничивающий ток[1, с.396, ф. 9.130]:

$$I_\mu = \frac{p \cdot F_y}{0,9 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{об1}} = 5.991 \text{ A}$$

1.6.19 Относительное значение намагничивающего тока[1, с. 396, ф. 9.131]:

$$I_\mu^* = \frac{I_\mu}{I_{ном}} = 0,181$$

Относительное значение намагничивающего тока служит определённым критерием правильности выбора и расчёта размеров и обмотки двигателя. Относительное значение намагничивающего тока должно входить в обозначенные для него пределы $0,18 < I_\mu^* < 0,4$, согласно [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.4). Физические процессы в асинхронной машине более наглядно отражает схема, изображённая на рисунке 4а.

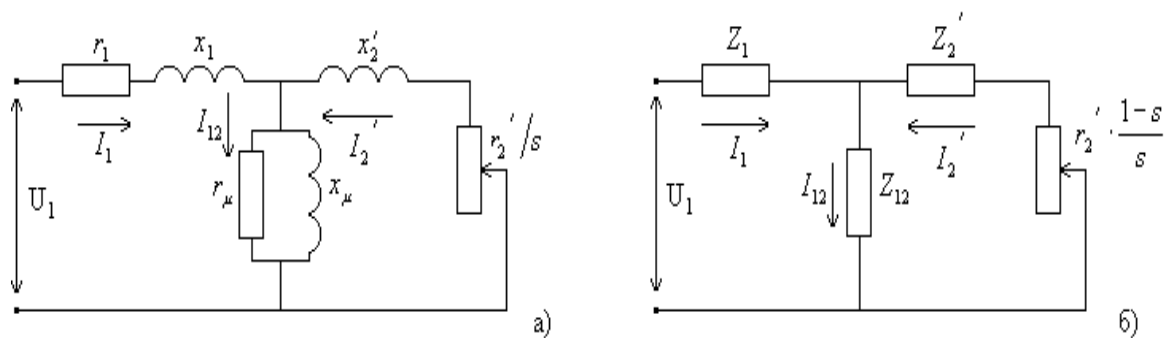


Рисунок 4 - Схемы замещения обмотки приведённой асинхронной машины

Но для расчёта оказалось удобнее преобразовать её в схему показанную на рис. 4б.

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 длина катушки [1, с. 399, ф 9.138]:

$$b_{\text{км}} = \frac{\pi \cdot (D + h_{n1})}{2 \cdot p} \cdot \beta_1 = 244 \cdot 10^{-3}, \text{ м}$$

1.7.2 Длина лобовой части [1, с.399, ф. 9.139]

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.

$$\ell_{\text{л}} = K_{\text{л}} \cdot b_{\text{км}} + 2B = 312 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

где коэффициент при наличии изоляции в лобовых частях $K_{\text{л}}=1,2$ [1, с.399, табл.9.23]; длина вылета прямолинейной части катушек из паза от торца сердечника до начала отгиба лобовой части $B=0,01 \text{ м}$. [1, с.399].

1.7.3 Для катушки насыпной обмотки статора вылет лобовых частей обмотки[1, с. 398, ф. 9.137]

$$\ell_{\text{ввл}} = K_{\text{ввл}} \cdot b_{\text{км}} + B = 73 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.7.4 Средняя длина витка обмотки[1, с. 398, ф 9.135]:

$$\ell_{\text{ср1}} = 2 \cdot (\ell_{\text{н1}} + \ell_{\text{л}}) = 0,83 \text{ м}$$

где длина пазовой части $\ell_{\text{л}} = \ell_1 = 0,103 \text{ м}$

1.7.5 Длина проводников фазы обмотки[1, с. 398, ф 9.134]:

$$L_1 = \ell_{\text{ср1}} \cdot W_1 = 69,8 \text{ м}$$

1.7.6 Активное сопротивление фазы обмотки статора для класса нагревостойкости F расчётная температура $t_{\text{расч}}=115 \text{ }^{\circ}\text{C}$. [1, с.397, ф.9.132]

$$r_1 = k_T \cdot \rho_{115\text{Cu}} \cdot \frac{L_1}{q_{\text{эф}} \cdot a} = 0,164 \text{ Ом}$$

где удельное сопротивление для меди класса изоляции F равно

$$\rho_{115\text{c}} = 2,439 \cdot 10^{-8}$$

1.7.7 Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки статора:

$$r_1 = \rho_{115\text{c}} \cdot \frac{L_{\text{ср}}}{q_{\text{эф}} \cdot a} = 0,187 \text{ Ом}$$

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:

$$r_c = \rho_{115c} \cdot \frac{l_\sigma}{q_c} = 0,000042 \text{ Ом}$$

1.7.9 Сопротивление участка замыкающего кольца, заключённого между двумя соседними стержнями [1, с. 406, ф.9.170]:

$$r_{кл} = \rho_{115Al} \cdot \frac{\pi \cdot D_{кл}}{Z_2 \cdot q_{кл}} = 4,0297 \times 10^{-7} \text{ Ом}$$

1.7.10 Активное сопротивление фазы обмотки ротора [1, с. 406, ф.9.168]:

$$r_2 = r_c + \frac{2 \cdot r_{кл}}{\Delta^2} = 8,9 \times 10^{-5} \text{ Ом}$$

где Δ – коэффициент приведения тока кольца к току стержня.

1.7.11 Приводим r_2 к числу витков обмотки статора:

$$r_2' = r_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (W_1 \cdot k_{об1})^2}{Z_2} = 0,127 \text{ ,Ом}$$

1.7.12 Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки ротора:

$$r_2^{*'} = r_2' \cdot \frac{I_{ном}}{U_{ном}} = 0,024 \text{ Ом}$$

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

$$\lambda_{n1} = \frac{h_2}{3 \cdot b_{u1}} \cdot k_\beta + \left(\frac{3 \cdot h_k}{b_2 + 2 \cdot b_{11}} + \frac{h_{u1}}{b_{u1}} \right) = 0,643$$

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 [1. ф.9-159]:

$$\lambda_{\sigma 1} = 0.34 \cdot \frac{q}{\ell_{\delta}} \cdot (\ell_{\sigma 1} - 0.64 \cdot \beta_1 \cdot \tau) = 3,572$$

1.7.15 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора [1. ф.9-180]:

$$\lambda_{\sigma} = \frac{t_{z1}}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi = 2,306$$

где

$$\xi = 2 \cdot k'_{\sigma} \cdot k_{\beta} - (t_2 / t_1)^2 \cdot k_{\sigma 1}^2 \cdot (\beta_{\sigma} + 1) = 1,1263$$

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

$$\frac{t_2}{t_1} = 0.746$$

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

тогда $k'_{\sigma} = 0,9$

1.7.16 Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора [1, с.407, ф.9.174]:

$$x_1 = 15.8 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{W_1}{100} \right)^2 \cdot \frac{\ell_{\delta}}{p \cdot q} \cdot \sum \lambda_1 = 0,624 \text{ Ом}$$

1.7.17 Относительное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки статора:

$$x'_1 = x_1 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 0,115$$

Относительные значения индуктивных сопротивлений рассеяния обмотки статора находятся в пределах $x'_{\sigma 1} = (0,08 - 0,14)$.

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

$$\lambda_{\sigma 2} = \left[\frac{h_0}{3 \cdot b_{1p}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b_{1p}^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0.66 - \frac{b_{u2}}{2 \cdot b_{1p}} \right] + \frac{h_{u2}}{b_{u2}} = 2,08$$

1.7.19 Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки ротора [1. ф.9-178]:

$$\lambda_{\lambda 2} = \frac{2,3 \cdot D_{\kappa \lambda}}{Z_2 \cdot \ell_{\delta} \cdot \Delta^2} \cdot \lg \frac{4,7 \cdot D_{\kappa \lambda}}{2 \cdot b_{\kappa \lambda} + h_{\kappa \lambda}} = 2,9804$$

1.7.20 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки ротора [1. ф.9-180]:

$$\lambda_{\sigma 2} = \frac{t_{z2}}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi = 1,38$$

где ξ – коэффициент [1. ф.9-181]:

$$\xi = 1,1263 \text{ т.к. } \frac{Z_2}{p} = 13 > 10$$

где Δ_z находится по [1, рис 9-51(а)] исходя из соотношений

$$\frac{b_{u2}}{\delta} = 3 \text{ и } \frac{b_{u2}}{t_{z2}} = 0,136, \quad \Delta_z = 0,1.$$

1.7.21 Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора [1, с. 407, ф.9.177]:

$$x_2 = 7,9 \cdot f_1 \cdot \ell_{\delta} \cdot 10^{-6} \cdot \sum \lambda_2 = 0,00026 \text{ Ом}$$

1.7.23 Приводим x_2 к числу витков обмотки статора :

$$x_2' = x_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (W_1 \cdot K_{об1})^2}{Z_2} = 0,373 \text{ Ом}$$

1.7.24 Относительное значение x_2 :

$$x_2^{*'} = x_2' \cdot \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}} = 0,373 \cdot \frac{41,15}{220} = 0,069$$

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 [1, с.412, ф.9.189]:

$$m_{z1} = h_{z1} \cdot b_{z1} \cdot Z_1 \cdot \ell_{cm1} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = 5,3 \text{ кг}$$

где $h_a = 0,5(D_a - D) - h_n = 41,5 \cdot 10^{-3}$, удельная масса стали $\gamma_c = 7800 \text{ кг/м}^3$

[1, с.412].

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

$$P_{ст.осн} = p_{\%50} \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^\beta \cdot (\kappa_{\partial a} \cdot B_a^2 \cdot m_a + \kappa_{\partial z} \cdot B_{z1}^2 \cdot m_{z1}) = 343,7 \text{ Вт}$$

где удельные потери в стали для стали 2013 $p_{\%50} = 2,5 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$ [1, с.412],

коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов $\kappa_{да}=1.6$ и $\kappa_{дз}=1.8$. [1, с.412]., где показатель степени для стали 2013 $\beta=1.5$ [1, с.412];

Добавочные потери в стали, происходящие при холостом ходе, делятся на внешние (потери в поверхностном слое коронок зубцов статора и ротора от пульсаций индукции в воздушном зазоре) и пульсационные (от пульсации индукции в зубцах).

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

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot \kappa_{\delta} \cdot B_{\delta} = 0,143 \text{ Тл},$$

где коэффициент, зависящий от отношения ширины шлица пазов статора к воздушному зазору при $b_{шл1}/\delta=3$, $\beta_{02}=0,2$ [1, с.413];

1.8.4 Удельные поверхностные потери[1. ф.9-192]:

$$p_{нов2} = 0,5 \cdot \kappa_{02} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{10000} \right)^{1.5} \cdot (B_{02} \cdot t_{z1} \cdot 10^3)^2 = 110,997 \frac{Bm}{M^2}$$

где κ_{02} -коэффициент учитывающий влияние обработки поверхности головок зубцов ротора на удельные потери (1,4..1,8); выбираем $\kappa_{02}=1.4$

1.8.5 Полные поверхностные потери в роторе[1, с.414, ф. 9.194]

$$P_{нов2} = p_{нов2} \cdot (t_{z2} - b_{ш2}) \cdot Z_2 \cdot \ell_{cm2} = 5,22 \text{ Вт}$$

1.8.6Масса зубцов стали ротора[1, с. 414, ф.9.201]:

$$m_{z2} = h_{z2} \cdot b_{z2} \cdot Z_2 \cdot \ell_{cm2} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = 4,475 \text{ кг}$$

1.8.7 Амплитуда пульсаций индукции в среднем сечении зубцов ротора[1, с.414, ф 9.196]:

$$B_{нул'2} = \frac{\gamma_1 \cdot \delta}{2 \cdot t_{z2}} \cdot B_{z2} = 0,213 \text{ Тл}.$$

1.8.8 Пульсационные потери в зубцах ротора[1, с.414, ф 9.200]:

$$P_{нул'2} = 0,11 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{нул'2} \right)^2 \cdot m_{z2} = 260,59 \text{ , Вт}.$$

Пульсационные и поверхностные 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.

1.8.9 Сумма добавочных потерь[1, с.415, ф 9.202]:

$$P_{ст.доб} = P_{пов2} + P_{пуль2} = 265,8 \text{ Вт.}$$

1.8.10 Полные потери в стали [1, с.415, ф 9.203]:

$$P_{ст} = P_{ст.осн} + P_{ст.доб} = 609,5 \text{ Вт.}$$

1.8.11 Механические потери для двигателей с внешним обдувом при $0,1 \leq D_a \leq 0,5 \text{ м}$ [1, с. 416, ф 9.210]:

$$P_{мех} = K_T \cdot \left(\frac{n}{10} \right)^2 \cdot D_a^4 = 863,81 \text{ Вт.}$$

1.8.12 Добавочные потери при номинальном режиме.

$$P_{доб} = 0,005 \cdot \frac{P_2}{\eta} = 122,2 \text{ Вт.}$$

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.

1.8.13 Электрические потери при холостом ходе в обмотке статора[1, с.417, ф 9.219]:

$$P_{элх,х} = m \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1' = 20,188 \text{ Вт.}$$

1.8.14 Активная составляющая тока холостого хода[1, с.417, ф. 9.218]:

$$I_{х,х,а} = \frac{P_{ст} + P_{мех} + P_{элх,х}}{m \cdot U_{1ном}} = 2,26 \text{ А.}$$

1.8.15 Ток холостого хода двигателя[1, с.417, ф.9.217]:

$$I_{х,х} = \sqrt{I_{х,х,а}^2 + I_{\mu}^2} = 6,405 \text{ А.}$$

1.8.16 Реактивная составляющая тока $X.X[1, \text{с.417, ф. 9.220}]$.

$$I_{.xp} = I_{\mu} = 5,991 \text{ A}$$

1.8.17 Коэффициент мощности при холостом ходе[1, с 417, ф.9.221]:

$$\cos \phi_{x,x} = \frac{I_{x,x,a}}{I_{x,x}} = 0,3534 .$$

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.

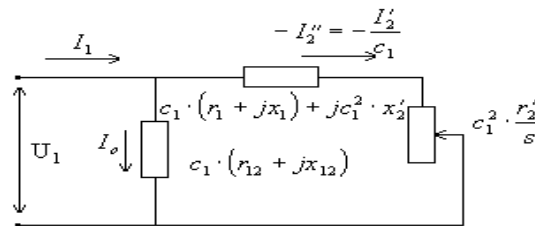


Рисунок 5-Преобразованная Г-образная схема замещения приведенной машины

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 $r_{12}[1, \text{с 410, ф.9.184 - 9.185}]$:

$$r_{12} = \frac{P_{ст.осн}}{m \cdot I_{\mu}^2} = 3,191 \text{ Ом.}$$

1.9.2 Сопротивление взаимной индукции обмоток статора и ротора [1, с.411, ф. 9.185]:

$$x_{12} = \frac{U_{1ном}}{I_{\mu}} - x_1 = 36,099 \text{ Ом.}$$

1.9.3 Коэффициент c_1 [1, с.418, ф. 9.224]:

$$c_{1a} = \frac{r_{12} \cdot (r_1 + r_{12}) + x_{12} \cdot (x_1 + x_{12})}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = 1,0176$$

$$c_{1p} = \frac{-x \cdot r_{12} + r_1 \cdot x_{12}}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = 0,006$$

где c_1 - активная и реактивная составляющие коэффициента .

1.9.4 Полное значение c_1 [1. ф. 9-225]:

$$c_1 = \sqrt{c_{1a}^2 + c_{1r}^2} = 1,0176$$

Расчёт рабочих характеристик производят 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 $s_n=r_2^{*'}=0,022$. 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 . 420, ф 9.226] :

$$I_{oa} = \frac{P_{ст.осн} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3 \cdot U_{ном}} = 0,551 \text{ A};$$

1.9.5. Постоянные коэффициенты [1, с.420, ф 9-228]:

$$a' = c_{1a}^2 - c_{1r}^2 = 1,0355;$$

$$b' = 2 \cdot c_{1a} \cdot c_{1r} = 0,0136;$$

$$a = c_{1a} \cdot r_1 - c_{1r} \cdot x_1 - b' \cdot x_2' = 0,1816;$$

$$b = c_{1a} \cdot x_1 + c_{1r} \cdot r_1 + a' \cdot x_2' = 1,0223.$$

Результаты расчёта сведены в таблицу 1., а также приводим рабочие характеристики по результатам расчета на рисунке 6.

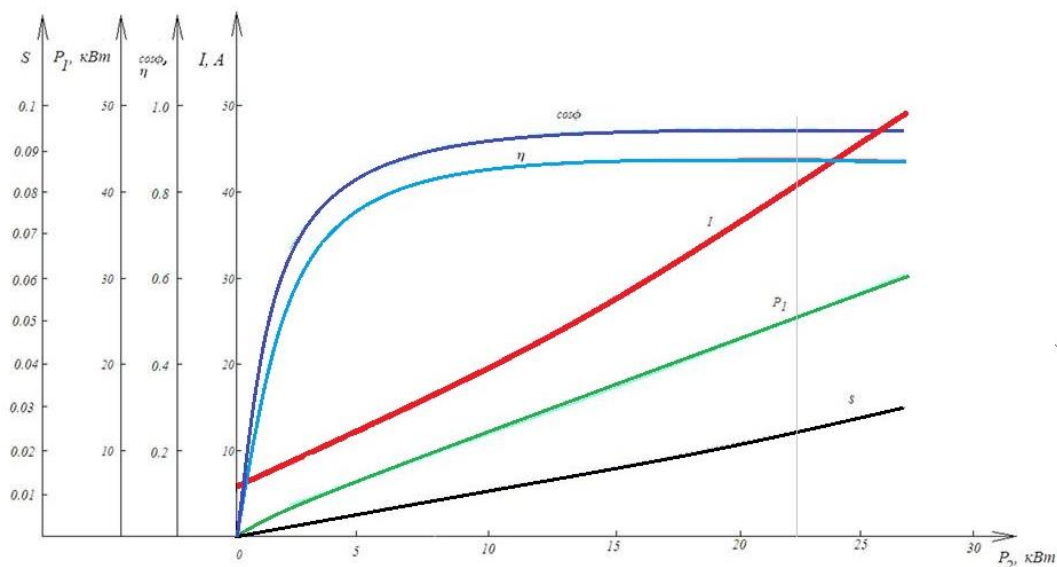
Номинальные данные спроектированного двигателя: $P_{2H}=22$ кВт;

$I_{1НОМ}=40.7$ А; $\eta=0,92$; $U_{1НОМ}=380$ В; $\cos\varphi=0,89$.

Таблица 1. Расчет рабочих характеристик.

п/п	Расчётная формула	Ед.изм.	Скольжение					
			0,003	0,006	0,012	0,018	0,024	0,03
1	$a \cdot r_2' / s$	j	43.91	21.96	10.97	7.31	5.46	4.39
2	$b' \cdot r_2' / s$	Ом	0.57	0.288	0.144	0.096	0.072	0.057
3	$R = a + a' \cdot r_2' / s$	Ом	44.1	22.14	11.16	7.5	5.648	4.16
4	$X = b + b' \cdot r_2' / s$	м	1.598	1.31	1.166	1.118	1.094	1.08
5	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ом	44.15	22.17	11.22	7.584	5.753	4.699
6	$I_2'' = U_{n1} / Z$	А	4.98	9.919	19.61	29.01	38.24	46.816
7	$\cos \varphi_2' = R / Z$	—	0.999	0.998	0.994	0.989	0.982	0.973
8	$\sin \varphi_2' = X / Z$	—	0.036	0.059	0.104	0.147	0.190	0.2298

9	$I_{1a} = I_{oa} + I_2'' \cdot \cos \varphi_2'$	A	5.534	10.45	20.05	29.24	38.1	46.115
10	$I_{1p} = I_{op} + I_2'' \cdot \sin \varphi_2'$	A	0.73	1.13	2.588	4.828	7.821	11.31
11	$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$	A	5.58	10.51	20.22	29.64	38.88	47.482
12	$I_2' = c_1 \cdot I_2''$	A	5.073	10.09	19.95	29.52	38.91	47.642
13	$P_1 = 3 \cdot U_1' \cdot I_{1a}$	кВт	3.652	6.899	10.1	19.3	25.14	30.436
14	$P_{\text{эл}} = 3 \cdot I_1'^2 \cdot r_1$	Вт	17.53	62.19	229.9	494.1	850.5	1268.1
15	$P_{\text{эл}} = 3 \cdot I_2'^2 \cdot r_2'$	Вт	9.82	38.89	151.9	332.6	577.9	866.42
16	$P_{\text{доп}} = P_{\text{доп.н}} \cdot (I_1/I_{1н})^2$	Вт	2.29	8.157	30.15	4.812	111.6	166.35
17	$\Sigma P = P_{cm} + P_{\text{мех}} + P_{\text{эл}} + P_{\text{эл}} + P_{\text{доп}}$	Вт	1502.9	1582.54	1885.27	2364.9	3013.4	3774.2
18	$P_2 = P_1 - \Sigma P$	Вт	2.149	5.316	11.35	16.93	22.13	26.662
19	$\eta = 1 - \Sigma P/P_1$	—	0.588	0.77	0.858	0.877	0.887	0.876
20	$\cos \varphi = I_{1a}/I_1$	—	0.991	0.994	0.992	0.987	0.978	0.9712
Жирным шрифтом выделены значения номинального режима работы								



Риснок 6-Рабочие характеристики.

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

$$r_{2\xi j} = r_2 \cdot KRj = 1,0453 \times 10^{-4} \text{ Ом}$$

высота обмотки стержня

$$h_c = h_{n2} - h_{u2} = 0,0268 \text{ м};$$

При литой алюминиевой обмотке ротора и при расчётной температуре $\varphi=75^\circ\text{C}$ приведённая высота стержня [1, с.420, ф 9.244]:

$$\xi_0 = 63,61 \cdot h_c \sqrt{s_0} = 1,7428$$

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

$$h_r = \frac{h_c}{1 + \varphi} = 0,0173 \text{ м}$$

площадь сечения q_r [1, с.427, ф.9.253]:

$$q_r = \frac{\pi \cdot b_1^2}{8} + \frac{b_1 + b_r}{2} \cdot \left(h_r - \frac{b_1}{2} \right) = 8,704 \cdot 10^{-5} \text{ , м}^2,$$

где [1, с.429, ф. 9.255]

$$b_r = b_1 - \frac{b_1 - b_2}{h_1} \cdot \left(h_r - \frac{b_1}{2} \right) = 0,0042 \text{ м}$$

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

$$k_{rj} = \frac{q_c}{q_{rj}} = 1,3662$$

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

$$K_{R_o} = 1 + \frac{r_c}{r_2} \cdot (k_{r_o} - 1) = 1.173$$

Тогда, $r_{2\xi} = 1.0483 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$

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

$$K_{x_j} = \frac{\xi_n^2 + \lambda_\pi^2 + \lambda_\sigma^2}{\lambda_n^2 + \lambda_\pi^2 + \lambda_\sigma^2} = 0,9808$$

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

$$\Delta\lambda_0 = \left[\frac{h_0}{3 \cdot b} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot \beta^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0.66 - \frac{b_{u2}}{2 \cdot b} \right] \cdot (1 - \phi'_0) = 0,1238$$

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

$$x'_{2\xi_j} = x'_2 \cdot K_{x_0} = 1.039 \text{ Ом},$$

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

$$R_{n_j} = r_1 + c_{n1} \cdot \frac{r'_{2\xi_0}}{s_0} = 0.3383 \text{ Ом}$$

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

$$I'_{2_o} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_{n_o})^2 + (X_{n_o})^2}} = 209.66 \text{ A}$$

$$I'_{1_o} = I'_{2_o} \cdot \frac{\sqrt{(R_{n_o})^2 + (X_{n_o} + x_{12} \cdot k_\mu)^2}}{c_{n1} \cdot x_{12} \cdot k_\mu} = 210.89 \text{ A}$$

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.]:

$$F_{n.c.p_j} = 0.7 \cdot \frac{k_{нас_j} \cdot I_{1n_j}}{1} \cdot \left(k'_\beta + k_y \cdot k_{об1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \right) = 4497,3 \frac{H}{м}$$

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

$$C_n = 0.64 + 2.5 \cdot \sqrt{\frac{\delta}{t_1 + t_2}} = 0.9884$$

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

$$B_{\phi\delta} = \frac{F_{n.c.p} \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot \delta \cdot C_N} = 5.688 \text{ Тл}$$

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

$$c_{1_o} = (t_1 - b_{uu}) \cdot (1 - x_{\delta_o}) = 0.0062 \text{ м}$$

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

$$\Delta\lambda_{n1нас_o} = \frac{h_{uu} + 0,58 \cdot h'}{b_{uu}} \cdot \frac{c_{1_o}}{c_{1_o} + 1.5 \cdot b_{uu}} = 0,6514$$

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

$$\lambda_{n1нас_j} = \lambda_n - \Delta\lambda_{n1нас_j} = 0.3829$$

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

$$x_{1нас_0} = x_1 \cdot \frac{\lambda_{n1нас_j} + \lambda_{o1нас_j} + \lambda_\pi}{\lambda_n + \lambda_\delta + \lambda_\pi} = 0,471 \text{ Ом}$$

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

$$\Delta\lambda_{n2нас} = \frac{h_{u2}}{b_{u2}} \cdot \frac{c_{2_0}}{b_{u2} + c_{2_0}} = 0.393 \text{ Ом}$$

где c_{2_0} [1, с.434, ф 9.270]:

$$c_{2_0} = (t_2 - b_{u2}) \cdot (1 - x_{\delta_0}) = 0.0055 \text{ м}$$

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

$$\lambda_{n2нас_0} = \lambda_{\xi n2} - \Delta\lambda_{n2нас_0} = 1.5616$$

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

$$\lambda_{o2нас_j} = \lambda_{o2} \cdot k_{\delta_j} = 0.5776$$

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

$$x'_{2\xi нас} = x'_2 \cdot \frac{\sum \lambda_{2\xi нас}}{\sum \lambda_2} = 0.2476$$

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

$$c_{1п.нас} = 1 + \frac{x_1}{x_{12п}} = 1.0075$$

где x_{12n} сопротивление взаимной индукции обмоток в пусковом режиме [1, с.435, ф 9.276]:

$$x'_{2\xi_{нас_j}} = x'_2 \cdot \frac{\lambda_{n2\xi_{нас_j}} + \lambda_{\partial 2_{нас_j}} + \lambda_{\lambda 2}}{\lambda_{\partial 2} + \lambda_{\lambda 2} + \lambda_{n2}} = 0.2674 \text{ Ом}$$

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

$$R_{n_j} = r_1 + \frac{c_{1n} \cdot r'_{2\xi}}{s_j} = 0.338 \text{ Ом}$$

$$X_{II} = x_{1нас_0} + c_{1n.нас_0} \cdot x'_{2\xi} = 0,741 \text{ Ом}$$

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

$$I'_{2n} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_{n.нас}^2 + X_{n.нас}^2}} = 276,43 \text{ А}$$

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

$$I_{1n} = \frac{U_{1ном}}{|Z_{сх}|} = I'_{2n} \frac{\sqrt{R_n^2 + (X_n + x_{12})^2}}{c_{1n} \cdot x_{12n}} = 277.53 \text{ А}$$

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

$$I_{n*} = \frac{I_{1нас}}{I_{ном}} = 6,73$$

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

$$M_* = \left(\frac{I'_{2r}}{I_{2ном}} \right)^2 \cdot K_R \frac{S_{ном}}{S} = 1.4269 \text{ Нм}$$

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

$$S_{кр} \approx \frac{r'_2}{\frac{x_1}{c_{1II}} + x'_2} = 0.1445$$

Результаты расчёта сведены в таблице 2 . По результатам расчётов строятся пусковые характеристики $M^*, I^* = f(s)$, представленные на рисунке 7.

Таблица 2. Расчет пусковых характеристик.

	Расчётная формула	Ед изм	Скольжение S						
			1	0.7	0.5	0.35	0,13	0,024	0,001
1	$\xi = 63.61 h_c \sqrt{s}$	—	1.742	1.458	1.232	1.03	0.628	0.272	0.005
2	$\varphi(\xi)$	—	0.545	0.374	0.239	0.118	0.014	$4.88 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-7}$
3	$k_r = q_c / q_r$	—	1.366	1.241	1.145	1.061	0.991	0.983	0.982
4	$K_R = 1 + \frac{r_c}{r_2} (k_r - 1)$	—	1.173	1.114	1.069	1.029	0.996	0.992	0.992
5	$r'_{2\xi} = K_R r'_2$	Ом	0.142	0.136	0.131	0.129	0.127	0.1262	0.1203
6	$k_d = \varphi'(\xi)$		0.921	0.934	0.944	0.953	0.972	0.9877	0.997
7	$K_x = \Sigma \lambda_{2\xi} / \Sigma \lambda_2$	—	0.981	0.984	0.986	0.988	0.993	0.997	0.999
8	$x'_{2\xi} = x'_2 K_x$	М	0.365	0.366	0.367	0.368	0.37	0.372	0.3725
9	$x'_{2\xi_{нас}} = x'_2 \frac{\Sigma \lambda_{2\xi_{нас}}}{\Sigma \lambda_2}$	Ом	0.267	0.268	0.269	0.27	0.274	0.288	0.328
10	$x_{1нас} = x_1 \frac{\Sigma \lambda_{1нас}}{\Sigma \lambda_1}$	-	0.471	0.475	0.479	0.486	0.526	0.615	0.648
11	$c_{1п.нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12п}}$	—	1,0075	1,0076	$1,0077$	1,0078	1,008	1,0099	1,0104
12	$R_{п.нас} = r_1 + c_{1п.нас} \frac{r'_{2\xi}}{s}$	Ом	0.338	0.392	0.462	0.565	1.171	5.412	127.7
13	$X_{п.нас} = X_{1нас} + c_{1п.нас} x'_{2\xi_{нас}}$	Ом	0.741	0.748	0.753	0.761	0.807	0.91	0.98

14	$I'_{2\text{нас}} = \frac{U_{1\text{ном}}}{\sqrt{R_{\text{п.нас}}^2 + X_{\text{п.нас}}^2}}$	A	70.28	60.61	249	232.07	154.7	40.09	1,72
15	$I_{1f\partial\tilde{n}} = I'_{2f\partial\tilde{n}} \frac{\sqrt{R_{1f\partial\tilde{n}}^2 + (\tilde{O}_{1f\partial\tilde{n}} + X_{12f})^2}}{\tilde{n}_{1f\partial\tilde{n}} \cdot X_{12f}}$	A	17.44	61.73	50.1	233.1	155.4	40.42	3.89
16	$I_1 = \frac{I_{1o}}{I_{1n}}$	—	6.98	6.873	6.43	5.99	4	1.04	0.1
17	$M'_n = \left(\frac{I'_{2\text{п.нас}}}{I'_{2\text{ном}}} \right)^2 K_R \frac{S_{\text{ном}}}{S}$	НМ	1.36	1.72	2.109	2.52	2.92	1.04	0.04
Жирным шрифтом выделены значения при критическом скольжении									

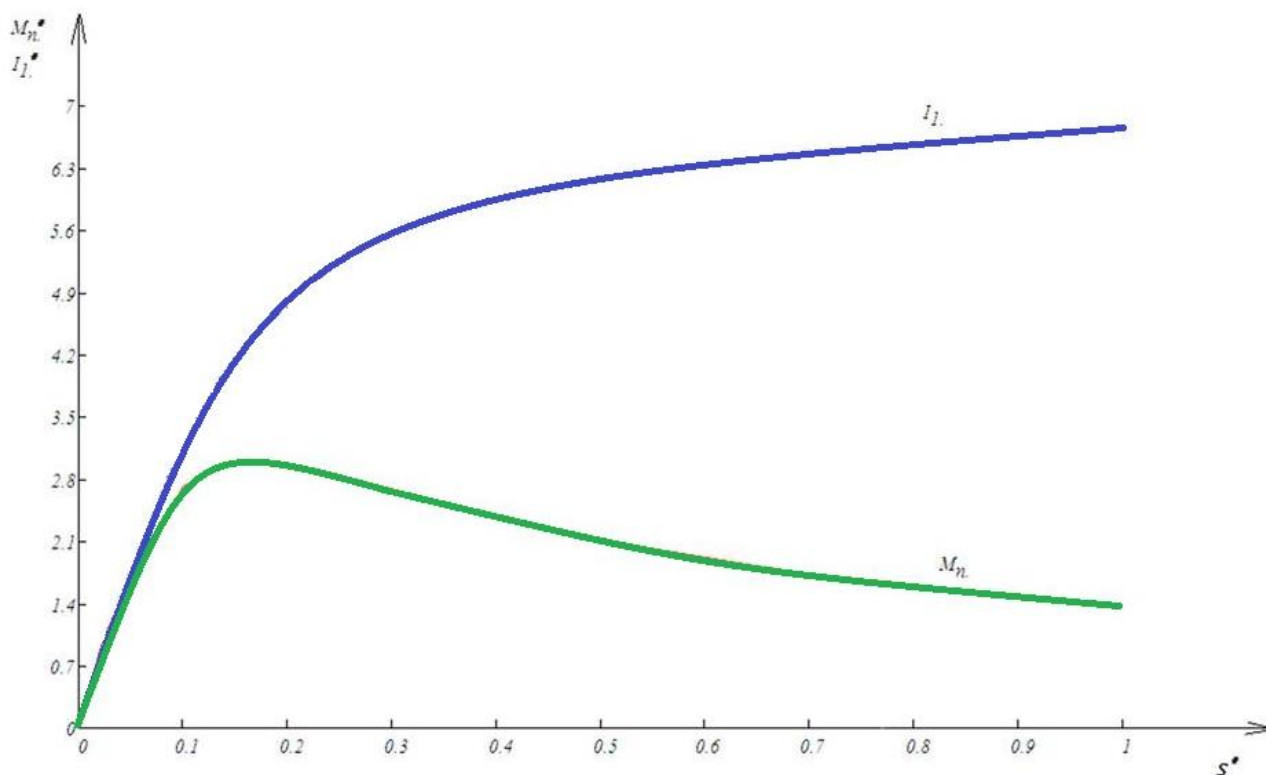


Рисунок 7-Пусковые характеристики.

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):

$$P'_{\Sigma, n1} = 1,15 \cdot P'_{\Sigma 1} \cdot \frac{2l_{\sigma}}{l_{cp}} = 260,87 \text{ Вт}$$

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

$$\Delta \vartheta_{нов1} = K \cdot \frac{P'_{\Sigma, n1} + P_{ст.осн}}{\pi \cdot D \cdot l_{\sigma} \cdot \alpha_1} = 15,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи с поверхности, зависит от $D_a = 0,313 \text{ м}$ [1, с 450] $\alpha_1 = 160 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

K – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину прямо в окружающую среду, зависит от $2p$, $K = 0,22$ тогда:

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

$$\Pi_{n1} = 2 \cdot h_n + b_1 + b_2 = 0,0841 \text{ м}$$

$$\frac{d_{эл}}{d_{из}} = 0,9524 \quad d_{из} = 18 \times 10^{-4} \quad d_{эл} = 17 \times 10^{-4}$$

Средняя эквивалентная теплопроводимость пазовой изоляции находится по рис.9-69, исходя соотношения и

где $\lambda_{\text{экв}}$ - средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции; для классов нагревостойкости В, F и Н

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

$$\lambda'_{\text{экв}} = 1,4 \text{ Вт / (м} \cdot \text{°C)}$$

$$\text{Для класса нагревостойкости F} \quad \lambda_{\text{экв}} = 0,16$$

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

$$\Delta v_{\text{из.п1}} = \frac{P'_{\text{э}} \cdot n1}{Z_1 \cdot \Pi_{n1} \cdot l\sigma} \cdot \left(\frac{b_{\text{из}}}{\lambda_{\text{экв}}} + \frac{b_{1c} + b_{2c}}{16 \cdot \lambda'_{\text{экв}}} \right) = 2,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta v_{\text{из.п1}} = \frac{P'_{\text{э.п1}}}{Z_1 \cdot \Pi_{n1} \cdot l_{\pi} \cdot 2} \cdot \frac{h_n}{12 \cdot \lambda'_{\text{экв}}} = 0,76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta v_{\text{нов.п1}} = \frac{K \cdot P'_{\text{э.п1}}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot l_{\text{ббл}} \cdot \alpha_1} = 13,97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

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

$$\Delta v'_1 = \frac{(\Delta v_{\text{нов1}} + \Delta v_{\text{из.п1}}) \cdot 2 \cdot l_{\partial}}{l_{\text{ср}}} + \frac{(\Delta v_{\text{из.п1}} + \Delta v_{\text{нов.п1}})}{l_{\text{ср}}} = 15,58^\circ \text{C}$$

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]:

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

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

$$\Sigma P'_{\text{с}} = \Sigma P' - (1 - K) \cdot (P'_{\text{э.л}} + P'_{\text{ст.осн}}) - 0,9 \cdot P'_{\text{мех}} = 2061 \text{ Вт}$$

Тогда:

$$P' = \Sigma P + (1,15 - 1) \cdot (P'_{\text{э1}} + P'_{\text{э2}}) = 3310 \text{ Вт}$$

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

$$S_{кор} = (\pi \cdot Da + 8 \cdot \Pi_p) \cdot (l_{\text{д}} + 2 \cdot l_{\text{бл}}) = 0,9648 \text{ м}^2$$

где Π_p - условный периметр поперечного сечения ребер корпуса двигателя [1, с.453, рис.9-70], $\Pi_p = 0,36 \text{ м}$, 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 Da

тогда:

$$\Delta v_B = \frac{\sum P'_B}{s_{кор} \cdot \alpha_B} = 92,88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta v_1 = \Delta v_{\text{с}} + \Delta v'_1 = 108,4654 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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, ф 9-340]:

$$Q_{\theta} = \frac{k_m \cdot P'_{\theta}}{1100 \cdot \Delta t_{\theta}}$$

$$Q_{\theta} = 0,185 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

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

$$k_m = m \cdot \sqrt{\frac{n}{100} \cdot Da} \quad k_m = 9.193$$

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

$$Q'_{\theta} = 0.6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n}{100} \quad Q'_{\theta} = 0.552 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

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]

$$Q_{\theta} = 0,185 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Так как $Q'_{\theta} > Q_{\theta}$ 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 не симметрией, усилия, появляющиеся из-за наличия небаланса, вращающихся частей, а также усилия, возникающие при появлении крутильные 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 5.

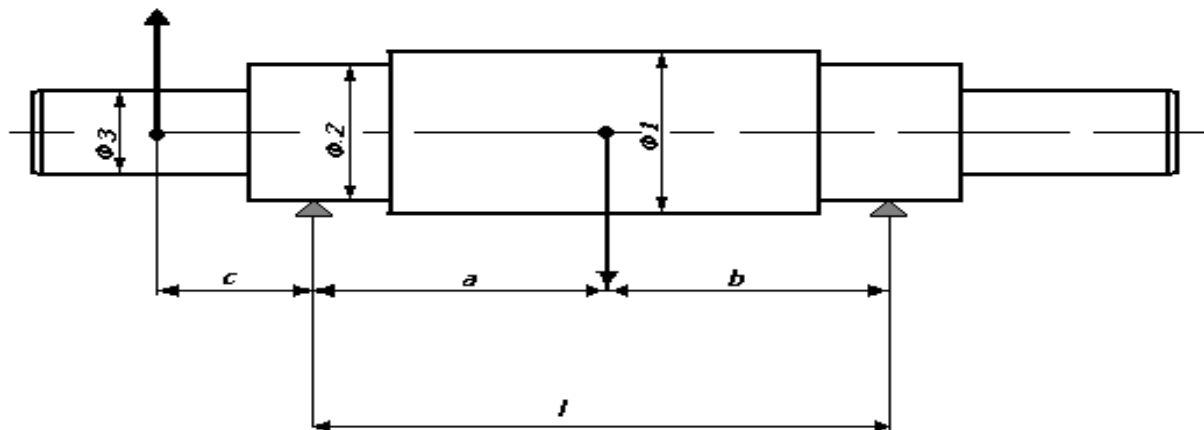


Рисунок 8-Конструкция и основные размеры вала для механического расчёта.

$D_j = D_B = d_1$ – внутренний диаметр ротора равен диаметру вала;

d_2 определяется по [с. 733, табл. П 5.1] берется диаметр меньше d_1 не больше чем на 1.3;

d_3 определяется по [с. 244, табл. П 8.1] берется диаметр меньше d_2 не больше чем на 1.3;

$$a = \frac{l_\delta}{2} + l_{\text{блн}} + 0,02 + 0,0115 = \frac{0,103}{2} + 0,0734 + 0,023 = 0,145 \text{ м}$$

$$a = b = 0,1564 \text{ м}$$

$$z = 0,140 \text{ м}$$

$$c = 0,105 \text{ м}$$

$$x = y = 0,0125 \text{ м}$$

$$l = 0,290 \text{ м}$$

$$d_1 = 0,072 \text{ м}$$

$$d_2 = 0,065 \text{ м}$$

$$d_3 = 0,060 \text{ м}$$

1.14 Расчёт вала на жёсткость

1.14.1 Определим массу ротора:

$$m_p = 6500 \cdot D_2^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0,065^2 \cdot 0,103 = 2,8286 \text{ кг}$$

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

$$G_p = 9,81 \cdot m_p = 9,81 \cdot 2,8286 = 27,7489 \text{ Н}.$$

Прогиб валов под действием силы тяжести в середине сердечника ротора.

Для асинхронного двигателя с $h < 200$ мм достаточным приближением можно принять коэффициенты [1, с.246]:

$$S_a = S_b = \frac{a^3 - x^3}{J} = \frac{0,1564^3 - 0,0125^3}{1,3192 \cdot 10^{-6}} = 1,419 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$$

$$S_0 = (a^2 - x^2) / J = (0,1564^2 - 0,0125^2) / 1,3192 \cdot 10^{-6} = 6,698 \cdot 10^3 \text{ м}^{-2}. \quad (3.5)$$

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

$$f_G = \frac{G_p}{3 \cdot l^2 \cdot E} \cdot (a^2 \cdot S_b + b^2 \cdot S_a)$$

$$f_G = \frac{27,7489}{3 \cdot 0,3128^2 \cdot 2,06 \cdot 10^{11}} \cdot (0,1564^2 \cdot 1,419 \cdot 10^3 + 0,1564^2 \cdot 1,419 \cdot 10^3) = 3,1869 \cdot 10^{-8} \text{ м} \quad (3.6)$$

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

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

$$M_{ном} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9,55 \cdot \frac{22000}{3000} = 70,03 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.7)$$

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

$$F_{II} = \frac{k_n}{r} \cdot M_{ном} = \frac{0,3}{0,100} \cdot 70,035 = 350,1667 \text{ Н}, \quad (3.8)$$

где $k_n = 0,3$ коэффициент при передаче упругой кулачковой муфтой
радиус упругой муфты $r = 0,100$ м.

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

$$f_{II} = \frac{F_{II} \cdot \tilde{n}}{3 \cdot A \cdot l^2} \quad f_{II} = \frac{3,5 \cdot 10^2 \cdot 0,105}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,3128^2} = 6,0805 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

1.14.8 Начальный эксцентриситет ротора [1, с.247]:

$$e_0 = 0,1 \cdot \delta + f_G + f_{II} = 0,1 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} + 6,0805 \cdot 10^{-10} + 3,1269 \cdot 10^{-8} = 5,0032 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

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

$$T_0 = 2,94 \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \frac{e_0}{\delta} \cdot 10^5 = 2,94 \cdot 0,65 \cdot 0,103 \cdot \frac{5,0032 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot 10^{-4}} = 196,9609 \text{ Н}$$

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

$$f_T = f_G \cdot \frac{T_0}{G_p} = 3,1869 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{196,9609}{27,7489} = 2,262 \cdot 10^{-7} \text{ м.} \quad (3.12)$$

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

$$f_M = \frac{f_T}{1 - f_T/e_0} = \frac{2,262 \cdot 10^{-7}}{1 - 2,262 \cdot 10^{-7} / 5,0032 \cdot 10^{-8}} = 2,2723 \cdot 10^{-7} \text{ м.} \quad (3.13)$$

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

$$f = f_T + f_I + f_M = 3,1869 \cdot 10^{-8} + 2,2723 \cdot 10^{-8} + 2,262 \cdot 10^{-7} = 4,853 \cdot 10^{-7} \text{ м} \quad (3.14)$$

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

$$x = \frac{f}{\delta} \cdot 100\% = \frac{4,853 \cdot 10^{-7}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 0,097 \%. \quad (3.15)$$

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

$$n_{кр} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - f_T/e_0}{f_G}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - 2,262 \cdot 10^{-7} / 5,0032 \cdot 10^{-8}}{3,1869 \cdot 10^{-8}}} = 167670 \text{ об / мин}$$

1.15 Расчёт вала на прочность

1.15.1 Изгибающий момент в сечении вала (b):

$$M_u = k \cdot F_{II} \cdot z = 2,5 \cdot 350,1667 \cdot 0,140 = 122,5583 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

где k – коэффициент перегрузки, k = 2,5

1.15.2 Момент сопротивления при изгибе:

$$W = 0,1 \cdot d_1^3 = 0,1 \cdot 0,072^3 = 3,7325 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3. \quad (3.18)$$

1.15.3 Эквивалентное сопротивление при изгибе и кручении:

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

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

$$T = \frac{T_0}{1 - \frac{f_0}{e_0}} = \frac{196,9609}{1 - \frac{2,262 \cdot 10^{-7}}{5,0032 \cdot 10^{-5}}} = 197,855 \text{ Н}$$

$$M_{из} = k \cdot F_n \cdot c \cdot \left(1 - \frac{y}{l}\right) + (G_p + T) \cdot \frac{\alpha \cdot y}{l} = 2,5 \cdot 350,166 \cdot 0,105 \cdot \left(1 - \frac{0,125}{0,3128}\right) + (27,7489 + 197,8554) \cdot \frac{0,1564 \cdot 0,125}{0,3128} = 127,3107 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

1.15.5 Момент сопротивления при изгибе:

$$W_C = 0,1 \cdot d_3^3 = 0,1 \cdot 0,06^3 = 2,16 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

1.15.6 Эквивалентное сопротивление при изгибе и кручении:

$$\sigma_{экр.С} = \sqrt{\frac{M_{из}^2 + (K \cdot \alpha \cdot M_{ном})^2}{W_c}}$$

$$\sigma_{экр.С} = \sqrt{\frac{127,31^2 + (2,5 \cdot 0,8 \cdot 70,03)^2}{2,16 \cdot 10^{-5}}} = 8,7629 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Значение $\sigma_{экр}$ 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]:

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

$$R_a = 350,16 \cdot \frac{0,105}{0,313} + (27,75 + 196,96) \cdot \frac{0,156}{0,313} = 267,7285 \text{ Н}$$

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

$$R_b = F_n \cdot \frac{c+l}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{b}{l}$$
$$R_b = 350,16 \cdot \frac{0,105 + 0,313}{0,313} + (27,75 + 196,96) \cdot \frac{0,156}{0,313} = 617,8951 \text{ Н}$$

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

На шарикоподшипник А:

$$Q_A = k_n \cdot R_a = 1,5 \cdot 267,7285 = 401,5927 \text{ Н} . \quad (3.23)$$

Принимаем расчётный срок службы подшипников $L_d = 18000$ часов, наибольшая частота вращения 3000 об/мин

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

$$C = \frac{Q_A}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_d \cdot n} = \frac{401,59}{25,6} \cdot \sqrt[3]{18000 \cdot 3000} = 5929,3959 \text{ Н} .$$

Выбираем шарикоподшипник легкой и средней серии 213 и 313 с динамической грузоподъемностью $C=4400$ Н и $C=71300$ Н.

Размеры подшипников

$D=120$ мм, $d=65$ мм, $D=23$ мм, $r=2,5$ мм

$D=140$ мм, $d=65$ мм, $D=33$ мм, $r=3,5$ 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 213 и 313 серии.

2. Специальная часть.

2.1. Однофазный режим работы трехфазного двигателя

Трехфазный асинхронный двигатель может быть использован без какого-либо изменения его конструкции и обмоточных данных для работы от однофазной сети в качестве:

- однофазного с пусковой емкостью,
- однофазного конденсаторного с постоянно включенной емкостью,
- однофазного с пусковым сопротивлением.

На рисунке 6 представлены наиболее распространенные схемы включения таких двигателей.

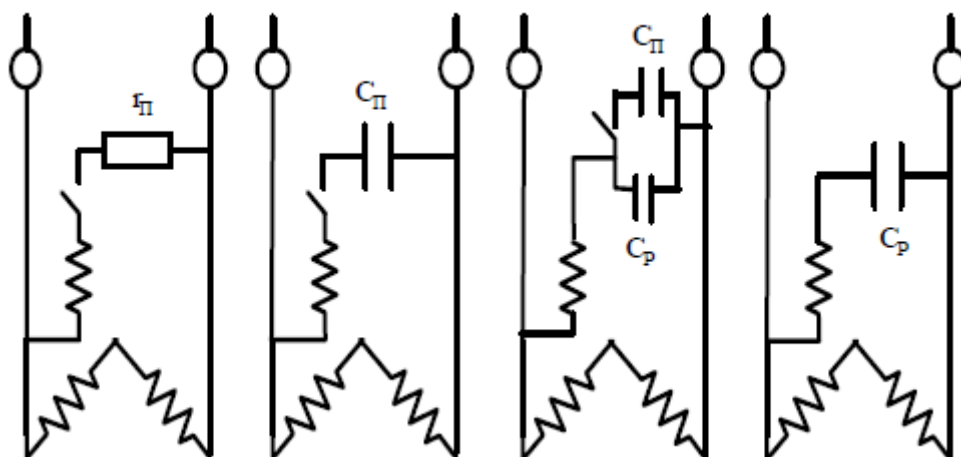


Рисунок 9– Схемы однофазного включения трехфазного двигателя (с пусковым сопротивлением, с пусковой емкостью, с рабочей и пусковой емкостями, с рабочей емкостью)

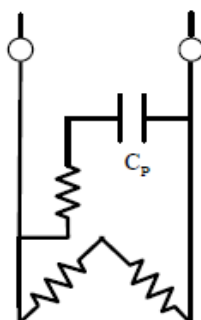


Рисунок 10-Схема однофазного включения с рабочей емкостью.

В указанной схеме включения трехфазного двигателя две фазы соединяются последовательно (конец с концом) и образуют рабочую обмотку А (главная фаза), а третья фаза служит вспомогательной обмоткой В.

Асинхронный двигатель, который может работать как трехфазным, так и однофазным, называется универсальным. Его универсальность оправдывается лишь в том случае, если рабочие и пусковые характеристики производной однофазной машины от трехфазной получаются не менее благоприятными, чем для трехфазной машины.

Если принять полезную мощность трехфазного двигателя за 100 %, то в этом же типоразмере можно спроектировать конденсаторный двигатель с постоянно включенной рабочей емкостью полезной мощностью, составляющей в среднем 65-70 %.

При этом может быть обеспечена удовлетворительная перегрузочная способность двигателя. Можно принять следующие соотношения:

$M_{H2} = (0,65-0,7)M_{H3}$, – для двигателя с постоянно включенной емкостью.

Расчет характеристик однофазного асинхронного двигателя основан на использовании метода симметричных составляющих применительно к двухфазным системам. В соответствии с этим методом для однофазных машин применяются схемы замещения, изображенные на рисунке 7.

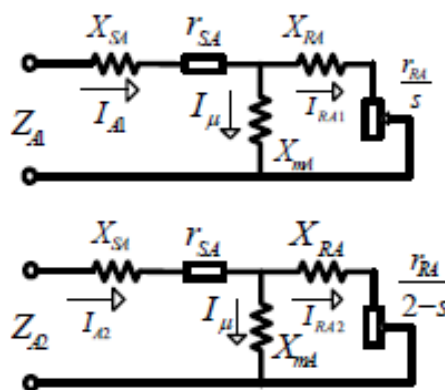


Рисунок 11 – Схемы замещения главной фазы

(для токов прямой и токов обратной последовательностей)

Схема замещения главной фазы состоит из двух отдельно схем соответственно для токов прямой и обратной последовательностей.

Параметры вспомогательной фазы однофазного двигателя определяют пусковые и рабочие свойства конденсаторного двигателя. Расчет вспомогательной фазы состоит в определении параметров вспомогательной обмотки и выборе добавочного элемента (конденсатора, сопротивления).

Правильный выбор емкости рабочего конденсатора обеспечивает оптимальный режим работы конденсаторного двигателя, т.е. позволяет получить круговое поле при номинальной или заданной нагрузке (заданном скольжении).

Конденсаторный двигатель является наиболее использованным однофазным двигателем, так как обе его обмотки участвуют в пуске и работе. Наличие емкости во вспомогательной фазе статорной обмотке снижает шумность двигателя. Коэффициент трансформации для конденсаторного двигателя определяется из условия получения кругового вращающегося поля при номинальной (или заданной) нагрузке. Наиболее распространен случай, когда обмотки сдвинуты в пространстве на 90 градусов, а фазосдвигающим элементом является конденсатор. Активным сопротивлением конденсатора следует предварительно задаваться. После расчета рабочего конденсатора сопротивление уточняется по каталогу. В случае больших расхождений каталожных величин сопротивления конденсатора с принятой предварительно производится перерасчет. Емкость конденсатора округляется до ближайшего значения по каталогу, из которого берется так же значение активного сопротивления конденсатора.

Рабочие характеристики получаются для однофазной машины из уравнений, выведенных на основе метода симметричных составляющих в применении к двухфазным системам. Связь между напряжениями, токами и параметрами однофазных машин для прямой и обратной

последовательностей устанавливается на основании схем замещения однофазной машины (рис. 6). В однофазной машине на статоре две обмотки (главная вспомогательная) смещены в пространстве на 90 градусов и намагничивающие силы обеих фаз неодинаковы и сдвинуты во времени на произвольный угол.

В результате совместного действия этих пульсирующих намагничивающих сил возникает эллиптическое вращающееся поле.

Частными случаями эллиптического поля являются круговое и пульсирующее поля. Эллиптическое поле имеет место в конденсаторном двигателе во всем диапазоне скольжений от $S=S_0$ до $S=1$, исключением режима (обычно S_n), для которого выбранная емкость обеспечивает круговое поле. Коэффициент полезного действия двигателя при эллиптическом поле уменьшается по сравнению с двигателем, работающим при круговом поле, как за счет уменьшения полезной мощности, так и за счет увеличения подводимой мощности.

2.2. Расчет номинального режима

2.2.1 Коэффициенты для сопротивлений разветвления [5, с.106, ф.7-6]:

$$\alpha = \frac{r_{ra}}{x_{ma} + x_{ra}} = 0.0023 \quad \beta = \frac{x_{ma}}{x_{ma} + x_{ra}} = 0.9932$$

где r_{ra} и x_{ma} – активное и индуктивное сопротивление ротора, приведенное к числу фаз и витков статора.

2.2.2 Активное сопротивление разветвления [5, с.106, ф.7-5]:

$$r_{ra1} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{ma} \cdot S}{\alpha^2 + S^2} = 10.3187 \text{ Ом} \quad x_{sa1} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{ra} \cdot S}{\alpha^2 + S^2} = 0.071 \text{ Ом}$$

2.2.3 Реактивное сопротивление разветвления

$$x_{ra1} = \beta \cdot x_{ra} \cdot \left(\frac{S^2 + \frac{r_{ra} \cdot \alpha}{x_{ra}}}{\alpha^2 + S^2} \right) = 1.7397 \text{ Ом}$$

2.2.4 Полное, главное сопротивление фазы[5, с.105, ф.7-1]:

$$Z_{a1} = \sqrt{(r_{sa} + r_{ra1})^2 + (x_{sa} + x_{sa1})^2} \quad Z_{a1} = 10.7747 \text{ Ом}$$

2.2.5 Ток в главной обмотке без учета потерь в стали:

$$I_{a1} = \frac{U_f}{Z_{a1}} = 20.4181 \text{ А}$$

2.2.6 Полное сопротивление разветвления

$$Z_{a11} = \sqrt{(r_{ra1})^2 + (x_{ra1})^2} = 10.4643 \text{ Ом}$$

2.2.7 Электродвижущая сила (ЭДС)

$$E_1 = I_{a1} \cdot Z_{a11} = 213.6618 \text{ В}$$

2.2.8 Электромагнитная мощность

$$P_y = m \cdot I_{a1}^2 \cdot r_{ra1} = 1.2906 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.2.9 Полная механическая мощность на валу двигателя

$$P_p = P_y (1 - s) \quad P_p = 1.2595 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.2.10 Полезная механическая мощность на валу двигателя

$$P_{p1} = P_p - P_{\text{доп}} - P_{\text{мех}}$$

$$P_{\text{мех}} = 0.005 P_2 = 7.6851 \text{ Вт}$$

$$P_{\text{доп}} = k_5 \cdot \left(\frac{n}{1000} \right)^2 \cdot \left(\frac{D_a \cdot 1000}{100} \right)^4 = 870.2918 \text{ Вт}$$

где $P_{\text{доп}}$ и $P_{\text{мех}}$ - добавочные и механические потери в двигателе

$k_3 = 0.9$ коэффициент, зависящий от полюсности и внешнего диаметра

тогда:

$$P_{p1} = P_p - P_{\text{доп}} - P_{\text{мех}} = 1.1717 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.2.11 Полезный момент

$$P_{\text{полез}} = P_{\text{доп}} \cdot \frac{E_1}{U_f \cdot k_3} = 616.6009 \text{ Ом}$$

2.2.12 Потери в стали статора

$$P_{\sigma 1} = P_{\sigma} \cdot \frac{E_1}{U_1 \cdot k_3} = 616.6009 \text{ Вт}$$

Потерями в стали ротора пренебрегаем.

2.2.13 Ток потерь в стали

$$I_c = \frac{P_{\sigma 1}}{2 \cdot E_1} \quad I_c = 1.4429 \text{ А}$$

2.2.14 Ток в главной обмотке с учетом потерь в стали

$$I_{sa} = I_{a1} + I_c = 21.861 \text{ А}$$

2.2.15 Плотность тока в главной обмотке

$$J_{21} = \frac{I_{sa}}{S_a} = 12.145 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

2.2.16 Коэффициент мощности главной фазы:

$$\cos \varphi_a = \frac{I_{a1}}{I_{sa}} = 0.934$$

2.2.17 Потери в меди статора

$$P_{ms} = 2 \cdot I_{sa}^2 \cdot r_{sa} = 358.4215 \text{ Вт}$$

2.2.18. Потребляемая мощность.

$$P_s = P_y + P_{ms} + P_{\sigma 1} = 1.3881 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.2.19 Коэффициент полезного действия (КПД)

$$\eta = \frac{P_p}{P_s} = 0.9073$$

2.3 Расчет вспомогательной обмотки.

2.3.1 Сопротивление емкости во вспомогательной обмотке [5, с.152, ф.10-7]:

$$x_{c1} = (k_4)^2 \cdot x_{a1} + k_4 \cdot r_{a1} = 1.3392 \text{ Ом}$$

где $k_4 = x_{a1} / r_{a1}$ - коэффициент трансформации.

$$x_{a1} = x_{sa} + x_{sa1} = 1.3191 \quad r_{a1} = r_{sa} + r_{ra1} = 10.6937$$

2.3.2 Емкость во вспомогательной обмотке [5,с.152, ф.10-8]:

$$C_p = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot x_{c1}} \quad C_p = 2376.8851 \text{ мкФ}$$

Принимаем $C_p = 2400$ мкФ.

тогда сопротивление емкости

$$x_{Cp} = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_p} = 1.3263 \text{ Ом}$$

2.3.3. Сопротивление разветвление главной фазы обратной последовательности

$$r_{ra2} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{ma} \cdot (2-s)}{\alpha^2 + (2-s)^2} = 0.127 \text{ Ом}$$

$$x_{ra2} = \beta \cdot x_{ra} \cdot \frac{\frac{r_{ra} \cdot \alpha}{x_{ra}} + (2-s)^2}{\alpha^2 + (2-s)^2} = 0.7406$$

Ом

$$Z_{12} = \sqrt{(r_{ra2})^2 + (x_{ra2})^2} = 0.7514 \text{ Ом}$$

2.3.4. Полное сопротивление главной фазы обратной последовательности

$$Z_{21} = \sqrt{(r_{sa} + r_{ra2})^2 + (x_{sa} + x_{ra2})^2} = 2.0511 \text{ Ом}$$

$$r_{21} = r_{sa} + r_{ra2} = 0.502 \text{ Ом}$$

$$x_{21} = x_{sa} + x_{ra2} = 1.9887 \text{ Ом}$$

2.3.5. Полные сопротивления вспомогательной фазы прямой и обратной последовательности [5,с.134, ф.9-3, 9-4]:

$$Z_{22} = \sqrt{[(k_4)^2 \cdot r_{a1}]^2 + [(k_4)^2 \cdot x_{a1} - x_{c1}]^2} \quad Z_{22} = 1.3291 \text{ Ом}$$

$$Z_{23} = \sqrt{[(k_4)^2 \cdot r_{21}]^2 + [(k_4)^2 \cdot x_{21} - x_{c1}]^2} \quad Z_{23} = 1.3089 \text{ Ом}$$

2.3.6. Составляющие тока статора прямой и обратной последовательностей главной фазы [5,с.134, ф.9-1]:

$$I_{11} = 220 \frac{(\sqrt{1.309^2 - 0.1234^2} \cdot 2.0511)}{10.46431.309 + 2.05111.3291} \quad I_{11} = 17.2033 \text{ А}$$

$$I_{12} = U_f \cdot \frac{\sqrt{(Z_{22})^2 - (k_4 \cdot Z_{21})^2}}{Z_{a11} \cdot Z_{23} + Z_{21} \cdot Z_{22}} \quad I_{12} = 17.4787 \text{ A}$$

2.3.7. Ток статора главной фазы без учета потерь в стали

$$I_{01} = I_{11} + I_{12} = 34.682 \text{ A}$$

2.3.8. Потери в стали от поля прямой последовательности при

$$E_2 = I_{12} \cdot Z_{12} = 13.1335 \text{ B}$$

$$P_{\tilde{\sigma}2} = P_{\tilde{\sigma}} \cdot \frac{E_2}{U_f \cdot k_3} = 37.9016 \text{ Bm}$$

Потерями в стали ротора пренебрегаем

2.3.9. Добавочный ток от потерь в стали прямой последовательности

$$I_{22} = \frac{P_{\tilde{\sigma}1}}{2 \cdot E_2} \quad I_{22} = 20.3651 \text{ A}$$

2.3.10. Потери в стали от поля обратной последовательности при

$$E_2 = I_{12} \cdot Z_{12} = 13.1335 \text{ B}$$

[5, с.136.]:

$$P_{\tilde{\sigma}2} = P_{\tilde{\sigma}} \cdot \frac{E_2}{U_f \cdot k_3} = 37.9016 \text{ Bm}$$

2.3.11. Добавочный ток от потерь в стали прямой последовательности

$$I_{22} = \frac{P_{\tilde{\sigma}1}}{2 \cdot E_2} \quad I_{22} = 20.3651 \text{ A}$$

2.3.12 Токи статора с учетом потерь в стали

$$I_{51} = I_{11} + I_{21} = 18.6463 \text{ A} \quad I_{61} = \sqrt{\left(\frac{17.2033}{k_4}\right)^2 + \left(\frac{1.4429}{k_4}\right)^2} = 139.9004$$

$$I_{52} = 17.4787 + 20.3651 = 37.8438 \text{ A} \quad I_{62} = \sqrt{\left(\frac{17.4787}{k_4}\right)^2 + \left(\frac{1.4429}{k_4}\right)^2} = 142.1244$$

$$I_{50} = 18.6463 + 37.8438 = 56.4901 \text{ A} \quad I_{60} = I_{61} + I_{62} = 282.0248$$

2.3.13. Плотности тока в главной и вспомогательной обмотке

$$J_{21} = \frac{I_{sa}}{S_a} = 12.145 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \quad J_{22} = \frac{I_{50}}{S_a} = 31.3834 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

2.3.14 Полный ток сети:

$$I_{10} = I_{50} + I_{60} = 338.5149 \text{ A}$$

2.3.15 Электромагнитная мощность .

$$P_{10} = m \cdot (I_{a1})^2 \cdot r_{ra1} - m \cdot (I_{12})^2 \cdot r_{ra2} = 1.2789 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.3.16. Полная механическая мощность на валу

$$P_{11} = P_{10} \cdot (1 - s) = 1.2481 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.3.17. Полезная механическая мощность на валу

$$P_{12} = P_{11} - P_{\text{ia}} - P_{\text{aia}} = 1.1603 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.3.18 Полезный момент

$$M_5 = P_{12} \cdot \frac{10^5}{1.028n} = 3.7623 \times 10^5 \text{ Г*см}$$

2.3.19 Потери в меди статора

$$P_{21} = (I_{50})^2 \cdot r_{sa} + (I_{60})^2 \cdot r_{sb} = 1.611 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.3.20 Потери в меди ротора

$$P_{22} = 2(I_{50})^2 \cdot r_{sa} + (I_{60})^2 \cdot r_{ra2} \cdot (2 - s) = 2.2358 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.3.21. Потребляемая мощность

$$P_5 = P_{11} + P_{21} + P_{22} + P_{\text{h01}} = 5.1484 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.3.22 Сумма потерь

$$P_7 = P_{11} + P_{12} + P_{\text{h01}} + P_{\text{ia}} + P_{\text{aia}} \quad P_7 = 2.5497 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.3.23 Коэффициент полезного действия

$$\eta = 1 - \frac{P_7}{P_5} \quad \eta = 0.5048$$

2.3.24 Коэффициент мощности главной фазы

$$\cos \phi_a = \frac{I_{a1}}{I_{sa}} = 0.934$$

2.3.25 Коэффициент мощности вспомогательной фазы

$$\cos \phi_b = \frac{I_{61}}{I_{60}} = 0.4961$$

2.3.26 Напряжение во вспомогательной обмотке

$$U_{11} = I_{61} \cdot (Z_{22} - x_{c1}) = -1.4094 \text{ В}$$

$$U_{12} = I_{62} \cdot (Z_{23} - x_{c1}) = -4.3007 \text{ В}$$

$$U_7 = U_{11} + U_{12} = -5.7101 \text{ В}$$

2.3.27 Напряжение на конденсаторе

$$U_3 = I_{60} \cdot x_{Cp} = 374.047 \text{ В}$$

2.4 Расчет пускового тока

2.4.1 Параметры схемы замещения

$$r_{rak} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot x_{ma}}{\alpha^2 + 1^2} = 0.251 \text{ Ом}$$

$$x_{sak} = \beta \cdot x_{ra} \cdot \left(\frac{1^2 + \frac{r_{ra} \cdot \alpha}{x_{ra}}}{\alpha^2 + 1^2} \right) = 0.741$$

$$Z_{ak} = \sqrt{(r_{sa} + r_5)^2 + (x_{sa} + x_{sak})^2} = 2.2268 \text{ Ом}$$

$$Z_{bk} = \sqrt{\left[(k_4)^2 \cdot (r_5 + r_6) \right]^2 + (k_4 \cdot x_5 + x_{Cp})^2} = 1.5718 \text{ Ом}$$

2.4.2 Токи прямой последовательности главной фазы

$$I_{51} = \frac{U_f}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{Z_{ak}} \right)^2 - \left(\frac{k_4}{Z_{23}} \right)^2} = 48.2981 \text{ А}$$

$$I_{52} = \frac{U_f}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{Z_{ak}} \right)^2 + \left(\frac{k_4}{Z_{23}} \right)^2} = 50.4756 \text{ А}$$

2.4.3 Полный ток главной обмотки

$$I_{50} = I_{51} + I_{52} = 98.7737 \text{ A}$$

2.4.4 Полный ток вспомогательной обмотки

$$I_{60} = \sqrt{\left[\left(\frac{I_{51} - I_{52}}{k_4} \right)^2 \right]} = 17.6464 \text{ A}$$

2.4.5 Плотность тока в главной обмотке

$$J_{22} = \frac{I_{50}}{S_a} = 54.8743 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

2.4.6 Коэффициент мощности вспомогательной обмотки

$$\cos \varphi_{60} = \frac{I_{61}}{I_{60}} = 7.928$$

2.4.7 Плотности тока во вспомогательной обмотке

$$J_{23} = \frac{I_{60}}{S_a} = 9.8036 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

2.4.8 Коэффициент мощности вспомогательной фазы

$$\cos \varphi_{60} = \frac{I_{61}}{I_{60}} = 7.928$$

2.4.9 Полный пусковой ток

$$I_7 = I_{50} + I_{60} \quad I_7 = 116.4201 \text{ A}$$

2.4.10 Кратность пускового тока

$$i_{11} = \frac{I_7}{I_{11}} \quad i_{11} = 2.8864$$

2.4.11 Полный коэффициент мощности при пуске

$$\cos \varphi_{50} = \frac{I_{50}}{I_7} = 0.8484$$

2.4.12 Электромагнитная мощность при пуске

$$P_{22} = r_{rak} \cdot \left[(I_{51})^2 + (I_{52})^2 \right] = 1225.059 \text{ Вт}$$

2.4.13 Полезный момент

$$M_6 = P_{22} \cdot \frac{10^5}{1.028 n_2} = 3.9723 \times 10^4 \text{ Н·м}$$

2.4.14 Кратность пускового момента

$$m_2 = \frac{M_6}{M_5} = 0.1056$$

2.4.15 Потребляемая мощность при пуске

$$P_0 = U_f \cdot I_7 \cdot \cos \varphi_{50} \quad P_0 = 2.173 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.4.16 Напряжение на вспомогательной обмотке при пуске

$$U_7 = I_{60} (Z_{bk} - x_{Cp}) = 4.3319 \text{ В}$$

2.4.17 Напряжение на конденсаторе

$$U_{55} = I_{60} x_{Cp} \quad U_{55} = 23.4043 \text{ В}$$

3.Технология производства электрических машин

Технологический процесс общей сборки взрывозащищенного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

3.1 Введение

Электротехническая промышленность является материальной основой электрификации страны, автоматизации и механизации производственных процессов. Машиностроение, поставляющее новую технику всем отраслям народного хозяйства, определяет технический прогресс страны. Повышение качества, технического уровня, надежности, долговечности технических изделий – важный фактор роста интенсивности производства. Эффективность производства, его технический прогресс, качество выпускаемой продукции во многом зависят от опережающего развития нового оборудования, машин, станков и аппаратов, от внедрения методов технико-экономического анализа, обеспечивающего решение технических вопросов и экономическую эффективность технологических и конструкторских разработок.

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. Освоен ряд новых материалов, позволяющих механизировать технологические процессы. В настоящее время перед технологами стоят задачи не только улучшения технологии и технологического оборудования, позволяющих совершенствовать

конструкцию машин, а также повышение эффективности производства и получения наиболее экономичных изделий.

Задачей данной части работы является проектирование технологического процесса сборки взрывозащитного асинхронного двигателя типа ВА с короткозамкнутым ротором.

Выполняется с целью демонстрации навыков по технологическому и размерному анализу конструкции электрической машины, составлению схемы сборки, маршрутной и операционной технологии сборки, техническому нормированию сборочных операций, разработке планировок.

Задание на технологическую часть включает в себя сборочный чертеж двигателя, спецификацию и маршрутную карту. Необходимо спроектировать технологический процесс общей сборки в условиях мелкосерийного производства.

Для этого необходимо выполнить следующие задачи:

- Провести оценку технологичности конструкции двигателя;
- Составить схему сборки и разработать маршрутную технологию сборки двигателя;
- Выбрать оборудование, оснастку и подъемно-транспортные средства для изготовления сборки двигателя;
- Провести нормирование сборочных работ;
- Определить требуемое количество оборудования, исходя из годовой программы выпуска двигателей 5500 шт./год.

3.2 Служебное назначение и особенности конструкции электрической машины

Асинхронный короткозамкнутый двигатель ВА180 (см. приложение 2) предназначен для эксплуатации на открытом воздухе или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от

колебаний на открытом воздухе, при не значительных атмосферных осадках, в кислой среде (химическое производство).

Исполнение по способу монтажа – IM1081. Это означает, что двигатель с одним цилиндрическим концом вала и может работать с любым направлением конца вала.

Исполнение по степени защиты от воздействия окружающей среды – IP54. Это означает, во-первых, что пыль может проникать внутрь оболочки двигателя, но в количествах недостаточных для нарушения его работы, и, во-вторых, на работу двигателя не должно оказывать вредного воздействия разбрызгивание на оболочку воды в любом направлении. Способ охлаждения двигателя IC0141 – обдувом с помощью внешнего вентилятора, расположенного на валу двигателя. Двигатель выполнен на напряжение 220/380 В.

Электромагнитная цепь двигателя состоит из статора (поз.1), в сердечнике которого уложена трехфазная обмотка и ротора (поз.2), в пазах которого литая короткозамкнутая обмотка.

На вал ротора напрессованы подшипники (поз.10). Подшипники открытые, с заложеной в них смазкой при сборке двигателя. Ротор ориентируется относительно расточки статора с помощью подшипниковых щитов (поз.5 и 6).

Подшипниковые щиты после насадки на станину статора крепятся болтами (поз.17) с пружинными шайбами (поз.18) по шесть штук на каждый щит. На статоре установлена выводная коробка (поз. 3), в которой расположена клемная колодка с присоединенными выводами обмотки статора. На передней части вала, между подшипником и внутренним торцом подшипникового паза установлено пружинное кольцо, чтобы исключить сжатие подшипников щитами для лёгкого вращения вокруг своей оси.

На переднем щите шестью винтами с шайбами закреплен кожух (поз. 14), закрывающий вентилятор внешнего обдува.

3.3.Оценка технологичности конструкции

Технологичностью конструкции изделия называют совокупность свойств изделия, определяющих возможность достижения минимальных затрат средств, 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. Технологичность двигателя оценим качественно, т.е. оценку будем производить, руководствуясь общими принципами технологичности сборочных единиц, справочной литературой и личным опытом.

Ротор двигателя – сборочная единица, состоящая из небольшого числа составных частей: сборочная единица – ротор без вала, деталь – вал.

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

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

Конструкция двигателя позволяет расчленить её на самостоятельные узлы с целью обеспечения возможности их параллельной сборки, автономного контроля, испытания, замены: статор, ротор, коробка выводов, кожух. При этом каждый из узлов содержит не более 7 составных частей.

Из стандартных составных частей в двигателе только метизы (болты, винты, шайбы, заклёпки) и подшипники. В случае выпуска серии могут быть унифицированы подшипниковые щиты, крышка коробки выводов, кожух.

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

Конструкция двигателя позволяет выполнить общую сборку по методу полной взаимозаменяемости.

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

Конструкция двигателя позволяет выполнить сборку вдоль главной оси симметрии и сверху.

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.

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.

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

3.4 Расчет размерных цепей методом полной взаимозаменяемости

Наиболее ответственным этапом в решении размерных цепей является выявление замыкающего размера, определение его поля допуска и выявление составляющих размеров размерной цепи.

После того, как выявлена размерная цепь, необходимо:

- 1) составить график размерной цепи,
- 2) составить уравнение размерной цепи,
- 3) подобрать метод достижения заданной точности замыкающего размера.

При составлении графика размерной цепи необходимо охватить все, входящие в нее размеры, образующие замкнутый контур.

Общий вид уравнения размерной цепи описывается выражением:

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \xi_j A_j$$

где n – число составляющих размеров

ξ_j - передаточное отношение между замыкающим размером A_{Δ}

и составляющим размером A_j .

Метод полной взаимозаменяемости заключается в том, что требуемая точность замыкающего размера обеспечивается при любом сочетании размеров деталей, попавших в сборочный комплект.

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.

Преимущества метода полной взаимозаменяемости:

- использование его при сборке превращает её в простое соединение деталей;
- простота нормирования процесса сборки;
- возможность автоматизации сборочных процессов (отсутствуют операции пригонки);
- возможность кооперирования и специализации участков, цехов, предприятий.

При расчете размерных цепей методом полной взаимозаменяемости используются следующие зависимости:

$$N_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \xi_j N_j ,$$

$$E_{C\Delta} = \sum_{j=1}^n \xi_j E_{Cj} ,$$

$$T_{\Delta} = \sum_{j=1}^n |\xi_j| T_j ,$$

где N_{Δ} и N_j - номинальное значение замыкающего и j – го составляющего размеров;

$E_{C\Delta}$ и E_{Cj} - среднее отклонение замыкающего и j – го составляющего размеров;

T_{Δ} и T_j - допуск замыкающего и j – го составляющего размеров;

Величина среднего отклонения связана со значениями верхнего E_S и нижнего E_I отклонений следующими уравнениями:

$$E_{C\Delta} = \frac{E_{S\Delta} - E_{i\Delta}}{2} ;$$

для j -го составляющего размера

$$E_{Cj} = \frac{E_{Sj} - E_{ij}}{2} ;$$

Предельные значения замыкающего размера $A_{\Delta \max}$ и $A_{\Delta \min}$ определяются по выражению:

$$A_{\Delta \max(\min)} = N_{\Delta} + E_{C\Delta} \pm 0,5T_{\Delta} .$$

Предельные отклонения замыкающего размера определяются по уравнениям:

$$E_{S\Delta} = E_{C\Delta} + 0,5T_{\Delta} ;$$

$$E_{i\Delta} = E_{C\Delta} - 0,5T_{\Delta}.$$

Условие достижения точности замыкающего звена при полной взаимозаменяемости следующее:

$$IT_{\Pi} \geq IT_{\Delta}$$

Допуск исходного звена больше или равен допуску замыкающего звена, при этом допуск замыкающего звена рассчитывается на max-min по формуле

$$IT_{\Delta} = \sum |IT_i|$$

Итак, в данной части дипломной работы нужно решить прямую задачу, т.е. установить допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев по параметрам следующих замыкающих звеньев: зазор между подшипником и щитом ΔA и расстояние между лобовой частью обмотки и подшипниковым щитом ΔB (рисунок 9)

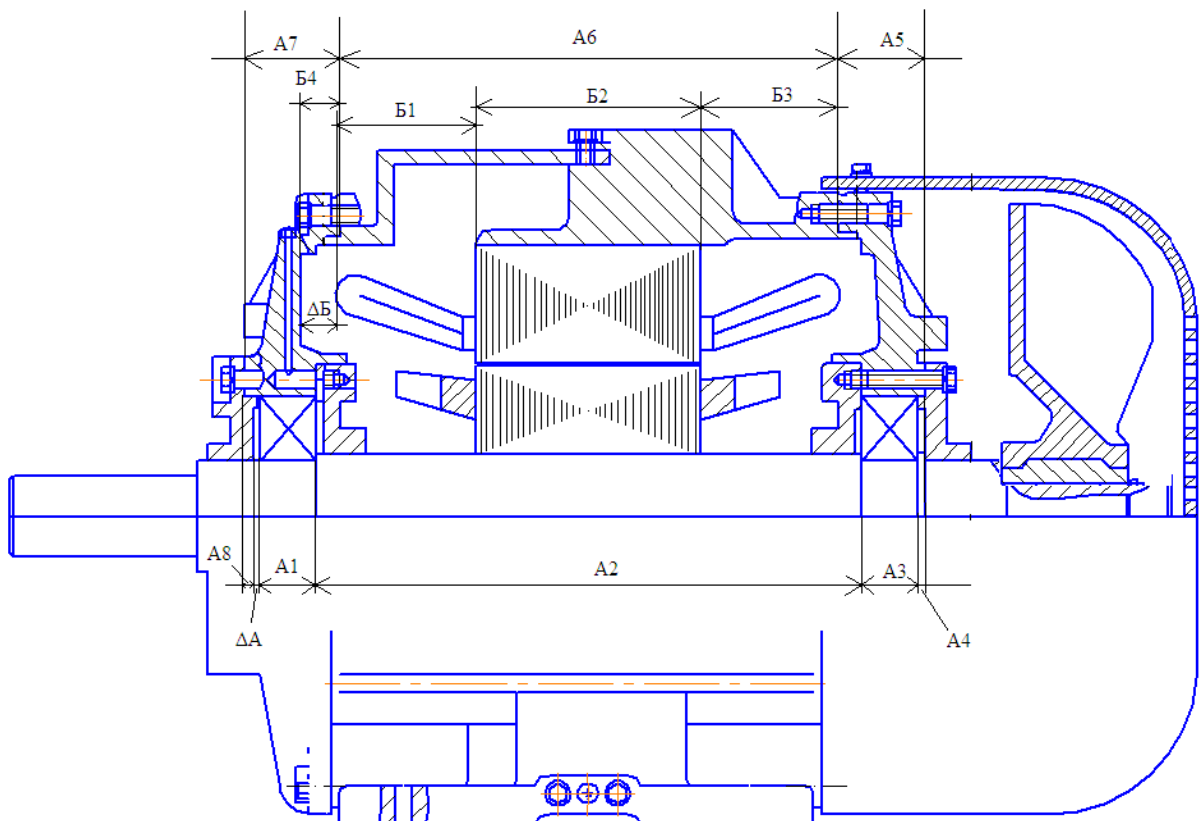


Рисунок 9- Размерные цепи двигателя

Дано: $\Delta A = 2 \pm 1 \text{ мм}$ и $\Delta B = 20 \pm 1 \text{ мм}$ – замыкающие звенья.

Остальные составляющие звенья. Их размеры возьмём из сборочного чертежа с учётом масштаба изображения и составим таблицу 3, заполняя её результатами расчётов, допусков и отклонений. Осевая длина подшипника 312 равна 33мм с отклонением 0,025мм (изготовлен заводом по 7 качеству).

Звено	Номинальный размер (мм)	Квалитет	Допуск предварительно (мм)	Среднее откл. (мм)	Категория размера	Допуск откорректированный (мм)	Вид составляющего звена
ΔА	2	-	±1	0	Js, ступень	±1	замыкающее
ΔБ	20	-	±1	0	Js, ступень	±1	замыкающее
А1	33	7	-0,025	-0,0125	h, вал	-0,025	уменьшающее
А2	320	-	-0,89	-0,0445	h, вал	+0,95 +0,87	уменьшающее
А3	33	7	-0,025	-0,0125	h, вал	+0,025	уменьшающее
А4	4	12	±0,07	0	Js, ступень	±0,07	уменьшающее
А5	38	12	-0,39	-0,195	h, вал	-0,39	увеличивающее
А6	314	12	-0,81	-0,405	h, вал	-0,81	увеличивающее

A7	44	1 2	-0,39	- 0,19 5	h,вал	-0,39	увеличи вающее
A8	4	1 2	$\pm 0,07$	0	Js, ступен ь	$\pm 0,07$	уменьша ющее
Б1	82	1 1	$\pm 0,11$	0	Js, ступен ь	$\pm 0,11$	уменьша ющее
Б2	134	1 2	-0,4	-0,2	h,вал	-0,4	уменьша ющее
Б3	90	1 2	$\pm 0,13$	0	Js, ступен ь	$\pm 0,13$	уменьша ющее
Б4	12	1 2	$\pm 0,09$	0	Js, ступен ь	$\pm 0,09$	увеличи вающее

Таблица 3- Допуски и номинальные размеры звеньев цепочки ΔА и ΔБ

Для каждого замыкающего звена начертим схему размерных цепей (рис.1).

A5, A6, A7, Б4 – увеличивающие звенья;

A1, A2, A3, A4, A8, Б1, Б2, Б3 – уменьшающие звенья.

Уравнение для размерной цепи ΔА:

$$\Delta A = A5 + A6 + A7 - A1 - A2 - A3 - A4 - A8 = 38 + 314 + 44 - 33 - 320 - 33 - 4 - 4 = 2 \text{ мм};$$

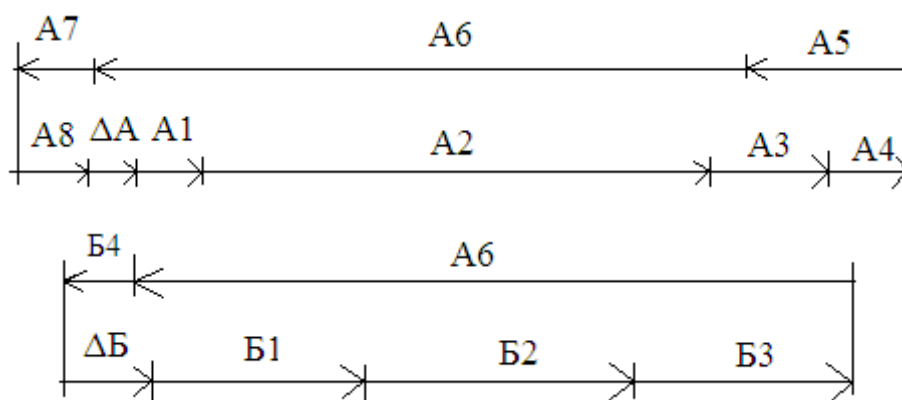


Рисунок 10-Схема размерных цепей

Средний размер составляющих звеньев:

$$A_{cp} = (A1 + A2 + A3 + A5 + A4 + A6 + A7 + A8) / 8 = \\ = (33 + 320 + 33 + 4 + 38 + 314 + 44 + 4) / 8 = 98,75 \text{ мм.}$$

Допуск на замыкающее звено $IT_{\Delta A} = 1 - (-1) = 2 \text{ мм.}$

Величина среднего допуска $IT_{cp\Delta A} = 2/8 = 0,25 \text{ мм.}$

Используя средний размер составляющих звеньев и величину среднего допуска найдем квалитет для каждого звена (табл.1.8 [8]). Допуск на размер составляющих звеньев находится в пределах 12-го квалитета.

Расставим для составляющих звеньев допуски соответствующие 12 квалитету.

Величина ожидаемого поля рассеивания:

$$IT_{\Delta A} = IT_{A1} + IT_{A2} + IT_{A3} + IT_{A4} + IT_{A5} + IT_{A6} + IT_{A7} + IT_{A8} = \\ = 0,025 + 0,89 + 0,025 + 0,14 + 0,39 + 0,81 + 0,39 + 0,14 = 2,81 \text{ мм.}$$

Условие $TX_i \geq IT_{\Delta}$ не выполняется.

Тогда составляющее звено $A2$ назначим регулирующим звеном.

Найдём допуск на регулирующее звено:

$$IT_{A2} = IT_{\Delta} - (IT_{A1} + IT_{A3} + IT_{A4} + IT_{A5} + IT_{A6} + IT_{A7} + IT_{A8}) = \\ = 2 - (0,025 + 0,025 + 0,14 + 0,39 + 0,81 + 0,39 + 0,14) = 0,08 \text{ мм.}$$

Найдём среднее отклонение на регулирующее звено:

$$\Delta A2 = -\Delta A1 - \Delta A3 - \Delta A4 + \Delta A5 + \Delta A6 + \Delta A7 - \Delta A8 - \Delta A = \\ = -0,0125 - 0,0125 - 0,14 + 0,39 + 0,81 + 0,39 - 0,14 - 0 = 0,91 \text{ мм.}$$

Определим предельные размеры звена $A2$:

$$A2_{max} = A2 + \Delta A2 + 0,5 \cdot IT_{A2} = 320 + 0,91 + 0,5 \cdot 0,08 = 320,95 \text{ мм;} \\ A2_{min} = A2 + \Delta A2 - 0,5 \cdot IT_{A2} = 320 + 0,91 - 0,5 \cdot 0,08 = 320,87 \text{ мм.}$$

Произведём проверку цепи ΔA :

$$\Delta A^{max} = (A5^{max} + A6^{max} + A7^{max}) - (A1^{min} + A2^{min} + A3^{min} + A4^{min} + A8^{min}) = \\ = (38,39 + 314,81 + 44,39) - (33 + 320,87 + 33 + 3,86 + 3,86) = 3 \text{ мм.}$$

$$\Delta A^{min} = (A5^{min} + A6^{min} + A7^{min}) - (A1^{max} + A2^{max} + A3^{max} + A4^{max} + A8^{max}) = \\ = (38 + 314 + 44) - (33,025 + 320,95 + 33,025 + 4 + 4) = 1 \text{ мм.}$$

Расчетное значение замыкающего звена входит в диапазон заданного допуска звена $\Delta A = 2 \pm 1 \text{ мм.}$

Уравнение для размерной цепи ΔB :

$$\Delta B = A_6 - B_1 - B_2 - B_3 + B_4 = 314 - 82 - 134 - 90 - 12 = 20 \text{ мм};$$

Средний размер составляющих звеньев:

$$B_{\text{ср}} = (A_6 + B_1 + B_2 + B_3 + B_4) / 5 = (314 + 82 + 134 + 90 + 12) / 5 = 126,4 \text{ мм}.$$

Допуск на замыкающее звено $IT_{\Delta B} = 2 - 0 = 2 \text{ мм}$.

Величина среднего допуска второй размерной цепи: $IT_{\text{ср}\Delta B} = 2/5 = 0,4 \text{ мм}$.

Допуск на размер составляющих звеньев находится в пределах 12-го качества. Назначим по данному или ближайшему качеству допуск оставшимся звеньям этой цепи.

Величина ожидаемого поля рассеивания:

$$IT_{\Delta} = IT_{A_6} + IT_{B_1} + IT_{B_2} + IT_{B_3} + IT_{B_4} = \\ = 0,81 + 0,22 + 0,4 + 0,35 + 0,18 = 1,96 \text{ мм}.$$

Данное условие $TX_{\text{и}} \geq IT_{\Delta}$ выполняется.

Произведём проверку цепи ΔB :

$$\Delta B^{\text{max}} = (A_6^{\text{max}} + B_4^{\text{max}}) - (B_1^{\text{min}} + B_2^{\text{min}} + B_3^{\text{min}}) = \\ = (314,81 + 12,18) - (81,78 + 133,6 + 89,65) = 21 \text{ мм}.$$

$$\Delta B^{\text{min}} = (A_6^{\text{min}} + B_4^{\text{min}}) - (B_1^{\text{max}} + B_2^{\text{max}} + B_3^{\text{max}}) = \\ = (242 + 12) - (82 + 134 + 90) = 19 \text{ мм}.$$

Расчетное значение замыкающего звена входит в диапазон заданного допуска звена $\Delta B = 20 \pm 1 \text{ мм}$.

3.5. Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки электрической машины

Схема сборки позволяет отразить маршрут сборки изделия, выделить составные части изделия, которые можно собрать отдельно (организовать параллельную сборку составных частей); оценить предварительно трудоемкость сборки отдельных составных частей; иногда выявить конструктивные неувязки; выявить и сравнить варианты технологического процесса. Схема сборки приведена на рисунке 10.

В качестве базовой детали принимаем станину, т.к. зафиксировав ее в приспособлении, легко с обеих сторон производить сборку. Просовываем в

внутри статора ротор в сборе, т.е. предварительно на ротор одет внутренний фланец (поз.8) и напрессованы подшипники (поз.20), предварительно нагретые (горячая запрессовка). Далее на подшипники насаживаются щиты (поз.5 и 6) и скрепляются болтами об статор. Потом, смазав подшипник, стягиваем внешний (поз.7) и внутренний (поз.8) фланец болтами. Во избежание заклинивания, в следствие кривой посадки по вине сборщика или бракованных деталей, следует прокрутить вал в разные стороны по несколько раз. После можно надеть коробку выводов (поз.3), вентилятор (поз.9), закрепить его стопорным кольцом и надеть кожух (поз.4).

На основании выше сказанного заполним маршрутные карты (приложение 1).

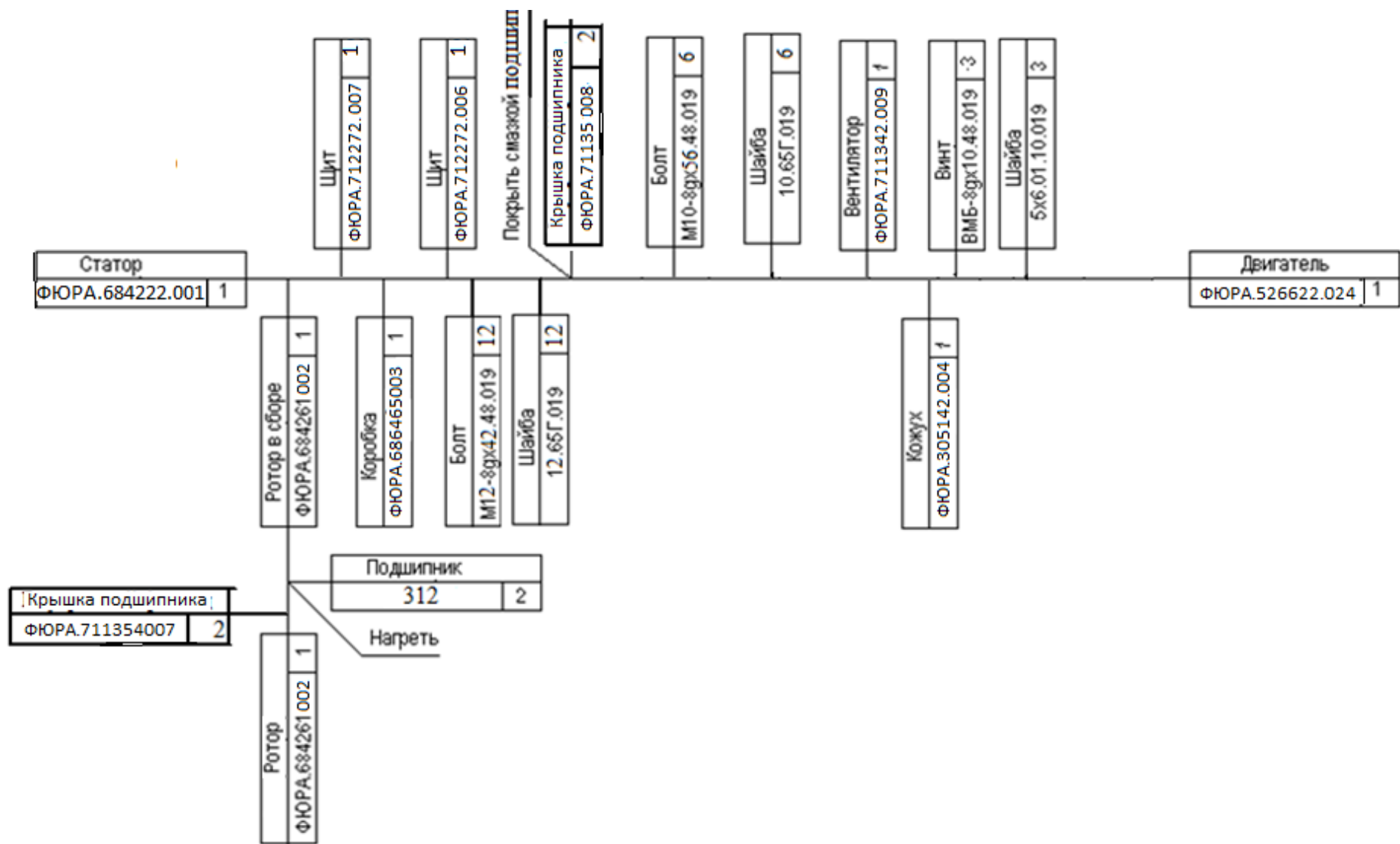


Рисунок 11-Схема сборки электродвигателя.

3.6. 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 инструмента

- для наворачивания гаек используем электрогайковёрт ИЭ 3113 наибольший диаметр резьбы 15мм, момент затяжки 125Н*м, масса 3,8кг, габаритные размеры 363×70×243 мм; питание от сети 220 В, 50Гц .
- для заворачивания винтов используем электровинтовёрт ИЭ 3606, наибольший диаметр резьбы 16мм, момент затяжки 15Н*м, габаритные размеры 320×70×130 мм; питание от сети 220 В, 50Гц.

Выбор подъемно-транспортных средств

- для транспортировки деталей, сборочных единиц и готовых изделий применим электрический погрузчик ЭП-103КАС, Г/П 1000 КГ;
- для подъёма, перемещения, опускания используем опорную кран-балку, г/п 1000кг, ГОСТ 22045.
- для хранения деталей, сборочных единиц и готовых изделий при транспортировании используем ящик размером 3000×2000×1000.

Статор и ротор собираются отдельно на автоматических линиях и поставляются на место общей сборки.

Выбор оборудования

- для обдува деталей и узлов от мелкого мусора применим промышленную линию сжатого воздуха, давлением 1кг/см²;
- для нагрева подшипников используем **индукционный нагреватель ТМ Easy therm HQ**;
- для сборки узлов изделия в целом применим механизированную конвейерную линию;
- для испытания двигателя на электрическую прочность, механическую прочность и работу в режимах холостого хода и короткого замыкания используем испытательный стенд СИП 800.

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

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

Штучным временем называют отношение времени выполнения технологической операции к числу изделий одновременно собираемых на одном рабочем месте.

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

Штучное время равно:

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

где T_o – основное(технологическое) время (см. нормативы в[8]);

T_v – вспомогательное время (см. нормативы в[8]);

$T_{об} = 0,05 T_{оп}$ – времяорганизационного обслуживания рабочего места;

$T_{п} = 0,03 T_{оп}$ – 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:

$$T_{оп} = T_o + T_v .$$

Основное время учитывает изменение состояния продукта производства в процессе сборки. Оно затрачивается на выполнение соединений, регулирование, пригонку сопрягаемых деталей, подбор и размерную сортировку деталей, подготовку деталей к сборке. При слесарных работах и сборке основное время нормируют по соответствующим нормативам[8].

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

Время организационного обслуживания рабочего места учитывает затраты времени на подготовку рабочего места к началу работы, замены инструмента в процессе работы, уборку рабочего места в конце смены, смазку и чистку сборочного оборудования и приспособлений и т.п.. Его определяют в

процентах от оперативного времени по нормативам (обычно в пределах 0,6-8%).

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

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

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/п,$$

где $T_{пз}=0,02T_{оп}$ – подготовительно заключительное время;

$п=N \times k/12=5500 \times 1,03/12=472$ шт/мес. – число изделий в партии;

$N=5500$ шт/год – годовая программа выпуска;

$k=1,03$ – коэффициент, учитывающий брак.

Подготовительно заключительным называют время, которое затрагивает сборщик на ознакомление с чертежом изделия, подготовку и наладку оборудования, приспособлений и инструментов, снятие и сдачу инструментов и приспособлений после выполненной работы и сдачу собранных изделий.

Согласно изложенному, приведём пример для операции на продувочном автомате (операция №5).

$T_o=0,08$ мин. – продуть детали и узлы сухим сжатым воздухом;

$T_v=0,06$ мин – осмотреть визуально брак, включить – выключить автомат;

$$T_{оп} = T_o + T_v = 0,08 + 0,06 = 0,14 \text{ мин}$$

$T_{об}=0,05$ $T_{оп}=0,05 \cdot 0,14=0,01$ мин – убрать мусор, протереть станок от пыли и замазученности.

$T_{п}=0,03$ $T_{оп}=0,03 \cdot 0,14=0,004$ мин – время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха.

$T_{пз}=0,02$ $T_{оп}=0,02 \cdot 0,14=0,003$ мин – ознакомиться с чертежом, сдать готовое изделие далее.

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{об} + T_{п} = 0,08 + 0,06 + 0,01 + 0,004 = 0,15 \text{ мин} \text{ – штучное время [8].}$$

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/п = 0,15 + 0,003/472 = 0,15 \text{ о.е.}$$

Аналогично рассчитаем другие операции и отобразим нормы времени по операциям в таблице 4.

Таблица 4- Расчет штучно - калькуляционного времени.

Переход	№ о п е р	То .	Т в.	Т о п .	Т о б .	Т п .	Т п з.	Т ш т.	Т ш т. к.
Продувка Автомат для продувки	5	0, 08	0, 0 6	0 , 1 4	0 , 0 1	0 , 0 0 4	0 , 0 0 3	0 , 1 5	0, 15
Установк а для нагрева	1 0	1, 00	0, 1 2	1 , 1 2	0 , 0 6	0 , 0 3	0 , 0 2	1 , 2 1	1, 21
Собрать двигатель в сборе Верстак	1 5	15 ,5 0	0, 2 0	1 5 , 7 0	0 , 7 9	0 , 4 7	0 , 3 1	1 6 , 9 6	16 ,9 6
Контроль формы и размеров	2 0	9, 3	0, 3	9 , 6	0 , 6 7	0 , 0 5	0 , 0 2 3	1 0 , 5	10 ,5

Испытан				2	1	0	0	2	
ия				0				1	21
двигателя	2	20	0,		,	,	,		
Испытате	5	,0	3	,	0	6	4	,	,9
льный		0	0	3	2	1	1	9	2
стенд				0				2	

Для определения количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий – 5500шт/год, нормы времени (табл.4), а эффективный годовой фонд времени работы одного станка при 40 – часовой рабочей неделе с двумя выходными можно рассчитать по формуле:

$$F_d = ((365 - V_d - P_d) \times 8) - P_{pd} \times Z \times K_p =$$

$$= ((365 - 104 - 14) \times 8) - 6 \times 1 \times 0,96 = 1891 \text{ часов,}$$

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

$P_d = 14$ – количество праздничных дней в году;

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

$K_p = 0,96$ – коэффициент, учитывающий время станка в ремонте;

$Z = 1$ – количество смен работы оборудования.

Расчётное число каждого из видов сборочного оборудования равно:

$$C_p = (T_{штк} \times N) / (60 \times F_d) .$$

Автомат для продувки (продувка):

$$C_{рв} = (0,15 \times 5500) / (60 \times 1891) = 0,008, \text{принимаем: } C_{рв} = 1;$$

Установка индукционного нагрева (нагрев подшипников):

$$C_{рв} = (1,21 \times 5500) / (60 \times 1891) = 0,064, \text{принимаем: } C_{рв} = 1;$$

Для верстака (собрать двигатель):

$$C_{рв} = (16,96 \times 5500) / (60 \times 1891) = 0,898, \text{принимаем: } C_{рв} = 1;$$

Для верстака (контроль формы и размеров)

$$C_{рв} = (10,5 \times 5500) / (60 \times 1891) = 0,555, \text{принимаем: } C_{рв} = 1;$$

Для испытательного стенда (испытание двигателя):

$$C_{рп} = (21,92 \times 5500) / (60 \times 1891) = 1,16, \text{принимаем: } C_{рп} = 2;$$

Таким образом коэффициент загрузки:

$$K_z = (C_p / C_{пр}) \times 100$$

Автомат для продувки:

$$K_{зв} = (0,008 / 1) \times 100 = 0,8 \%$$

Установка индукционного нагрева:

$$K_{зв} = (0,064 / 1) \times 100 = 6,4 \%$$

Для верстака (сборка двигателя):

$$K_{зв} = (0,898 / 1) \times 100 = 89,8 \%$$

Для верстака (контроль формы и размеров)

$$K_{зв} = (0,555 / 1) \times 100 = 55,5 \%$$

Для испытательного стенда:

$$K_{зв} = (1,16 / 2) \times 100 = 58 \%$$

Построим график загрузки оборудования (рисунок 10).

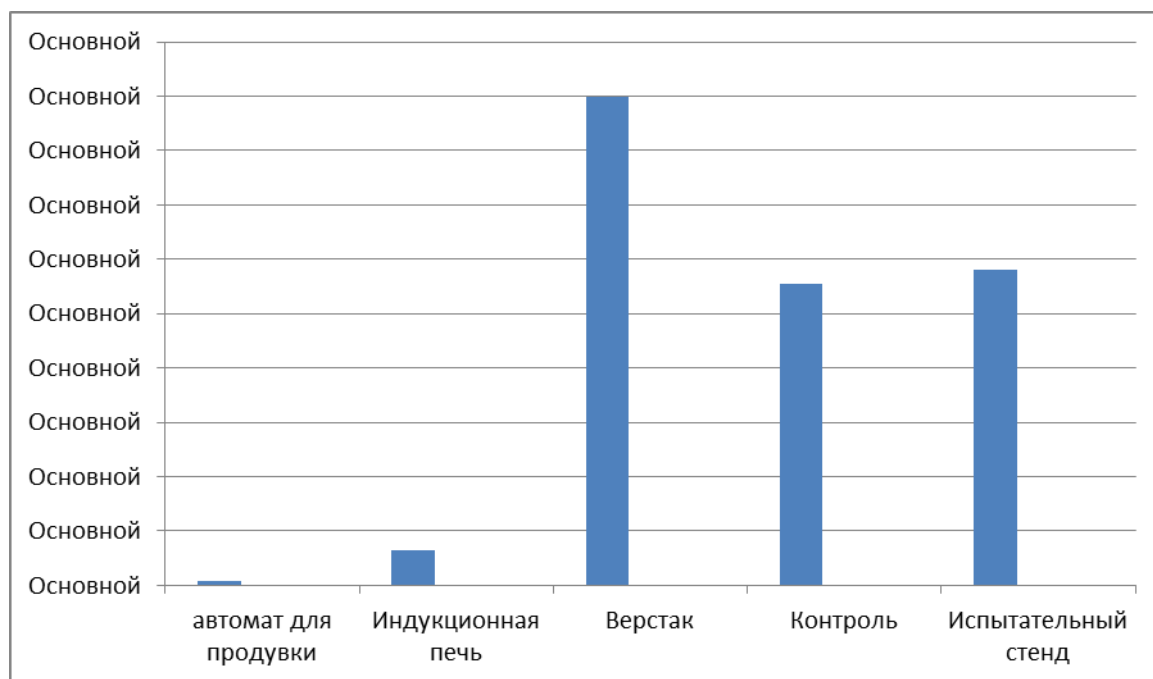


Рисунок 12-График загрузки оборудования.

В данном случае самым загруженным оборудованием является верстак, на котором собирается двигатель в количестве 1 штуки.

Из формулы $C_p = (T_{штк} \times N) / (60 + F_g)$ выразим N, подставив C_п вместо C_р.

$$N = (60 \times F_d \times C_p) / T_{штк} = (60 \times 1891 \times 1) / 16,96 = 6690 \text{ шт/год.}$$

Т.к. $6690 > 5500$, то программа выпуска выполняется.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

4.1 Общие сведения

Целью данной работы является составление сметы на проектирование асинхронного взрывозащищенного электродвигателя и расчет сметы затрат на электрооборудование участка эмалирования предприятия.

Капитальные вложения в электрооборудование – это в первую очередь, стоимость электрооборудования и стоимость строительно-монтажных работ.

Смета – это документ, определяющий окончательную и предельную стоимость реализации проекта. Смета служит исходным документом капитального вложения, в котором определяются затраты, необходимые для выполнения полного объема необходимых работ.

Исходными материалами для определения сметной стоимости строительства объекта служат данные проекта по составу оборудования, объему строительных и монтажных работ; прейскуранты цен на оборудование и строительные материалы; нормы и расценки на строительные и монтажные работы; тарифы на перевозку грузов; нормы накладных расходов и другие нормативные документы.

Решение о проектировании электродвигателя принимается на основе технико-экономического обоснования.

На основе утвержденного ТЭО заказчик заключает договор с проектной организацией на проектирование и выдает ей задание, которое содержит:

1. Генплан предприятия;
2. Расположение источника питания;
3. Сведения об электрических нагрузках;
4. План размещения электроприемников на корпусах;
5. Площадь корпусов и всей территории завода. Различают две стадии проектирования:

а) Технический проект; б) Рабочий чертеж.

Если проектируемый объект в техническом отношении не сложный, то обе стадии объединяются в одну – технорабочий проект.

4.2 Смета затрат на проектирование

Для того, чтобы выполнить расчет затрат на проектирование асинхронного электродвигателя в срок при наименьших затратах средств, составляется план-график, в котором рассчитывается поэтапная трудоемкость всех работ. После определения трудоемкости всех этапов темы, назначается число участников работы по этапам (таблица 5).

Таблица 5 – План разработки выполнения этапов проекта

№ п/п	Перечень выполненных работ	Исполнители	Прод-сть.	СЗП, руб.	ЗП, руб.
1	Ознакомление с производственной документацией.	Руководит	3	1722,	5168,4
		Инженер	3	987,4	2962,1
2	Расчет электромагнитной части	Инженер	8	987,4	7899,0
3	Расчет двигателя при однофазном	Инженер	7	987,4	6911,7
4	Построение картограммы нагрузок и	Инженер	1	987,4	987,4
5	Выбор оборудования. Технич-экономический расчет	Инженер	4	987,4	3949,5
6	Выбор оснастки	Руководит	1	1722,	1722,8
		Инженер	5	987,4	4936,9
7	Расчет производимого количества	Инженер	12	987,4	11848,
8	Оценка технологичности конструкции	Инженер	1	987,4	987,4
9	Расчет замыкающих звеньев	Инженер	2	987,4	1974,8
10	Размерный анализ конструкции методом	Руководит	2	1722,	3445,6
		Инженер	6	987,4	5924,3
11	Составление схемы сборки и	Инженер	1	987,4	987,4

12	Нормирование сборочных работ	Инженер	1	987,4	987,4
Продолжение таблицы 5					
13	Составление спецификации	Инженер	1	987,4	987,4
14	Составление карты эскизов	Инженер	2	987,4	1974,8
15	Составление расчетно-пояснительной	Руководит	2	1722,	3445,6
		Инженер	22	987,4	21722,
16	Чертежные работы	Руководит	2	1722,	3445,6
		Инженер	20	987,4	19747,
Итого по каждой должности		Руководит	10	1722,	17228,
		Инженер	96	987,4	94788,
Итого ФЗП сотрудников					11201

Затраты на разработку проекта

$K_{\text{пр}} = I_{\text{зп}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{со}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}}$, где $I_{\text{зп}}$ – заработная плата;

$I_{\text{мат}}$ – материальные затраты;

$I_{\text{ам}}$ – амортизация компьютерной техники; $I_{\text{со}}$ – отчисления на социальные нужды; $I_{\text{пр}}$ – прочие затраты;

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

1) Расчет зарплаты

а) Месячная зарплата научного руководителя

$$Z_{\text{п}}^{\text{им}} = Z_{\text{п}0} \cdot K_1 + D \cdot K_2 = (23300,0 + 2200,0) \cdot 1,3 = 36179,0 \text{ руб.}$$

где $Z_{\text{п}0}$ – месячный оклад;

D – доплата за интенсивность труда;

K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск;

K_2 – районный коэффициент (1,3 для Томской области).

Зарплата научного руководителя с учетом фактически отработанных дней

$$\Phi_{\text{н}} = \frac{З_{\text{П}}^{\text{мес}}}{21} \cdot n \cdot \frac{36179,0}{21} \cdot 10,0 = 17228,1 \text{ руб.}$$

где n – количество отработанных дней по факту.

б) Месячная зарплата инженера

$$\begin{aligned} \text{им} &= З_{\text{П}0} \cdot K_1 \cdot 14500,0 \cdot 1,10 \cdot 1,3 = 20735,0 \text{ руб.} \\ \text{ес} & \\ 3 & K_2 = \\ \text{П} & \end{aligned}$$

Зарплата инженера с учетом фактически отработанных дней

$$\Phi_{\text{и}} = \frac{З_{\text{П}}^{\text{мес}}}{21} \cdot n \cdot \frac{20735,0}{21} \cdot 96,0 = 94788,6 \text{ руб.}$$

Расчет для других сотрудников сведем в таблицу 7.2. в) Итого ФЗП сотрудников

$$\Phi_{\text{ЗП}} = 17228,1 + 94788,6 = 112016,7 \text{ руб.}$$

Расчет ФЗП приведен в таблице 6. Календарный план проекта и график занятости представлены на рисунке 16.

Таблица 6 – Расчет ФЗП

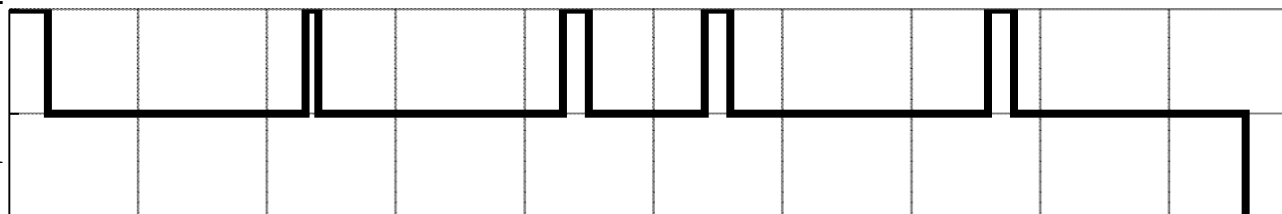
Должность	З _{П0} , руб	Д, руб	K ₁	K ₂	З _П ^{мес} , руб
Руководитель	23300,0	2200,0	1,10	1,3	36179,0
Инженер	14500,0	–	1,10	1,3	20735,0
Итого	37800,0	–	–	–	56914,0

																					Перечень выполняемых работ
																					Ознокмление с производственной документацией
																					Выбор оснастки
																					Размерный анализ
																					Составление расчетно-поясн.
																					Чертежные работы
Инженер																					Ознокмление с
																					Расчет электромагнитной части
																					Расчет двигателя при
																					Построение картограм
																					Выбор оборудования . Расчет
																					Выбор оснастки
																					Расчет производимого кол-ва
																					Оценка технологичности
																					Расчет замыкающих звеньев
																					Составление схемы сборки и
																					Нормирование сборочных
																					Составление спецификации
																					Составление карты эскизов
																					Составление расчетно
																					Чертежные работы

n, чел

2

1



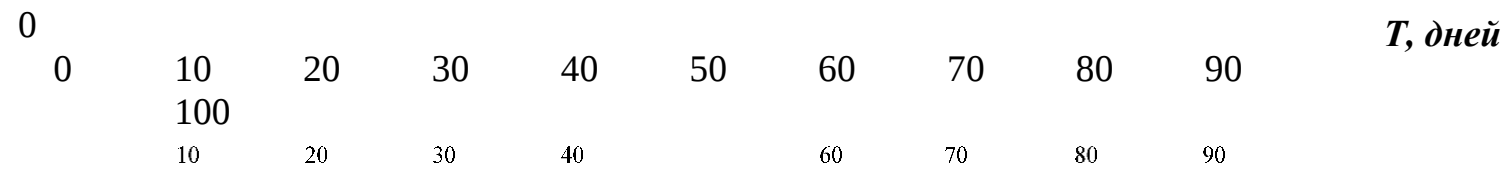


Рисунок 16— Календарный план проекта и график занятости в выполнении проекта

2) Материальные затраты

Таблица 7 – Затраты на материалы

Материалы	Количество	Цена за единицу	И _м , руб
Флеш память	2	600,0	1200,0
Упаковка бумаги А4 500	2	220,0	440,0
Канцтовары	–	850,0	850,0
Картридж для принтера	1	2000,0	2000,0
Итого И _{мат} , руб	–	–	4490,0

3) Амортизация основных фондов

Основной объем работы был произведен на персональных компьютерах.

$$И_{ам} = \frac{T_{исп} \cdot Ц_{КТ}^1}{\frac{T_{кал}}{T_{сл}}} = \frac{48}{1} \cdot 32000,0 \cdot \frac{1}{32000,0} = 841,6 \text{ руб.}$$

где $T_{\text{исп.КТ}}$ – время использования компьютерной техники на проект;

$T_{\text{кал}} = 365$ – годовой действительный фонд рабочего времени используемого оборудования;

$Ц_{\text{КТ}}$ – первоначальная стоимость оборудования, руб;

$T_{\text{сл}}$ – срок службы компьютерной техники (время окупаемости 5 лет).

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 8.

Таблица 8 – Амортизация основных фондов

Оборудование	Стоимость руб	Количество	$T_{\text{э}}$, дней	$I_{\text{ам}}$, руб
Компьютер	32000,0	1	48	841,6
Принтер	4000,0	1	10	21,9
Итого $I_{\text{ам}}$, руб	–	–	–	863,6

4) Отчисления на социальные нужды (соц. страхование, пенсионный фонд, мед. страховка) в размере 30% от ФЗП

$$I_{\text{со}} = 0,3 \cdot 112016,7 = 33605,0 \text{ руб.}$$

5) Прочие расходы (услуги связи, затраты на ремонт оборудования...) в размере 10% от ФЗП, затрат на материалы, амортизации и отчислений на социальные нужды

$$I_{\text{пр}} = 0,1 \cdot \text{ФЗП} + I_{\text{м}} + I_{\text{ам}} (+ I_{\text{со}} = 0,1 \cdot (112016,7 + 4490,0 + 863,6 + 33605,0) = 15097,5 \text{ руб.}$$

6) Накладные расходы (затраты на отопление, свет, обслуживание помещений...)

$$I_{\text{накл}} = 2,0 \cdot \text{ФЗП} = 2,0 \cdot 112016,7 = 224033,3 \text{ руб.}$$

7) Затраты на разработку проекта

$$\begin{aligned} K_{\text{пр}} &= \text{ФЗП} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{со}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}} = \\ &= 112016,7 + 90,0 + 863,6 + 33605,0 + 15097,5 + 224033,3 = 390106,1 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Расчет сметы затрат разработку проекта сведем в таблицу 9.

Таблица 9 – Калькуляция сметной стоимости на выполнение проекта

№ статьи	Наименование статей расхода	Сумма, руб.
1	ФЗП	112016,7
2	Материалы $I_{\text{мат}}$	4490,0
3	Амортизация основных фондов	863,6
4	Социальные отчисления $I_{\text{со}}$	33605,0
5	Прочие расходы $I_{\text{пр}}$	15097,5
6	Накладные расходы $I_{\text{н}}$	224033,3
Цена проекта $K_{\text{пр}}$, руб		390106,1

4.3 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ

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

1. Выбор базового образца, аналогичного по назначению и условиям эксплуатации с оцениваемой продукцией.
2. Определение перечня нормативных, технических и экономических параметров, подлежащих исследованию (показать в таблице).
3. Сравнение (по каждой из групп параметров) имеющихся параметров с соответствующими параметрами потребности, необходимыми для заказчика (потребителя). Инструментом сравнения является единичный показатель, представляющий собой отношение величины параметра рассматриваемого изделия к величине этого же параметра, необходимого покупателю.
4. Подсчет группового показателя на основе единичных показателей. Групповой показатель выражает различие между анализируемыми изделиями по всем группам параметров в целом.

Общими и методологическими принципами при соблюдении данной схемы анализа являются учет предельности отдельных элементов потребности,

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

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

$$q = \frac{P}{P_{100}} p \quad ,$$

где q - параметрический показатель;

P - величина параметра реального изделия;

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

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

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

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i d_i \quad \text{где } Q - \text{групповой технический показатель (по техническим параметрам); } q_i - \text{единичный параметрический показатель по } i\text{-му параметру;}$$

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

Показатель конкурентоспособности нашего изделия по отношению к изделию другой фирмы $k_{ТП}$ будет равен

$$k_{ТП} = \frac{Q_H}{Q_K}$$

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

$Q_H, Q_K \sim$ соответствующие групповые технические показатели нового и конкурирующего изделия.

$$K_{ТП} = 0,717/0,668 = 1,073$$

Данные для оценки конкурентоспособности разрабатываемого новшества приведены в таблице 10 .

Таблица 10 - Оценка технического уровня новшества.

№ п/п	Характеристики	Вес d_i	Новшества		Конкурент	
			D_i	P_i	P_i	Q_i
1	Коэффициент полезного действия %	0,138	91,3	0,936	92	0,940
2	Коэффициент мощности $\cos\varphi$ %	0,207	92,2	0,971	90	0,947
3	Номинальный ток А	0,172	0,012	0,317	0,011	0,218
4	Степень защиты IP	0,155	54	0,647	54	0,647
Итого				0,717		0,668

Таблица 11- Матрица предпочтений

№ п/п	Наименование	1	2	3	4	5	6	Сума $\sum_{ij}$	d_i
1	Коэффициент полезного действия	0,5	1	1	0,5	1	1	4	0,138
2	Коэффициент мощности $\cos\varphi$	1,5	0,5	1,5	1	1,5	1	6	0,207
3	Номинальный ток	1	1,5	0,5	1	1	1	5	0,172
4	Степень защиты	1	0,5	1	1	1	1	4,5	0,155

4.4. Вывод: В итоге по оценке конкурентоспособности новшества видно, что разработанный нами асинхронный электродвигатель не только не уступает конкурентам, но и превосходит по техническим показателям на 1,073раза. Также затраты на производство обойдутся дешевле что делает наш продукт конкурентоспособным на рынке.

5. Социальная ответственность

5.1. Введение

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

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на работника, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды во время технологического процесса общей сборки взрывозащищенного асинхронного двигателя для химической промышленности.

Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование, инструменты и приспособления: верстак, нагреватель SKF TИH100m, кран-балка Q-3 т.с., пневмопресс МХ-145, шпильковерт, молоток 7805-0103 ГОСТ 2310-77. Технологический процесс сборки включает в себя работу с механизированным ручным инструментом с устройством продувки деталей и транспортными приспособлениями.

5.2 Анализ опасных и вредных факторов

Вопросы безопасности труда имеют особое значение. Обеспечению безопасных, здоровых и высокопроизводительных условий труда на производстве уделяется большое внимание.

Следует четко осознавать, что наличие источника опасности не означает того, что человеку или группе людей присущи какие-то недостатки. Существование источника опасности свидетельствует всего лишь о существовании или же возможности образования конкретной опасной ситуации, которая может нанести вред, привести к материальным убыткам, повреждению, вреда здоровью или летальному исходу.

На человека в процессе его трудовой деятельности могут воздействовать опасные (вызывающие травмы) и вредные (вызывающие заболевания) производственные факторы.

Опасными факторами называют такие факторы жизненной среды, которые приводят к травмам, ожогам, обморожениям, другим повреждениям организма или отдельных его органов и даже внезапной смерти. Например как движущиеся машины и механизмы; различные подъемно-транспортные устройства и перемещаемые грузы; незащищенные подвижные элементы производственного оборудования (приводные и передаточные механизмы, режущие инструменты, вращающиеся и перемещающиеся приспособления).

Вредными факторами принято называть такие факторы жизненной среды, которые приводят к ухудшению самочувствия, снижения работоспособности, заболевания и даже смерти как следствие заболевания. Например, как повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; высокая влажность и скорость движения воздуха; повышенные уровни шума, вибрации. К вредным физическим факторам относятся также запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; недостаточная освещенность рабочих мест, проходов и проездов; повышенная яркость света и пульсация светового потока.

В цеху общей сборки существуют следующие опасные факторы:

1. Подвижные части кран балки;
2. Поражение электрическим током;
3. Механические травмы, при слесарно-сборочных работах;

Вредные факторы, которые приводят к нарушению нормального режима работы, относятся:

- Опасные пары, выделяемые при сварочных и газорезочных работах;
- отклонение параметров микроклимата на участке общей сборки асинхронного двигателя от установленных норм;
- шум, при работе с ручным механизированным инструментом;

- вибрация, при работе с ручным механизированным инструментом;
- недостаточная освещенность рабочей поверхности;
- химические вещества.

5.3 Техника безопасности

Техника безопасности на рабочем месте в цехе общей сборки включает в себя: проведение первичного и очередного инструктажей, стажировку на рабочем месте, выполнение работ в специальной одежде (костюм ХБ; перчатки ХБ вязанные; ботинки кожаные с металлическим носком; рукавицы комбинированные). Перед началом работы необходимо получить краткие теоретические знания по электробезопасности.

При окончании работы необходимо произвести уборку рабочего места, сдать смену – сообщить сменному мастеру или сменщику обо всех недостатках, обнаруженных в оборудовании и инструментах.

При получении травмы или недомогания нужно немедленно обратиться в медпункт и по возможности в течение суток сообщить мастеру или начальнику цеха.

В последние годы существенно возросла актуальность проблемы электробезопасности. По статистике 3 % от общего числа травм приходится на электротравмы, в среднем по всем отраслям промышленности и хозяйства - 12% смертельных электротравм от числа смертельных случаев.

Проходя через организм, электрический ток оказывает следующие воздействия: термическое (нагревает ткани, кровеносные сосуды, нервные волокна и внутренние органы вплоть до ожогов отдельных участков тела); электролитическое (разлагает кровь, плазму); биологическое (раздражает и возбуждает живые ткани организма, нарушает внутренние биологические процессы).

Характерными причинами несчастных случаев, вызванных поражением электрическим током, являются:

- случайные прикосновения людей к оголенным проводам и оборванным концам воздушной сети, находящейся под напряжением;
- появление напряжения там, где его в нормальных условиях не должно быть;
- выполнение работ на распределительных устройствах и транспортных подстанциях без отключения напряжения и без соблюдения необходимых мер безопасности;
- неудовлетворительное ограждение токоведущих частей установок от случайного прикосновения;
- устройство электропроводки и осуществление ремонтных работ на воздушных сетях, находящихся под напряжением;
- неудовлетворительное заземление электропроводок при их эксплуатации;
- производство электросварочных работ без соблюдения правил безопасности;
- несогласование и ошибочное действие обслуживающего персонала, например, подача напряжения, где работают люди;
- оставление электроустановок без надзора;
- несоблюдение элементарных требований безопасности;
- шаговое напряжение;
- освобождение человека, находящегося под напряжением;
- действие электрической дуги;
- воздействие атмосферного электричества во время грозových разрядов.

В соответствии с ГОСТ 12.1.009—76 ССБТ «Электробезопасность. Термины и определения» в качестве средств и методов защиты от поражения электрическим током применяют:

- изоляцию токоведущих частей (нанесение на них диэлектрического материала — пластмасс, резины, лаков, красок, эмалей и т.п.);
- двойную изоляцию — на случай повреждения рабочей;
- воздушные линии, кабели в земле и т.п.;

- ограждение электроустановок;
- блокировочные устройства, автоматически отключающие напряжение электроустановок, при снятии с них защитных кожухов и ограждений;
- малое напряжение (не более 42 В) для освещения в условиях повышенной опасности;
- изоляцию рабочего места (пола, настила);
- заземление или зануление корпусов электроустановок, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляций;
- выравнивание электрических потенциалов;
- автоматическое отключение электроустановок;
- предупреждающую сигнализацию (звуковую, световую) при появлении напряжения на корпусе установки, надписи, плакаты, знаки;
- средства индивидуальной защиты и другие.

К работе с электрооборудованием допускаются люди прошедшие теоретический курс. Осуществлять работу необходимо в спецодежде. Токоведущие части оборудования должны быть закрыты от общего доступа защитными кожухами, независимыми корпусами от токоведущей части. При ремонтных и монтажных работах устанавливаются защитные ограждения и вывешиваются предупреждающие плакаты. Все электроустановки должны быть заземлены.

Во время работы не допускается загромождать рабочее место деталями.

5.4 Расчет искусственного освещения

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

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

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

Основным источником света, как для общего, так и для комбинированного освещения, являются люминесцентные лампы: ЛБ.

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

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

Осветительные приборы:

- Люминесцентные лампы - открытые двухламповые светильники типа ОДО - для нормальных помещений с хорошим отражением стен и потолка; их применение допускается при умеренной влажности и запыленности

- Светильники ПВЛ - являются пылевлагозащищёнными, пригодны для некоторых пожароопасных помещений. Мощность лампы 2×40 Вт.

- Плафоны потолочные - для общего освещения закрытых, сухих помещений:

1. Л71ВОЗ - мощность лампы 10×30 Вт;

2. Л71В84 - мощность лампы 8×40 Вт.

Полученная из СНиП 23-05-95 [12] величина освещённости корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп освещённость снижается.

Таблица 12 – Значения коэффициентов запаса

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

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

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

Расчет искусственного освещения:

Система освещения производственных помещений:

- Общее равномерное освещение лампами накаливания;

Тип светильника:

- Универсальный без затемнителя;

Выполняемые работы имеют высокую точность и относятся к 1 категории.

$$E_n = 2000 \text{ Ёё}$$

Размеры производственного помещения:

- высота $h = 6 \text{ м}$;
- длина $l = 48 \text{ м}$;
- ширина $b = 9 \text{ м}$.

Площадь помещения:

$$S = l \cdot b = 48 \cdot 9 = 432 \text{ м}^2$$

Величину минимально допустимой табличной освещенности: $E_n = 100 \text{ Ёё}$.

По условию слепящего действия высота подвеса светильника над полом: 5 м.

Свес светильника: $h_e = 1 \text{ м}$.

Тогда высота подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h_{\delta} = h - h_n - h_a,$$

где h_c – высота свеса светильника;

h_b – высота рабочей поверхности;

$$h_b = 0,8 \text{ м}.$$

$$h_{\delta} = 6 - 1 - 0,8 = 4,2 \text{ м.}$$

Произведем предварительную разметку светильников.

Расстояние между светильниками L определяется, как выгоднейшее:

$$\frac{L}{h} = 1,1$$

$$L = 1,1 \cdot 4,2 = 4,64 \text{ м}$$

Устанавливаем светильники:

- по длине (отступив от стен 2 м) на расстоянии 4,4 м.

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

В результате разметки принимаем 20 светильников.

Для определения коэффициента использования находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h_{\delta} \cdot (l + b)} = \frac{432}{4,2 \cdot (48 + 9)} = 1,8.$$

Коэффициент использования: $\eta = 0,43$.

Расчетный световой поток:

$$F = \frac{E_n \cdot k \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta}$$

где k - коэффициент запаса, $k = 1,3$;

Z - коэффициент учитывающий отклонение от средней величины,

$Z = 1,1$.

$$F = \frac{100 \cdot 1,3 \cdot 432 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,43} = 7183 \text{ Ёл}.$$

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

Чтобы сохранить световой поток неизменным, применяем коэффициент постоянства освещенности:

$$\hat{e}_i = \frac{F_{\delta}}{F_{\phi}} = \frac{7183}{8100} = 0,88.$$

Уточняем количество светильников с учетом коэффициента:

$$\tilde{N} = 20 \cdot 0,88 = 17,7 \text{ шт.}$$

Окончательно принимаем 18 светильников. Проводим окончательную разметку светильников с учетом уточнения:

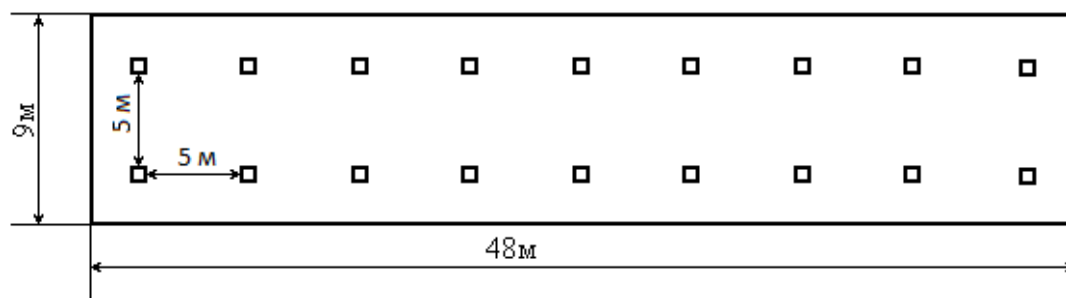


Рисунок 17 – План помещения в масштабе.

Рассчитав искусственное освещение можно с уверенностью сказать, что оно обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности и высокого качества освещения, ограничивает ослеплённость и необходимую направленность света на рабочие места.

5.5 Производственная санитария

Производственная санитария — это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов. (Согласно ГОСТ 12.0.002-80). Основными опасными и вредными производственными факторами являются: повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; повышенная или пониженная влажность и подвижность воздуха в рабочей зоне; повышенный уровень шума; повышенный уровень вибрации; недостаточная освещенность рабочей зоны.

Пыль - мельчайшие твердые частицы, способные некоторое время находиться в воздухе во взвешенном состоянии. Образуется при рытье коммуникационных линий, монтаже зданий, отделочных работах, очистке поверхностей и др. Одна из основных характеристических величин пыли - скорость витания частиц, то есть скорость их осаждения под действием силы тяжести в невозмущенном

воздухе. В зависимости от состава пыли изменяется ее вредность; к примеру, наиболее вредным для человека считается диоксид кремния SiO₂, который вызывает такое заболевание, как силикоз.

Выявим способы защиты от пыли на производстве. Это максимальная механизация, модернизация и автоматизация производственных процессов; применение герметического оборудования для транспортировки пылящих материалов; использование увлажненных сыпучих материалов; применение эффективных аспирационных установок, что позволит удалять отходы и пыль; тщательная и систематическая пылеуборка помещений с помощью современных средств; применение в качестве средств индивидуальной защиты респираторов, очков.

Значения оптимальных и допустимых норм микроклимата в рабочей зоне производственных помещений представлены в таблице 13.

Таблица 13– Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений [ГОСТ 12.1.005-88]

Сезон года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальное	Допустимое	Оптимальное	Допустимое	Оптимальное	Допустимое
Холодный	Средней тяжести, IIб	17 – 19	15 – 22	40 – 60	15 – 75	0,2	0,2 – 0,5
Тёплый	Средней тяжести, IIб	19 – 21	16 – 27	40 – 60	15 – 75	0,3	0,2 – 0,5

Шум относится к вредным факторам производства, как и звук, возникает при механических колебаниях в твердых, жидких и газообразных средах. Шумом являются различные звуки, мешающие нормальной деятельности человека и вызывающие неприятные ощущения. Звук представляет собой колебательное движение упругой среды, воспринимаемое человеческим органом слуха.

Повышение звукового давления негативно влияет на орган слуха; для измерения громкости (в децибелах Дб) используется двушкальный шумомер.

Таблица 14 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА.

Категория напряженности	Категория тяжести трудового процесса				
трудо- вого процесса	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

В цехах допускается громкость около 100 Дб; в кузнечных цехах эта цифра возрастает до 140 Дб. Громкость выше 140 Дб может вызвать болевой эффект.

В качестве защиты от шума и звука следует применять нормирование; некоторые технические тонкости, звукоизоляцию, звукопоглощение, специальные глушители аэродинамического шума, средства индивидуальной

защиты (наушники, беруши, противошумные каски, специальная противошумная одежда).

Освещение тоже является производственным фактором, характеризуется такими показателями, как световой поток (определяется мощностью лучистой энергии), освещенность, яркость, сила света. Опасно тем, что при пере- или недозировке определенного количества люкс, ватт, кандел возможно испортить, а то и потерять зрение.

Основные требования, предъявляемые к производственному освещению, это соответствие освещенности характеру зрительной работы (т.е. соответствующее увеличение освещенности рабочих поверхностей), достаточно равномерное распределение яркости (для того, чтобы глазам не приходилось переадаптироваться), отсутствие резких теней на рабочей поверхности (уменьшает утомление зрения), отсутствие блёскости (слепящего действия света), постоянство освещенности во времени, обеспечение электро-, взрыво- и пожаробезопасности. Эти требования могут быть соблюдены при правильном выборе типа и системы производственного освещения, которые подразделяются на: естественное (дневной свет), искусственное (электрические источники), смешанное (естественное дополняет искусственное, что является наиболее экономичным и разумным), общее (вся территория; равномерно), комбинированное (локально, обособленные рабочие поверхности), аварийное (при недопущении перерывов в работе), эвакуационное (в местах эвакуации и повышенного травматизма).

Выбор источника света зависит от освещаемого предмета или территории.

Различают два вида источников света: тепловое (лампы накаливания и галогенные лампы накаливания) и люминесцентное (всем известные длинные трубчатые газоразрядные лампы).

Химические вещества делятся на твердые яды (свинец Pb, мышьяк Sn, некоторые виды красок) и жидкие и газообразные яды (оксид углерода, бензин,

бензол, сероводород, ацетилен, спирты, эфир и др.). По характеру токсичности их можно подразделить на:

1) едкие (серная кислота HCl , соляная кислота H SO , оксид хрома CrO и др.);

2) действующие на органы дыхания (двуокись серы SO , кремниевый оксид SiO , аммиак NH и др.);

3) действующие на кровь (CO , мышьяковистый водород и др.);

4) действующие на нервную систему (спирты, эфир, углеводороды).

ГОСТ 12.1.007-76 устанавливает 4 класса опасности:

-чрезвычайно опасные (предельно допустимая концентрация $\text{ПДК} < 0.1 \text{ мг/м}^3$);

-высоко опасные ($0.1 < \text{ПДК} < 1.0 \text{ мг/м}^3$);

-умеренно опасный ($1.0 < \text{ПДК} < 10.0 \text{ мг/м}^3$);

-малоопасный ($\text{ПДК} > 10.0 \text{ мг/м}^3$).

Все эти вещества отравляют местную среду на производстве. Так, например, повышается канцерогенное воздействие, а газообразные вещества могут привести к летальному исходу рабочих (метиловый спирт – к слепоте).

Контроль за концентрацией вредных веществ осуществляется санэпидстанциями, а также при помощи экспрессных и автоматических методов (всевозможные газоанализаторы, хроматографы и иные современные приборы). Снижения влияния ядовитых веществ можно добиться при максимальной механизации и автоматизации производства, модернизации технического оборудования, эффективной вентиляции (как местной, так и общей обменной).

5.6 Чрезвычайная ситуация

Участок общей механической обработки асинхронного двигателя согласно НПБ 105-03 относится к категории «Д», т.е. это производство, в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Пожары наносят громадный материальный ущерб и в ряде случаев сопровождаются гибелью людей. Поэтому защита от пожаров является важнейшей обязанностью каждого члена общества и проводится в общегосударственном масштабе.

Противопожарная защита имеет своей целью изыскание наиболее эффективных, экономически целесообразных и технически обоснованных способов и средств предупреждения пожаров и их ликвидации с минимальным ущербом при наиболее рациональном использовании сил и технических средств тушения.

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

Причины пожара:

- 1) Нарушение технологического режима;
- 2) Неисправность электрооборудования;
- 3) Плохая подготовка к ремонту оборудования;
- 4) Самовозгорание промасленной ветоши и других материалов.

Источниками воспламенения могут быть открытый огонь технологических установок, раскаленные или нагретые стенки аппаратов и оборудования, искры электрооборудования, статическое электричество, искры удара и трения деталей машин и оборудования и др.

А также нарушение норм и правил хранения пожароопасных материалов, неосторожное обращение с огнем, использование открытого огня факелов, паяльных ламп, курение в запрещенных местах, невыполнение противопожарных мероприятий по оборудованию пожарного водоснабжения, пожарной сигнализации, обеспечение первичными средствами пожаротушения и др.

Производственные, административные, вспомогательные и складские здания, сооружения и помещения, а также открытые производственные площадки или участки должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения в соответствии с действующими нормами, устанавливаемыми отраслевыми правилами пожарной безопасности.

К первичным средствам пожаротушения относятся все виды переносных и передвижных огнетушителей, оборудование пожарных кранов, ящики с порошковыми составами (песок, перлит и т.п.), а также огнестойкие ткани (асбестовое полотно, кошма, войлок и т.п.).

Первичные средства пожаротушения должны размещаться в легкодоступных местах и не должны быть помехой и препятствием при эвакуации персонала из помещений.

На производстве применяются углекислотные огнетушители предназначенные.

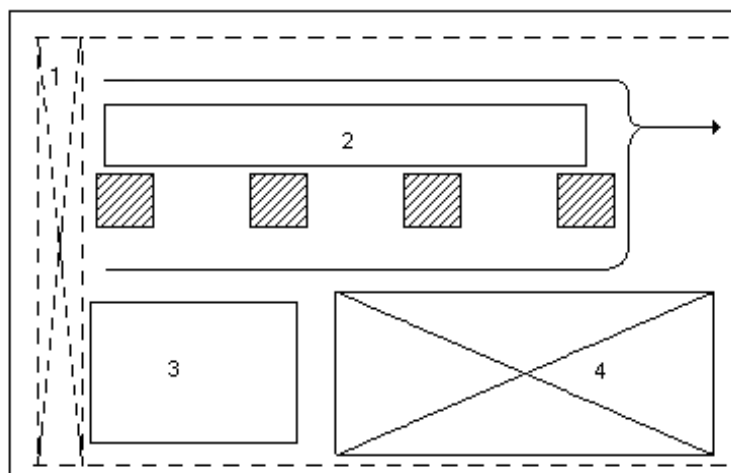


Рисунок 18-План Эвакуации.

1-кран-балка, 2-верстак для сборки двигателей, 3-испытательный стенд.

4-места складирования.

для тушения загорания различных веществ и материалов, а также электроустановок, кабелей и проводов, находящихся под напряжением до 1 кВ (1000 В).

Допускается установка огнетушителей в тумбах или шкафах, конструкция которых должна позволять визуально определить тип огнетушителя и осуществить быстрый доступ к нему для использования при пожаре.

Каждый работающий на объединении должен знать пути эвакуации из помещения и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения.

5.7 Охрана окружающей среды

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

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

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

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

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

В процессе выполнения раздела, безопасность и экологичность проекта, выпускной квалификационной работы, провели анализ вредный и опасных факторов присутствующих на предприятии, воздействующих на работника, при сборке взрывозащищенного асинхронного двигателя для привода вентилятора местного проветривания, дали оценка условий труда.

Рассмотрели, какие из этих факторов присутствуют в цеху общей сборки, и какие из этих приводят к нарушению нормального режима работы.

Также в процессе работы выделили, что относится к производственным факторам, дали им краткую характеристику, выявили способы защиты и предъявили оптимальные и допустимые нормы в виде таблиц или диапазонов.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Перв. примен.		Справ. №		Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	
Формат	Зона	Поз.	Обозначение			Наименование			Кол.	Примечание			
						<u>Документация</u>							
A3			ФЮРА.525622.024 СБ			Сборочный чертёж							
						<u>Сборочные единицы</u>							
		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				
						<u>Детали</u>							
		5	ФЮРА.712272.005			Щит подшипниковый			1				
		6	ФЮРА.712272.006			Щит подшипниковый			1				
		7	ФЮРА.711354.007			Крышка подшипника			2				
		8	ФЮРА.711354.008			Крышка подшипника			2				
		9	ФЮРА.711342.009			Вентилятор			1				
		10	ФЮРА.754312.010			Табличка фирменная			1				
						<u>Стандартные изделия</u>							
		11				Болт М12-8gx60.48.008			6				
						ГОСТ 7798-70							
		12				Шайба 12.05.019			6				
						ГОСТ 6958-78							
						ФЮРА525622.024							
			</										

[illegible]

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы был спроектирован трехфазный асинхронный двигатель для химической промышленности агрегата мощностью $P_{2H} = 22$ кВт, частотой вращения $n = 3000$ об/мин, числом полюсов $2p = 2$, напряжением $U_n = 380$ В.

В электромагнитном расчете были выбраны главные размеры, определены параметры двигателя, рассчитаны рабочие и пусковые характеристики, масса активных материалов, а также потери и КПД.

Обмотка статора выбрана двухслойной, катушечной из жестких секций. Для обмотки статора применена изоляция класса F, которая допускает длительный нагрев обмотки статора до 125^0 С. Короткозамкнутая обмотка ротора – литая из алюминия.

Тепловой расчет показал, что у двигателя имеется температурный запас в 10% при нагреве обмотки статора, а вентилятор обеспечивает расход воздуха почти с трехкратным запасом.

При выполнении технологической части выпускной квалификационной работы была разработана технология общей сборки АД с к.з. ротором. **Произведена разработка маршрутной карты.** Рассчитаны размерные цепи, оценена технологичность конструкции АД. Выбрано оборудование и оснастка. Определены нормы времени и необходимое количество оборудования для выполнения требуемой программы выпуска.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ опасных и вредных факторов. Освещены вопросы, связанные с чрезвычайной ситуацией, охраной окружающей среды. Произведен расчет освещения. По результатам которого можно с уверенностью сказать что оно обеспечивает возможность нормальной производственной производительности и высокого качества освещения, ограничивает ослепленность и необходимую направленность света на рабочие места.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» освещены вопросы технико-экономического обоснования производства асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Произведена

оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения инженерных решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В специальной части была рассмотрена работа асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в однофазном режиме. Произведены расчеты вспомогательной обмотки и пускового режима при схеме включения двигателя с постоянно включенной емкостью. По которым видно что при однофазном питании полезная мощность составила чуть больше половины полезной мощности при трехфазном питании.

В целом спроектированный трехфазный асинхронный взрывозащищенный двигатель для химического производства удовлетворяет требованиям, определенным заданием.

Conclusion

During execution of the qualification work was designed three-phase induction motor for chemical industry Assembly capacity $P_2H = 22 \text{ kW}$, rotation speed $n = 3000 \text{ rpm}$, number of poles $2P = 2$, the voltage $u_n = 380 \text{ V}$.

In the electromagnetic calculation was selected main dimensions defined by parameters of the engine, designed working and starting characteristics, weight of active materials, as well as losses and efficiency.

The stator winding of the selected two-layer coil of rigid sections. For the stator winding used class F insulation, which permits prolonged heating of the stator winding to 1250 C . squirrel-Cage winding of the rotor is cast from aluminum.

Thermal calculation showed that the engine has a temperature margin of 10% upon heating of the stator winding, and the fan provides air flow with almost a threefold margin.

When you execute the technological part of the qualification work was developed the technology of General Assembly of AD with K. z. rotor. Performed the development of the route map. Designed dimensional chain, evaluated manufacturability of design HELL. Selected equipment and tooling. The standards of the time and required equipment to perform the required program release.

In the section "Social responsibility" the analysis of dangerous and harmful factors. The questions associated with emergency, protection of the environment. The calculation of lighting. The results of which we can confidently say that it provides the possibility of normal production performance and high quality lighting, limits osleplennost and the necessary focus of light on jobs.

In the section "Financial management, resource efficiency, and resource saving" the questions of feasibility study of production of asynchronous motor with squirrel-cage rotor. Evaluated commercial potential and prospects of the engineering solutions from the standpoint of resource efficiency and resource conservation.

In a special two-part article describes the work of the asynchronous motor with squirrel-cage rotor single-phase mode. The calculations of the auxiliary winding and the starting mode when the circuit of the motor with full-time capacity. Which can be seen when single-phase power useful power amounted to little more than half of the usable power in three-phase power.

In General, the designed three-phase asynchronous explosion proof motor for chemical production meets 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 04.16
17. Сайт <http://www.vetc.ru/> дата обращения 04.16