

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

Институт Электронного обучения Направление подготовки
 (специальность) 140601.65 «Электромеханика» Кафедра ЭКМ

УТВЕРЖДАЮ :
 Зав. кафедрой

_____ (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломный проект

Студенту:

Группа	ФИО
К-7302	Эйиigitов Сардор Пулатович

Тема работы:

Разработка асинхронного двигателя короткозамкнутым ротором с пристроенным тормозным устройством

Утверждена приказом директора (дата, номер)	20.04.2016, 3088/с
---	--------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2016 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Мощность 4 кВт; число фаз 3; напряжение питания 220/380 В; высота оси вращения 100 мм; частота вращения 1500 об/мин; степень защиты IP 54; способ монтажа IM1001; система охлаждения IСО141.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования,</i></p>	<p>1 Электромагнитный расчет электродвигателя. 2. Специальная часть. 3. Технологический процесс сборки статора электродвигателя. 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоэффективность асинхронного электродвигателя. 5. Безопасность технологического процесса сборки</p>

конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	асинхронного электродвигателя.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Сборочный чертеж двигателя 2. Рабочие характеристики 3. Пусковой характеристика 4. Лист статора 5. Сборочный чертеж статора 6. Технологическая часть.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Электромагнитный расчет, специальная часть»	Усачева Т.В.
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Кузьмина Н.Г.
«Социальная ответственность»	Сечин А.А.
«Технологическая часть»	Баранов П.Р.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.02.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Усачева Татьяна Владимировна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
К-7302	Эрйигитов Сардор Пулатович		

Запланированные результаты обучения 140601 Электромеханика

P1	Способность понимать и анализировать социальные и экономические проблемы и процессы; готовность применять базовые методы гуманитарных, социальных и экономических наук в различных видах профессиональной и социальной деятельности	P9	Способность применять современные методы разработки энергосберегающих и экологически чистых технологий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей и их защиту от возможных последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий; применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов на электроэнергетическом и электротехническом производствах
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области для решения коммуникативных задач	P10	Готовностью обеспечивать соблюдение производственной и трудовой дисциплины на электроэнергетическом и электротехническом производствах; осваивать новые технологические процессы производства продукции; обеспечивать соблюдение заданных параметров технологического процесса и качества продукции
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля; осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования; уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки	P11	Способность проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса
P4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства коллективом исполнителей, в том числе над междисциплинарными проектами; уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности	P12	Способность проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов; планировать экспериментальные исследования; применять методы стандартных испытаний электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники
P5	Демонстрировать знание социальных, правовых, культурных и экологических аспектов профессиональной деятельности, знание вопросов охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на электроэнергетических и электротехнических производствах	P13	Способность участвовать в работе над инновационными проектами, используя базовые методы исследовательской деятельности на основе систематического изучения научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта, патентных исследований по соответствующему профилю подготовки
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты	P14	Способностью к монтажу, регулировке, испытаниям, сдаче в эксплуатацию, наладке и опытной проверке электроэнергетического и электротехнического оборудования

	<p>профессиональной деятельности. Общепрофессиональные компетенции</p>		
P7	<p>Способность применять основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности с целью моделирования элементов, систем и объектов электроэнергетики и электротехники</p>	P15	<p>Готовность осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организации профилактических осмотров и текущего ремонта</p>
P8	<p>Способность применять стандартные методы расчета и средства автоматизации проектирования; принимать участие в выборе и проектировании элементов, систем и объектов электроэнергетики и электротехники в соответствии с техническими заданиями</p>	P16	<p>Способность разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию, выполнять проектно-конструкторские работы в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации электроэнергетических и электротехнических объектов, организовывать метрологическое обеспечение; подготавливать документацию для создания системы менеджмента качества; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы</p>

Реферат

В данной выпускной квалификационной работе спроектирован асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с пристроенным тормозным устройством.

Работа содержит 120 страниц, 15 рисунков, 18 таблиц, 19 источников, 6 листов графического материала.

Ключевые слова: Асинхронный двигатель, электромагнитный тормоз, короткозамкнутый ротор, статор, ресурсобережонность, социальная ответственность.

Цель проекта заключается в проектировании асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и расчете пристроенного тормоза. В качестве основного прототипа был принят асинхронный двигатель серии 4А100L4УЗ.

В процессе работы спроектирован асинхронный двигатель, а именно: рассчитаны главные размеры, обмотка статора, ротор, магнитные цепи, потери, рассчитаны рабочие и пусковые характеристики, произведен механический расчет вала и тепловой расчет двигателя. Также разработан технологический процесс сборки статора двигателя.

В разделе финансовый менеджмент рассчитана себестоимость данного проекта.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе сборки статора двигателя. В специальной части произведен расчет пристраиваемого электромагнитного тормоза с независимым питанием.

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

Содержание

	Введение	9
1	Электромагнитный расчет	12
1.1	Выбор главных размеров	12
1.2	Расчёт зубцовой зоны статора	16
1.3	Расчёт параметров ротора	18
1.4	Расчёт зубцовой зоны ротора	20
1.5	Расчёт магнитной цепи	22
1.6	Параметры рабочего режима	25
1.7	Расчёт потерь	28
1.8	Расчёт рабочих характеристик	32
1.9	Расчёт пусковых характеристик	37
2	Тепловой расчёт	45
3	Механический расчет вала	50
4	Специальная часть	58
5	Технология производства	67
5.1	Анализ исходных данных	68
5.2	Служебное назначение и особенности конструкции	69
5.3	Оценка технологичности конструкции	70
5.4	Расчет усилий запрессовки сердечника статора в станину и выбор оборудования и оснастки для запрессовки	72
5.5	Схема сборки статора	75
5.6	Маршрутная технология сборки	75
5.7	Расчет норм времени	76
5.8	Пример расчета норм времени для операции 005 (запрессовка).	77
5.9	Расчет количество оборудования годовой программы	79
5.10	Запрессовочный станок	80
6	Финансовый менеджмент. ресурсоэффективность и ресурсосбережение	83
6.1	Смета затрат на проектирование	83

6.2	Оценка технического уровня	88
7	Социальная ответственность	93
7.1	Анализ опасных и вредных факторов	93
7.2	Производственная санитария	94
7.3	Расчет искусственного освещения	95
7.4	Микроклимат	100
7.5	Техника безопасности	105
7.6	Пожарная безопасность	109
7.7	Чрезвычайная ситуация	113
7.8	Охрана окружающей среды	117
	Заключение	118
	Список использованных источников	120
	Приложение А.	
	Приложение Б.	
	Перечень графического материала	
	ФЮРА.525273.001 Сборочный чертеж двигателя	
	ФЮРА.525200.002 Рабочие характеристики	
	ФЮРА.525200.003 Пусковой характеристика	
	ФЮРА.525200.004 Лист статора	
	ФЮРА.684210.005 Сборочный чертеж статора	
	ФЮРА.525200.006 Технологическая часть	

Введение

Асинхронные машины сегодня составляют большую часть электрических машин, применяясь главным образом в качестве электродвигателей и являются основными преобразователями электрической энергии в механическую, в подавляющем большинстве это асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (АДКЗ)[1].

Достоинства (для АДКЗ):

- Простота изготовления.
- Относительная дешевизна.
- Высокая надёжность в эксплуатации.
- Невысокие эксплуатационные затраты.

Возможность включения в сеть без каких-либо преобразователей (для нагрузок, не нуждающихся в регулировке скорости).

Все вышеперечисленные достоинства являются следствием отсутствия механических коммутаторов в цепи ротора и привели к тому, что большинство электродвигателей, используемых в промышленности — это асинхронные машины, в исполнении АДКЗ.

Недостатки:

- Небольшой пусковой момент.
- Значительный пусковой ток.
- Низкий коэффициент мощности.
- Сложность регулирования скорости с необходимой точностью.

Максимальная скорость двигателя ограничена частотой сети (для АДКЗ, питаемых непосредственно от трёхфазной сети 50 Гц — это 3000 об/мин).

Сильная зависимость (квадратичная) электромагнитного момента от напряжения питающей сети (при изменении напряжения в 2 раза вращающий момент изменяется в 4 раза; у ДПТ вращающий момент зависит от напряжения питания якоря в первой степени, что более благоприятно).

Часто при эксплуатации бывает необходимо, чтобы инерционная нагрузка была остановлена быстро и удерживалась в таком состоянии определенное время. При этом силовое питание двигателей отключается для экономии электроэнергии, соблюдения эксплуатационных требований. Одним из явных примеров — это защита человека от механических травм. Для обеспечения этого применяется

применение тормозного устройства для электродвигателей. Таким образом достигается надежность защиты человека от повреждений.

Таким образом, асинхронные трехфазные электродвигатели получили наибольшее распространение в промышленности благодаря простоте, надежности и стоимости изделия. Добавление тормозного устройства дисковым видам позволяет увеличить защиту окружающих людей и механизмов при аварии.



Рисунок 1. Дисковый тормоз

Дисковый тормоз состоит из электромагнита, якоря с фрикционной накладкой и вентилятора. Когда тормоз является включенным, тогда присоединяется якорь, одновременно отпуская для свободного вращения вентилятор, соединённый с валом при помощи клина. Когда электромагнит является отключённым, тогда якорь перемещается посредством пружин к вентилятору, останавливая вал совместно работающей. Применяется везде там, где исходя из принципов безопасности необходимо остановить вращающиеся части двигателя.

Задачи решаемые в ВКР:

- расчет трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором;
- построение пусковых и рабочих характеристик электродвигателя;

- расчет теплового состояния машины;
- механический расчет вала;
- электромагнитный расчет тормозного устройства;
- разработка технологического процесса сборки статора АД с пристроенным тормозным устройством;
- экономический анализ электродвигателя;
- анализ безопасности и экологического влияния изделия

Электромагнитный расчет выполняется для определения параметров электродвигателя, размеров магнитной системы, обмотки. На основе электромагнитного расчета строятся пусковые и рабочие характеристики электродвигателя, позволяющие увидеть закономерность энергетических и электрических параметров от активной нагружаемой мощности.

Также производится расчет теплового состояния электродвигателя. Результатом расчета является получение превышения температуры электродвигателя над окружающей средой.

Механический расчет вала необходим для определения прочности вала электродвигателя и возможность выдерживать нагрузки без искривления, позволяя обеспечить равномерность воздушного зазора, следовательно, правильность работы изделия.

Пристроенной тормозной устройством состоит из электромагнита. Расчет электромагнита представлен в отдельной части работы. Расчет позволяет определить размеры магнита, его обмотку и необходимые электрические параметры.

В технологической части необходимо произвести сборку статора. От правильности сборки зависит правильность базирования подшипниковых щитов и вала. Все это влияет на параметры электродвигателя. Расчет рисков, стоимости производства и экономическое обоснование представлены в разделе экономического анализа.

Электродвигатель является изделием повышенной опасности для человека и оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду. С целью детальной проработки всех воздействий была проанализирована безопасность изделия и влияния его на окружающую среду.

1. Электромагнитный расчёт

1.1. Выбор главных размеров

Номинальная мощность $P_2=4000$ Вт;

Номинальное напряжение $U=220/380$

В; Номинальная частота $f_1= 50$ Гц;

Число фаз $m=3$;

Число пар полюсов $p= 2$;

Высота оси вращения $h=100$

мм; Степень защиты IP54;

Система охлаждения IC0141;

Способ монтажа IM1001;

К главным размерам машины относят внутренний диаметр магнитопровода статора D_a и расчетная длина воздушного зазора l_δ .

Выбираем наружный диаметр магнитопровода статора [1, с.344, таблица 9.9], при $h=100$ мм выбираем $D_a = 0.172$ м.

Внутренний диаметр статора [1, формула 9.2]

$$D = D_a \cdot K_d ,$$

$$D = 0.172 \cdot 0.674 = 0.1159 \text{ м.}$$

Принимаем: $D = 0.116$ м.

где K_d – коэффициент, характеризующий отношения внутренних и внешних диаметров сердечников статоров асинхронных двигателей при различных числах полюсов. Согласно рекомендациям [1, таблица 9.9] при $2p=4$ выбираем $K_d=0.674$

Полюсное деление τ найдем из [1, формула 9.3]:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p} = \frac{3.14 \cdot 0.116}{4} = 0.0911 \text{ м.}$$

Расчётная мощность P_1 [1, формула 9.4]:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta \cdot \cos \phi} \cdot K_\varepsilon ,$$

где K_ε – коэффициент ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению, принимаем $K_\varepsilon = 0.965$ [1, рисунок 9.20].

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности, принимаем равным $\cos\varphi = 0,84$ – КПД двигателя, принимаем равным $\eta = 0,83$ [1, рисунок 9.21].

$$P = \frac{4000 \cdot 0.965}{0.84 \cdot 0.83} = 5536 \text{ Вт.}$$

Предварительный выбор нагрузок:

$$A = 22.5 \cdot 10^3 \text{ А / м; } B_\delta = 0.83 \text{ Тл.}$$

Выбираем обмоточный коэффициент для однослойной обмотки:

$$K_{об1} = 0.96.$$

Рассчитаем длину воздушного зазора по [1, формула

$$9.6]: l_\delta = \frac{P}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot K_{об} \cdot A \cdot B_\delta},$$

где k_B – коэффициент формы поля рассчитывается по

$$\text{формуле: } k_B = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 3.14 / 2\sqrt{2} = 1.111.$$

Ω - синхронная угловая скорость вращения вала [1, формула 9.5]:

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_1}{p} = 2 \cdot 3.14 \cdot \frac{50}{2} = 157,08 \text{ рад/с,}$$

$$l_\delta = \frac{5536}{1.111 \cdot 0.1160^2 \cdot 157.08 \cdot 0.96 \cdot 22.5 \cdot 10^3 \cdot 0.83} \approx 0,132 \text{ м.}$$

Принимаем: $l_\delta = 0,14$ м. Значение больше расчетного, так как при принятии расчетного значения и при дальнейшем пересчете индукции в воздушном зазоре, значения не будут входить в рекомендуемый диапазон.

Критерием правильности выбора главных размеров служит отношение λ ,

определяемое по формуле:

$$\lambda = l_\delta / \tau = 0.14 / 0.0911 = 1,207.$$

Полученное значение входит в область рекомендуемых пределов (0.6-1.35) по [1, рисунок 9.25 а].

Выберем предварительно предельные значения зубцового деления t_{z1} по [1, рисунок 9.26], значения которых входят в следующие допустимые пределы (0,010-0,014):

$$t_{z1\min} = 0.010 \text{ м}; \quad t_{z1\max} = 0.014 \text{ м.}$$

Тогда возможное число пазов статора Z_1 :

$$Z_{1\min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{z1\max}} = \frac{3.14 \cdot 0.116}{0.014} = 26.03,$$

$$Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{z1\min}} = \frac{3.14 \cdot 0.116}{0.010} = 36.442.$$

Выбираем окончательно число пазов статора равным

$Z_1 = 36$, тогда:

$$q = Z_1 / 2 \cdot p \cdot m = 36 / 4 \cdot 3 = 3.$$

Окончательное значение зубцового деления статора:

$$t_{z1} = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p \cdot m \cdot q} = \frac{3.14 \cdot 0.116}{4 \cdot 3 \cdot 3} = 0.0101 \text{ м.}$$

Принимаем: $t_{z1} = 0.010 \text{ м}$.

Рассчитаем номинальный ток обмотки статора [1, формула 9.18]:

$$I_1 = \frac{P_2}{m \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\phi \cdot \eta} = \frac{4000}{3 \cdot 220 \cdot 0.84 \cdot 0.83} = 8,693 \text{ А.}$$

Определим число эффективных проводников в пазу. При условии, что число параллельных ветвей обмотки $a = 1$ Для этого предварительно рассчитаем:

$$U_{\pi 1} = I_1 \cdot Z_1 = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{8,693 \cdot 36} = \frac{3.14 \cdot 0.116 \cdot 22.5 \cdot 10^3}{8,693 \cdot 36} \approx 26.2.$$

Тогда значение числа проводников в пазу [1, формула 9.19]:

$$U_{\pi} = a \cdot U_{\pi 1} = 1 \cdot 26.2 \approx 26.2.$$

Окончательно принимаем $U_{\pi} = 28$. Значение выбрано больше расчетного, чтобы уменьшить магнитный поток и индукцию в воздушном зазоре.

Окончательное число витков в фазе обмотки статора [1, формула 9.20]:

$$w_1 = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot Z \cdot m_1 = \frac{28}{2 \cdot 1} \cdot \frac{36}{3} = 168.$$

Найдём окончательное значение линейной нагрузки [1, формула 9.21]:

$$A = \frac{2 \cdot I_1 \cdot w_1 \cdot m_1}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 8,693 \cdot 168 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,116} = 24,04 \cdot 10^3 \text{ А / м.}$$

Линейная нагрузка $A=24,04 \times 10^3$ входит в рекомендуемый диапазон значений $22,5 \times 10^3 \dots 24,5 \times 10^3$ А/м.

Рассчитаем значение магнитного потока [1, формула 9.22]:

$$\Phi = \frac{K_g \cdot U_1}{4,44 \cdot w \cdot K_1 \cdot f} = \frac{1,111 \cdot 220}{4,44 \cdot 168 \cdot 0,966 \cdot 50} = 6,778 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

Определим значение индукции в воздушном зазоре [1, формула 9.23]:

$$B = \frac{\Phi \cdot \rho}{D \cdot l_\delta} = \frac{6,778 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{0,116 \cdot 0,14} = 0,835 \text{ Тл.}$$

Определим допустимую плотность тока в обмотке статора, с учётом линейной нагрузки двигателя [1, формула 9.25]:

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

где AJ – среднее значение произведения линейной нагрузки плотности тока [1, рисунок 9.27 б] при $AJ = 173 \cdot 10^9 \text{ А}^2/\text{м}^3$;

$$J_1 = \frac{173 \cdot 10^9}{24 \cdot 10^3} = 7,195 \cdot 10^6 \text{ А / м}^2.$$

Предварительно сечения эффективного проводника [1, формула 9,24]:

$$q_{эф} = \frac{I_1}{a} = \frac{8,693}{1} = 8,693 \text{ А / м.}$$

Окончательно выберем сечение проводника следующим образом:

Примем число элементарных проводников $n_{эл} = 2$, тогда принимаем обмоточный провод марки ПЭТВ с номинальными размерами:

$$d_{эл} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ мм}; d_{из} = 0,965 \cdot 10^{-6} \text{ мм}; q_{эл} = 0,636 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2,$$

тогда

$$q_{ср.эф.} = q_{эл} \cdot n_{эл} = 0,636 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 1,272 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Уточнённое значение плотности тока в обмотке статора:

$$J_1 = \frac{I}{a \cdot q \cdot n} = \frac{8,693}{1 \cdot 1,272 \cdot 10^6} = 6,834 \cdot 10^{-6} \text{ А/м}^2.$$

1.2. Расчёт зубцовой зоны статора.

Предварительно для $2p=4$ выбираем допустимые значения индукции ярма статора – $B_a=1.6$ Тл;

зубцы статора при постоянном сечении – $B_{z1}=1.9$ Тл.

Выбираем способ изолирования листов – оксидирование, тогда коэффициент заполнения сердечника сталью $k_c = 0.97$ [1, рисунок 9.29 а]:

Определим ширину зубцов статора [1, формула 9.30]:

$$b_{z1} = \frac{B_{z1} \cdot t_{z1} \cdot l_{\delta}}{B_{z1} \cdot k_c \cdot l_{cm}} = \frac{0.835 \cdot 0.010 \cdot 0.14}{1.9 \cdot 0.97 \cdot 0.14} \approx 4.5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Найдём высоту ярма статора [1, формула 9.28]:

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot l_{\delta} \cdot k_c} = \frac{6,778 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1.6 \cdot 0.14 \cdot 0.97} \approx 0.015 \text{ м.}$$

Высота шлица $h_w=0.5 \cdot 10^{-3}$ м, для двигателей с $h = 100$ мм.

Ширину шлица паза принимаем $b_w=3.5 \cdot 10^{-3}$ м [1, таблица 9.16].

Определим размеры паза в штампе:

$$h_{\pi} = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{0.172 - 0.116}{2} - 0.015 = 0.013 \text{ м;}$$

$$b = \frac{\pi(D + Z \cdot n) - Z \cdot b_{z1}}{2 \cdot Z_1},$$

$$b = \frac{3.14(0.116 + 2 \cdot 13 \cdot 10^{-3}) - 36 \cdot 4.5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 36} \approx 7.6 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$b_1 = \frac{\pi(D + 2 \cdot h - \frac{b_w}{\sqrt{3}}) - Z \cdot b_{z1}}{Z_1 - \frac{\pi}{\sqrt{3}}} = \frac{3.14(0.116 + 2 \cdot 0.013 - \frac{0.0035}{\sqrt{3}}) - 36 \cdot 0.0045}{36 - 3.14 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}} \approx 5.5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Высоту клиновой части паза найдём по выражению [1, формула 9.42-45]:

$$h_1 = \frac{b_1}{2 \cdot \sqrt{3}} - \frac{b_{\text{ш}}}{2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,0055 - 0,0005}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,006 \text{ м.}$$

Размеры паза в свету с учётом припуска на сборку [1,

формула 9.42]: $b = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}; h = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м};$

$$b'_1 = b_1 - \Delta b = (5,5 - 0,1) \cdot 10^{-3} = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b = (7,6 - 0,1) \cdot 10^{-3} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$h'_\pi = h_\pi - \Delta h = 0,013 - 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,0129 \text{ м.}$$

Односторонней толщины изоляции в пазу найдем по [1,

таблица 3.1]: $b_{\text{из}} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

Площадь, которая занимает корпусная изоляция в пазу [1, формула 9.46]:

$$S_{\text{из}} = b_{\text{из}} \cdot (2 \cdot h_\pi + b_1 + b_2) = 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 0,013 + 5,5 \cdot 10^{-3} + 7,6 \cdot 10^{-3}) = 5,865 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

Площадь, которая занимает прокладками в пазу [1, формула 9.47]:

$$S_{\text{пр}} = (b_1 + b_2) \cdot h_\pi = (5,5 \cdot 10^{-3} + 7,6 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,013 = 4,18 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников обмотки [1, формула 9.48]:

$$S_n = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_\pi - S_{\text{из}} - S_{\text{пр}} = \frac{(5,4 + 7,5) \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 0,0129 - 5,865 \cdot 10^{-6} - 4,18 \cdot 10^{-5} = 7,0245 \cdot 10^{-5}.$$

Подсчитаем коэффициент заполнения паза [1, формула 3.2]:

$$k_3 = \frac{d_{\text{из}}^2 \cdot U_\pi \cdot n}{S_n} = \frac{(0,965 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 28 \cdot 2}{7,0245 \cdot 10^{-5}} = 0,74.$$

Коэффициент заполнения паза входит в область допустимых пределов

$k_3 = 0,68 - 0,74$. Полученное значение k_3 допустимо для ручной укладки

обмотки.

Форма пазов статора и их основные размеры представлены на рисунке 1.1.

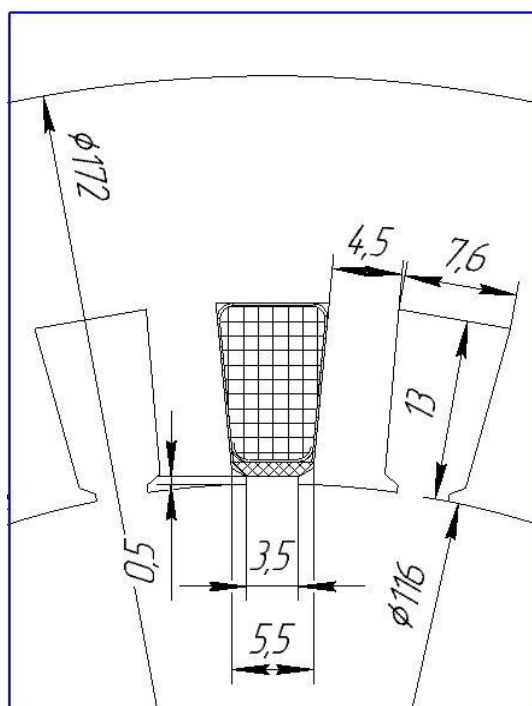


Рисунок 1.1. Паз статора.

1.3. Расчёт параметров ротора

Воздушный зазор: для $2p = 4 \delta = 0,2 \cdot 10^{-3}$ м. Правильный выбор воздушного зазора δ во многом определяет энергетические показатели асинхронного двигателя. Чем меньше воздушный зазор, тем меньше его магнитное сопротивление и магнитное напряжение, составляющее основную часть МДС магнитной цепи всей машины. Поэтому уменьшение зазора приводит к соответственному уменьшению МДС магнитной цепи и намагничивающего тока двигателя, благодаря чему возрастает его $\cos\phi$, и уменьшаются потери в меди обмотки статора. Но чрезмерное уменьшение δ приводит к возрастанию амплитуды пульсаций индукции в воздушном зазоре и, как следствие этого, к увеличению поверхностных и пульсационных потерь. Поэтому КПД двигателей с очень малыми зазорами не улучшается, а часто

даже становится меньше. Необходимо также учесть условие механической прочности так, чтобы прогиб вала не привёл к касанию сердечников ротора и статора.

Число пазов ротора: $Z_2 = 26$. Выбор пазов ротора особо важен, т.к. в поле воздушного зазора машины кроме основной, присутствует целый спектр гармоник более высокого порядка, каждая из которых наводит ЭДС в обмотке ротора, поэтому ток в стержнях обмотки имеет сложный гармонический состав. В зависимости от соотношения Z_1 и Z_2 в той или иной степени проявляются синхронные или асинхронные моменты от высших гармоник. Их влияние на момент от первой гармонической приводит к появлению пиков и провалов в результирующей кривой момента. В поле зазора присутствуют также высшие гармоники, порядок которых определенным образом связан с числами пазов и полюсов машины. Эти зубцовые гармоники вызывают шум и вибрацию при работе двигателя в номинальном режиме. Их влияние особо заметно при малых воздушных зазорах. В двигателях малой мощности обычно выполняют $Z_1 > Z_2$. Это связано с технологией изготовления, а также тем, что с увеличением Z_2 ток в стержнях ротора уменьшается и в двигателях небольшой мощности их сечения становятся очень малыми. [1, таблица 9.18].

Внешний диаметр ротора:

$$D = D_2 - 2 \cdot \delta = 0.116 - 2 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3} = 0.1156 \text{ м.}$$

Длина магнитопровода ротора $l_2 = l_1 = 0.14 \text{ м.}$

Обмотку ротора выполняем простой однослойной, примем $Z_2 = 26$;

Зубцовое деление ротора:

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D}{Z_2} = \frac{3.14 \cdot 0.1156}{26} = 0.014 \text{ м.}$$

Рассчитываем значение k_i - коэффициент, учитывающий влияние тока намагничивания на отношение I_1 / I_2 [1, формула 9.58]:

$$k_i = 0.2 + 0.8 \cdot \cos \phi = 0.2 + 0.8 \cdot 0.84 = 0.872;$$

v_i - коэффициент приведения токов с кз роторами [1, формула 9.66]:

$$v_i = \frac{2 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot K_{об1}}{Z_2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 168 \cdot 0.966}{26} = 37,451,$$

Значение тока в стержне ротора подсчитываем по [1, формуле 9.68]:

$$I_2 = k_i \cdot v_i \cdot I_1 = 0.872 \cdot 37.451 \cdot 8,693 = 283,883 \text{ А.}$$

1.4. Расчёт зубцовой зоны ротора

Выбираем пазы ротора грушевидной формы, полузакрытые.

Размеры паза выбирают такими, чтобы зубцы ротора имели параллельные грани.

Размеры шлица [1, рис.9.40,б]: $b_{ш2} = 1,0 \cdot 10^{-3}$ м; $h_{ш2} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м; Выбираем допустимую индукцию для зубцов ротора [1, таблица 9.12]:

$$B_{Z2} = 1.8 \text{ Тл.}$$

Коэффициент заполнения сталью $k_c = 0.97$;

Допустимая ширина зубца [1, формула 9.75]:

$$b_{Z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2}{B \cdot k_c} = \frac{0.835 \cdot 0.014}{1.8 \cdot 0.97} = 6,693 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Полная высота паза

$$h_2 = h_{1p} + \frac{b_{1p}}{2} + \frac{b_{2p}}{2} + h_{ш2} = 0,016 + \frac{6 \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2} + 0.5 = 0,0205 \text{ м.}$$

Размеры паза рассчитаем исходя из условия постоянства ширины зубцов ротора, расчёт производим по методике рассмотренной в [1, формула 9.76]:

Больший радиус паза ротора:

$$b_{21} = \frac{\pi \cdot (D_{ш2} - 2 \cdot h_{ш2}) - Z_2 \cdot b_{Z2}}{(\pi + Z_2)},$$

$$b_{21} = \frac{3.14 \cdot (0.1156 - 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}) - 26 \cdot 6,693 \cdot 10^{-3}}{3.14 + 26} \approx 6,0 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Меньший радиус паза ротора:

$$b_{22} = \sqrt{\frac{b_{1p}^2 \cdot \left(\frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - 4 \cdot q_c}{\frac{Z_2}{\pi} - 2}}$$

$$b_{22} = \sqrt{\frac{(6,0 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \left(\frac{26}{3,14} + \frac{3,14}{2}\right) - 4 \cdot 8,11 \cdot 10^{-5}}{\frac{26}{3,14} - \frac{3,14}{2}}} \approx 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

Форма паза ротора и его основные размеры представлены на рисунке 1.2.

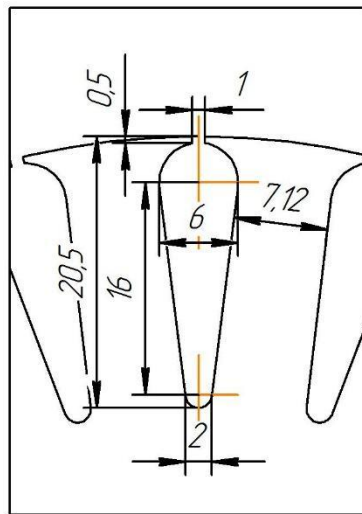


Рисунок 1.2. Паз ротора

Определяем ширину зубца ротора [1, формула 9.80, 9.81]:

$$b_{21} = \pi \frac{D_2 - 2 \cdot (h_{w2} + h'_{w2}) - b_{21}}{26} - b_{21} = \pi \frac{D_2 - 2 \cdot (0,5 + 0) - 6}{26} - 6 = 0,007122 \text{ м}$$

Рассчитаем короткозамыкающие кольца Ток

в короткозамкнутом кольце [1, формула 9.70]:

$$I_{кз} = \frac{I}{\Delta^2}$$

где Δ – коэффициент [1, формула 9.71]:

$$\Delta = 2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{0,479, Z_2 26} = 2 \cdot \sin \frac{3,14 \cdot 4}{0,479, Z_2 26} =$$

$$I_{кз} = \frac{283,883}{0,479} = 593,114 \text{ А.}$$

Сечение короткозамкнутого кольца [1, формула 9.72]:

$$q_{\text{кл}} = \frac{I}{J_2 \cdot 0.8} = \frac{593.114}{3.483 \cdot 0.8} = 212.873 \times 10^{-4} \text{ М}^2$$

Размеры замыкающих колец:

$$b_{\text{кл}} = 1.2 \cdot h_{\Gamma 2} = 1.2 \cdot 0.0205 \approx 0.0085 \text{ мм};$$

$$h_{\text{кл}} = \frac{q_{\text{кл}}}{h_{\text{кл}}} = \frac{2,129 \cdot 10^{-4}}{0.025} = 0.025 \text{ М};$$

$$q_{\text{кл}} = h_{\text{кл}} \cdot b_{\text{кл}} = 0.025 \cdot 0.0085 = 2,125 \cdot 10^{-4} \text{ М}^2;$$

$$D_{\text{кл. ср}} = D_2 - h_{\text{кл}} = 0.1556 - 0.025 = 0,0906 \text{ М}.$$

1.5. Расчёт магнитной цепи.

Расчет магнитной цепи проводят для режима холостого хода двигателей, при котором для асинхронных машин характерно относительно сильное насыщение стали зубцов статора и ротора.

Магнитная цепь асинхронного двигателя разделяется на участки:

Воздушный зазор; зубцы статора; спинка ротора; зубцы ротора; спинка ротора.

Расчет магнитной цепи сводится к определению магнитного напряжения на каждом из участков и определение намагничивающего тока I_{μ} .

Величина намагничивающего тока возрастает с ростом числа полюсов.

Для определения КПД и других параметров двигателя активные сопротивления обмоток статора и ротора приводят к расчетной рабочей температуре 115°С для обмоток с изоляцией класса Н.

Найдём индукцию в зубцах статора и зубцах ротора [1, формула 9.105,9.109]:

$$B_{z1} = \frac{B_{\sigma} \cdot t_1 \cdot l}{b_{z1} \cdot k \cdot l} = \frac{0.835 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0.14}{4.5 \cdot 10^{-3} \cdot 0.97 \cdot 0.14} = 1.724 \text{ Тл};$$

$$B_{z21} = \frac{B_{\sigma} \cdot t_2}{b_{z21} \cdot k} = \frac{0.835 \cdot 14 \cdot 10^{-3}}{7,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0.97} = 1,673 \text{ Тл}.$$

Находим индукцию в ярме статора [1, формула 9.117]:

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot l_\delta \cdot k_c} = \frac{6,778 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,015 \cdot 0,14 \cdot 0,97} \approx 1,66 \text{ Тл.}$$

Индукция в ярме ротора [1, формула 9.122]:

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h_j \cdot l_\delta \cdot k_c} = \frac{6,778 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,0173 \cdot 0,14 \cdot 0,97} = 1,443 \text{ Тл,}$$

$$Y = 5 + \frac{\frac{b_w^2}{\delta}}{\frac{b}{\delta}} = 5 + \frac{0,0035^2}{0,0002} = 13,611.$$

Коэффициент воздушного зазора [1, формула 4.17]:

$$k_\delta = \frac{t_1}{t_1 - \gamma \cdot \delta} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3} - 13,611 \cdot 0,0002} = 1,374.$$

Магнитное напряжение воздушного зазора [1, формула 9.103]:

$$F_\delta = \frac{2}{\mu_0} \cdot B \cdot \delta \cdot k_\delta = \frac{2}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} \cdot 0,835 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,374 = 365,091 \text{ А.}$$

H_{Z1} – напряжение зубцовой зоны статора,

$$H_{Z1} = 1984 \text{ А/м, при } B_{Z1} = 1,727 \text{ Тл.}$$

H_{Z2} – напряжение зубцовой зоны ротора,

$$H_{Z2} = 1401 \text{ А/м, при } B_{Z2} = 1,673 \text{ Тл.}$$

Магнитное напряжение зубцовых зоны статора [1, формула 9.104]:

$$F_{Z1} = 2 \cdot h_{Z1} \cdot H_{Z1} = 2 \cdot 0,013 \cdot 1984 = 51,588 \text{ А.}$$

Магнитное напряжение зубцовых зоны ротора [1, формула 9.108]:

$$F_{Z2} = 2 \cdot h_{Z2} \cdot H_{Z2} = 2 \cdot 0,021 \cdot 1676 = 57,544 \text{ А.}$$

Коэффициент насыщения зубцовой зоны [1, формула 9.115]:

$$k_Z = 1 + \frac{F_{Z1} + F_{Z2}}{F_\delta} = 1 + \frac{51,588 + 57,544}{365} = 1,3,$$

полученное значение коэффициента насыщения зубцовой зоны удовлетворяет требованиям(1.2...1.6).

Магнитное напряжение ярма статора. Предварительно найдём длину средней магнитной силовой линии в ярме статора [1, формула 9.127]:

$$L_a = \pi \cdot \frac{(D_a - h_a)}{2 \cdot p} = 3.14 \cdot \frac{(0.172 - 0.015)}{4} = 0.039 \text{ м.}$$

Напряжённость поля ярма статора при индукции $B_a = 1.6$ Тл находим [1, таблица П1.6]: $H_a = 1560$ А /м,

тогда магнитное напряжение

$$F_a = L_a \cdot H_a = 0.039 \cdot 1560 = 61.23 \text{ А.}$$

Магнитное напряжение ярма ротора [1, формула 9.121].

Предварительно определим] длину средней магнитной линии потока в ярме ротора [1, формула 9.127]:

$$L_j = \frac{\pi \cdot (D_j - h_j)}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot (0.040 - 0.0173)}{2 \cdot 2} = 0.01783 \text{ м.}$$

Напряжённость поля ярма ротора [1, таблица П1.6]; при индукции $B_j = 1.443$ Тл, $H_j = 540.458$ А /м, тогда магнитное напряжение ярма ротора,

$$F_j = L_j \cdot H_j = 0.01783 \cdot 540.458 = 9.636 \text{ А.}$$

Магнитное напряжение магнитной цепи машины [1, формула 9.128]:

$$F_u = F_\delta + F_{Z1} + F_{Z2} + F_a + F_j = 365 + 51.59 + 57.46 + 61.23 + 9.64 = 545 \text{ А.}$$

Коэффициент насыщения магнитной цепи [1, формула 9.129]:

$$k^\mu = \frac{F_u}{93 \cdot F_\delta} = \frac{545}{365} = 1.4$$

Намагничивающий ток [1, формула 9.130]:

$$I_\mu = \frac{p \cdot F_u}{0.9 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot K_{об1}} = \frac{3 \cdot 545}{0.9 \cdot 3 \cdot 168 \cdot 0.966} = 0,286 \text{ А.}$$

Относительное значение намагничивающего тока [1, формула 9.131]:

$$I_{\mu^*} = \frac{I_\mu}{I_{ном}} = \frac{2,488}{8.693} = 0.286.$$

Значение I_{μ} относительного намагничивающего тока обычно лежит в пределах 0,18...0,4 о.е. Расчетное значение входит в рекомендуемый диапазон.

1.6 . Параметры рабочего режима.

Определим среднюю длину катушки [1, формула 9.138]:

$$b_{км1} = \pi \cdot \frac{(D+h)}{p} = 3.14 \cdot \frac{(0.116+0.013)}{4} = 0.101316 \text{ м.}$$

Для катушки насыпной обмотки статора вылет лобовых частей обмотки равен [1, формула 9.137]:

$$l_{выл1} = k_{кл} \cdot b_{км1} + B,$$

где $k_{кл}, k_{выл}$ - коэффициент, при числе полюсов [1, таблица 9.3]:

$$2p=4k_{кл} = 1.3; k_{выл1} = 0.4.$$

B – длина вылета прямолинейной части катушек статора из паза, для насыпной обмотки выбираем равной $B1 = 0.01$, тогда

$$l_{выл1} = 0.4 \cdot 0.101316 + 0.01 = 0.050527 \text{ м,}$$

Длина лобовой части насыпной обмотки находится [1, формула 9.136]: $l_{я1} = k_{кл} \cdot b_{км1} + 2 \cdot B = 1,3 \cdot 0,101316 + 2 \cdot 0,01 = 0,152 \text{ м.}$

Длинна пазовой части равна конструктивной длине сердечников машины:

$$l_{п1} = l_{\delta} = 0.14 \text{ м}$$

Средняя длинна витка [1, формула 9.135]:

$$l_{ср1} = 2 \cdot (l_{п1} + l_{я1}) = 2 \cdot (0.14 + 0.152) = 0,583 \text{ м.}$$

Общая длинна проводников фазы обмотки [1, формула 9.134]:

$$L_{ср1} = l_{ср1} \cdot w_1 = 0.583 \cdot 168 = 98 \text{ м.}$$

Активное сопротивление обмотки статора [1, формула 9.132]:

$$r_1 = \rho_{115} \cdot \frac{L_{ср1}}{q_{эф} \cdot a} = 2.439 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{98}{1,272 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 1.879 \text{ Ом,}$$

где $\rho_{115} = 10^{-6} / 41$ Ом · м - удельное сопротивление меди при температуре плюс 115 °С.

Относительное значение активного сопротивления обмотки статора:

$$r'_1 = r_1 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 1.879 \cdot \frac{8.693}{220} = 0.074 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление фазы обмотки ротора [1, формула 9.168]:

$$r = r_c + \frac{2 \cdot r_{\text{сн}}}{\Delta^2} = 8,378 \cdot 10^{-5} + \frac{2 \cdot 2,513 \cdot 10^{-6}}{0.479^2} = 1,057 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Для дальнейших расчётов полученное сопротивление фазы обмотки ротора к числу витков обмотки статора [1, формула 9.172-9.173]:

$$r'_2 = r_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (w \cdot K_{\text{обл}})^2}{Z_2} = 1,057 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (168 \cdot 0.966)^2}{26} = 1.285 \text{ Ом.}$$

Относительное значение активного сопротивления обмотки ротора

$$r'_2 = r'_2 \cdot \frac{I}{U} = 1.285 \cdot \frac{8.693}{220} = 0.051.$$

Коэффициенты магнитной проводимости.

При диаметральном шаге однослойной обмотки k_{β} и k'_{β} выбираем $k_{\beta} = 1$ $k'_{\beta} = 1$.

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния [1, С403, таблица 9.26]:

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{h - 2b_{\text{уз}}}{3 \cdot b_1} k'_{\beta} + 0.785 - \frac{b_{\text{ш}}}{2 \cdot b_1} + \frac{b_{\text{уз}}}{2 \cdot b_1} + \frac{h_{\text{ш}}}{b_{\text{ш}}} \cdot k_{\beta} = 1,334,$$

- для однослойной обмотки, Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния [1,

формула 9.159]:

$$\lambda_{\text{л}} = 0.34 \cdot \frac{q}{l_{\delta}} \cdot (l_{\text{л}} - 0.64 \cdot \tau) = 0.34 \cdot \frac{3}{0.14} \cdot (0.151 - 0.64 \cdot 0.0911) = 0,681.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния

[1, формула 9.160]:

$$\lambda_{\text{д}} = \frac{t}{12 \cdot \delta^{Z1}} \cdot k_{\delta} \cdot \xi,$$

где ξ – коэффициент, [1, формула 9.176]:

$$\xi = 2 \cdot k'_{\text{СК}} \cdot k_{\beta} - K_{\text{об}}^2 \cdot \frac{t_{z2}}{t_{z1}} \cdot (1 + \beta_{\text{СК}}^2) = 2 \cdot 1.5 \cdot 1 - 0.966^2 \cdot (1.4)^2 \cdot (1+0) = 1.171,$$

пазы без скоса $\beta_{\text{СК}} = 0$, $k'_{\text{СК}} = 1.35$, зависит от t_{z1}/t_{z2}

$$\lambda_{D1} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot (2 \cdot 10^{-4}) \cdot 1.47} \cdot 1.374 = 3.551.$$

Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора:

$$X_1 = 15.8 \cdot \frac{f_1}{100} \cdot \frac{w_1^2}{100} \cdot \frac{l_{\delta}}{p \cdot q} \cdot (\lambda_{\text{П1}} + \lambda_{\text{Л1}} + \lambda_{\text{Д1}}),$$

$$X_1 = 15.8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \frac{168^2}{100} \cdot \frac{0.14}{2 \cdot 3} \cdot (1.334 + 0.681 + 3.551) = 2.895 \text{ Ом}$$

Относительное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки статора [1, формула 9.186]:

$$x_1^* = X_1 \cdot \frac{I_{1\text{НОМ}}}{U_{1\text{НОМ}}} = 2.895 \cdot \frac{8.693}{220} = 0.114.$$

Данное значение входит в рекомендуемый диапазон: 0,08...1,4 о.е.

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния ротора [1, таблица 9.27]:

$$\lambda_{\text{П2}} = \frac{h_1}{3 \cdot b_1} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b_1^2}{8 \cdot q} \right) + 0.66 \cdot \frac{b_{\text{ш}}}{2 \cdot b_1} \cdot \kappa_{\text{д}} + \frac{h_{\text{ш}}}{2},$$

$$\lambda_{\text{П2}} = \frac{0.016}{3 \cdot 0.006} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot 0.006^2}{8 \cdot 0.008151} \right) + 0.66 \cdot \frac{1}{2 \cdot 0.006} \cdot 1 + \frac{0.5}{283.883} = 1.184.$$

Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния [1, формула 9.178]:

$$\lambda_{\text{Л2}} = \frac{2.3 \cdot D_{\text{кл.ср}}}{Z \cdot l \cdot \Delta^2} \cdot \frac{4.7 \cdot D_{\text{кл.ср}}}{\lg h + 2 \cdot q},$$

$$\lambda_{\text{Л2}} = \frac{2.3 \cdot 0.0906}{26 \cdot 0.14 \cdot 0.479} \cdot \frac{4.7 \cdot 0.0906}{2 \cdot 0.025 + 2 \cdot 0.02125} = 0.306.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния [1, формула 9.180]:

$$\lambda_{\text{Д2}} = \frac{t_{z2}}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi,$$

где $\xi=1$,

$$\lambda_{D2} = \frac{14 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 1.374} \cdot 1 = 4.245.$$

Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора:

$$X_2 = 7.9 \cdot f_1 \cdot l_{\delta} \cdot (\lambda_{\Gamma 2} + \lambda_{\Gamma 2} + \lambda_{D2}) \cdot 10^{-6} =$$

$$= 7.9 \cdot 50 \cdot 0.14 \cdot (3.457 + 0.306 + 1.184) \cdot 10^{-6} = 3.172 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Приводим X_2 к числу витков [1, формула 9.177]:

$$x'_{2*} = X_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (w \cdot K_{об1})^2}{Z_2} = 3.172 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (168 \cdot 0.966)^2}{26} = 3.855 \text{ Ом.}$$

Относительное значение индуктивного сопротивления обмотка ротора

$$x'_{2*} = x'_2 \cdot \frac{I_{1НОМ}}{U_{1НОМ}} = 3.855 \cdot \frac{8.693}{220} = 0.152.$$

Полученное значение входит в рекомендуемый диапазон: 0,1...0,16 о.е.

Для удобства сопоставления параметров отдельных машин и упрощения расчёта характеристик параметры асинхронных машин выражают в относительных единицах, принимая за базисные значения номинальное фазное напряжение и номинальный фазный ток.

1.7. Расчёт потерь

Основные потери в стали статора асинхронной машины [1, формула 9.187]:

$$r_{ст. осн} = p_{1.0/50} \cdot \frac{f}{50}^{\beta} \cdot (k_{\partial a} \cdot B_a^2 \cdot m_a + k_{\partial z} \cdot B_{Z1}^2 \cdot m_{Z1}),$$

где

$p_{1.0/50}$ - удельные потери при индукции 1 Тл и частоте перемагничивания 50 Гц [1, таблица 9.28]. Для стали 2412 толщиной 0,5 мм; $p_{1.0/50} = 1,3 \text{ Вт/кг}$;

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

$k_{да}$ и $k_{дз}$ – коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов, принимаем согласно рекомендациям [1, с. 412]:

$$k_{да} = 1,6, \quad k_{дз} = 1,8,$$

m_a, m_{z1} – масса стали ярма и зубцов статора [1, формула 9.188-9.189]:

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

$$m_{z1} = h_{z1} \cdot b_{z1} \cdot Z_1 \cdot l_{\delta} \cdot k_c \cdot \gamma_c,$$

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

m^3 ,

$$m_a = 3,14 \cdot (0,172 - 0,015) \cdot 0,015 \cdot 0,14 \cdot 0,97 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 7,837 \text{ кг},$$

$$m_{z1} = 0,013 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 36 \cdot 0,14 \cdot 0,97 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 2,474 \text{ кг},$$

тогда:

$$r_{ст. осн} = 1,5 \cdot \frac{50^{1,5}}{50} \cdot (1,6 \cdot 1,6^2 \cdot 7,837 + 1,8 \cdot 1,724^2 \cdot 2,474) = 58,941 \text{ Вт}.$$

Частота вращения ротора равна:

$$n = \frac{60}{p} \cdot f_1 = \frac{60}{2} \cdot 50 = 1500 \text{ об/мин}.$$

Для нахождения поверхностных потерь прежде находят амплитуду пульсаций индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора [1, формула 9.190]:

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

где

$\beta_{02} = f(b_{ш} / \delta)$; $b_{ш} / \delta = 1 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 10^{-4} = 17,5$ – по данному значению коэффициента [1, рисунок 9.53], $\beta_{02} = 0,5$,

$$B_{02} = 0,5 \cdot 1,374 \cdot 0,835 = 0,573 \text{ Тл}.$$

Поверхностные потери: $B_{01} = B_{02}$.

Для нахождения поверхностных потерь прежде находят амплитуду пульсаций индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов статора [1, формула 9.192]:

$$B_{01} = \beta_{01} \cdot k_{\delta} \cdot B_{\delta},$$

где

$\beta_{01} = f(b_{ш} / \delta)$; $b_{ш} / \delta = 3,5 \cdot 10^{-3} / 2 \cdot 10^{-4} = 17,5$ – по данному значению коэффициент $\beta_{01} = 0,32$,

$$B_{01} = 0,32 \cdot 1,374 \cdot 0,835 = 0,367 \text{ Тл.}$$

Определение полных поверхностных потерь статора и ротора [1, формула 9.194]:

$$P_{пов1/2} = p_{пов1/2} \cdot t_{1/2} \cdot Z_{1/2} \cdot l_{\delta},$$

где $p_{пов1}$, $p_{пов2}$ – удельные поверхностные потери, т.е. потери, приходящиеся на 1 м^2 поверхности головок зубцов, которые рассчитываются по формулам:

$$p_{пов1} = 0,5 \cdot k_{01} \cdot \frac{Z_2 \cdot n^{1.5}}{10000} \cdot (B_{01} \cdot t_2 \cdot 10^{-3})^2,$$

$$p_{пов1} = 0,5 \cdot 1,8 \cdot \frac{26 \cdot 1500^{1.5}}{10000} \cdot (0,367 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3)^2 = 183,02 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

$$p_{пов2} = 0,5 \cdot k_{02} \cdot \frac{Z \cdot n^{1.5}}{10000} \cdot (B_{02} \cdot t_1 \cdot 10^3)^2,$$

$$p_{пов2} = 0,5 \cdot 1,8 \cdot \frac{36 \cdot 1000^{1.5}}{10000} \cdot (0,573 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3)^2 = 371,429 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2},$$

где k_{01} , k_{02} – коэффициент, учитывающий влияние обработки поверхности головок на удельные потери зубцов $k_{02} = 1,8$, $k_{01} = k_{02}$.

Определяем полные поверхностные потери статора и ротора по [формуле 1.123]:

$$P_{пов1} = 183,02 \cdot (10 \cdot 10^{-3} - 3,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 36 \cdot 0,14 = 5,996 \text{ Вт},$$

$$P_{пов2} = 371,429 \cdot (14 \cdot 10^{-3} - 0,5 \cdot 10^{-3}) \cdot 26 \cdot 0,14 = 17,576 \text{ Вт}.$$

Для определения пульсационных потерь необходимо

определить массу ротора:

$$m = Z_2 \cdot h_2 \cdot b_2 \cdot l_2 \cdot k_\delta \cdot \gamma_c = 26 \cdot 0,0205 \cdot 7,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,14 \cdot 0,97 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 4,065 \text{ кг},$$

а также амплитуду пульсаций индукции в среднем сечении зубцов:

$$B_{\text{пул1}} = \frac{\gamma_1 \cdot \delta_1}{2 \cdot t_1} \cdot B_{z1} = \frac{13,611 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} \cdot 1,727 = 0,043 \text{ Тл}, (1,127),$$

$$B_{\text{пул2}} = \frac{\gamma_2 \cdot \delta_2}{2 \cdot t_2} \cdot B_{z2} = \frac{2,5 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0,014} \cdot 1,676 = 0,163 \text{ Тл}.$$

Пульсационные потери в зубцах статора и ротора определяем по формуле:

$$P_{\text{пул1/2}} = 0,11 \cdot \frac{Z_2 / 1 \cdot n}{1000} \cdot B_{\text{пул1/2}}^2 \cdot m_{Z1/2},$$

$$P_{\text{пул1}} = 0,11 \cdot \frac{Z_2 \cdot n}{1000} \cdot B_{\text{пул1}}^2 \cdot m_{z1} = 0,11 \cdot \frac{26 \cdot 1500}{1000} \cdot 0,043^2 \cdot 9,786 = 0,772 \text{ Вт},$$

$$P_{\text{пул2}} = 0,11 \cdot \frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{\text{пул2}}^2 \cdot m_{z2} = 0,11 \cdot \frac{36 \cdot 1500}{1000} \cdot 0,163^2 \cdot 4,065 = 34,6 \text{ Вт}.$$

Сумма добавочных потерь в стали:

$$P_{\text{ст.доб}} = P_{\text{пов1}} + P_{\text{пул1}} + P_{\text{пов2}} + P_{\text{пул2}} = 5,996 + 0,0772 + 17,576 + 34,6 = 58,93 \text{ Вт}.$$

Полные потери в стали:

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{ст.осн}} + P_{\text{ст.доб}} = 58,941 + 58,943 = 117,884 \text{ Вт}.$$

Механические потери:

$$P_{\text{мех}} = K_T \cdot \frac{n}{10}^2 \cdot D_a^4 = 1,5 \cdot \frac{1500^2}{10} \cdot 0,172^4 = 17,174 \text{ Вт},$$

где

K_T - коэффициент, для двигателей с $2 \cdot p = 4$ равен $K_T = 1,5$,

Добавочные потери при номинальном режиме:

$$P_{\text{доб.н}} = 0,005 \cdot P = 0,005 \cdot 5536 = 27,682 \text{ Вт}.$$

Для определения тока холостого хода двигателя принимают, что потери на трение и вентиляцию и потери в стали при холостом ходе такие же,

как и при номинальном режиме. При этом условия активная составляющая тока холостого хода определяется по формуле:

$$I_{x.x.a} = \frac{P_{\Sigma 1.x.x} + P_{НОМ}}{m \cdot U_1}$$

где

$P_{\Sigma 1.x.x}$ – электрические потери в статоре при холостом ходе:

$$P_{\Sigma 1.x.x} = m \cdot I_1^2 \cdot r = 3 \cdot 2.488^2 \cdot 1.879 = 34.89 \text{ Вт},$$

тогда

$$I_{x.x.a} = \frac{P_{\Sigma 1.x.x} + P_{НОМ}}{m_1 \cdot U_1} = \frac{135.058 + 34.89}{3 \cdot 220} = 0.257 \text{ А}.$$

Реактивная составляющая тока X.X. принимается приближённо равной:

$$I_{x.x.p} = I_{x.x.p} = 2.488 \text{ А},$$

тогда ток холостого хода двигателя:

$$I_{x.x} \approx \sqrt{I_{x.x.a}^2 + I_{x.x.p}^2} = \sqrt{0.262^2 + 2.457^2} = 2.5 \text{ А}.$$

Коэффициент мощности при холостом ходе:

$$\cos \phi_{x.x} = \frac{I_{x.x.a}}{I_{x.x}} = \frac{0.257}{2.5} = 0.103.$$

1.8. Расчёт рабочих характеристик проектируемого двигателя

Определим величину активных сопротивлений:

$$r_{12} = \frac{P_{ст.осн}}{m \cdot I_1^2} = \frac{58.941}{3 \cdot 2.488^2} = 3.175 \text{ Ом}.$$

Сопротивление взаимной индукции обмоток статора:

$$x_{12} = \frac{U_1}{I_{\mu 1}} - x_1 = \frac{220}{2.457} - 2.991 = 85.544 \text{ Ом}.$$

В асинхронных двигателях мощностью более 2-3 кВт, как правило, $\gamma \leq 1^\circ$, тогда приближенно активная и реактивная составляющие коэффициента C_1 определяются по [1, формула 9.223]:

$$c_{1a} = \frac{r_{12} \cdot (r_1 + r_{12}) + x_{12} \cdot (x_1 + x_{12})}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = \frac{3.175 \cdot (1.879 + 3.175) + 85.448 \cdot (2.991 + 85.544)}{3.175^2 + 85.448^2} = 1.035,$$

$$c_{1p} = \frac{x_1 \cdot r_{12} + r_1 \cdot x_{12}}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = \frac{2.895 \cdot 3.175 + 1.879 \cdot 85.448}{3.175^2 + 85.544^2} = 0.023.$$

Полное значение коэффициента C_1 будет определяться следующим образом:

$$c_1 = \sqrt{c_{1a}^2 + c_{1p}^2} = \sqrt{1.035^2 + 0.023^2} = 1.035.$$

Активная составляющая тока синхронного холостого хода [1, формула 9.226]:

$$I_{0a} = \frac{P_{ст. очн} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3 \cdot U_1} = \frac{58.941 + 3 \cdot 2.488^2 \cdot 1.879}{3 \cdot 220} = 0.257 \text{ A.}$$

Коэффициенты для расчёта рабочих характеристик [1, формула 9.227]: $a' = c_{1a}^2 - c_{1p}^2 = 1.036^2 - 0.023^2 = 1.07,$

$$b' = 2 \cdot c_{1a} \cdot c_{1p} = 2 \cdot 1.036 \cdot 0.023 = 0.048,$$

$$a = c_{1a} \cdot r_1 - c_{1p} \cdot x_1 - b' \cdot x_1' = 1.036 \cdot 1.879 - 0.023 \cdot 2.895 + 0.047 \cdot 3.855 = 1.692 \quad \text{Ом,}$$

$$b = c_{1a} \cdot x_1 + c_{1p} \cdot r_1 + a' \cdot x_1' = 1.035 \cdot 2.895 - 0.023 \cdot 1.879 - 1.07 \cdot 3.855 = 7.164 \text{ Ом.}$$

Потери, не изменяющиеся при изменении скольжения:

$$P_{ст} + P_{мех} = 117.884 + 17.174 = 135.058 \text{ Вт,}$$

Рассчитываем рабочие характеристики в табличной форме, по методике изложенной в [1], результаты вычислений заносим в ниже следующую таблицу 1.1.

На основании которой строим рабочие характеристики.

Предварительно принимаем, что $s_{ном} \approx r_2' = 0.051$.

По характеристикам уточняем значение $s_{ном} = 0,0516$ о.е. Расчётные данные необходимые для расчёта рабочих характеристик приведены ниже:

$$P_{2ном} = 4 \text{ кВт; } U_1 = 220 / 380 \text{ В; } 2 \cdot p = 4; I_{0a} = 0,257 \text{ А;}$$

$$P_{ст} + P_{мех} = 135,058 \text{ Вт; } r_1 = 1.879 \text{ Ом; } r_2' = 1.285 \text{ Ом; } c_1 =$$

$$1.035; a' = 1.07; a = 1.692 \text{ Ом; } b' = 0,048; b = 7,164 \text{ Ом.}$$

Таблица 1.1. Расчёт рабочих характеристик

Расчётные формулы	Размерность	Скольжение s					
		0,005	0,015	0,02	0,03	0,04	0,0516
$a' \cdot r'_2 / s'$	ОМ	275	92	68,7	27,025	34,374	26,65
$R = a + a' \cdot r'_2 / s$	ОМ	277	93	70,4	29,46	36	28,339
$X = b + b' \cdot r'_2 / s$	ОМ	19,5	11,3	10,2	7,647	8,71	8,359
$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	ОМ	277	94	71,2	30,488	37,1	29,546
$I'_2 = U_1 / Z$	А	0,793	2,34	3,091	7,228	5,93	7,446
$\cos\phi'_2 = R/Z$	-	0,998	0,993	0,990	0,968	0,972	0,959
$\sin\phi'_2 = X/Z$	-	0,07	0,12	0,144	0,251	0,235	0,283
$I_{1a} = I_{0a} + I'_2 \cdot \cos\phi'_2$	А	0,933	2,465	3,2	7,143	5,91	7,284
$I_{1p} = I_{0p} + I'_2 \cdot \sin\phi'_2$	А	2,543	2,768	2,933	4,304	3,88	4,594
$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$	А	2,71	3,706	4,341	8,339	7,066	8,612
$I_2 = c_1 \cdot I'_2$	А	0,821	2,421	3,198	7,489	6,136	7,706
$P_1 = 3 \cdot U_1 \cdot I_{1a} \cdot 10^{-3}$	Вт	616	1627	2112	4714	3898	4807
$P_{\Delta 1} = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_1 \cdot 10^{-3}$	Вт	41	77,5	16,246	426,154	281,5	418,146
$P_{\Delta 2} = 3 \cdot I_2^2 \cdot r'_2 \cdot 10^{-3}$	Вт	2,6	22,6	39,44	216,235	145,2	228,926
$P_{\text{доб}} = P_{\text{доб.н}} \cdot (I_1 / I_{1h})^2 \cdot 10^{-3}$	Вт	3,08	8,1	10,562	23,572	19,49	24
$\sum P = (P_{\text{см}} + P_{\text{доб}}) \cdot 10^{-3}$	Вт	182,1	243,2	291,3	801,018	581,2	806,17
$P_2 = (P_1 - \sum P) \cdot 10^{-3}$	Вт	433,9	1384	1821	2620	3317	4001
$M = P_2 / n(1-s)$	Н*М	0,291	0,936	1,239	2,749	2,303	2,813
$\eta = 1 - \sum P / P_1$	-	0,704	0,85	0,865	0,857	0,843	0,832
$\cos\phi = I_{1a} / I_1$	-	0,345	0,665	0,781	0,825	0,842	0,846

Вывод: расчётные величины $P_2=4001$ $\cos\phi=0,846$ и $\eta=0,832$ отличаются не более чем на 0,025, 0,7 и 0,2 процента соответственно, поэтому можем предполагать, что расчёт произведен верно.

Далее приведены рабочие характеристики построенные на основании расчётных данных из таблицы 1.1

На рисунке 1.3. Приведены зависимости коэффициента полезного действия и коэффициента мощности при изменении полезной мощности $\eta, \cos \phi = f(P_2)$

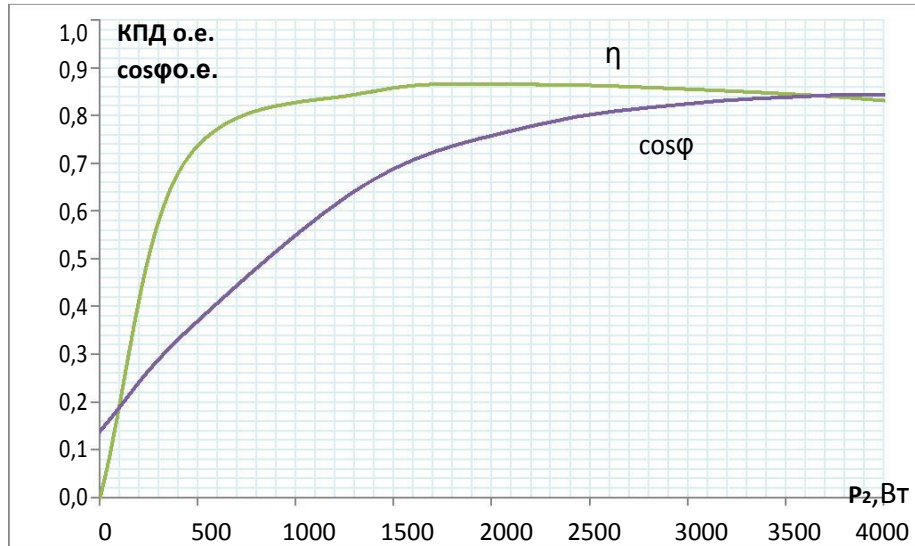


Рисунок 1.3 – Зависимость $\eta, \cos \phi = f(P_2)$

На рисунке 1.4. Приведена зависимость $I_1 = f(P_2)$

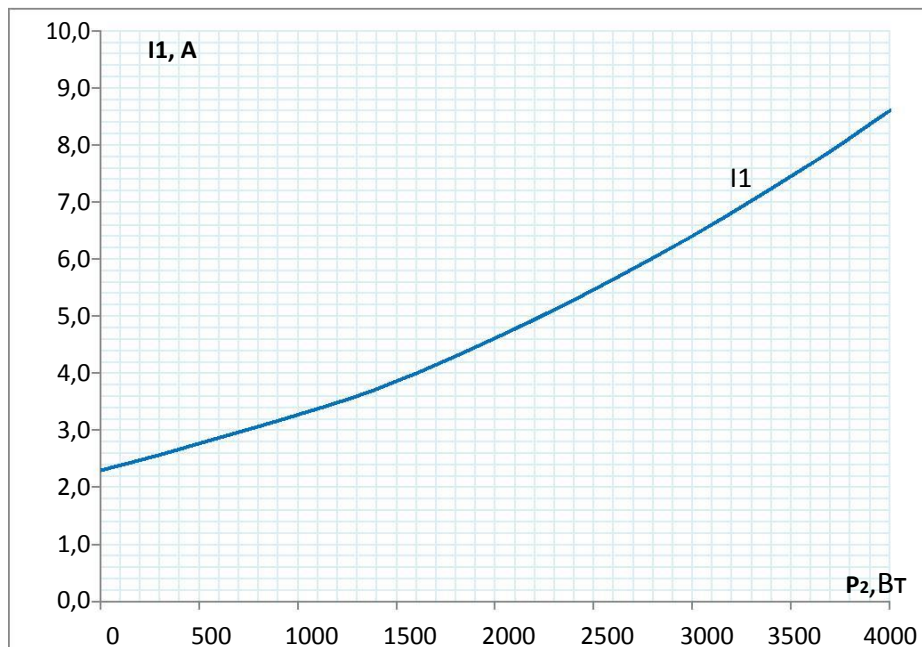


Рисунок 1.4 – Зависимость $I_1 = f(P_2)$

На рисунке 1.5. Построен график зависимости скольжения в функции от полезной мощности $s = f(P_2)$

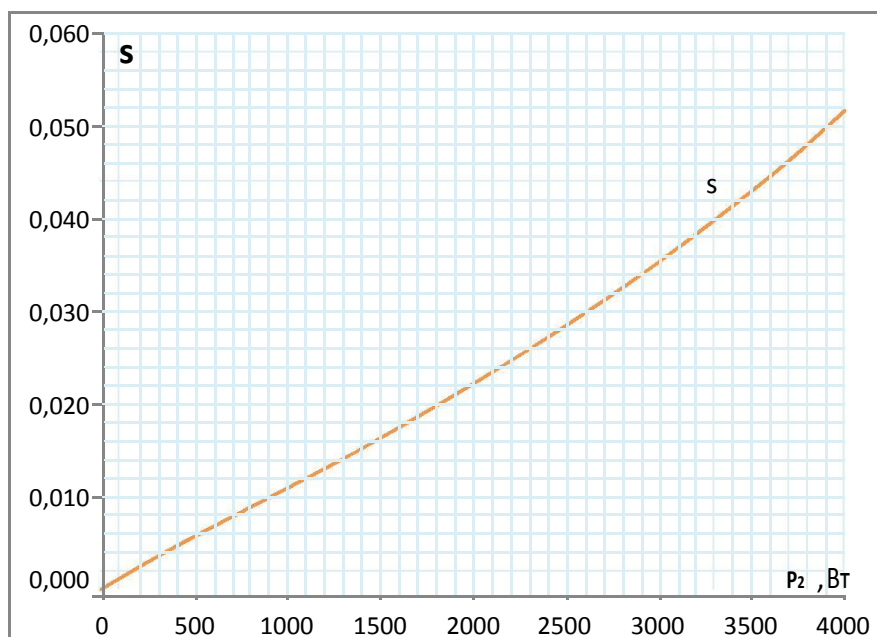


Рисунок 1.5 – Зависимость $s = f(P_2)$

На рисунке 1.6. Изображена зависимость $P_1 = f(P_2)$

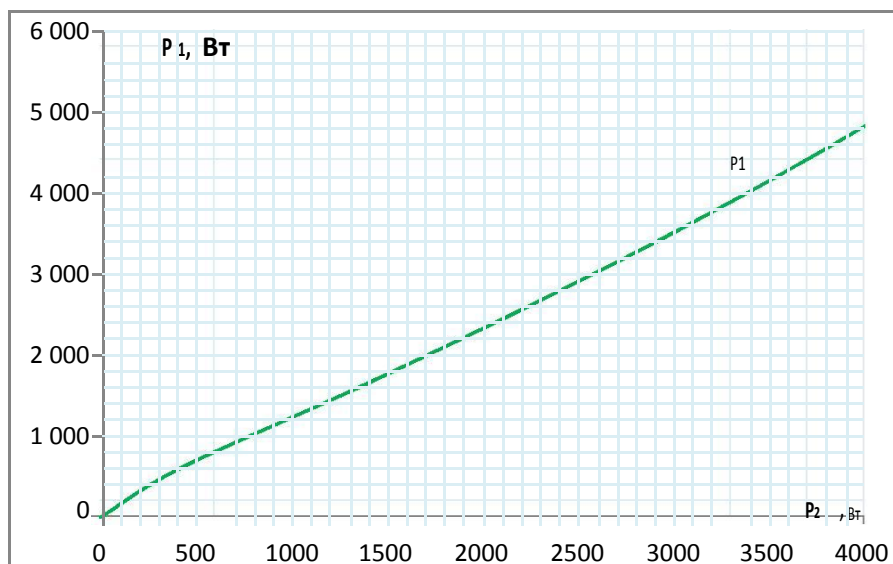


Рисунок 1.6 – Зависимость $P_1 = f(P_2)$

1.9. Расчёт пусковых характеристик

Пусковые свойства асинхронных двигателей характеризуются начальным пусковым и максимальным моментами и начальным пусковым током. В двигателях с фазными роторами начальный момент и пусковой ток определяются сопротивлением пускового реостата.

Стандарты на асинхронные двигатели устанавливают наименьшие допустимые относительные значения моментов и наибольшие относительные значения начальных пусковых токов для выпускаемых асинхронных машин в зависимости от их мощности, исполнения и числа пар полюсов. Для двигателей с фазными роторами регламентируются только значения максимальных моментов, т. е. перегрузочная способность двигателей.

В практике расчётов часто ограничиваются определением только двух точек характеристик: начального пускового и максимального моментов и начального пускового тока. Такой расчёт даёт лишь приближённые сведения о пусковых свойствах двигателя и может привести к погрешности при определении перегрузочной способности. Поэтому при проектировании целесообразно рассчитывать полные пусковые характеристики, т. е. зависимости $M^* = f(s)$ и $I^* = f(s)$ для всего диапазона скольжений от $s = 1$ до значения, соответствующего режиму, близкого к номинальному.

Расчёт пусковых характеристик затруднён необходимостью учёта изменений параметров, вызванных эффектом вытеснения тока и насыщения полей рассеяния.

В тоже время при больших токах увеличивается падение напряжения на сопротивлении обмотки статора, что вызывает уменьшение ЭДС и снижение основного потока. Для учёта этих факторов необходимо применение ЭВМ. При ручном расчёте используем упрощённую методику, изложенную в [1].

Расчёт пусковых характеристик производится для каждой точки характеристик соответствующих ряду скольжений $s = 1; 0,8; 0,5; 0,15; 0,1$.

В данной работе в качестве примера приведён полный расчёт пусковых характеристик при скольжении равном единице $s = 1$. Параметры с учетом вытеснения тока по [1] для литой алюминиевой обмотки при температуре плюс 115°C [1, формула 9.25]:

$$\xi = 63.61 \cdot h_c \cdot \sqrt{f} = 63.61 \cdot 0.0205 \cdot \sqrt{1} = 1.304,$$

где h_c - высота стержня в паз,

$$h_c = h_{n2} - h_{w2} - h_{w2} = 0.0205 - 0 - 5 \cdot 10^{-4} = 0.02 \text{ м},$$

для $\xi = 1.304$ [1], $\phi = 0.185$.

Активное сопротивление обмотки ротора по [1, формула 9.246]:

$$h = \frac{h_c}{1 + \phi} = \frac{0.02}{1 + 0.185} = 0.0169 \text{ м}.$$

Найдём площадь сечения обмотки ротора на глубине h_r , для этого предварительно определим следующую величину по [1, формула 9.254]:

$$b_r = b_1 - \frac{b - b_2}{h_1} \cdot h_r - \frac{b}{2},$$

$$b_r = 6 \cdot 10^{-3} - \frac{(6 - 2) \cdot 10^{-3}}{0.02} \cdot 0.01689 - \frac{6 \cdot 10^{-3}}{2} = 3.223 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Тогда по [1, формула 9.253]:

$$q_r = \frac{\pi \cdot b^2}{8} + \frac{b + b_2}{2} \cdot h_r - \frac{b}{2},$$

$$q_r = \frac{3.14 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{8} + \frac{(6 + 2) \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 0.01689 - \frac{6 \cdot 10^{-3}}{2} = 78 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Определим коэффициент [1, формула 9.251]:

$$k_r = \frac{q}{q_c} = \frac{81.51 \cdot 10^{-6}}{78 \cdot 10^{-6}} = 1.043.$$

Коэффициент общего увеличения сопротивления фазы ротора под влиянием эффекта вытеснения тока [1, формула 9.257]:

$$K_R = 1 + \frac{r_1}{r_2} \cdot (k_r - 1) = 1 + \frac{8.378 \cdot 10^{-3}}{10.57 \cdot 10^{-5}} \cdot (1.043 - 1) = 1.034.$$

Приведённое активное сопротивление фазы обмотки ротора с учётом вытеснения тока [1, формула 9.260]:

$$r'_{2\xi} = r'_2 \cdot K_R = 1.034 \cdot 1.034 = 1.329 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление обмотки ротора с учётом влияния эффекта вытеснения тока. По значению $\xi = 1.272$ определим коэффициент $\phi' = 0.93$. [1, рисунок 9.58]:

Для определения коэффициента, характеризующего изменение индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора от действия эффекта вытеснения тока, найдём коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния с учётом этого эффекта [1, таблица 9.27]:

$$\lambda_{\Gamma 2 \xi} = \lambda_{\Gamma 2} - \Delta \lambda_{\Gamma 2 \xi} = 1.184 - 0.083 = 1.101, \text{ где}$$

$$\Delta \lambda_{\Gamma 2 \xi} = \lambda'_{\Gamma 2} \cdot (1 - \phi') = 1.184 \cdot (1 - 0.93) = 0.083.$$

Тогда коэффициент, характеризующий изменение индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора от действия эффекта вытеснения тока [1, формула 9.262]:

$$K_x = \frac{\lambda_{\Gamma 2 \xi} + \lambda_{\Gamma 2} + \lambda_{\Gamma 2}}{\lambda_{\Gamma 2} + \lambda_{\Gamma 2} + \lambda_{\Gamma 2}} = \frac{1.101 + 0.306 + 4.245}{1.184 + 0.306 + 4.245} = 0.986.$$

Индуктивное сопротивление обмотки ротора с учётом влияния эффекта вытеснения тока $x'_{2\xi}$.

$$x'_{2\xi} = x'_2 \cdot K_x = 3.855 \cdot 0.986 = 3.8.$$

Индуктивное сопротивление взаимной индукции с уменьшением насыщения магнитопровода увеличивается, поэтому оно может быть найдено [1, формула 9.277]:

$$x_{12\Gamma} = x_{12} \cdot k_{\mu} = 85.544 \cdot 1.493 = 127.698 \text{ Ом.}$$

При этих допущениях коэффициент $c_{1\Gamma}$ [1, формула 9.278]:

$$c_{1\Gamma} = 1 + \frac{x_{12\Gamma}}{x_1} = 1 + \frac{127.698}{127.698} = 1.023.$$

Для расчёта токов с учётом влияния эффекта вытеснения тока, прежде найдём активные и реактивные сопротивления из эквивалентной схемы замещения [1, формула 9.280]:

$$R_{\Gamma} = r_1 + c_{1\Gamma} \cdot r'_{2\xi} / s = 1.879 + 1.023 \cdot 1.285$$

$$X_{\Gamma} = x_1 + c_{1\Gamma} \cdot X'_{2\xi} = 2.895 + 1.023 \cdot 3.8 = 6.781.$$

Ток в обмотке ротора без учёта влияния насыщения [1, формула 9.281]:

$$I = \frac{U_1}{\sqrt{\frac{r_1 + \frac{r'_2}{s}}{s} + (x'_2 + x_1)^2}} = \frac{220}{\sqrt{3.165^2 + 6.751^2}} = 29.275 \text{ A.}$$

Ток в обмотке ротора при учёте влияния насыщения [1, формула 9.283]:

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{\sqrt{R_{\Gamma}^2 + (X_{\Gamma} + x_{12\Gamma})^2}}{C_N \cdot X} = 29.275 \cdot \frac{\sqrt{3.238^2 + 127.698^2}}{130.594} = 30.155 \text{ A.}$$

где

$k_{\text{нас}} = 1.25 \dots 1.5$ – коэффициент насыщения, который принимается согласно рекомендаций изложенных в [1, таблица 9.37].

Средняя МДС обмотки, отнесённая к одному пазу обмотки статора [1, формула 9.263]:

$$F_{\text{п.ср.}} = 0.7 \cdot \frac{k_{\text{нас}} \cdot I_{\text{нас}} \cdot U_{\text{п}}}{1} + K_{\text{об1}} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = 0.7 \cdot \frac{1.4 \cdot 30 \cdot 28}{1} + 0.966 \cdot \frac{36}{26} = 2.072 \cdot 10^3 \text{ A.}$$

Значение коэффициента C_N [1, формула 9.265]:

$$C_N = 0.64 + 2.5 \cdot \sqrt{\frac{\delta}{t_1 + t_2}} = 0.64 + 2.5 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-5}}} = 0.868.$$

Фиктивная индукция потока рассеяния в воздушном зазоре [1, формула 9.264]:

$$B_{\phi\delta} = \frac{F_{\text{п.ср.}} \cdot 10^6}{1.6 \cdot \delta \cdot C_N} = \frac{2072 \cdot 10^6}{1.6 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 0.868} = 7.459 \text{ Тл.}$$

Значение дополнительного раскрытия паза [1, формула 9.266]:

$$C_1 = (t_1 - b_{ш}) \cdot (1 - k_{\delta}) = (10 \cdot 10^{-3} - 3.5 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 - 0.354) = 4.2 \text{ мм},$$

где

$k_{\delta} = 0.354$ – коэффициент принимаемый согласно условий

изложенных в [1, рисунок 9.61].

Уменьшение коэффициента проводимости для полузакрытого паза статора [1, формула 9.269]:

$$\Delta \lambda_{п1нас} = \frac{h}{w} \frac{+0.58 \cdot h}{k} \cdot \frac{C_1}{C_1 + 1.5 \cdot b_{ш}} = 0.108.$$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния [1, формула 9.272]:

$$\lambda_{п1нас} = \lambda_{п1} - \Delta \lambda_{п1нас} = 1.334 - 0.108 = 1.226.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора с учётом влияния насыщения [1, формула 9.274]:

$$\lambda_{Д1нас} = \lambda_{Д1} \cdot k_{\delta} = 3.551 \cdot 0.354 = 1.256.$$

Индуктивное сопротивление обмотки фазы статора с учётом влияния насыщения [1, формула 9.274]:

$$x_{1нас} = x_1 \cdot \frac{\lambda_{п1нас} \quad \lambda_{Д1нас} \quad \lambda_{л1}}{\lambda_{п1} + \lambda_{Д1} + \lambda_{л1}} = 2.991 \cdot \frac{1.226 + 1.256 + 0.681}{1.334 + 3.551 + 0.681} = 1.646 \text{ Ом}.$$

Дополнительное раскрытие паза ротора

$$C_2 = (10 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 - 0.354) \cdot 10^3 = 8.4 \text{ мм}.$$

Уменьшение коэффициента проводимости для полузакрытого паза ротора.

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния ротора [1, формула 9.273]:

$$\lambda_{п2нас} = 1.101 - 0.44 = 0.655.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки ротора с учётом влияния насыщения [1, формула 9.274]:

$$\lambda_{Д2нас} = 4.245 \cdot 0.354 = 1.502.$$

Индуктивное сопротивление обмотки фазы ротора с учётом влияния насыщения [1, формула 9.276]:

$$x_{2нас} = 3.855 \cdot \frac{1.502 + 0.655 + 0.306}{5.735} = 1.655 \text{ Ом.}$$

Сопротивление взаимной индукции обмоток в пусковом режиме [1, формула 9.276]:

$$x_{12п} = x_{12} \cdot \frac{F_{ц}}{F_{\delta}} = 30.524 \cdot \frac{857.663}{639.135} = 40.961 \text{ Ом.}$$

Коэффициент $C_{1п.нас.}$ [1, формула 9.278]:

$$C_{1п.нас.} = 1.013.$$

Активное сопротивление во время пуска [1, формула 9.280]:

$$R_n = r + \frac{C_{1п.нас.} \cdot r_2'}{s} = 1.879 + \frac{1.013 \cdot 1.329}{1} = 3.225 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление во время пуска [1, формула 9.280]:

$$X_n = x_{1нас} + C_{1п.нас.} \cdot x_{2нас} = 1.646 + 1.013 \cdot 1.655 = 3.322 \text{ Ом.}$$

Ток в обмотке ротора [1, формула 9.281]:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{R_n^2 + X_n^2}} = \frac{220}{\sqrt{3.225^2 + 3.322^2}} = 47.511 \text{ А.}$$

Ток в обмотке статора [1, формула 9.283]:

$$I_{1н} = I_2' \cdot \frac{\sqrt{R_n^2 + (X_n + x_{12п})^2}}{x_{12п} + C_{1п.нас.}} = 47.511 \cdot \frac{\sqrt{3.225^2 + (3.322 + 127.698)^2}}{127.698} = 48.142 \text{ А.}$$

Кратность тока:

$$I_{1н}^* = \frac{I_{1н}}{I_1} = \frac{48.142}{8.693} = 5.538.$$

Кратность момента:

$$M^* = \frac{I_{1н}'^2}{I_1^2} \cdot \frac{S_{НОМ}}{s} = \frac{34.53}{7.461} \cdot \frac{0.051}{1} = 1.124.$$

Расчёт для остальных значений ряда скольжений ведётся аналогичным образом, результаты вычислений сведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Расчёт пусковых характеристик

Расчётные формулы	Размернос	Скольжение s									
		1	0.8	0.5	0.45	0,40	0,35	0,30	0,2	0,1	0,0001
I	A	8,693	8,693	8,693	8,693	8,693	8,693	8,693	8,693	8,693	8,693
I _{нас}	A	30,155	29,59	26,588	26,229	25,740	25,075	24,149	21,00	14,242	1,685
F _{п.ср.}	A	2072	1883	1498	1435	1376	1308	1229	1016	653	73
B _{фδ}	Тл	7,459	6,777	5,359	5,166	4,952	4,709	4,425	3,655	2,349	0,262
R _n	Ом	3,225	3,519	5,109	5,298	5,559	5,920	6,432	8,352	14,439	1246
I ₂	A	47,51	44,510	34,233	33,261	32,023	30,451	28,474	22,919	14,188	0,018
I _{1n}	A	48,142	45,136	34,798	33,822	32,577	30,997	29,008	23,415	14,614	1,685
I ₁ *	о.е.	5,538	5,192	4,003	3,891	3,748	3,566	3,337	2,694	1,681	0,194
M*	о.е.	2,029	2,169	2,523	2,521	2,514	2,496	2,458	2,261	1,677	0,003

Критическое скольжение[1, формула 9.286]:

$$s_{кр} = \frac{r_2'}{x_1 + x_{2нас}} = \frac{1.329}{1.040 + 1.655} = 0.405.$$

1.013

На основании расчётных данных приведённых в таблице 1.2.

Строим пусковые характеристики кранового двигателя.

На рисунке 1.7. Приведены графики зависимостей пускового тока и пускового момента соответственно.

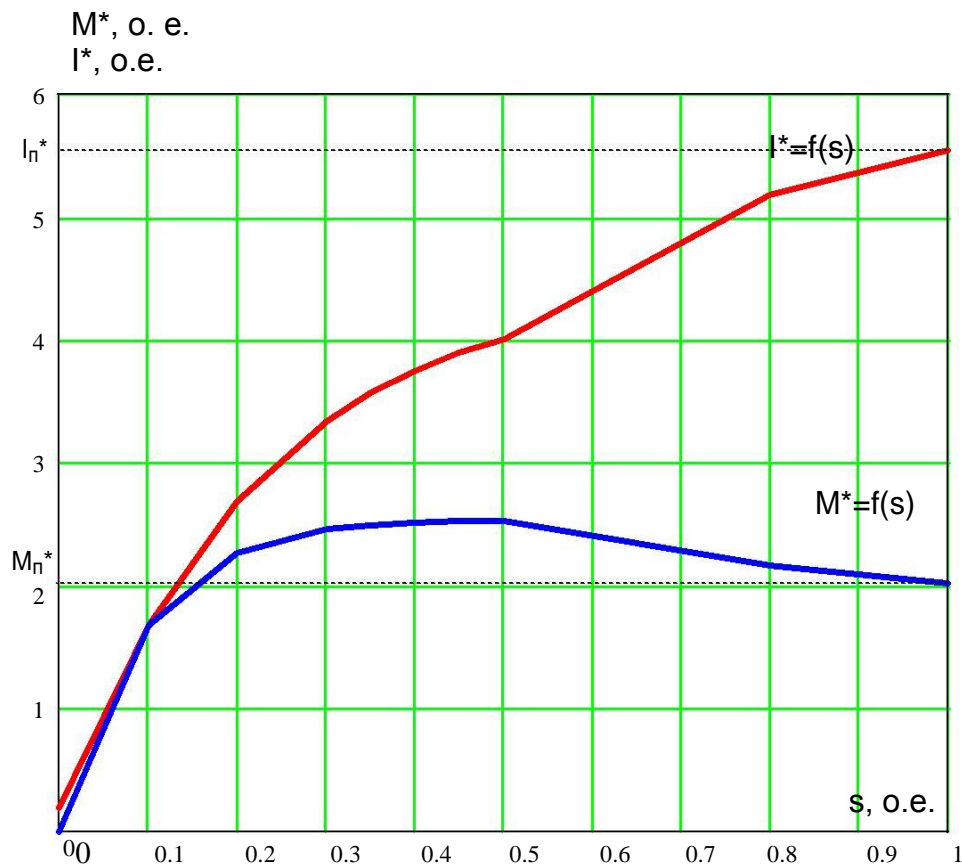


Рисунок 1.7 – Зависимости пускового тока и пускового момента от скольжения.

Вывод: исходя из расчёта пусковых характеристик кратности максимальных тока и момента, удовлетворяют требованиям ГОСТ 28327-89 для асинхронных двигателей:

$$M_{п}^* = 2,029 \text{ о.е.} > 2 \text{ о.е.}$$

$$I_{п}^* = 5,538 \text{ о.е.} < 6 \text{ о.е.}$$

2. Тепловой расчёт

Задачей теплового расчета является определение температуры обмотки статора и обмотки ротора над температурой охлаждающей среды при продолжительном режиме работы. Эти повышения должны быть ниже предельных допускаемых значений для выбранного класса изоляции. В случае если температура обмоток превышает допустимую необходимо перейти на класс изоляции с более высокой допустимой температурой.

Расчёт нагрева проводят, используя значения потерь, полученных для номинального режима. 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

115⁰С). При этом коэффициент увеличения потерь k_{ρ} по сравнению с полученными для расчётной температуры составит $k_{\rho} = \rho_{165} / \rho_{115} = 1.45$.

Электрические потери в обмотке статора делятся на потери в пазовой части

определяемые по формуле

$$P'_{\text{э.п.1}} = k_{\rho} \cdot P_{\text{э1}} \cdot \frac{2 \cdot l_{\delta}}{l_{\text{сп1}}} = 1.45 \cdot 418.146 \cdot \frac{2 \cdot 0.14}{0.583} = 291.2 \text{ Вт.}$$

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

$$\Delta V_{\text{пов1}} = K \cdot \frac{P'_{\text{э.п.1}} + P'_{\text{ст.осн}}}{\pi \cdot D \cdot l_{\delta} \cdot \alpha_1},$$

где

$\alpha_1 = 100 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{C})$ - коэффициент теплоотдачи с поверхности.

$K = 0.20$ – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечник статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину непосредственно в окружающую среду.

Выше описанные коэффициенты принимаются исходя из условий изложенных в [1, формула 10.170]:

Тогда:

$$\Delta V_{пов1} = 0.20 \cdot \frac{291.2 + 58.941}{3.14 \cdot 0.116 \cdot 0.14 \cdot 100} = 13.73 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$\Pi_{п1} = 2 \cdot h_{п1} + b_1 + b_2 = 2 \cdot 0.013 + 5.4 \cdot 10^{-3} + 7.6 \cdot 10^{-3} = 0.0389 \text{ м.}$$

Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора:

$$\Delta V_{из.п1} = \frac{P'_{э.п1}}{Z_1 \cdot \Pi_{п1} \cdot l_{\delta}} \cdot \frac{b_{из}}{\Lambda'_{экв}} + \frac{b_1 + b_2}{16 \cdot \Lambda'_{экв}},$$

где $\Lambda'_{экв} = 0.16 \text{ Вт / (м} \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}$ – средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции; для классов нагревостойкости В, F и H.

$\Lambda'_{экв} = 1.1 \text{ Вт / (м} \cdot \text{ } ^\circ\text{C)}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности внутренней изоляции катушки насыпной обмотки из эмалированных проводников.

Тогда:

$$\Delta V_{из.п1} = \frac{291.2}{36 \cdot 0.0389 \cdot 0.14} \cdot \frac{1.5 \cdot 10^{-4}}{0.16} + \frac{(5.4 + 7.5) \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 1.1} = 2.481 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Найдём электрические потери в обмотке статора в пазовой части

$$P'_{э.я1} = k_{\rho} \cdot P_{эл} \cdot \frac{2 \cdot l_{л1}}{l_{сп1}} = 1.45 \cdot 418.146 \cdot \frac{2 \cdot 0.151711}{0.583} = 315.554 \text{ Вт.}$$

Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей

$$\Delta V_{из.я1} = \frac{P'_{э.п1}}{Z_1 \cdot \Pi_1 \cdot l_{\delta}} \cdot \frac{b_{из.п1}}{\Lambda'_{экв}} + \frac{h_{п1}}{16 \cdot \Lambda'_{экв}};$$

$$\Delta V_{из.я1} = \frac{315.554}{2 \cdot 36 \cdot 0.0389 \cdot 0.151711} \cdot \frac{0}{0.16} + \frac{0.013}{16 \cdot 1.1} = 0.55 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

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

$$\Delta v_{\text{пов.я1}} = \frac{K \cdot P'_{\text{э.я1}}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot l \cdot \alpha} = \frac{0.20 \cdot 315.554}{2 \cdot 3.14 \cdot 0.116 \cdot 0.050527 \cdot 100} = 17,146^{\circ}\text{C}.$$

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя:

$$\Delta v'_1 = \frac{(\Delta v_{\text{пов.я1}} + \Delta v_{\text{из.п1}}) \cdot \delta + (\Delta v_{\text{из.я1}} + \Delta v_{\text{пов.я1}}) \cdot \delta}{l_{\text{ср1}}};$$

$$\Delta v'_1 = \frac{(13,73 + 2,481) \cdot 2 \cdot 0,14 + (0,55 + 17,146) \cdot 2 \cdot 0,151711}{0,583} = 9,21^{\circ}\text{C}.$$

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

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

где

P'_B - сумма потерь, отводимых в воздух внутри двигателя

$$P' = P + (1,45 - 1) \cdot (P_{\text{э1}} + P_{\text{э2}}) = 806,17 + (1,45 - 1) \cdot (418,146 + 228,926) = 1097,35 \text{ Вт}.$$

$$P'_B = P' - (1 - K) \cdot (P_{\text{э1}} + P_{\text{ст.очн}}) =$$

$$= 1097,35 - (1 - 0,20) \cdot (418,146 + 58,941) = 715,68 \text{ Вт.}$$

эквивалентная поверхность охлаждения корпуса

$$s_{\text{кор}} = (\pi \cdot D_a + 8 \cdot \Pi_p) \cdot (l_{\delta} + 2 \cdot l_{\text{выл}}) =$$

$$= (3,14 \cdot 0,116 + 8 \cdot 0,20) \cdot (0,14 + 2 \cdot 0,050527) = 0,516 \text{ м},$$

где $\Pi_p = 0,20 \text{ м}$ – условный периметр поперечного сечения рёбер корпуса двигателя.

$\alpha_B = 22 \text{ Вт / (м} \cdot ^{\circ}\text{C)}$ – коэффициент подогрева воздуха, учитывающий теплоотдающую способность.

Поверхности корпуса и интенсивность перемешивания воздуха внутри машины.

тогда:

$$\Delta v_B = 0,516 \frac{715.68}{22} = 63.04^{\circ}\text{C}.$$

2 Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды:

$$\Delta v_1 = \Delta v'_1 + \Delta v_B = 9.21 + 63.04 = 72.25^{\circ}\text{C}.$$

Превышение температуры обмоток должно быть не выше 20% от 115 градусов Цельсия для класса нагревостойкости F при продолжительном режиме работы электродвигателя по ГОСТ 8865-87.

Таким образом, превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды составило 72.25 градусов Цельсия, являющейся ниже на 37% от 115⁰С – предельно допустимой температуры для обмотки переменного тока машин мощностью менее 5000 кВт с длиной сердечника менее 1 м по ГОСТ 8865-87.

2.1. Вентиляционный расчёт

При вентиляционном расчете машины определяется количество воздуха, которое необходимо каждую секунду прогонять через машину и давление, обеспечивающее прохождение требуемого количества воздуха.

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

2.1.1. Требуемый для охлаждения расход воздуха

$$\theta_B = \frac{k \cdot \sum P'_B}{1100 \cdot \Delta v_B},$$

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

$$k_m = m' \sqrt{\frac{n}{100}} \cdot D_a = 1.8 \sqrt{\frac{1500}{100}} \cdot 0.172 = 2.89,$$

где $m' = 3,3$, для двигателей с $2 \cdot p = 4$ при $h = 100$ мм.

тогда:

$$\theta_B = \frac{2.89 \cdot 715.68}{1100 \cdot 63.04} = 0.0298 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

2.1.2. Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором

$$\theta'_B = 0.6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n}{100} = 0.6 \cdot 0.172^3 \cdot \frac{1500}{100} = 0.046 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Вывод: условие $\theta'_B > \theta_B$ выполняется, значит, вентилятор обеспечивает необходимый расход воздуха, и машина охлаждается эффективно.

3. Механический расчёт вала

Вал является одной из наиболее ответственных деталей машины. Вал изготавливается по системе вала, так как инструмент необходимый для обработки и контроля вала гораздо дешевле, чем отверстия. Механический расчёт вала состоит из расчёта на прогиб и на прочность вала.

4.1 Расчёт вала на прогиб

На рисунке 3.1. представлена схема определения радиальных реакций подшипников R_a и R_b .

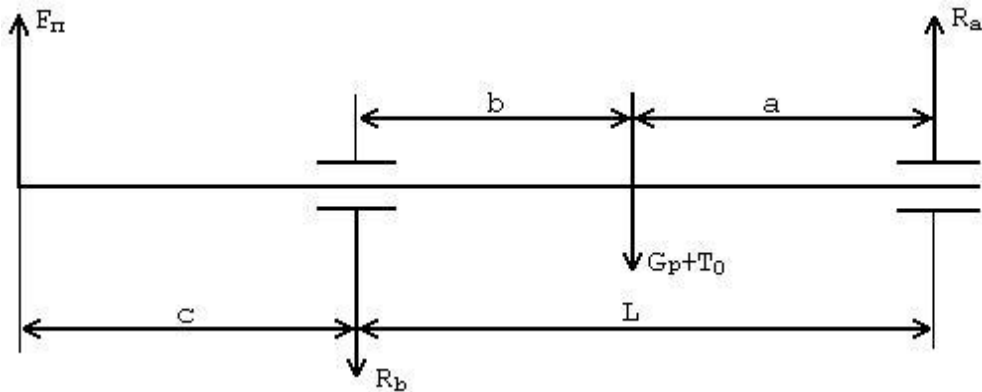


Рисунок 3.1 – Схема определения радиальных реакций подшипников R_a и R_b

Частота вращения вала по формуле

$$n_H = n_1 \cdot (1 - s_H) = 1500 \cdot (1 - 0.0516) = 1423 \text{ об/мин}$$

Номинальный вращающий момент

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P \cdot 10^{-3}}{n_H} = 9550 \cdot \frac{4000 \cdot 10^{-3}}{1423} = 26,85 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Масса ротора в сборе

$$m_p = 6500 \cdot D_2^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0.1156^2 \cdot 0.14 = 12,161 \text{ кг}$$

Нагрузка на вал от собственного веса ротора принимается сосредоточенной в одной точке посередине сердечника. В действительности эта нагрузка является не сосредоточенной, а распределенной.

Соединение двигателя с приводом осуществляется через клиноремённый шкив.

Делительный диаметр окружности шкива принимаем по рекомендациям, предложенным в [2] $D_1 = 0.14$ м.

Поперечные силы, приложенные к выступающему концу вала:

$$F_{\Pi} = \frac{M_H \cdot k_{\Pi}}{D_1} = \frac{26,85 \cdot 0,3}{0,14} = 57,5 \text{ Н.} \quad (1)$$

На рисунке 3.2. Изображён вал проектируемого двигателя с размерами, необходимыми для механического расчёта.

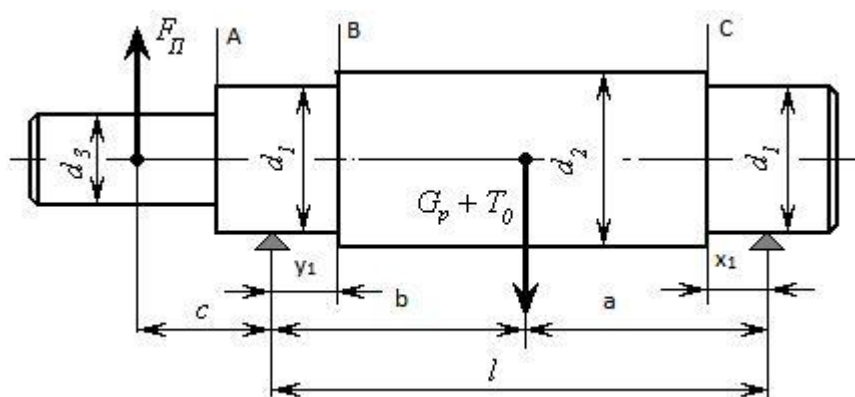


Рисунок 3.2 – Размеры для механического расчета.

$a = 0.100$ м. – расстояние от левой

опоры до центра масс,

$b = 0.110$ м. - расстояние от правой опоры до центра масс,

$c = 0.1$ м. - расстояние от центра свободного конца вала до левой

опоры, $l = 0.210$ м. - расстояния между опорами.

Сила тяжести ротора:

$$G_p = 9.81 \cdot m_p = 9.81 \cdot 12,161 = 119,296 \text{ Н.}$$

Экваториальные моменты инерции на каждом участке вала определяется по формуле:

$$J_i = \frac{\pi}{64} \cdot d_i^4,$$

где d_i – диаметр той ступени, для которой определяется момент инерции.

Экваториальный момент инерции посередине вала:

$$J_1 = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3.14 \cdot (40 \cdot 10^{-3})^4}{64} = 1.257 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Прогиб вала на участке "а"

$$S_a = \sum \frac{x_i^3 - x_{i-1}^3}{J_i} = \frac{0.11^3 - 0.085^3}{0.7366 \cdot 10^{-7}} + \frac{0.085^3}{1.257 \cdot 10^{-7}} = 1.807 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}, \quad \text{где } x_i$$

определяется из рисунка 9.

Экваториальные моменты инерции вала для каждого диаметра на участке "b" рассчитаны по формуле 1, результаты вычислений сведены в таблице 3

Таблица 3. Расчёт моментов инерции на участке "b"

Номинальный диаметр ступени вала, мм	Экваториальный момент инерции, м ⁴
$d_1 = 40 \cdot 10^{-3}$	$J_1 = 1,257 \cdot 10^{-7}$
$d_2 = 35 \cdot 10^{-3}$	$J_2 = 0,7366 \cdot 10^{-7}$
$d_3 = 32 \cdot 10^{-3}$	$J_3 = 5.147 \cdot 10^{-8}$

Прогиб вала на участке "b"

$$S_b = \frac{y_1^3}{J_1} + \frac{y_3^3 - y_1^3}{J_2} = \frac{0.085^3}{1.257 \cdot 10^{-7}} + \frac{0.1^3 - 0.085^3}{0.7366 \cdot 10^{-7}} = 1.357 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$$

где y_i – расстояния определяемые по

рисунку 9 Прогиб вала на участке "с"

$$S_o = \frac{y_1^2}{J_1} + \frac{y_2^2 - y_1^2}{J_2} = \frac{0.085^2}{1.257 \cdot 10^{-7}} + \frac{0.1^2 - 0.085^2}{0.7366 \cdot 10^{-7}} = 1.353 \cdot 10^5 \text{ м}^2$$

Прогиб вала под действием силы тяжести ротора на участке соответствующем середине пакета.

$$f_G = 3 \cdot \frac{G}{E^p} \cdot l \cdot (S_s \cdot a^2 + S_a \cdot \epsilon^2) =$$

$$= \frac{119,296}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,21} \cdot (13570 \cdot 0,1^2 + 18070 \cdot 0,11^2) = 1,551 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

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

Прогиб вала посредине магнитопровода ротора от поперечной силы шкива

$$f_{\pi} = \frac{F \cdot C}{3 \cdot E \cdot l} \cdot \frac{3}{2} \cdot l \cdot S_0 \cdot (a + S_a \cdot \epsilon) =$$

$$= \frac{57,5 \cdot 0,1}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,21} \cdot \frac{3}{2} \cdot 0,21 \cdot 135300 \cdot (13570 \cdot 0,1 + 18070 \cdot 0,11) = 1,032 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Первоначальное смещение ротора

$$l_0 = 0,1 \cdot \delta + f_G + f_{\pi} = 0,1 \cdot 2 \cdot 10^{-4} + 1,551 \cdot 10^{-6} + 1,032 \cdot 10^{-6} = 2,258 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Начальная сила одностороннего магнитного притяжения

$$T_0 = 2,94 \cdot D_0 \cdot l_0 \cdot \frac{l_0}{\delta_0} \cdot 10^5 = 2,94 \cdot 0,1156 \cdot 0,14 \cdot \frac{2,258 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 10^{-4}} \cdot 10^5 = 537,265 \text{ Н.}$$

Прогиб от силы T_0

$$f_T = \frac{f_G \cdot T_0}{G_p} = \frac{1,551 \cdot 10^{-6} \cdot 537,265}{119,296} = 6,985 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Установившийся прогиб вала от одностороннего магнитного притяжения

$$f_M = \frac{f_T}{1-m} = \frac{6,985 \cdot 10^{-6}}{1-0,309} = 10,11 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

где:

$$m = \frac{f_T}{l_0} = \frac{6,985 \cdot 10^{-6}}{2,258 \cdot 10^{-5}} = 0,309$$

Суммарный прогиб посредине магнитопровода ротора

$$f = f_M + f_G + f_{\pi} = (10,11 \cdot 10^{-6} + 1,551 \cdot 10^{-6} + 1,032 \cdot 10^{-6}) = 1,27 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Суммарный прогиб вала составляет 1,0759 – это менее 10% воздушного зазора, что допустимо для нормальной работы асинхронного двигателя.

Критическая частота вращения

$$n_{\kappa} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-m}{f_G}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1-0.309}{1.551 \cdot 10^{-6}}} = 2002 \cdot 10^4 \text{ м,}$$

Расчёт вала на прочность

Подбор материала вала начинается с расчета на прочность. Исходя из воспринимаемых валом нагрузок, его размеров, намеченных предварительно, и допустимых напряжений, подбирают материал, который удовлетворяет предъявляемым требованиям. Материал вала электрической машины испытывает знакопеременные напряжения от изгиба в следствии вращения при постоянно направленных нагрузках.

Тяжелые условия работы относятся к приводу прокатных станов, рольгангов, вальцов, экскаваторов, дизелей, компрессоров и других поршневых машин. Эти тяжелые условия учитываются коэффициентом перегрузки, который примем согласно рекомендаций, изложенных в [1]

Коэффициент

перегрузки $k = 2$

Напряжение на свободном конце вала в сечении "А"

$Z_1 = 0.06\text{м}; id_1 = 0.04\text{м}$ размеры определяемые из чертежа вала, рисунок 9.

Изгибающий момент в сечении "А"

$$M_{ИА} = k \cdot F_{\Gamma} \cdot Z_1 = 2 \cdot 57,5 \cdot 0.06 = 6,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления при изгибе

$$W_A = 0.1 \cdot d_3^3 = 0.1 \cdot 0.032^3 = 3,277 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

Напряжение изгиба

$$\sigma_{\text{прА}} = \frac{1}{W_A} \cdot \sqrt{M_{\text{ИА}}^2 + k \cdot \alpha \cdot M_{\text{Н}}^2} =$$

$$= \frac{1}{3,277 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{6,9^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 26,85)^2} = 1,327 \cdot 10^7 \text{ Па},$$

где $\alpha=0.8$ -отношение допустимого напряжения при изгибе к удвоенному

допускаемому напряжению при кручении, для реверсивных машин.

Напряжение в сечении "В"

$y_1 = 0.085 \text{ м}$; $i_{d1} = 0.04 \text{ м}$ размеры определяемые из чертежа вала
Нагрузка от установившегося магнитного напряжения

$$T = 1 - \frac{T_0}{m} = 1 - \frac{537,265}{1} - 0.309 = 777,844 \text{ Н}$$

Изгибающий момент в сечении "В"

$$M_{\text{ИБ}} = k \cdot F_n \cdot c \cdot l - \frac{y_1}{l} + (G_p + T) \cdot \frac{a \cdot y_1}{l}$$

$$M_{\text{ИБ}} = 2 \cdot 57,5 \cdot 0,1 \cdot 1 - \frac{0,085}{0,21} + (119,296 + 777,844) \cdot \frac{0,1 \cdot 0,085}{0,21} = 14,664 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивлений при изгибе

$$W_B = 0,1 \cdot d_3 = 0,1 \cdot 0,04^3 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

Напряжение изгиба

$$\sigma_{\text{прВ}} = \frac{1}{W_B} \cdot \sqrt{M_{\text{ИБ}}^2 + (k \cdot \alpha \cdot M_{\text{Н}})^2} =$$

$$= \frac{1}{6,4 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{14,664^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 26,85)^2} = 7,088 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

Напряжение в сечении "с"

$$M_{\text{ИС}} = (k \cdot F_{\text{П}} \cdot c + (G_p + T) \cdot b) \cdot \frac{X}{l}$$

$$M_{\text{ИС}} = (2 \cdot 57,5 \cdot 0,1 + (119,296 + 777,844) \cdot 0,11) \cdot \frac{0,085}{0,21} = 4,46 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления при изгибе

$$W_C = 0.1 \cdot d_1^3 = 0.1 \cdot 0.04^3 = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Напряжение изгиба

$$\begin{aligned} \sigma_{прС} &= \frac{1}{W_C} \cdot \sqrt{M_{ИС}^2 + k \cdot \alpha \cdot M_H^2} = \\ &= \frac{1}{6,4 \cdot 10^{-6}} \cdot \sqrt{4,46^2 + 2 \cdot 0.8 \cdot 26,85^2} = 6,743 \cdot 10^6 \text{ Па} \end{aligned}$$

Сопоставляя полученные данные видим, что наиболее нагруженным сечением является сечение А, для которого

$$\sigma_{прА} = 1.7766 \cdot 10^7 \text{ Па} \leq 0.7 \cdot 3500 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Другими словами напряжение изгиба наиболее загруженного сечения меньше предела текучести стали 45, что является необходимым условием при выполнении расчёта вала на прочность.

Выбор подшипников

Радиальные нагрузки для опоры А

$$R_A = F_n \cdot \frac{c}{l + (G_p + T_0)} \cdot \frac{b}{l} = 57,5 \cdot 0,21^{0,1} + (119,296 + 537,265) \cdot \frac{0}{0,21} \cdot \frac{11}{0,21} = 371,289 \text{ Н}$$

Радиальные нагрузки для опоры В

$$R_B = F_n \cdot \frac{(l + c)}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{a}{l} = 57,5 \cdot \frac{(0,21 + 0,1)}{0,21} + (119,296 + 537,265) \cdot \frac{0,1}{0,21} = 397,515 \text{ Н}$$

выбор подшипников производим для каждой опоры отдельно

Приведенная динамическая нагрузка для опоры А

$$Q_A = K_H \cdot R_A = 1,5 \cdot 371,289 = 556,934 \text{ Н},$$

где $K_H = 1.5$ – коэффициент учитывающий характер нагрузки.

Приведенная динамическая нагрузка для опоры В

$$Q_B = K_H \cdot R_B = 1,5 \cdot 397,515 = 596,273 \text{ Н}$$

Динамическая грузоподъемность шарикоподшипника А

$$C_A = 25.6 \frac{Q_A}{(L_D \cdot n_1)^{0.3}} = 25.6 \frac{557}{(18 \cdot 10^3 \cdot 1424)^{0.3}} = 6414 \text{ Н},$$

где: $L_D = 18 \cdot 10^3$ ч- срок службы подшипника в часах.

Динамическая грузоподъемность шарикоподшипника В

$$C_B = 25.6 \frac{Q_B}{(L_D \cdot n_1)^{0.3}} = 25.6 \frac{596}{(18 \cdot 10^3 \cdot 1424)^{0.3}} = 6867 \text{ Н}$$

Согласно [1] для опоры А выбираем шарикоподшипник средней серии 208, для которого $C = 13600 \text{ Н}$.

Таким образом, суммарный прогиб вала составляет 1,0759%, входит в допустимый прогиб это менее 10% воздушного зазора. Изгиб вала составило $1,7766 \cdot 10^7 \text{ Па}$, входящим в рекомендуемое значение менее $24,5 \cdot 10^7 \text{ Па}$, значит вал достаточно прочный. Для унификации было выбраны одинаковые подшипники средней серии 208 с удвоенным запасом динамической грузоподъёмностью.

4. Специальная часть

Электродвигатели используются чрезвычайно широко во всех отраслях промышленности. Часто в технологическом процессе бывает необходимо, чтобы инерционная нагрузка была остановлена быстро и удерживалась в таком состоянии определенное время. При этом силовое питание двигателей отключается для экономии электроэнергии, соблюдения эксплуатационных требований. За счет своевременного остановки электродвигателей можно сократить процесс торможения и как следствие увеличить производительность механизма, а именно объем выпускаемой продукции.

Тормоз для электродвигателей является надежным и эффективным дополнением к любому современному оборудованию. Разнообразие сфер применения двигателей привели к тому, что сегодня выпускается широкий ассортимент этих систем.

Конструктивные особенности электродвигателей, различные сферы их использования привели к тому, что сегодня существуют следующие типы тормозных систем:

- электромагнитный тормоз с независимым питанием;
- тормоз с зависимым питанием от обмотки двигателя;
- встраиваемый тормоз для электродвигателей;
- пристраиваемые тормозные системы;
- статические тормозные системы;
- динамические тормоза для электрических двигателей;
- компактные электромеханические тормозные устройства

с ручным растормаживанием.

Все это позволяет подобрать систему оптимально для определенного технологического процесса, чтобы сделать его максимально надежным, эффективным и рентабельным. Для того чтобы было просто разобраться в установленной системе, существует буквенное обозначение тормозов в маркировке электродвигателей.

Две основные категории тормозных систем — это встраиваемые и пристраиваемые тормоза. Их установка вносит определенные коррективы непосредственно в конструкцию двигателя. Встроенный тормоз для электродвигателей размещается непосредственно во внутреннем объеме силового агрегата. Для этого меняется форма и конструкция вала, ротора, что позволяет увеличить внутреннее пространство. Снаружи обычно располагается только диск-вентилятор тормозной системы. Принцип действия тормоза основан на использовании определенного процента магнитного потока между ротором и статором, благодаря которому создается тяговое усилие. Именно с его помощью формируется тяговое усилие, способное растормозить электродвигатель. Тормозной момент возникает с помощью специальной пружины, прижимающей тормозные накладки диска-вентилятора к подшипниковому щиту.

Пристраиваемые тормозные системы состоят из тормозного устройства, монтируемого на валу двигателя и подшипниковом щите. Оно монтируется под специальным защитным кожухом и состоит из электромагнита, системы для настройки тормозного момента, пружин и тормозного диска. Подавая на двигатель номинальное напряжение, оператор включает электромагнит — и происходит растормаживание.

В настраиваемых электроприводах лучше использовать электромагнитный тормоз с независимым питанием. Это позволяет независимо от работы электродвигателя остановить его в случае аварии или возможного причинения вреда человеку. В современных производствах чаще используются пристраиваемые электротормоза, в результате удобства монтажа и возможностью производить тормоз независимо от двигателя.

В ходе анализа было принято решение произвести электромагнитный расчет пристраиваемого электромагнитного тормоза с независимым питанием.

Электромагнит имеет цилиндрическую форму, бронированную конструкцию и два полюса. В радиальном направлении устройство ограничено наружным диаметром статора. В осевом направлении происходит ограничение

по условию охлаждения. Схематическое изображение электромагнита представлено на рисунке 4.1.

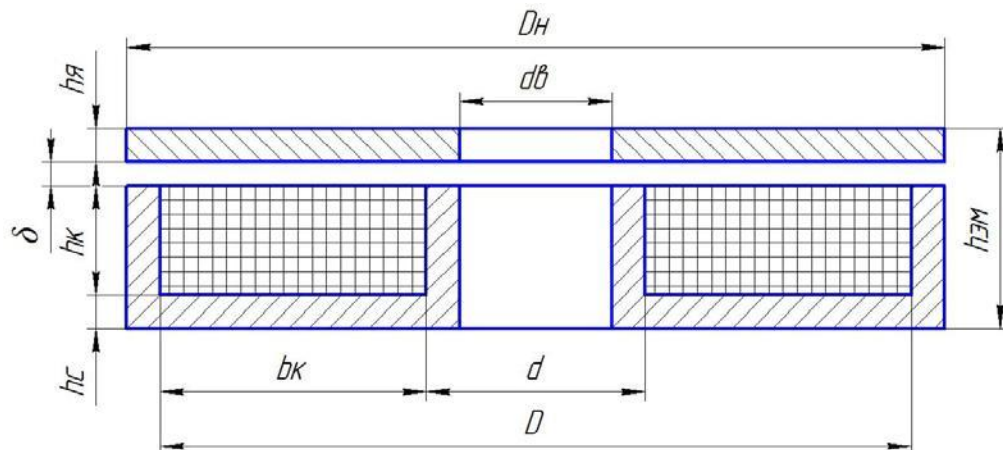


Рисунок 4.1 – Эскиз электромагнита в разрезе.

На основе электромагнитного расчета электродвигателя и проработки конструкции механизма принимаются габаритные размеры электромагнита(ЭМ).

Исходные данные для расчёта электромагнита:

$$P_H = 4,0 \text{ кВт};$$

$$n_2 = 1423 \text{ об/мин};$$

$$\delta = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$D_H = 172 \text{ мм}; d_b = 35$$

$$\text{мм}; R_T = 0,1 \text{ м}; t_{TP} =$$

$$0,05 \text{ с}.$$

Величина номинального момента асинхронного электродвигателя:

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H} = 9550 \cdot \frac{4,0}{1423} = 26,85 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Величина тормозного момента:

$$M_m = M_H \cdot k = 26,85 \cdot 1,75 = 47 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Величина противодействия возвратных пружин:

$$Q_{пр} = \frac{M_m}{K_{mp} \cdot R \cdot Z} = \frac{47}{0,4 \cdot 0,1 \cdot 2} = 588 \text{ Н}.$$

Для магнитопровода и якоря выбираем материал сталь 3.

Данная сталь обладает хорошей прочностью, и оптимальной индукцией. Индукция в воздушном зазоре находится в интервале $B_{\delta}=0,835$ Тл. Для предельной индукции, определяемой диаметром d_1 принимаем $B_n=0,95\dots 1,00$ Тл.

Принимаем $B_{\delta}=0,835$ Тл, $B_n=1,00$ Тл.

Номинальный ток ЭМ: $I_y=0,5\dots 0,8$ А (ток удержания в номинальном режиме).

Быстродействие ЭМ принимаем равное $t_{тр}=0,05$ с.

При условии равномерного распределения усилий площади полюсов равны:

$$S_{\pi} = \frac{\Pi}{4} \cdot (d^2 - d_{\epsilon}^2) = \frac{\Pi}{4} \cdot (D_n^2 - D^2).$$

Площадь одного полюса находим по формуле Максвелла:

$$S_{\pi} = \frac{Q_{пр} \cdot \mu_0}{B_{\delta}^2} = \frac{588 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{0,835^2} = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

Диаметр под катушку ЭМ определяем по формуле:

$$D = \sqrt{D_n^2 - 4 \frac{S_{\pi}}{\Pi}} = \sqrt{72^2 - 4 \frac{0,00102}{\pi}} = \sqrt{0,0296 - 0,0013} = 0,168 \text{ м}, d = \sqrt{d_{\epsilon}^2 + 4 \frac{S_{\pi}}{\Pi}} = \sqrt{0,035^2 + 4 \frac{0,00102}{\pi}} = \sqrt{0,001225 + 0,0013} = 0,050 \text{ м}.$$

Средняя длина витка катушки:

$$l = \pi \frac{D + d}{2} = 3,1416 \frac{0,168 + 0,050}{2} = 0,108 \text{ м}.$$

МДС в воздушном зазоре:

$$F = \frac{2\delta \cdot B_{\delta}}{\mu_0} = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,835}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 265 \text{ А}.$$

Толщина якоря и спинки ярма:

$$h_{я} = h_{с} = \frac{B_{\delta} \cdot S_n}{B_n \cdot \pi \cdot d} = \frac{0,835 \cdot 0,00102}{1 \cdot 3,1416 \cdot 0,04} = 0,0068 \text{ м} \approx 7 \text{ мм},$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{0,05 + 0,035}{2} = 0,0425 \text{ м},$$

$$D = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{0,108 + 0,172}{2} = 0,14 \text{ м}.$$

Минимальная индукция в переменном сечении (ярме):

$$B_N = B_{\Gamma} \cdot \frac{d}{D_1} = 1 \cdot \frac{0,0425}{0,17} = 0,25 \text{ Тл}.$$

Максимальная индукция в переменном сечении:

$$B_{\max} = B_{\Gamma} = 1 \text{ Тл}.$$

Индукция в среднем сечении:

$$B_c = \frac{2 \cdot B_{\Gamma} \cdot d}{d_1 + D_1} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 0,0425}{0,0425 + 0,17} = 0,4 \text{ Тл}.$$

Для нахождения напряженности для стали Ст3, необходимо для полученных значений магнитных индукций выбрать напряженность по кривой намагничивания.

$$B_{\delta} = 0,835 \text{ Тл} \rightarrow H_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{\mu_0} = \frac{0,835}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 6,6 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}},$$

$$B_M = 0,835 \text{ Тл} \rightarrow H_M = 745 \frac{\text{А}}{\text{м}},$$

$$B_c = 0,4 \text{ Тл} \rightarrow H_c = 304 \frac{\text{А}}{\text{м}},$$

$$B_N = 0,25 \text{ Тл} \rightarrow H_N = 192 \frac{\text{А}}{\text{м}}.$$

В переменном сечении эквивалентная напряженность:

$$H_p = \frac{H_M + 4 \cdot H_c + H_N}{6} = \frac{745 + 4 \cdot 304 + 192}{6} = 389 \frac{\text{А}}{\text{м}}.$$

Тогда МДС трогания (принимая $h_k = 18 \text{ мм}$):

$$\begin{aligned}
 F_{mp} &= 2 \cdot H \cdot (h_{\text{я}} + h_{\text{к}}) + H_p \cdot (D_1 - d_1) + 2 \cdot H_{\delta} \cdot \delta = \\
 &= 2 \cdot 745 \cdot (0.007 + 0.018) + 389 \cdot (0.17 - 0.0425) + 2 \cdot 6.6 \cdot 10^6 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3} = \\
 &= 37.25 + 49.6 + 20300 = 20388 \text{ A.}
 \end{aligned}$$

При условии использования той же индукции в номинальном режиме при остановочном зазоре ($\delta_0 = 10^{-5} \text{ м}$), то МДС удержания определяется:

$$\begin{aligned}
 F_y &= 2 \cdot H \cdot (h_{\text{я}} + h_{\text{к}}) + H_p \cdot (D_1 - d_1) + 2 \cdot H_{\delta} \cdot \delta_0 = \\
 &= 37.25 + 49.6 + 2 \cdot 6.6 \cdot 10^6 \cdot 0.2 \cdot 10^{-5} = 291 \text{ A.}
 \end{aligned}$$

Определим параметры катушки по формуле графическим способом:

$$\tau_1 = \frac{B_{\delta} \cdot S_{\text{п}} \cdot F_y}{\rho_0 \cdot l \cdot F \cdot I_{\text{пр}}},$$

При $t = 80^{\circ} \text{C}$, $\rho_0 = 1,785 \cdot 10^{-8} \cdot 1,3 = 2,32 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Условие выполнения быстродействия определим минимальное сечение провода:

$$S_{\text{пр}} > \frac{F_{\text{пр}} \cdot \rho_0 \cdot l}{k_c \cdot U_c} = \frac{20388 \cdot 2,32 \cdot 10^{-8} \cdot 0,108}{0,27} = 0,27 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

где k_c – коэффициент просадки напряжения при пуске АД U_c – среднее выпрямленное фазное напряжение при пуске

Возможная зона изменения сечения провода, при соблюдении минимального сечения провода равного $0,27 \text{ мм}^2$.

$$\tau_2 = \ln \left(\frac{U_c \cdot S_{\text{пр}}}{F_{\text{пр}} \cdot \rho_0 \cdot l} \right) k_c \cdot U_c \cdot S_{\text{пр}}$$

Результаты расчета сведены в табл. 4 и табл. 5.

Таблица 4.1. Результаты расчета

$$k_c \cdot U_c$$

$$0.835 \cdot 220$$

$S_{пр},$ MM^2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
T_1, c	0,024	0,036	0,048	0,061	0,073	0,085	0,097	0,109	0,121

Таблица 4.2. Результаты расчета

$S_{пр},$ $мм^2$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$T_2, с$	0,015	0,021	0,044	0,063	0,082	0,101	0,120	0,138	0,157

По данным таблиц 4.1. и 4.2. построим график на рис. 4.2.

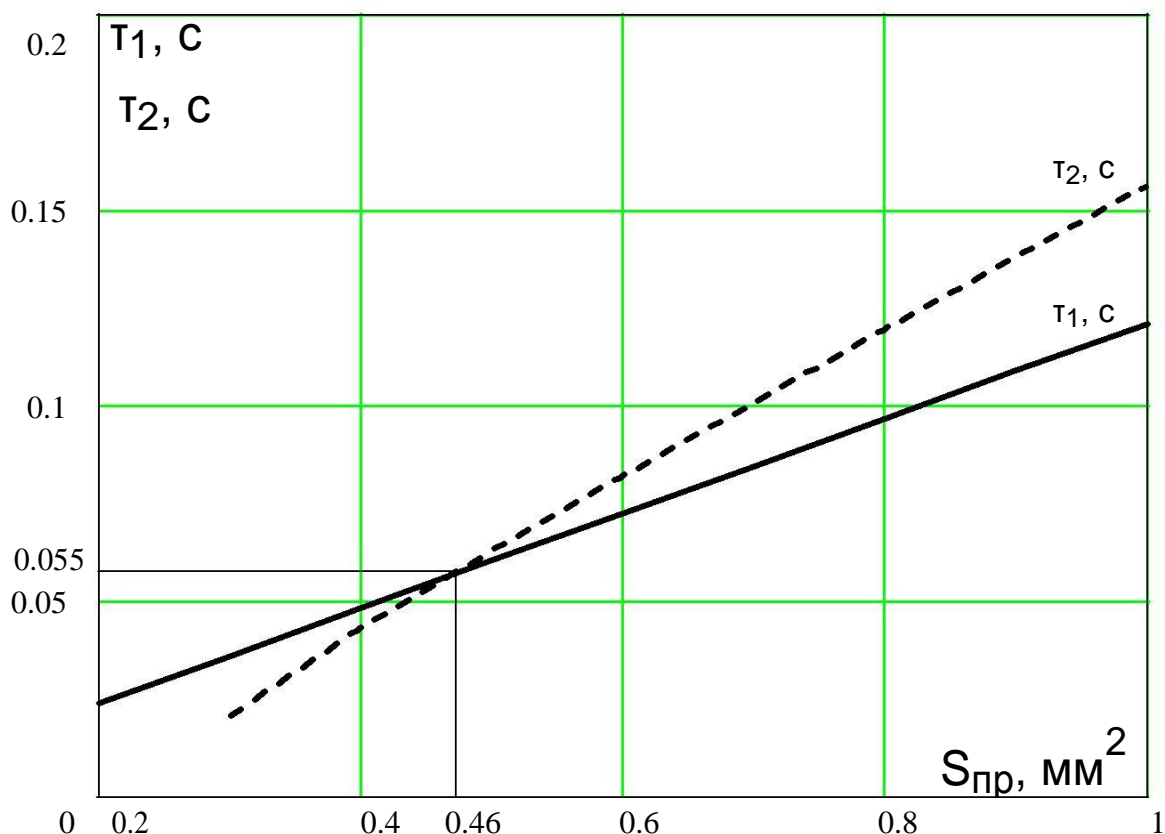


Рисунок 4.2 – Графическое определение сечения обмоточного провода электромагнита.

Исходя из графика, представленного на рис. 2.1, определим искомое сечение провода, удовлетворяющее энергетическим требованиям и быстродействию. Выберем ближайший провод ПЭТ-155.

$$d_{пр}=0,8\text{мм}, d_{из}=0,865\text{мм}, S_{пр}=0,503\text{мм}^2$$

Принимаем число витков равное $w=1000$

шт. Тогда сопротивление катушки будет:

$$R = \frac{l \cdot \rho_0 \cdot F_{mp}}{B \cdot S \cdot S} = \frac{0,055 \cdot 2,32 \cdot 10^{-8} \cdot 0,108 \cdot 20388}{0,835 \cdot 1,02 \cdot 0,503 \cdot 10^{-6}} = 64,4 \text{ Ом};$$

Номинальный ток:

$$I_H = \frac{U_C}{R_0} = \frac{220}{64.4} = 3.4 \text{ A}$$

Номинальное напряжение, достаточное для удержания якоря в притяннутом состоянии:

$$U_y = R_0 \frac{F}{W^y} = 64.4 \frac{291}{1000} = 18.7 \text{ B}$$

С учетом просадки напряжения, напряжение необходимое для удержания якоря равно 24 В.

Определим габариты в осевом направлении магнитопровода с электромагнита. Необходимо учесть пазовую изоляцию толщиной 1 мм и защитный слой компаунда 3 мм.

$$\text{Ширина окна } b_k = \frac{D - d}{2} = \frac{168 - 50}{2} = 59 \approx 60 \text{ мм.}$$

Под обмотку $60 - 2 = 58$ мм;

Количество витков в слое: $58 / d_{из} = 58 / 0,865 = 67$

шт; Число слоев: $1000 / 67 = 15$ слоев;

Осевая длина катушки: $h_k = 15 \cdot 0,865 + 1 + 3 = 17$ мм;

$$\text{Коэффициент заполнения: } k_3 = \frac{w \cdot S_{пр}}{h_k \cdot b_k} = \frac{1000 \cdot 0.865}{17 \cdot 60} = 0.88 \text{ е.}$$

При малых габаритах магнита и малой мощности, с учетом пропитки обмотки перегрев обмотки выше допустимой 105 градусов не будет.

В заключении можно сказать, что включение электромагнита производится напряжением 220 В через двухполупериодный мостовой выпрямитель, при этом питание электромагнита осуществляется напряжением 24 В. Время удержание при включении не превышает 0,055 сек, при напряжении 24В и токе 0,4 А.

5. Технология производства

В современном обществе технология производство совершенствуется. Появление новых видов станков, оборудования и материалов позволяют улучшать технологические решения при производстве изделий. Для однотипных деталей разработаны системы, стандарты, группы, но даже для их изготовления необходимо установить определённый порядок, так называемый технологический процесс, в котором указываются все способы и состояния физического и химического изменения, выбор оборудования, оснастки, инструмента.

Научные исследования и разработки, предоставляемые научно-исследовательскими и проектно-технологическими институтами, позволяют создать типовые технологические процессы. А также применение специального технологического оборудования позволяет сократить время технологической подготовки производства и трудоемкость выпускаемых изделий при улучшении качества.

Технологический процесс представляет собой сборку статора электродвигателя. Сборка статора определяет качество двигателя, так как от этого этапа зависят множество размеров, в особенности точность замковых поверхностей.

Программа производства предусматривает серийное производство с выпуском 5500 штук изделий в год. Такой вид производства характеризуется ограниченной номенклатурой изделия и сравнительно большим объемом выпуска. В данной работе были рассмотрены оценка технологичности конструкции, расчет усилий запрессовки, анализ исходных данных, составление маршрутной технологии обработки, составлена маршрутная карта, выполнен расчет норм времени, а также выбрано оборудование и оснастка для сборки.

5.1. Анализ исходных данных

В работе анализируется технологический процесс сборки статора асинхронного двигателя. В данной работе следует выполнить анализ исходных данных и служебного назначения; провести оценку технологичности конструкции статора; разработать схему сборки статора и маршрутную технологию его изготовления; выбрать оборудование и оснастку; определить нормы времени по всем операциям; рассчитать количество оборудования и его загруженность, требующееся для обеспечения выпуска заданной годовой программы.

Анализируя конструкцию статора, необходимо составить спецификацию. Спецификация является основным конструкторским документом для сборочной единицы. Статор состоит из сердечника с катушками поз.2. К особенностям конструкции сердечника статора можно отнести его шихтованность, которая позволяет снизить потери от вихревых токов. Статор рассматриваемого двигателя имеет значительную массу, что требует применения подъемных устройств и использовать для перетаскивания тележку. Другими элементами являются станина поз. 2. Станина необходима для фиксирования и закрепления изделия на объекте эксплуатации с помощью отверстий в лапах. Для предотвращения прокручивания сердечника статора в станине предусматривается отверстие для штифта поз. 3. Для переноса и транспортировки используется рым-болт поз. 4.

Статор в сборе состоит из самостоятельных элементов – сердечника магнитопровода и станины. Это обеспечивает возможность параллельного независимого изготовления составных частей и самого изделия. Статор имеет узкую номенклатуру входящих в его состав материалов, что позволяет применять для механической обработки узкую номенклатуру режущих инструментов.

Сердечник статора является элементом магнитной цепи. Он необходим для создания вращающегося магнитного поля, создаваемого обмоткой статора.

5.2. Служебное назначение и особенности конструкции

Данное изделие входит в состав асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Асинхронные двигатели находят наибольшее применение в промышленности.

Статор состоит из сердечника с катушками поз. 1. В машинах малой и средней мощности обмотку обычно изготавливают путём автоматизированной намотки обмотки. Это позволяет ускорить технологический процесс, снизить время выпуска. Одним из недостатков обмоток сердечника статора является появление при намотке катушки короткозамкнутых витков(КЗ), которые должны быть обнаружены до включения двигателя в сеть, так как по КЗ виткам протекают больше токи, следовательно, витки сильно нагреваются и обмотка выгорает. Пропитка обмоток позволяет избежать возникновения трещащих элементов и улучшает охлаждения, за счет удаления воздушных промежутков между витками. А также пропитка улучшает изоляцию обмоток позволяя избежать дефектов, вызванных повреждением изоляции обмотки при изготовлении катушки. Такие действия позволяют увеличить срок службы электродвигателя. Поэтому асинхронные электродвигатели считаются одними из простых и долговечных двигателей.

Другой элемент статора – является станина поз. 2. Станина выполняется методом литья, с дальнейшей механической обработкой. Наиболее ответственные места в станине являются замковые поверхности, необходимые для обеспечения требуемого воздушного зазора, внутреннего диаметра, необходимого для правильной и точной запрессовки сердечника с катушками. Для ограничения глубины запрессовки в станине выполняется специальный буртик, в который упирается сердечник. Для придания жесткости конструкции и лучшего охлаждения двигателя предусмотрены ребра жесткости, выполненные на наружной поверхности.

Для лучшей фиксации сердечника с катушками предусмотрен штифт поз. 3, препятствующий проворачиванию вокруг своей оси. Двигатель имеет

большую массу, по этой причине для транспортирования предусмотрен рым-болт поз. 4.

Из достоинств, следует отметить лёгкость в изготовлении, и отсутствие электрического контакта со статической частью машины, что гарантирует долговечность и снижает затраты на обслуживание.

5.3. Оценка технологичности конструкции

Под технологичностью изделия называется совокупность свойств конструкции определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, а также объема выпуска и условий выполнения работ.

Комплекс государственных нормативно-технических документов (ЕСТПП и ЕСКД), направлен на решение задачи сокращения затрат, средств и времени во всех сферах производственной деятельности при обязательном сохранении (а там, где возможно и повышении) требуемого качества изделий.

В связи с тем, что технологичность изделия определяется совокупностью свойств его конструкции, характеризующих возможность оптимизации затрат труда, средств и времени на всех стадиях создания, производства и эксплуатации изделия, то основными показателями технологичности являются трудоемкость изготовления и технологичная себестоимость изделия.

В конструкции предусмотрено:

1. Взаимозаменяемость деталей и узлов сборочной единицы: удобный подход при использовании монтажно-сборочных инструментов.
2. Простота геометрических форм: минимальное число деталей. Ограниченное многообразие размеров и посадок. Конструкция обеспечивает простоту компоновки и конструктивных решений изделия, параллельную сборку сборочных единиц и деталей, контроль и испытание сборочных единиц, высокое качество изготовления деталей при оптимальных затратах.

Уменьшение количества наименований деталей и узлов машины, а также использование стандартных деталей и узлов снижают себестоимость изготовления машины. Необходимо обеспечить возможность удобного подвода механизированного сборочного инструмента к местам соединения деталей и лёгкость захвата их грузоподъемными устройствами.

Сборка статора является одним из важнейших процессов, определяющих качество двигателя. Данная программа производства (5500 шт./год) предусматривает серийное производство, которое характеризуется ограниченной номенклатурой изделия и сравнительно большим объемом выпуска.

Статор рассматриваемого двигателя имеет относительно большую массу, поэтому для его транспортировки используют кран-балку и тару, которая защищает изделие от повреждений. Статор в сборе состоит из самостоятельных элементов, что обеспечивает возможность параллельного независимого изготовления составных частей изделия. Статор имеет узкую номенклатуру входящих в его состав материалов, что позволяет применять для механической обработки узкую номенклатуру режущих инструментов.

Анализируя конструкцию статора в сборе проектируемого двигателя, следует выделить как технологические достоинства, так и технологические недостатки конструкции статора. Сердечник статора выполняется из листов электротехнической стали. Листы штампуются на специально предназначенных штампах, это упрощает изготовление пакета магнитопровода, так как не требуется точение или фрезерование пазов магнитопровода, упрощено получение всей формы пакета. Так же такая конструкция обусловлена требованиями по снижению потерь в стали на вихревые токи. С точки зрения технологии — это хорошо, но при работе штампы изнашиваются - это ведет к образованию заусенцев, наклепа и т.д., а это приводит к увеличению потерь в стали зубцов, а значит ухудшение энергетических характеристик двигателя. Стоит отметить, что статор имеет такие достоинства как взаимозаменяемость деталей и узлов сборочной единицы, что обеспечивает удобный подход при использовании монтажно-сборочных инструментов и кроме того статор имеет

простую геометрическую форму, что очень важно при сборке. Таким образом, конструкция данного изделия технологична.

5.4. Расчет усилий запрессовки сердечника статора в станину и выбор оборудования и оснастки для запрессовки

Расчёт усилия запрессовки. Наиболее часто неподвижные соединения при сборке образуются путём запрессовки (напрессовки) соединяемых деталей (посадка шестерён или подшипников на валы, посадка втулок в корпус и т. д.).

Исходные данные диаметров для посадки и их допуски:

$$\begin{aligned} & \varnothing 172H7^{+0,04} \text{ мм}; \\ & \varnothing 172r6_{+0}^{+0,068}{}^{093} \text{ мм}; \end{aligned}$$

Определим наибольший натяг по допускам. i – максимальный натяг в соединении деталей: $i=0,093-0=0,093$ мм;

Прочность и неподвижность таких соединений обеспечивается силами трения, которые определяются величиной давления, создаваемого натягом:

$$p = \frac{i}{C} \frac{C}{d \left(\frac{a}{E_a} + \frac{b}{E_b} \right)} = \frac{0,093}{5,42} \frac{4,86}{116 \left(\sqrt{200000} + \sqrt{200000} \right)} = 15,6 \text{ МПа},$$

где d – номинальный размер сопряжения, мм; E_a и E_b – модуль упругости первого рода материала вала и втулки соответственно (сталь – 200000 МПа); C_a и C_b – безразмерные коэффициенты, вычисляемые по формулам:

$$C_a = \frac{\frac{d}{D}^2}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2} + \mu_a = \frac{\frac{116}{172}^2}{1 - \left(\frac{116}{172}\right)^2} + 0,28 = 5,42 \quad C_b = \frac{\frac{d}{D}^2}{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2} - \mu_b = \frac{\frac{116}{172}^2}{1 - \left(\frac{116}{172}\right)^2} - 0,28 = 4,86,$$

где D – наружный диаметр втулки (кольца подшипника, ступицы колеса и т. д.);

d – диаметр отверстия вала ($d = 0$, если вал сплошной); μ – коэффициент Пуассона (сталь 0,28).

Для запрессовки/напрессовки необходимо приложить к сопрягаемым деталям усилие, возрастающее от 0 до наибольшего значения:

$$P = f \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot p \cdot 10^{-3} = 0,10 \cdot 3,1416 \cdot 116 \cdot 140 \cdot 15,6 \cdot 10^{-3} = 79,6 \text{ кН},$$

где f – коэффициент трения на сопрягаемых поверхностях (принимается от 0,08 – для чисто обработанных и хорошо смазанных поверхностей до 0,12);

L – длина сопряжения, мм.

Сборка с термовоздействием производится путём нагрева охватывающей или охлаждения охватываемой детали. Температура нагрева (охлаждения) для получения теплового сборочного зазора в соединении:

$$T = i + \delta \frac{k \pm T_0}{\alpha \cdot d} = \frac{0,093 + 0,049 + 0,05}{11 \cdot 10^{-3} \cdot 116} + 20 = 125^{\circ} \text{C},$$

где i – максимальный натяг в соединении;

δ – компенсационное сужение (расширение) сопрягаемых поверхностей за время подачи детали на сборочную позицию, в приближённых расчётах принимается $\delta = 0,01 \cdot \sqrt[3]{d} = 0,01 \cdot \sqrt[3]{116} = 0,049$;

k – термический сборочный зазор, (0,02-0,05 в зависимости от величины d и L);

■ – коэффициент линейного расширения материала в 1/град: для стали – 11,0■; для бронзы – 17,5■; для алюминия – 23,82■;

T_0 – температура окружающей среды (20 °C), берётся со знаком + при нагреве и – при охлаждении. **Таким образом, при запрессовке необходимо приложить усилие равное 79,6 кН или нагреть станину до 125 °C при меньшем усилии.**

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

1. Запрессовочный станок КД2122

Для запрессовки используется запрессованный станок, с установкой необходимыми параметрами запрессовки

2. Горизонтально-сверлильный станок РТ-65

Необходим для создания отверстия под штифт

3. Станок токарный специализированный РТ753Ф3

Станок предназначен для чистовой обработки внутреннего диаметра статора и замковых поверхностей.

4. Вертикально-фрезерный обрабатывающий центр Haas VF-2

Фрезерование поверхности лап

5. Камера окраски электродвигателей ОРИОН

6. Стол слесарный для контроля размеров.

Также используется оснастка для *контроля запрессовки*, набор пробников для контроля диаметров *и длин*.

5.5. Схема сборки статора

Схема сборки отображает схематично путь сборки статора. На ней также показаны необходимые пояснения. Она изображена на рисунке 5.1.

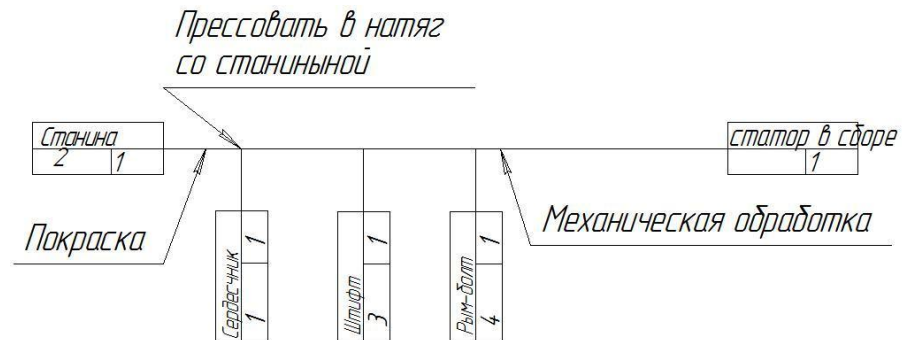


Рисунок 5.1 – Схема сборки

5.6. Маршрутная технология сборки

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

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

Маршрутная технология состоит из 5 операций, представленных в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Список операций

№	Описание
005	Запрессовка сердечника
010	Сверление отверстия под штифт
015	Забивание штифта, установка рым-болта
020	Обточка замковых поверхностей
025	Фрезерование лап
030	Контроль
035	Окраска

5.7. Расчет норм времени

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

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

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

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

где T_o - основное (технологическое)

время ; T_v -вспомогательное время;

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

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 [7].

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

Время организационного обслуживания рабочего места. В нем 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. Данное время определяют в процентах от оперативного времени по нормативам (обычно в пределах 0,6-8%) [7].

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

5.8. Пример расчета норм времени для операции005 (запрессовка).

Станину устанавливают в запрессовочный станок, фиксируют сердечник и прессуют.

T_o -основное(технологическое)время:прессование–0,5мин; T_v - вспомогательное время:Одевание перчаток,перенос элементов– 2,5 мин;

$T_{об}$ -время организационного обслуживания рабочего места– 0,4мин;

T_p - время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего – 0,1 мин.

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{об} + T_p = 0,5 + 2,50 + 0,4 + 0,1 = 3,5 \text{ мин.},$$

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

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/n = 3,5 + 3/6000 = 3,5 \text{ мин.},$$

где $T_{пз}$ - подготовительно заключительное время,

n - число изделий в партии. Принимаем равным годовому выпуску-6000штук/год.

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. $T_{пз}$ в данном случае затрачивается для наладки оправки, подготовки ее к работе, снятие и сдачу инструментов и приспособлений после выполненной работы, и сдачу собранных изделий [3, 7].

Таблица 5.2 – Расчет норм времени

Операция	T_o , мин	T_v , Мин	$T_{оп}$, мин	$T_{об}$, мин	T_p , мин	$T_{пз}$, мин	$T_{шт}$, мин	$T_{шт.к}$, мин
005	0,5	2,5	3,0	0,4	0,1	3,0	3,5	3,5
010	1,5	2,0	3,5	0,3	0,1	4,0	3,9	3,9
015	4,0	0,2	4,2	0,3	0,2	4,0	4,7	4,7
020	0,9	0,1	1,0	0,1	0,0	4,0	1,1	1,1
025	17,0	0,4	17,4	1,4	0,7	4,0	19,4	19,4
030	3,5	0,3	3,8	0,3	0,2	4,0	4,3	4,3
035	30,0	0,5	30,5	2,4	1,2	4,0	34,2	34,2

Для заполнения таблицы 5.2. была использована литература [6].

5.9. Расчет количества оборудования для выполнения годовой программы

Для определения потребного количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий (в нашем случае 6000шт/год), суммарные нормы времени по каждому виду оборудования и эффективный годовой фонд производственного времени оборудования, который при сорокачасовой неделе можно рассчитать по формуле:

$$F_{\partial} = \frac{(365 - B_{\partial} - П_{\partial}) \cdot 8 \cdot \tau_{\partial} \cdot z \cdot K_p}{\partial} = \frac{(365 - 104 - 11) \cdot 8 \cdot 9 \cdot 1 \cdot 1}{9} = 1991ч$$

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

$П_{\partial} = 11$ – количество праздничных дней в году;

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

K_p – коэффициент учитывающий время пребывания единицы оборудования в ремонте, $K_p = 0,98$ – для

неавтоматизированного процесса сборки,

$z = 1$ – число смен работы оборудования.

Расчетное число каждого из видов сборочного оборудования:

$$C_p = \frac{T_{штк.} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}}$$

где $N = 6000$ шт/год – годовая программа выпуска;

$T_{штк.}$ – сумма $T_{штк.}$ для единицы оборудования.

Коэффициент загрузки оборудования:

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

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

Данные расчета коэффициента загрузки каждого вида оборудования представлены в таблице 3.

Приведем пример расчета коэффициента загрузки оборудования на основании для электропечи. Для остальных выполним аналогичным образом.

5.10. Запрессовочный станок

(операции 005)

$$C_p = \frac{\text{штк.}}{60 \cdot F_{\partial}} = \frac{(3,5) \cdot 6000}{60 \cdot 1991} = 0,18$$

Принимаем $C_{\text{Правное}} = 1$

$$K_z = \frac{C_p}{C_{\text{П}}} \cdot 100\% = \frac{0,18}{1} \cdot 100\% = 18\%$$

Занесем полученные результаты в таблице 5.3.

Таблица 5.3. - Расчет коэффициента загрузки

Наименование оборудования	С		К _з , %
	р	п	
Запрессовочный станок	0,18		18
Горизонтально-сверлильный станок	0,20		20
Стол слесарный	0,24		24
Токарный станок	0,06		6
Фрезерный станок	0,98		98
Стол контролера	0,21		21

По данным таблицы 5.1. построена диаграмма, показывающая коэффициенты загрузки для различных типов оборудования, участвующего в процессе общей сборки асинхронного двигателя с электромагнитным тормозом.

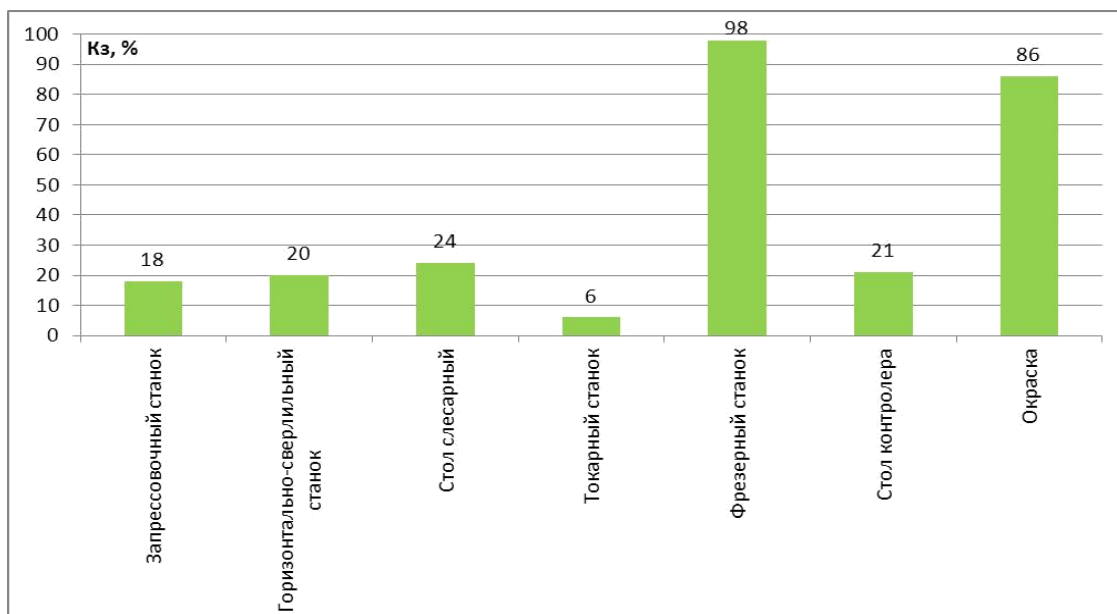


Рисунок 5.2 – График загрузки оборудования.

Для проверки программы выпуска в год выбирается самое загруженное оборудование и считается возможно ли выпустить нужное число изделий. В данном случае самым загруженным оборудованием является фрезерный станок в количестве 2 штуки.

Из формулы $C_p = T_{штк.} \cdot N$ выразим N , подставив C_p вместо C_p .

$$N = \frac{60 \cdot F \cdot \partial}{T_{штк.} \cdot C_p} = \frac{60 \cdot 1991 \cdot 1}{T_{штк.}(19, 45)} = 6141 \text{ шт.}$$

Таким образом, 6141 больше 6000. **Программа выпуска выполняется.**

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

Мощность – 4000 кВт,

Номинальное напряжение –

220/380 В, Частота питающей сети

– 50 Гц, Число пар полюсов – 4.

6.1 Смета затрат на проектирование

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

Распределение работы между работниками, проектирующими сводим, в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – План разработки выполнения этапов проекта.

№	Перечень выполняемых работ	Исполнители		Разряд	Продолж. (дней)
		Кол-во	Должность		
1	Получение тех. задания на разработку проекта	2	научный руководитель	12	1
			инженер	10	
2	Сбор исходных данных	1	инженер	10	3
3	Ознакомление с технической документацией	1	инженер	10	3
4	Электромагнитный расчет двигателя	1	инженер	10	8
5	Электромагнитный расчет двигателя с другими данными (Спеч. часть)	1	инженер	10	6
6	Проверка выполненных расчётов	2	научный руководитель	12	1
			инженер	10	
7	Выполнение чертежей, схем	2	инженер	10	2
			инженер	9	
8	Расчет технологической части проекта	2	инженер	10	4
			инженер	9	
9	Технико-экономическое обоснование выбора оборудования	1	инженер	10	3

Продолжения таблицы 6.1.

10	Разработка раздела БЖД	1	инженер	10	2
11	Оформление пояснительной записки	1	инженер	10	2
12	Проверка пояснительной записки и чертежей	1	научный руководитель	12	1
			инженер	10	
Занятости исполнителей			научный руководитель	12	3
			инженер	10	35
			инженер	9	6
Длительность работы, дней					35

6.1.1. Смета затрат на подготовку проекта

Суммарные издержки на проектирование определяем по выражению:

$$\sum I_{\text{проекта}} = I_{\text{з.пл}} + I_{\text{соц}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}}, \quad (6.1)$$

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

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

$I_{\text{мат}}$ - материальные издержки;

$I_{\text{ам}}$ - амортизационные издержки;

$I_{\text{пр}}$ - прочие издержки;

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

Издержки на заработную плату

Таблица 6.2 – Единая тарифная сетка с учетом занимаемой должности

Должность	Оклад	Доплата	К фф	Районный коэффициент	Итого за месяц	Средняя зарплата за один день	Количество дней работы	ФЗП
Научный руководитель, 12р	14500	1900	1,1	1,3	23205	1105,0	3	3 315,0
Инженер 10р	14500		1,1	1,3	20735	987,4	35	34 558,3
Инженер, 9р	14500		1,1	1,3	20735	987,4	6	5 924,3
Итого					64675	3079,8	32	43 797,6

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + D) \cdot k_2}{21} \cdot X \quad \text{или} \quad I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X \quad (6.2)$$

где: 3 – оклад; D – доплата за интенсивность труда

k_1

1 – коэффициент за отпуск (1,1);

k_2

2 – районный коэффициент (1,3);

21 – количество рабочих дней в месяце; X – количество рабочих дней затраченных на проект (3 дня).

Зарплата.

Расчет для научного руководителя 12 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + D) \cdot k_2}{21} \cdot X = \frac{(14500 \cdot 1.1 + 1900) \cdot 1.3}{21} \cdot 3 = 3315 \text{ (руб.)}$$

Расчет для инженера 9 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{(14500 \cdot 1.1 \cdot 1.3)}{21} \cdot 6 = 5924,3 \text{ (руб.)}$$

Расчет для инженера 10 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{(14500) \cdot 1.1 \cdot 1.3}{21} \cdot 35 = 34558,3 \text{ (руб.)}$$

Тогда

$$И_{з.пл.Σ} = \sum И_{з.пл} = 3315 + 5924,3 + 34558,3 = 43797,6 \text{ (руб.)}$$

6.1.2 Отчисления на социальные нужды.

В статью расходов «отчисления на социальные нужды» закладывается обязательные отчисления по установленным законодательством нормам. Органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования, от элемента «затраты на оплату труда». Размер отчислений на социальные нужды составляет 30% от ФЗП.

$$И_{соц} = 0,3 \cdot И_{з.пл.Σ} = 0,3 \cdot 43797,6 = 13139,3 \text{ (руб)}$$

6.1.3 Материальные затраты на канцелярские товары.

Материальные затраты на канцелярские товары примем в размере 900 руб. (в условиях цен на канцелярские товары в настоящее время).

$$И_{мат} = 900 \text{ (руб)}$$

6.1.4 Амортизация вычислительной техники.

Основной объем работ по разработке проекта был выполнен на персональном компьютере первоначальной стоимостью 27,5 тысячи рублей.

Произведём расчёт амортизации стоимости ПК

$$И_{ам} = \frac{T_u}{T_{кал}} \times \Phi_{кт} \times Н_{ф} = \frac{365}{365} \times 27000 \times 8 = 323,6 \text{ (руб)}$$

где T_u - количество отработанных дней на ПК;

T

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

Φ

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

$H_{ф} = \frac{T_1}{\text{сл}}$

сл - срок полной амортизации.

6.1.5 Прочие неучтенные затраты.

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

Ипроборудования=0,1×(Иззатрат+Исоцплату+Иматтура+Иам.отчисления) на социальные нужды

$$= 0,1 \times (43797,6 + 13139,3 + 900 + 323,6) = 5816,05 \text{ (руб)}$$

6.1.6 Накладные расходы.

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

$$И_{\text{накл}}=2 \cdot И_{\text{з.пл}\Sigma} = 2 \times 43797,6 = 87595,2 \text{ (руб)}$$

6.1.7 Себестоимость проекта

$$\begin{aligned} \diamond \text{ И проекта} &= \text{Из. пл.} + \text{Исоц} + \text{Имат} + \text{Иам} + \text{Ипр} + \text{Инак} \\ &= 43797,6 + 13139,3 + 900 + 323,63 + 5816,05 + 87595,2 \\ &= 151571,78 \text{ (руб)} \end{aligned}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 6.4.

Таблица 6.3 – Смета затрат на подготовку проекта

№ п/п	Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
1	Заработная плата	\sum з.пл	43797,6
2	Социальные отчисления	соц	13139,3
3	Материальные затраты	мат	900
4	Амортизационные отчисления	И ам	323,63
5	Прочие издержки	пр	5816,05
6	Накладные расходы	накл	87595,2
7	Себестоимость проекта	\sum проекта	151571,78

6.2 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.

(18)

= $\sum_{i=1}^n$

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)

(19)

= $\sum_{i=1}^n$

где Q - групповой технический показатель (по техническим параметрам); q_i - единичный параметрический показатель по i -му параметру;

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

Показатель конкурентоспособности нашего изделия по отношению к изделию другой фирмы k_w будет равен

$$(20)$$

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

Q_H, Q_K ~ соответствующие групповые технические показатели нового и конкурирующего изделия.

$$K_{ТП} = 0,685/0,675 = 1,014$$

Данные для оценки конкурентоспособности разрабатываемого новшества приведено в таблице 6.4.

Таблица 6.4. Матрица предпочтений

№ п/п	Наименование	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	сумма	d_i
1.1	Коэффициент полезного действия	1	0,5	1,5	0,5	1	1	4,5	0,153
1.2	Коэффициент мощности $\cos\phi$	1,5	1	1,5	1,5	0,5	1	6	0,203
1.3	Пусковой ток	0,5	0,5	1	0,5	1,5	1	4	0,136
1.4	Пусковой момент	1,5	0,5	1,5	1	1	1,5	5,5	0,186
1.5	Номинальный ток	1	1,5	0,5	1	1	1	5	0,169
1.6	Степен защиты	1	1	1	0,5	1	1	4,5	0,153

Таблица 6.5. Оценка технического уровня новшества.

Характеристики	Вес показателей	Новшество		Конкурент		Гипотетический образец	
	d_i	P_i	q_i	P_i	q_i	P_{100}	q_{100}
КПД, %	0,153	91,3	0,936	92	0,944	97,5	1
Коэффициент мощности $\cos\varphi$, %	0,203	92,2	0,971	90	0,947	95	1
Пусковой ток, А	0,136	0,148	0,741	0,143	0,714	0,2	1
Пусковой момент, Н*м	0,186	1,4	0,560	1,4	0,560	2,5	1
Номинальный ток, А	0,169	0,012	0,242	0,011	0,227	0,05	1
Степень защиты IP	0,153	44	0,647	44	0,647	68	1
Итого			0,685		0,675		1,00

Вывод: В итоге по оценке конкурентоспособности новшества видно, что разработанный товар не уступает товарам заменителям и коэффициент конкурентоспособности с учетом его технического уровня, затрат удовлетворение потребности в нем и конкурентных преимуществ при движении товара на рынке равен 1,014

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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

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

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

7.1. Анализ опасных и вредных факторов

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

Опасные факторы возникающие при данном технологическом процессе:

- Поражение электрическим током, при работе испытательной станции.
- Получение механических травм, при слесарно-сборочных работах.
- Пожар

- Наряду с опасными факторами можно выделить вредные факторы, которые приводят к нарушению нормального режима работы. К вредным факторам относятся:

- Отклонение параметров микроклимата на участке общей сборки асинхронного двигателя от установленных норм.

- Шум, при работе с ручным механизированным инструментом.
- Вибрация, при работе с ручным механизированным инструментом.
- Недостаточная освещенность рабочей зоны.
- Пыль и другие вредные вещества.

Контролем содержания вредных примесей в воздухе и на рабочих местах занимается санитарная лаборатория.

С учётом предельно - допустимых концентраций вредных веществ, эти участки выполняются с вытяжной вентиляцией.

7.2. Производственная санитария

В результате гигиенических исследований установлено, что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека [10].

При длительном воздействии шума на организм человека происходят не желательные явления:

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

Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно сосудистой и нервной систем [12].

Измерение шума проводят с целью оценки его на рабочих местах или рабочих зонах для сопоставления с требованиями санитарных норм, а также для оценки шумовых характеристик машин и оборудования, с целью разработки мероприятий по борьбе с шумом. Для оценки шума используют

частотный спектр измеренного уровня звукового давления, выраженного в децибелах в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром.

7.3. Расчет искусственного освещения

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

Задачи расчета искусственного освещения является определение числа светильников, их типа, мощности источников света [14].

7.3.1. Выбор источников света

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

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

Основным источником света, как для общего, так и для комбинированного освещения, являются люминесцентные лампы: ЛД, ЛХБ, ЛБ, ЛТБ, ЛДЦ. Из них наиболее экономичными являются лампы типа ЛБ. Характеристики люминесцентных ламп сведены в таблицу 6.

Таблица 7.1. Характеристики люминесцентных ламп

Мощность, кВт.	Напряжение сети, В	Напряжение лампы, В	Ток лампы, А	Световой поток, Лм
				ЛБ
20	127	60	0,34	980
30	220	108	0,35	1740
40	220	108	0,41	2480

80	220	108	0,82	4320
----	-----	-----	------	------

7.3.2. Выбор системы освещения

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

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

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

7.3.3. Выбор осветительных приборов

Выбираем светильник двухламповые ПВХ, т.к. он является пыле-влагозащищёнными и больше всего подходит для эксплуатации в запыленной среде. Мощность лампы 2x40 Вт

7.3.4. Выбор коэффициента запаса

Полученная из [14] величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп освещённость снижается

Таблица 7.2. Значение коэффициента запаса

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

7.3.5. Размещение осветительных приборов

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

1. обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослеплённости и необходимой направленности света на рабочие места

2. наиболее экономичное создание нормированной освещённости

Как показали исследования, в зависимости от типа светильников существует наиболее выгодное расстояние между светильниками: $L = \sqrt{3}h$, где

L - расстояние между светильниками;

h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью

$$h = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7\text{м};$$

Расстояние от стен помещения до крайних светильников рекомендуется брать $0,3L-0,5L$

Выбираем люминесцентный светильник ПВЛ, $\lambda = 1.4$ размеры помещения $a=15\text{ м}, b=10\text{ м}$, ширина между рядами светильников

$$L_{\text{св.}} = \lambda h = 1.4 \cdot 2.7 = 3,78\text{ м}$$

Количество светильников в одном ряду: По длине:

$$n_{\text{св.дл}} = \frac{A - L_{\text{св.}}}{L_{\text{св.}}} + 1 = \frac{15 - 3,78}{3,78} + 1 = 4$$

По ширине:

$$n_{\text{св.ш}} = \frac{B - L_{\text{св.}}}{L_{\text{св.}}} + 1 = \frac{10 - 3,78}{3,78} + 1 = 3$$

общее число светильников в помещении:

$$n = n_{\text{св.дл}} \cdot n_{\text{св.ш}} = 3 \cdot 4 = 12$$

Размещаем светильники в 3 ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильника типа ПВЛ

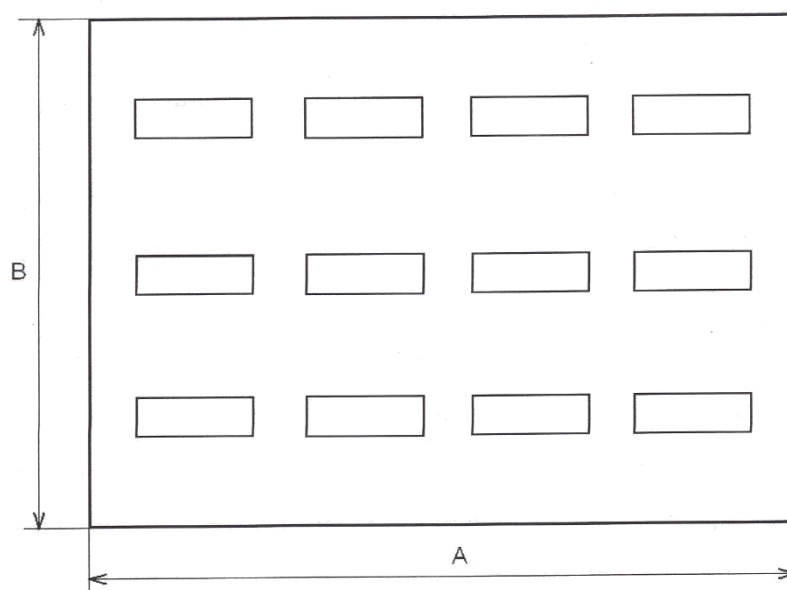


Рисунок 7.1. План расположения

7.3.6 Расчет осветительной установки

Важной задачей на производстве, является создание наилучших условий для видения. Эту задачу можно решить только осветительной системой. В этих нормах рекомендуется освещённость участков, содержащих нужное оборудование, должна быть не менее 200 лм [14].

Расчет производится методом коэффициента использования. Применяя этот метод можно определить световой поток лампы, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности с учетом света, отражённого стёклами и потолками. Метод коэффициента использования применяется только при расчете общего равномерного освещения.

Величина светового потока лампы:

$$F = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta}, \text{ где}$$

E - минимальная освещённость, лк;

k - коэффициент запаса;

S - площадь помещения, м²;

N - число ламп освещения;

- коэффициент использования светового потока;

Z - коэффициент неравномерности освещения

Коэффициент использования светового потока - отношение полного светового потока, достигающего освещаемой поверхности, к полному световому потоку в помещении. Индекс помещения

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{150}{4 \cdot (15 + 10)} = 1.5$$

коэффициенты отражения [19. табл. 10]:

f_n = 50% - состояние потолка (чистый бетонный),

p₀ = 30% - состояние стен (бетонный с окнами)

Коэффициент неравномерности Z введен в формулу светового потока, потому что освещенность, подсчитанная без этого коэффициента, является не минимальной, как требуют нормы, а средней. Введением коэффициента Z это несоответствие устраняется. Для люминесцентных ламп Z = 0.9 E = 200 лм - минимальная нормативная освещенность, для разряда зрительных работ средней точности, принимается по [14].

=0.57 - для ламп типа ЛД40.

$$F = \frac{200 \cdot 1.8 \cdot 150 \cdot 0.9}{2 \cdot 12 \cdot 0.57} = 4440 \text{ лм.}$$

По [19 по табл. 1] выбираем ближайшую стандартную лампу ЛХБ мощностью 60 Вт со световым потоком 4400 Лм

Делаем проверку условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.}} - \Phi_{\text{расч.}}}{\Phi_{\text{станд.}}} \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$-10\% \leq \frac{4400 - 4440}{20\% \cdot 4400} \cdot 100\% \leq$$

$$-10\% \leq -0,9 \leq 20\%$$

Условие выполняется, следует расчет правильный а также правильно выбран тип светильника и люминесцентные лампы. Расчет сделан по [19]

7.4. Микроклимат

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях, в частности в рабочих зонах. Рабочей зоной называется пространство, высотой до 2-х метров над уровнем пола или площадки на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих (более 2-х часов непрерывно).

Эти требования устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны помещения, нормируемые следующими параметрами: температура, оптимальная влажность, скорость движения воздушного потока. Работа относится к средней тяжести - IIa

Таблица 4-допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [10]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более**
холодный	IIa (175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
теплый	IIa (175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75*	0,1	0,4

7.4.1 Тепловое излучение

Таблица 7.4. - Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников [10]

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м, не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/м^2 . При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочих местах не должна превышать в зависимости от категории работ следующих величин:

- 25°C - при категории работ Ia;
- 24°C - при категории работ Ib;
- 22°C - при категории работ IIa;
- 21°C - при категории работ IIб;
- 20°C - при категории работ III.

В производственных помещениях, в которых допустимые нормативные величины показателей микроклимата невозможно установить из-за технологических требований к производственному процессу или экономически обоснованной нецелесообразности, условия микроклимата следует рассматривать как вредные и опасные. В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия (например, системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха и обогрева, регламентация времени работы, в частности, перерывы в работе, сокращение рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска, уменьшение стажа работы и др.).

Также вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твёрдых тел, передаваемые организму человека. Они могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а так же опорно-двигательной системы человека. Измерение вибрации производится прибором ВШВ-003, снабженным микрофоном и датчиком вибрации.

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

Вибрация неблагоприятно воздействует на организм человека, особенно если частота ее колебаний совпадает с частотами резонанса всего организма человека или некоторых органов. Измерение вибраций производится в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.012-2004.

При работе с оборудованием, работающий подвергается воздействию вибрации. Для защиты рук от воздействия вибрации применяют: рукавицы, перчатки, а также виброзащитные прокладки или пластины, которые снабжены креплениями в руке.

Общие технические требования к средствам индивидуальной защиты рук от вибраций работающих определены ГОСТ 12.1.012-90 [13]; А также предусмотрен специальный режим труда: суммарное время работы в контакте с вибрацией не должно превышать 2/3 рабочей смены.

K_i, L_{k_i} - весовые коэффициенты для i -ой частотной полосы, определяемые для локальных вибраций

Таблица 7.5. Значения весовых коэффициентов K_i, L_{k_i} дБ для локальной вибрации [13]

Гц	Значения весовых коэффициентов			
	для виброускорения		для виброскорости	
	K_i	L_{k_i}	K_i	L_{k_i}
8	1,0	0	0,5	- 6
16	1,0	0	1,0	0
31,5	0,5	- 6	1,0	0

Гц	Значения весовых коэффициентов			
	для виброускорения		для виброскорости	
	K_i	L_{k_i}	K_i	L_{k_i}
63	0,25	- 12	1,0	0
125	0,125	- 18	1,0	0
250	0,063	- 24	1,0	0
500	0,0315	- 30	1,0	0
1000	0,016	- 36	1,0	0

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

Концентрация вредных веществ таблица 7.6.

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

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

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

Шум на производстве - это ещё одна проблема, которая наносит большой экономический и социальный ущерб. Шум не благоприятно воздействует на организм человека, технические и физиологические нарушения, снижает работоспособность и создаёт предпосылки для общих профессиональных заболеваний и производственного травматизма.

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

Уровни звукового давления. таблица 7.4.

Таблица 7.1. Уровни звука, эквивалентные уровни звука и уровни звукового давления в октавных полосах частот

Категория нормы шума	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука, эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
I	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
II	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
III	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
IV	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Необходимые условия для снижения шума:

Всё оборудование, применяемое на участке сборки, для снижения шума установлено на виброопорах.

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

7.5. Техника безопасности

Цех относится к помещениям с повышенной опасностью поражением людей электрическим током, характеризуется наличием следующих условий согласно ПУЭ 1.1.13 [12]:

- токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные);
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединения с землёй металлоконструкциям зданий, механизмов, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

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

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

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

4. Рабочий должен работать в спецодежде:

- Костюм ХБ ГОСТ 27575-87 ;
- Перчатки ХБ вязанные ГОСТ 5007-87 ;
- Ботинки кожаные с металлическим носком ГОСТ 28807-90 ;
- Рукавицы комбинированные ГОСТ 124010-77.

5. Защита от электростатического

электричества осуществляется:

- уменьшение генерации электрических зарядов;
- устранение уже образовавшихся зарядов (защитное заземление);
- нейтрализаторы статического электричества;
- увлажнение воздуха;
- средства индивидуальной защиты: обувь на кожаной подошве или подошве из электропроводной резины;
- механические травмы.

Самая обширная среди них – механические травмы.

Механическая травма характеризуется рядом общих признаков (отек, боль, нарушение функций) и рядом характерных для каждого ее вида симптомов. Первая помощь при механических травмах должна быть направлена на облегчение этих симптомов и, по возможности, на устранение причин, их вызывающих.

Чтобы правильно оказать неотложную помощь при возникновении механических травм, нужно понимать, какие виды травм существуют.

Закрытые виды травм мягких тканей опорно-двигательного аппарата:

- растяжения;
- ушибы;
- разрывы;
- вывихи;
- синдром длительного сдавливания.

Закрытые травмы внутренних органов:

- ушибы;
- сотрясения;
- сдавливания;
- разрывы.

Открытые раны бывают, в зависимости от вероятности проникновения предмета в полость человека, проникающие и непроникающие.

7.5.1. Оказание первой помощи при возникновении механической травмы

Первая помощь при механических травмах условно делится на действия по лечению самой травмы и борьбу с травматическими осложнениями (кровотечением, шоком, повреждением жизненно важных органов).

Перечислим последовательность действий при оказании первой помощи при механическом травмировании.

1. Остановка кровотечения. Для этого накладывают жгут, давящую повязку на кровоточащую рану, используют холод. При травмах конечностей им нужно придать возвышенное положение, обеспечив максимальное сгибание конечности в суставе.

2. Борьба с травматическим шоком. Применяют обезболивающие средства, согревание, покой.

3. Иммобилизация (создание неподвижности и покоя) поврежденной конечности при помощи использования фиксирующих повязок – косынки, бинта, шины.

4. Применение антисептиков, введение антибиотиков для профилактики инфекционных осложнений.

5. Специфическая помощь при конкретной травме.

Рассмотрим правила оказания первой помощи при некоторых видах механических травм:

1. Ушиб мягких тканей, растяжение или разрыв связок, мышц, сухожилий, вывих в суставе. Помощь заключается в наложении давящей фиксирующей повязки, прикладывании холода и применении обезболивающих средств.

2. Сотрясение или ушиб мозга. Рекомендуются покой, наблюдение, транспортировка в положении лежа.

3. Артериальное или венозное кровотечение. Необходимо пальцем прижать сосуд, максимально согнуть конечность в суставе. Затем наложить давящую повязку или жгут.

4. Травматический шок. Немедленно устранить травмирующий фактор, остановить кровотечение. Ввести обезболивающие препараты, применить согревание. Продолжить специфическим лечением в зависимости от вида травмы.

Правильно оказанная первая помощь при механических травмах очень часто способна сохранить здоровье и жизнь человека. Необходимо знать, какие виды травм существуют и какая помощь оказывается при каждой из них и очень важно знать и применять технику безопасности на предприятии [6].

1. Для предохранения глаз от травмирования стружкой необходимо ставить на пути возможного попадания стружки оградительные щитки и надевать защитные очки.

2. Нельзя выдувать стружку ртом из глухих отверстий и удалять ее со станка руками. Ее осторожно удаляют специальными скребками и щетками, намагниченными наконечниками и другими приспособлениями.

3. При обработке отверстий в металлических заготовках, дающих мелкую стружку, обязательно одевать защитные очки.

4. Во время работы на станке не носить свободной одежды, рукава должны быть завязаны у кисти, волосы убраны под головной убор.

5. Не удалять стружку со станка руками, а пользоваться специальными приспособлениями, магнитом и т. д.

6. Соблюдать чистоту и порядок на рабочем месте.

7. Обо всех неисправностях станка, приспособлений и инструмента сообщать мастеру.

Рабочий, поступающий на завод, обязательно проходит инструктаж по безопасности труда в отделе охраны труда.

7.6 Пожарная безопасность

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033 – 81[1] понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожары на промышленных предприятиях представляют большую опасность для работающих и могут причинить огромный материальный ущерб.

Причинами пожаров на общественных предприятиях чаще всего бывают:

-Нарушения,допущенные при проектировании и строительствезданий и сооружений.

-Несоблюдение элементарных мер пожарной безопасности производственным персоналом и неосторожное обращение с огнем.

-Задействование в производственном процессе неисправного оборудования.

-Нарушение правил пожарной безопасности технологического характера в процессе работы промышленного предприятия (например, при проведении сварочных работ), а также при эксплуатации электрооборудования и электроустановок;

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики [2]. Пожарная профилактика включает в себя комплекс мероприятий необходимых для предупреждения возникновения пожара или уменьшения его последствий.

Обмоточный участок согласно НПБ 105-03[2] относится к категории Д, т.е. это производство, в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Лица, не прошедшие противопожарный инструктаж к работе не допускаются. Каждый работающий на предприятии независимо от занимаемой должности должен знать и строго соблюдать установленные правила пожарной безопасности не допускать действий могущих привести к возникновению пожара или возгоранию.

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

На территории участка сборки электродвигателей запрещается:

- загромождать различными предметами и оборудованием, готовой продукцией и заготовками проходы, выхода, коридоры, лестничные проемы и подходы;

- хранить специальную одежду и другие сгораемые материалы на радиаторах, вешать на производственное оборудование, электроприборы;

- курить, пользоваться открытым огнем, не предусмотренным спец. технологией, разводить костры;
- производить уборку помещений, оборудования с применением ЛВЖ и ГЖ;
- скапливать на рабочем месте мусор, промасленную ветошь;
- использовать не по назначению противопожарный инвентарь;
- загромождать различными предметами проходы, выходы;
- самовольно подключать в электросеть электронагревательные приборы, -пользоваться неисправными,кустарного производства

электроприборами;

- оставлять включенными станки, электроприборы без просмотра;
- при работе с огнеопасными жидкостями использовать инструмент могущий вызвать искрообразование;
- соприкосновение промасленной одежды, масел и др. жиров с арматурой кислородных баллонов;
- пользоваться не просушенными ковшами, инструментами при разливе металла пользоваться заливщикам неисправной и необработанной огнезащитным составом спец. одеждой;
- хранить без упаковки и рассыпать уретропин.

Каждый работающий на объединении должен знать:

- при обнаружении пожара или загорания вызвать пожарную помощь и принять меры к ликвидации очага пожара или действовать по указанию старшего начальника или начальника ДПД;
- знать пути эвакуации из помещения (образец представлен на рисунке 1);
- знать пожароопасность своего цеха, участка и при обнаружении нарушений противопожарного характера устранить их или сообщить начальнику цеха;
- знать и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения;

На участке изготовление и сборки статора используются средства пожаротушения, такие как:

- Огнетушитель ОУ-3 - Углекислотный, предназначенный для тушения загорания установок под напряжением до 1000В. При загорании снять огнетушитель, поднести к загоранию, выдернуть чеку и нажать на рычаг, а затем направить раструб на огонь.

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

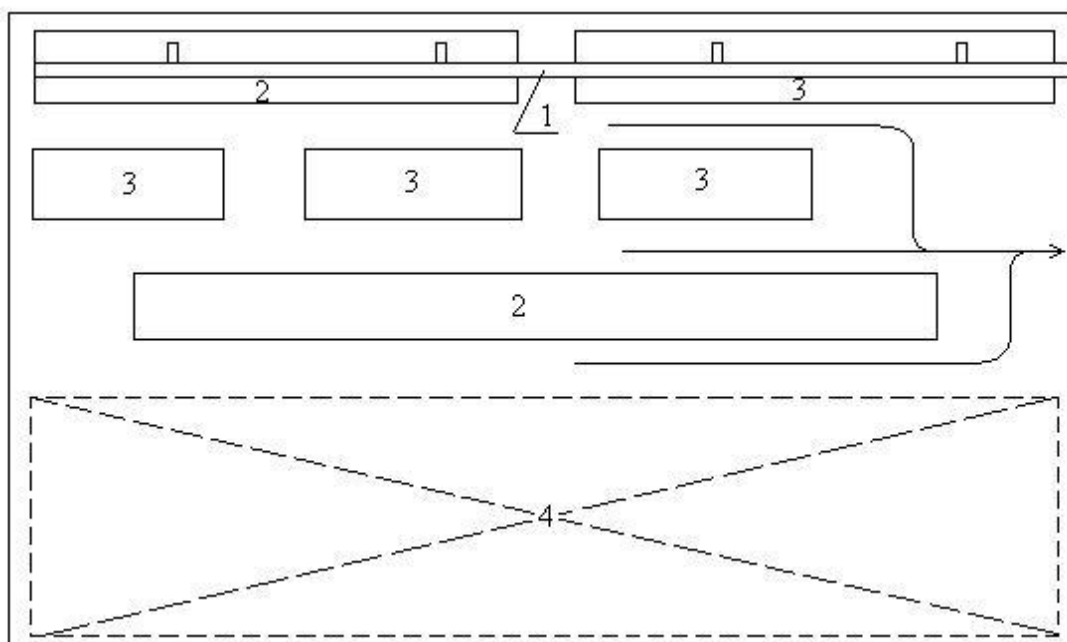


Рис.7.3 План эвакуации

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

7.7. Чрезвычайная ситуация

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Авария - это непреднамеренный выход из строя машин, механизмов, устройств, коммуникаций, линий связи, продуктопроводов вследствие нарушения технологии производства, правил эксплуатации, мер безопасности, ошибок, допущенных при проектировании, строительстве, изготовлении, или низкой трудовой дисциплины.

Действующими правилами безопасности предусматривается обязательно заблаговременное составление на промышленных предприятиях планов предотвращения аварий. Это объясняется тем, что аварии, как правило, развиваются стремительно и поэтому не всегда представляется возможной быстрая разработка эффективных мероприятий по спасению людей и ликвидации последствий аварии.

В планах устанавливаются конкретные обязанности должностных лиц предприятия на время аварийной ситуации. Планы находятся у диспетчера, главного инженера предприятия и командира соответствующего подразделения спасательной службы. Состояние противоаварийной профилактики на всех объектах контролируется Ростехнадзором и его местными органами. Происшедшие на предприятиях аварии, которые сопровождались травмами и гибелью людей, расследуются в соответствии с "Инструкцией о расследовании и учёте несчастных случаев на подконтрольных Ростехнадзора предприятиях и объектах. Основные задачи расследования — выявление причин и условий возникновения аварии, разработка мер по недопущению их в дальнейшем. Ответственность лиц, чьи действия или поступки вызвали аварию, определяется законами РФ.

На любой объект экономики (включающий в себя комплекс зданий, сооружений, технологических, энергетических и транспортных коммуникаций), помимо стихийных бедствий, постоянно действуют и другие природные и производственные факторы, недоучет и недооценка которых, а также отсутствие необходимых профилактических мероприятий могут привести к катастрофическим последствиям.

7.7.1 Причины чрезвычайных ситуаций на объекте

- стихийных бедствий, вызываемых катаклизмами природы (землетрясение, ураганы, горные обвалы, наводнения, лесные пожары, снегозаносы и т. а);

- эпидемий, эпизоотии, эпизоотий и массового размножения вредителей лесного и сельского хозяйства (саранча, сибирский шелкопряд, колорадский жук и т. п.);

- воздействия внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии материалов, конструкций, сооружений и снижению их физико-механических свойств;

- проектно-производственных дефектов сооружений и конструкций при изыскании и проектировании, низкокачественное выполнение строительных работ, плохого качества строительных материалов и конструкций, нарушения правил техники безопасности при ведении строительных и монтажных работ;

- воздействия технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, превышающие допустимые, высокие температуры, вибрации, действие окислителей, парогазовой и жидкой агрессивных сред, минеральных масел, эмульсий и дисперсии);

- нарушения правил эксплуатации сооружений и технологических процессов производства (вызывающие взрывы котлов, химических веществ, угольной пыли и метана в шахтах, пыли на элеваторах, муки на мельничных

комбинатах, сахарной пудры на сахарных заводах, древесной пыли на деревообрабатывающих предприятиях и т. п.).

7.7.2. Основные направления по повышению устойчивости функционирования территорий и объектов в чрезвычайных ситуациях

-выявление источников ЧС;-прогнозирование последствий возможных ЧС;уменьшение количества источников ЧС; совершенствование основных фондов и производственных процессов; разработку (уточнение) и соблюдение требований и норм безаварийности производств; эффективный контроль за состоянием основных производственных фондов (ОПФ) и режимов производства; проведение регулярного технического обслуживания и ремонта ОПФ; повышение квалификации персонала в области безаварийности производств.

Защита производственного персонала (населения) и подготовка системы его жизнеобеспечения. В случае невозможности полностью исключить риск возникновения ЧС, необходимо обеспечить защиту производственного персонала путем: своевременного оповещения персонала об аварии и (или) стихийном бедствии (угрозе) (создание объектовой системы оповещения; поддержание систем оповещения в постоянной готовности); создания и подготовки сил и средств для защиты персонала в условиях ЧС (создание объектовых формирований для проведения СидНР; обеспечение формирований необходимой техникой и имуществом; подготовка к обеспечению их продуктами питания и предметами первой необходимости в условиях ЧС; обучение действиям в условиях ЧС; поддержание формирований в необходимой степени готовности); обучения персонала способам защиты в условиях ЧС (изучение поражающих факторов ЧС; изучение способов защиты от ЧС; проведение тренировок и учений); подготовки к оказанию первой медицинской помощи (накопление

медицинских средств защиты и подготовки к их рациональному использованию); подготовки системы жизнеобеспечения к работе в условиях ЧС (организация коммунально - бытового обслуживания персонала в условиях ЧС; защита продовольствия, водоисточников и систем водоснабжения от порчи, заражения (загрязнения); создание резервных источников хозяйственного и питьевого водоснабжения; подготовка временных (стационарных и передвижных) средств очистки воды; определение режимов деятельности людей в зависимости от степени радиоактивного и химического заражения; организация дозиметрического и химического контроля; подготовка технических средств к проведению работ по обеззараживанию территорий, сооружений, оборудования, транспорта, сырья и материалов; подготовка техники и инвентаря к проведению работ в холодное время года; подготовка мест и создание условий для нормального отдыха людей, занятых ликвидацией последствий ЧС; организация информационного обеспечения персонала в условиях ЧС; морально психологическая подготовка персонала к действиям в ЧС).

Рациональное размещение объектов. Рациональное размещение объектов предполагает: размещение объектов и выбор площадок для размещения их элементов с учетом рельефа, грунтовых и климатических условий, а также других особенностей местности; исключение (ограничение) размещения элементов объекта на локально неблагоприятных участках местности; рассредоточение элементов крупных объектов и их разукрупнение, ограничение расширения крупных производств; ограничение размещения опасных объектов в зонах опасных природных явлений и размещение их на безопасном удалении от других объектов; строительство базисных складов для хранения вредных, взрывоопасных и легковоспламеняющихся веществ за пределами территории объекта в загородной зоне.

7.8. 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 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.

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

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, так же твердые отходы являются обрезки кабелей, а также вышедшие из строя оборудование, которое направляется на заводы для переработки. Для оставшихся отходов предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

Заключение

В процессе выполнения работы был произведён расчёт асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. В ходе расчётов, при номинальной частоте $f_1=50$ Гц и напряжении $U_{нф}=220В$, определены номинальные данные двигателя $P_{2н} = 4001$ Вт; $s= 0.0516$ о.е.; $n_n = 1423$ об/мин; $\cos\phi=0,846$; проведен расчет обмотки статора и ротора, определены параметры двигателя, масса активных материалов, потери и КПД, а также рассчитаны рабочие и пусковые характеристики. Расчёт рабочих характеристик показал, что энергетические показатели кранового двигателя находятся в пределах нормы.

В механическом расчете определен суммарный прогиб вала от действия силы тяжести ротора и поперечной силы, обусловленной соединением. Полученный прогиб вала не превышает 10% от воздушного зазора. По критической частоте вращения и напряжениям в опасных сечениях, он имеет запасы.

Тепловой расчет электродвигателя показал, что превышения температуры нагрева статора и ротора находятся в допустимых пределах значений для класса нагревостойкости F.

Электромагнитный расчет показал, что время удержания при включении электромагнита не превышает 0,055 сек, при напряжении 24В и токе 0,4 А. Быстродействие магнита позволяет произвести быструю остановку двигателя при необходимости.

В данной курсовой работе был рассмотрен процесс сборки статора электрического двигателя. Программа производства в 6000 шт./год предусматривает серийное производство, которое характеризуется ограниченной номенклатурой изделия и сравнительно большим объемом выпуска.

В ходе выполнения работы было рассмотрено служебное назначение и конструкция, выполнен анализ технологичности конструкции. Так же выполнен чертеж.

Для сборки была разработана маршрутная технология, в которой отражена последовательность обработки, выбрано необходимое оборудование и приспособления, а также время, отведенное на выполнение каждой операции.

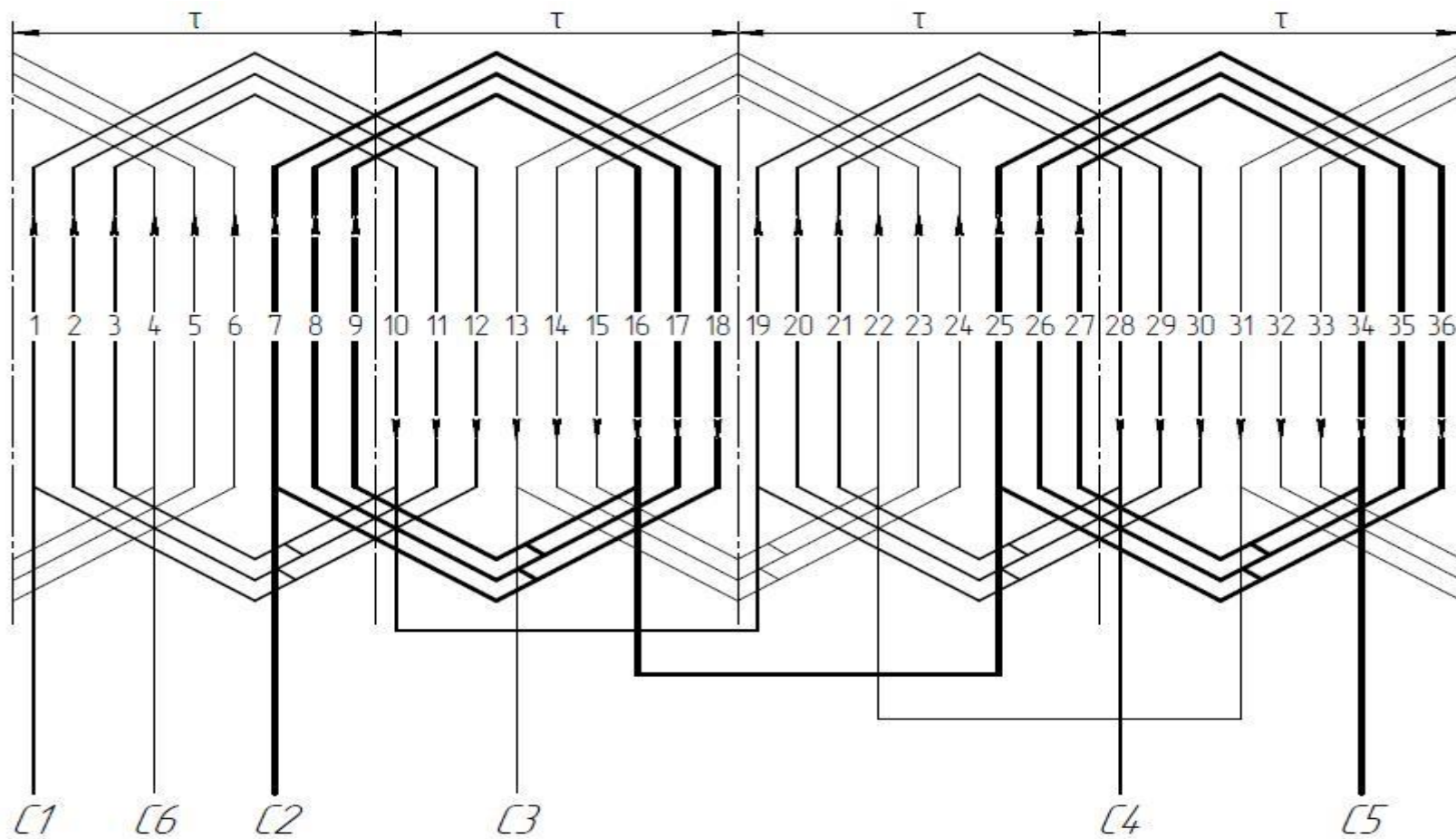
При нормировании работ определено операционное время, время на организацию обслуживания рабочего места, время перерывов, подготовительно – заключительное время и штучное время. Кроме того, был рассчитан коэффициент загрузки. Расчет коэффициента загрузки показал удовлетворение выпуска в объеме 6000 штук в год.

Список использованных источников

1. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. – М.: Энергия, 1993. – 463с.
2. Антонов М.В., Герасимова А.С. Технология производства электрических машин. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512с.
3. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 1. –9-е изд., перераб. и доп./ под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2006. – 928 с..
4. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. А.Э. Кравчик, М.М. Дьлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. — М.: Энергоиздат, 1982. —504 с, ил.
5. ГОСТ12.1.030 – 81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление
6. ГОСТ 12.2.003 – 74. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
7. ГОСТ 12.2.007.3 – 75. ССБТ. Электротехнические устройства на напряжение свыше 1000 В. требования безопасности.
8. ГОСТ 12.3.019 – 80. ССБТ. Испытания и измерения электротехнические. Общие требования безопасности.
9. ГОСТ 12.2.022 – 80. ССБТ. Конвейеры. Общие требования безопасности.
10. ГОСТ 12.4.016 – 83. ССБТ. Одежда специальная защитная. Общие технические требования.
11. ГОСТ 12.4.021 – 75. СБТБ. Системы вентиляционные. Общие требования.
12. СН 245 – 71. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий.
13. ГОСТ 12.1.003 – 76. Шум. Общие требования безопасности.
14. ГОСТ 12.1.004 – 85. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
15. Общесоюзные нормы технологического проектирования. ОНТП 24 – 86.

16. СНиП 23 – 05 – 95. Естественное и искусственное освещение.
17. Белов С.В. Охрана окружающей среды. – М.: Энергоатомиздат. 1991. – 318с.
18. Мегаватт Санкт-Петербург [Электронный ресурс] URL: http://megavattspb.ru/electrodivigatel_air_132m4.html. Дата обращения 12.05.2016г.
19. Электрические машины [Электронный ресурс] URL: http://www.induction.ru/library/book_001/glava4/4-22.html. Дата обращения 05.04.2016г.

Приложения А. Схема обмотка статора



$Z_1=36, q=3, 2p=4$

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

		ТПУ ИнЭО	ФЮРА.684210.001			
		Статор			П	

Приложение Б.

Комплект документов на технологический процесс
сборки статора асинхронного
двигателя ФЮРА.684210.005

Руководитель: Баранов П.Р.
доцент, к.т.н

Исполнитель: Эрийгитов С.П.

Дубл.														
Взам.														
Подл.														

2

ФЮРА.684210.001

А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наимен. операции	Обозначение документа									
						СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз
Б	Код, наименование оборудования					Обозначение									
к/м	Наименование детали, сб. единицы или материала									опп	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх	
A01					015 4022, монтажная										
B02	562910,	стол универсального назначения													
03						3	18466	220	2P	1	1	1	6000	1	4,00 4,7
K04	Штифт 3,	Рым-болт 4													
K05	Статор														
O06	Забить штифт 3,	прикрутить рым-болт 4													
AB07					020 4110, токарная										
B08	381130,	токарный станок													
09						2	18312	220	2P	1	1	120	6000	1	4,00 1,1
K10	Статор														
T11	Плоский резец T15K6														
T12	392890,	оправка для закрепления станины													
O13	Произвести обточку внутренней поверхности статора и замковых поверхностей														
O14	Контроль размеров и биений контролировать не снимая со станка, контроль производить встроенным прибором контроля.														
15															
16															
17															
18															
A19					025 4260, фрезерная										
B20	562910,	стол универсального назначения													
21						2	18312	220	2P	1	1	120	6000	1	4,00 19,4
K22	Статор в сборе														
T23	392880,	оправка для центрирования статора													
O24	Произвести фрезерование поверхности лап														
O25	Контроль производить на станке, не снимая статор.														
26															
МК	Маршрутная карта													3	

