

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

Институт: ИнЭО
Специальность: 140601.65 Электромеханика
Кафедра: ЭКМ

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Проектирование асинхронного двигателя для привода вентилятора
<u>УДК 621.313.333.2:62-83-523</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
К-7302	Умаров Н.М.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Падалко Д.А.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин А.А.	кан.тех.наук		

По разделу «Технология производства»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов П.Р.	канд.тех.наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г.	д-р тех. наук		

Томск – 2016 г.

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

Институт _____ Энергетический институт _____

Направление подготовки (специальность) «Электромеханика» _____

Кафедра _____ «Электротехнических комплексов и материалов» _____

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Гарганеев А.Г.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта

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

Студент:

Группа	ФИО
К-7302	Умаров Нурали Мансур угли

Тема работы:

Проектирование высокоскоростного асинхронного двигателя, работающего от частотного преобразователя

Утверждена приказом директора (дата, номер)

18.04.2016 №2986/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

1.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Асинхронный двигатель:

Номинальная мощность $P_{2н} = 37$ кВт;

Число фаз статора $m = 3$;

Номинальное напряжение $U_n = 220/380$ В;

Число полюсов $2p=2$;

Высота оси вращения $h = 200$ мм;

Частота сети равна $= 50$ Гц;

Степень защиты IP44;

Способ монтажа IP1081;

Система охлаждения IC0141.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования).</p>	<p>Целью данного дипломного проекта является изучение частотного регулирования асинхронных и оценивание характеристик спроектированного двигателя при работе на повышенной частоте .</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сборочный чертеж двигателя. 2. Обмотка статора 3. Паз статора 4. Паз ротора 5. Рабочие характеристики
<p align="center">Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p align="center">Раздел</p>	<p align="center">Консультант</p>
<p>Электромагнитный расчет, тепловой и механический расчеты. Специальная часть.</p>	<p align="center">Падалко Д.А.</p>
<p>Технологическая часть</p>	<p align="center">Баранов П.Р.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p align="center">Сечин А.А.</p>
<p>Экономическая часть</p>	<p align="center">Кузьмин Н.Г.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор. 2. Электромагнитный расчет. 3. Тепловой и вентиляционный расчет. 4. Механический расчет. 5. Технологическая часть. 6. Специальная часть. 7. Технико-экономическая часть. 8. Вопросы охраны труда и безопасности жизнедеятельности. 9. Заключение. 	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p align="center">17.12.2015</p>
--	----------------------------------

Задание выдал руководитель:

<p align="center">Должность</p>	<p align="center">ФИО</p>	<p align="center">Ученая степень</p>	<p align="center">Подпись</p>	<p align="center">Дата</p>
<p align="center">Ассистент</p>	<p align="center">Падалко Дмитрий Андреевич</p>			

Задание принял к исполнению студент:

<p align="center">Группа</p>	<p align="center">ФИО</p>	<p align="center">Подпись</p>	<p align="center">Дата</p>
<p align="center">К-7302</p>	<p align="center">Умаров Нурали Мансур угли</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
К-7302	Умарову Н.М.

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

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

1. Сборочный чертеж ротора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, спецификация, 37 кВт;

2. Годовая программа выпуска изделия 8000 штук

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конструкции ротора на технологичность

2. Рассчитать усилие запрессовки сердечника ротора на вал; рассчитать температуру нагрева для горячей посадки сердечника на вал. Сравнить способы.

3. Составить схему сборки ротора

3. Выбрать оборудование для сборки, мех. обработки и балансировки ротора

4. Разработать маршрутную технологию сборки ротора

5. Определить нормы времени на операции и оборудование

6. Построить график загрузки оборудования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

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

2. График загрузки оборудования

3. Схема сборки ротора

4. Технологическая схема запрессовки

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
К-7302	Умаров Н.М.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
К-7302	Умаров Н.М.

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования		Направление/специальность	Электромеханика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места на предмет возникновения:

- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, электромагнитные поля)
- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)
- негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)
- чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)

Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью;
- предлагаемые средства защиты ;

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности

- механические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

3. Охрана окружающей среды:

- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);
- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);

4. Защита в чрезвычайных ситуациях:

- перечень возможных ЧС на объекте;
- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;
- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
К-7302	Умаров Н.М		

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

Студенту:

Группа	ФИО
К-7302	Умаров Н. М.

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	Электромеханика

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. *Формирование плана и графика выполнения проекта.*
2. *Смета затрат на проект.*
3. *Расчет технического уровня продукции.*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

5. *График разработки проекта.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
К-7302	Умаров Н. М.		

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	14
1 Обзор литературы	16
2. Электромагнитный расчет.....	18
2.1. Исходные данные.....	18
2.2. Выбор главных размеров.....	18
2.3 Расчёт обмотки статора	20
2.4 Расчёт размеров зубцовой зоны статора.....	24
2.5 Расчёт ротора	27
2.6 Расчёт магнитной цепи	31
1.7 Параметры рабочего режима	34
2.8 Расчёт потерь	41
2.9 Расчёт рабочих характеристик.....	44
2.10 Расчёт пусковых характеристик	48
3. Тепловой расчет	54
4. Вентиляционный расчет	57
5. Механический расчет.....	58
5.1 Расчёт на жёсткость	59
5.2 Расчёт вала на прочность.....	62
5.3 Выбор подшипников.....	63
6. Исследование частотного регулирования	64
7. Проектирование технологического процесса сборки статора асинхронного двигателя	71
7.1 Анализ исходных данных.....	72
7.2 Служебное назначение и особенности конструкции.....	72
7.3 Оценка технологичности конструкции	75
7.4 Расчет усилий запрессовки ротора без вала на вал и выбор оборудования и оснастки для запрессовки.....	77
7.4 Схема сборки ротора.....	79
7.5 Маршрутная технология сборки.....	80
7.6 Расчет норм времени.....	81
7.7 Расчет количества оборудования для выполнения годовой программы.....	83
8. Планирование научно-исследовательских работ.....	87
8.1 Структура работ в рамках научного исследования	87
8.2 Разработка графика проведения научного исследования	88
8.3 Смета затрат на подготовку проекта	90
8.4 Отчисления на социальные нужды.....	91
8.5 Отчисления на социальные нужды.....	91
8.6 Амортизация вычислительной техники.....	91
8.7 Прочие неучтенные затраты.....	92
8.8 Накладные расходы.....	92
8.9 Себестоимость проекта.....	92
8.10. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений	93

9. Социальная ответственность	97
9.1 Анализ опасных и вредных факторов	97
9.2 Производственная санитария	98
9.3 Расчет искусственного освещения	99
9.4 Выбор источников света.....	99
9.5 Выбор системы освещения.....	100
9.6 Выбор осветительных приборов.....	100
9.7 Выбор коэффициента запаса	101
9.8 Размещение осветительных приборов	102
9.9 Расчет осветительной установки	103
9.10 Микроклимат	104
9.11 Пожарная безопасность	110
9.12 Охрана окружающей среды.....	114
Перечень использованных источников.....	118
Приложение А	120
ФЮРА 526.000.011 СП.....	125

ВВЕДЕНИЕ

Асинхронные двигатели (АД) находят широкое применение в хозяйстве и являются основными преобразователями электрической энергии в механическую. Применение асинхронных двигателей в составе электропривода, подавляющего большинство механизмов, объясняется простотой конструкции, ее технологичностью и минимальными затратами в эксплуатации, по сравнению с другими видами электрических машин, таких как двигатели постоянного тока, синхронными двигателями и т.д.

В данном дипломном проекте был спроектирован высокоскоростной асинхронный двигатель, работающий от частотного преобразователя, рассмотрено частотное – регулирование асинхронного двигателя номинальная мощность которого составит $F_2 = 37$ кВт, номинальное напряжение $U = 220$ В, номинальная частота $f_1 = 50$ Гц, в специальной части проекта рассматривается частотное регулирование при $f_1=10, 50,100$ Гц, высота оси вращения $h=200$ мм, система охлаждения IСО141, способ монтажа IM1001.

Для расчета асинхронного двигателя в данном проекте применяется методика расчета асинхронного двигателя, предложенная в учебнике «Проектирование электрических машин» под редакцией профессора И.П. Копылова.

В экономической части дипломного проекта рассматривается определение конкурентно способности проекта, анализ рынка продукции. При выполнении технологической части работы необходимо разработать технологический процесс сборки ротора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

В разделе «Социальная ответственность» необходимо разработать меры пожарной безопасности и меры защиты окружающей среды.

Высокоскоростные асинхронные электродвигатели имеют конструктивное исполнение в станине с прямоугольным сечением аналогично электродвигателям постоянного тока и предназначены для решения задач замены электродвигателей постоянного тока на асинхронный электродви-

гатель, а также для решения задач, требующих высокой динамики электропривода и высоких скоростей вращения.

Наличие встроенной принудительной вентиляции позволяет применять электродвигатели во всех стандартных задачах регулирования, в которых традиционно применяется электропривод постоянного тока: управление намоточным и размоточным оборудованием, металлургическая промышленность, упаковочная и полиграфическая промышленность, производство проволоки и кабеля, экструзионное оборудование и т.п. Благодаря специальной конструкции высокоскоростные электродвигатели имеют уменьшенные габаритные размеры корпуса, что дает возможность использовать их в механизмах с ограниченным пространством для размещения электродвигателя. Уменьшенный диаметр ротора приводит к существенному снижению его момента инерции и увеличению максимальной механической скорости вращения, что дает возможность отказаться от механических мультипликаторов и повышающих ременных передач и еще более уменьшить место, занимаемое электроприводом. Питаемые от частотных преобразователей, электродвигатели способны работать как в режиме открытого, так и в режиме замкнутого контуров.

1 Обзор литературы

Высокоскоростные двигатели широко используются для промышленных производств и механизмов: различного рода центрифуг, аэродинамических установок, механизмов деревообрабатывающей промышленности, в текстильной промышленности (для привода веретен), при научных исследованиях быстро протекающих процессов, в ручных инструментах облегченного веса, а также в ряде других автоматических устройств.

Особенностью конструкции высокоскоростного двигателя любого типа является малая доля активных частей (как по массе, так и по габаритам) по отношению к двигателю в целом. Доктор технических наук профессор Стрижков Игорь Григорьевич в своей статье объясняет это наличием системы охлаждения, системы смазки шарикоподшипников или достаточно громоздких и сложных газовых подшипников, массивностью корпуса [18]. Кроме того, некоторые сравниваемые двигатели имеют различное назначение, в соответствии с которым в их конструкцию введены узлы и детали, не присущие данному типу двигателя и затрудняющие оценку массогабаритных показателей.

В статоре высокоскоростных двигателей редко можно получить более двух полюсов с хорошими фазовыми связями вокруг внутреннего диаметра статора. Наконец, задача разработки высокочастотного источника энергии с повышением частоты усложняется, и при более высокой частоте такой источник энергии работает с меньшей эффективностью. Руманцев М.Ю. для испытаний высокоскоростных двигателей пользуется гидравлическими тормозами ДРХ - типа Фруда [19].

Схемы частотного регулирования наиболее целесообразно применять для высокоскоростных двигателей, требующих широкого, диапазона регулирования скорости и длительно работающих на низких и скоростях, для которых достижение устойчивой работы двигателями другими методами оказывается невозможным. Обязательным условием для этих последних случаев является обеспечение синусоидального питающего напряжения на

выходе преобразователя. По-видимому, весьма перспективным является использование полупроводниковых преобразователей и в схемах машин двойного питания.

Применение преобразователя частоты предусматривает ограничение по току обмотки статора, что дает возможность не учитывать влияние насыщения магнитопровода на индуктивные сопротивления рассеяния обмоток, а, следовательно, и на механическую характеристику высокоскоростного асинхронного двигателя.

Кандидат технических наук В.Б. Никаноров в своей статье пишет, что частотное регулирование позволяет обеспечить высокий уровень энергетических характеристик, это достигается за счёт уровня возбуждения [17].

Высокоскоростные электродвигатели имеют ряд недостатков таких как вибрация ротора при первой и кратных скоростях и незначительная стойкость подшипников при высоких скоростях вращения.

Характерными особенностями высокоскоростных асинхронных электродвигателей является высокая надежность, высокая эффективность и КПД, высокопрочная изоляция и высокая механическая прочность.

Специфика и особенности расчета высокоскоростных двигателей не отражены в книгах по проектированию электродвигателей общего применения и микродвигателей промышленной частоты 50 гц, несмотря на то, что в настоящее время эти двигатели широко применяются. В связи с этим возникает необходимость обобщения опыта по созданию и проектированию сверхвысокоскоростных высокочастотных двигателей. Для этого в ВКР приведены основные расчеты высокоскоростных электродвигателей такие как:

- электромагнитный расчет;
- тепловой расчет;
- вентиляционный расчет;
- механический расчет и т.д.

2. Электромагнитный расчет

2.1. Исходные данные.

Номинальная мощность $P_2=37$ кВт

Номинальное напряжение $U=220$ В

Номинальная частота $f_1=50$ Гц

Число фаз $m=3$

Число пар полюсов $2p=2$

Высота оси вращения $h=200$ мм

Система охлаждения IC0141

Способ монтажа IM1001

2.2. Выбор главных размеров

2.2.1 Выбираем предварительно по табл.6.6, [1] для $h = 200$ мм
внешний диаметр статора

$$D_a=0,35 \text{ м.}$$

1.1.2 Определяем внутренний диаметр статора

$$D = K_D \cdot D_a,$$

где K_D – коэффициент, характеризующий отношение внутренних и внешних диаметров сердечников статора. Из табл.6.7, [1] выбираем $K_D=0,55$

$$D = 0,55 \cdot 350 = 0,193 \text{ м.}$$

2.2.3 Находим полюсное деление по формуле

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,193}{2} = 0,302 \text{ м.}$$

2.2.4 Расчетная мощность

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

где P_2 – мощность на валу двигателя, Вт; k_E – отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению по [1, рисунок 6.8], $k_E=0,983$; η и $\cos \varphi$ – примерное значение КПД и коэффициент мощности по рис. 6.9, [1] $\eta=0,90$ и $\cos \varphi=0,90$

$$P' = 37000 \cdot \frac{0,983}{0,9 \cdot 0,9} = 4,49 \times 10^4 \text{ Вт}$$

2.2.5 Электромагнитные нагрузки (предварительно), [1, рисунок 6.11]

$$A = 42 \cdot 10^3 \text{ А/м}; \quad B_{\delta} = 0,74 \text{ Тл}$$

Обмоточный коэффициент (предварительно)

$$k_{\text{об1}} = 0,92$$

2.2.6 Расчетная длина магнитопровода

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

Коэффициент формы поля:

$$k_b = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1,111$$

где Ω – синхронная угловая скорость двигателя по формуле

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

$$l_{\delta} = \frac{4,49 \times 10^4}{1,11 \cdot 0,193^2 \cdot 314,159 \cdot 0,92 \cdot 42 \cdot 10^3 \cdot 0,74} = 0,119 \text{ м}$$

Критерием правильности выбора главных размеров D и l_{δ} служит отношение $\lambda = l_{\delta}/\tau$, которое должно находиться в пределах показанных, [1, рисунок 6.14]

$$\lambda = \frac{l_{\delta}}{\tau} = \frac{0,119}{0,302} = 0,4$$

Полученное значение находится в допустимом пределе.

Для расчёта магнитной цепи помимо длины воздушного зазора необходимо определить полную конструктивную длину и длину стали сердечников статора и ротора. Так как длина сердечника не превышает 250-300 мм, то радиальных вентиляционных каналов не делают. Сердечники шихтуются в один пакет. Для такой конструкции конструктивная длина и длина стали сердечника статора равна .

$$l_1 = l_{\text{см1}} = l_{\delta} = 0,119 \text{ м}$$

2.2.7 Конструктивную длину сердечника ротора берём равной длине сердечника статора

$$\ell_2 = \ell_1 = 0,119 \text{ м}$$

2.3 Расчёт обмотки статора

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

Число пазов статора выбираем с учётом условий, налагаемых требованиями симметрии обмотки, и желательно получения целого числа пазов на полюс и фазу. В то же время нужно учесть проведённые предварительные расчёты, из которых следует вывод, что мы не можем принять число пазов большим т.к. это приведёт к увеличению магнитной индукции в зубце статора и негативно отразится на энергетических показателях двигателя и на кратности пускового момента, что в нашем случае недопустимо.

Выберем предельные значения зубцового деления t_{z1} [1, С282, рисунок 8.26]:

$$t_{z1\max} = 0,02 \text{ м}; \quad t_{z1\min} = 0,016 \text{ м} \quad (\text{рисунок 6-15 с.170})$$

$$Z_{1\min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{z1\max}} = 30,238$$

$$Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{z1\min}} = 37,797$$

В проведённых предварительных расчетах мы варьировали числом пазов статора и пришли к выводу, что наиболее приемлемое число пазов статора равно 36.

Принимаем $Z_1 = 36$

2.3.1 Число пазов на полюс и фазу

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

2.3.1 Зубцовое деление статора (окончательно)

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

$$u_n' = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{\text{ном}} \cdot Z_1},$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный фазный ток [1, формула 6.18]

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_2}{m \cdot U_{\text{ном}} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{37000}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 69,211 \text{ A},$$

отсюда

$$u_n' = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{\text{ном}} \cdot Z_1} = \frac{\pi \cdot 0,193 \cdot 42 \cdot 10^3}{69,211 \cdot 36} = 10,194$$

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

$$u_n = a \cdot u_n' = 1 \cdot 10,194 \approx 10$$

Окончательное число витков в фазе по формуле

$$w_1 = \frac{u_n \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = \frac{10 \cdot 36}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 60$$

2.3.4 Окончательное значение линейной нагрузки по формуле

$$A = \frac{2 \cdot I_{\text{ном}} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 69,211 \cdot 60 \cdot 3}{\pi \cdot 0,193} = 4,2 \cdot 10^4 \text{ A/m}$$

Значения A незначительно отличается от принятого ранее значения.

2.3.5 Магнитный поток по формуле

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U_1}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{\text{об1}} \cdot f_1} = \frac{0,983 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 60 \cdot 0,92 \cdot 50} = 0,0176 \text{ Вб},$$

2.3.6 Индукцию в воздушном зазоре рассчитаем по формуле

$$B_\delta = \frac{\mu \cdot \Phi}{D \cdot \ell_\delta} = \frac{1 \cdot 0,0176}{0,193 \cdot 0,119} = 0,765 \text{ Тл}$$

Сечение эффективного проводника определяется, исходя из тока одной параллельной ветви и допустимой плотности тока в обмотке. С точки зрения повышения использования активных материалов плотность тока должна быть выбрана как можно большей, но при этом

возрастают потери в меди обмотки. Увеличение потерь сказывается, во-первых, на повышение температуры обмотки, и во-вторых, на КПД двигателя. В асинхронных двигателях общего назначения при принятой в них системе косвенного охлаждения влияние плотности тока на нагрев обмотки более существенно, чем на КПД. Нагрев пазовой части обмотки зависит от произведения линейной нагрузки на плотность тока. Поэтому выбор допустимой плотности тока производят с учётом линейной нагрузки.

2.3.7 Плотность тока по формуле

$$J_1 = \frac{AJ}{A} = \frac{310 \cdot 10^9}{4,2 \cdot 10^4} = 7,52 \cdot 10^6 \text{ A/м}^2$$

где $A \cdot J$ – произведение линейной нагрузки на плотность тока [1, рисунок 6.16а];

$$A \cdot J = 310 \cdot 10^9 \text{ A}^2/\text{м}^3$$

2.3.8 Сечение эффективного проводника [1, формула 6.24]

$$q_{эф} = \frac{I_{ном}}{a \cdot J_1} = \frac{69,211}{1 \cdot 7,52 \cdot 10^6} = 9,198 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Принимаем $n_{эл} = 6$, тогда

$$q_{эл} = \frac{q_{эф}}{n_{эл}} = \frac{9,198 \cdot 10^{-6}}{6} = 1,533 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Для всыпных обмоток могут быть использованы обмоточные провода диаметром не более 1.8 мм, однако в современных двигателях для повышения надёжности обмотки и упрощения её укладки в пазы используют провода меньшего диаметра. При ручной укладке диаметр провода не должен превышать 1.7 мм. Если расчетное сечение эффективного проводника в машинах со всыпной обмоткой выше значений, соответствующих указанным диаметрам, то эффективный проводник разделяется на несколько элементарных $n_{эл}$.

Выбираем провод ПЭТВ [1, таблица П-28]:

$$d_{эл} = 1,4 \text{ мм}, d_{из} = 1,485 \text{ мм}, q_{эл} = 1,539 \cdot 10^6 \text{ мм}^2, n_{эл} = 6.$$

2.3.9 Плотность тока (окончательно)

$$J_1 = \frac{I_{1u}}{a \cdot q_{эл} \cdot n_{эл}} = \frac{69,211}{1 \cdot 1,539 \cdot 10^{-6} \cdot 6} = 7,495 \cdot 10^6 \frac{A}{M^2}$$

Схема трехфазной обмотки статора представлена на рисунке 1.

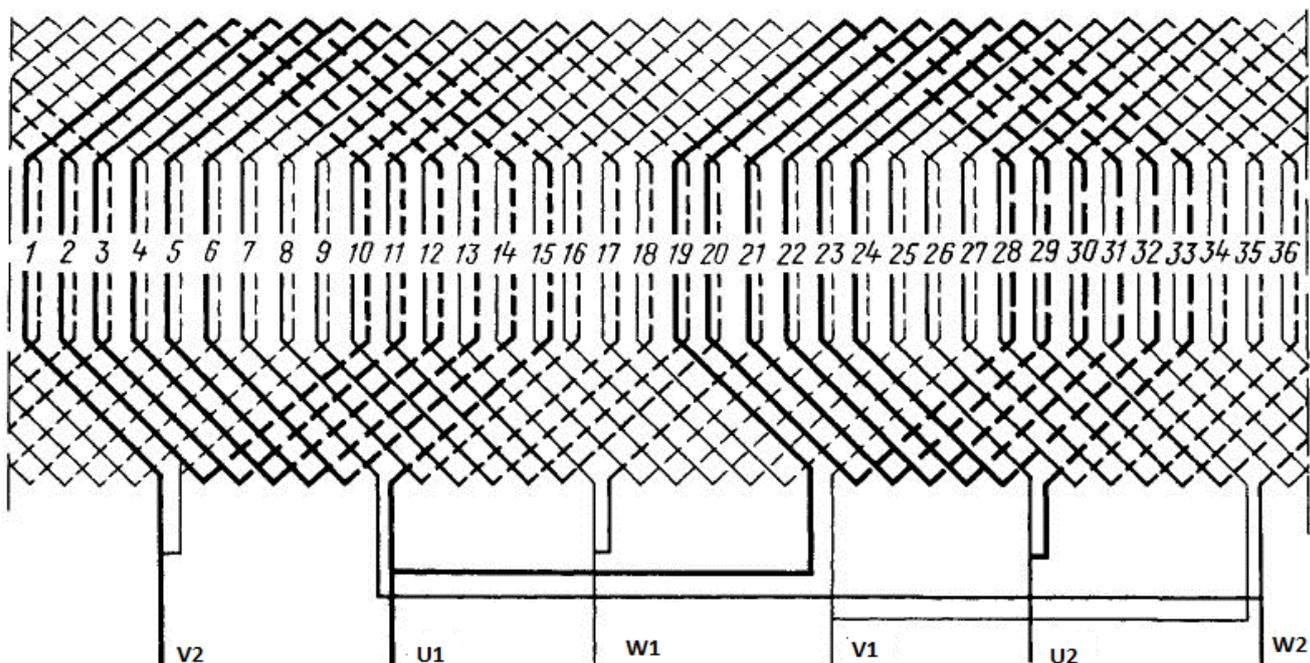


Рисунок 1 – Развернутая схема двухслойной обмотки статора

2.4 Расчёт размеров зубцовой зоны статора

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

2.4.1 Ширина зубца

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot \ell_{\delta}}{B_{z1} \cdot \ell_{cm1} \cdot k_c} = \frac{0,765 \cdot 0,017 \cdot 0,162}{1,8 \cdot 0,119 \cdot 0,95} = 0,0075 \text{ м},$$

где B_{z1} – индукция в зубцах статора.

Индукцию в зубцах статора принимаем $B_{z1} = 1,8 \text{ Тл}$

k_c – коэффициент заполнения пакета сталью по табл.6.11 [1];

$$k_c = 0,95$$

2.4.2 Высота ярма статора [1, с.175]

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot \ell_{cm1} \cdot k_{c1}} = \frac{0,0176}{2 \cdot 1,4 \cdot 0,119 \cdot 0,95} = 0,0554 \text{ м}$$

где B_a – индукция в ярме статора ; предварительно принимаем

$$B_a = 1,4 \text{ Тл}$$

2.4.3 Ширину шлица принимаем $b_{ш1} = 0,004 \text{ м}$ [1, таблица 6.12]; вы-

соту шлица принимаем $h_{ш1} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ [1, стр.178]

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

$$h_n = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{0,35 - 0,193}{2} - 0,0554 = 23,4 \text{ мм}$$

2.4.5 Максимальная ширина паза по формуле

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_{ш1} - b_{ш1}) - Z_1 b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{\pi \cdot (0,193 + 2 \cdot 10^{-3} - 0,004) - 36 \cdot 0,0075}{36 - \pi} = 10 \text{ мм}$$

2.4.6 Минимальная ширина паза по формуле

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_{ш1})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{\pi \cdot (0,193 + 2 \cdot 0,0234)}{36} - 0,0075 = 13,4 \text{ мм}$$

2.4.7 Высота паза, предназначенная для укладки обмотки по формуле

$$h_1 = h_n - \left(h_{u1} + \frac{b_1 - b_{u1}}{2} \right) = 23,4 - \left(10^{-3} + \frac{10-4}{2} \right) = 19,4 \text{ мм}$$

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

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_n = 10 - 2 \cdot 10^{-4} = 9,8 \text{ мм}$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_n = 13,4 - 2 \cdot 10^{-4} = 13,2 \text{ мм}$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_n = 19,4 - 2 \cdot 10^{-4} = 19,2 \text{ мм}$$

2.4.9 Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу по формуле

$$S_{uz} = b_{uz} \cdot (2h_n + b_1 + b_2) = 0,4 \cdot (2 \cdot 19,4 + 10 + 13,4) = 2,806 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

где b_{uz} – односторонняя толщина изоляции в пазу табл.3.8 [1]:

$$b_{uz} = 0,4 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения прокладок [1, стр.179]

$$S_{np} = 0 \text{ м}^2.$$

2.4.10 Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников формуле

$$S'_n = \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot h'_1 - (S_{uz} + S_{np}) = \frac{9,8 + 13,2}{2} \cdot 19,2 - (2806 \cdot 10^{-5} + 0) = 1,924 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

2.4.11 Коэффициент заполнения паза [1, стр.180]

$$k_z = \frac{d_{uz}^2 \cdot U_n \cdot n_{эл}}{S'_n} = \frac{(1,485)^2 \cdot 10 \cdot 6}{1,924 \cdot 10^{-4}} = 0,69$$

Полученное значение коэффициента заполнения паза находится в рекомендуемом пределе (0,69—0,71) при $2p=2$ [1, стр. 179] .

Размеры паза статора представлены на рисунке .2.

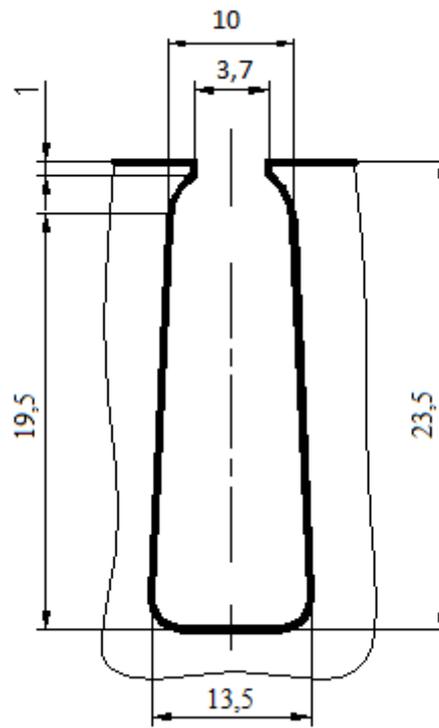


Рисунок 2 – Паз статора с размерами

2.5 Расчёт ротора

2.5.1 Воздушный зазор следует выбирать, руководствуясь данными выпускаемых двигателей по [1, рисунок 6.21].

Правильный выбор воздушного зазора во многом определяет энергетические показатели асинхронного двигателя. Чем меньше воздушный зазор, тем меньше его магнитное сопротивление и магнитное напряжение, составляющее основную часть суммарной МДС магнитной цепи всей машины. Поэтому уменьшение зазора приводит к ответственному уменьшению МДС магнитной цепи и намагничивающего тока двигателя, благодаря чему возрастает его коэффициент мощности и уменьшаются потери в меди обмотки статора. Но чрезмерное уменьшение воздушного зазора приводит к возрастанию амплитуд пульсаций индукции в воздушном зазоре и, как следствие этого, к увеличению поверхностных и пульсационных потерь. Поэтому КПД двигателей с очень малыми зазорами не улучшается, а часто даже становится меньше. В современных асинхронных двигателях зазор выбирают, исходя из минимума суммарных потерь.

Согласно рекомендациям выбираем.

$$\delta = \frac{D}{1.2} (1 + 4.5/p) \cdot 10^{-3} = \frac{0.193}{1.2} (1 + 4.5/1) \cdot 10^{-3} = 8.823 \cdot 10^{-4}, \text{ м}$$

Уменьшаем зазор до значения кратного 0,05. Принятое значение воздушного зазора: $\delta = 0,85 \cdot 10^{-3}, \text{ м}$

2.5.2 Число пазов ротора по [1, таблица 6.15].

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

В результате взаимодействия токов и полей высших гармоник возникают электромагнитные моменты, которые при неблагоприятном соотношении Z_1 и Z_2 могут существенно ухудшать механическую ха-

рактеристику двигателя, так как момент на валу машины является суммой моментов, обусловленных всеми взаимодействующими гармониками.

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

Согласно [1, таблица 6.15]

при $2p=2$ и $Z_1=36$ принимаем $Z_2=44$ без скоса пазов.

2.5.3 Внешний диаметр ротора

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta = 0,193 - 2 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3} = 0,191 \text{ м}$$

2.5.4 Зубцовое деление ротора

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{\pi \cdot 0,179}{44} = 0,014 \text{ м}$$

2.5.5 Внутренний диаметр ротора по формуле

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

$$D_j = D_B = k_B \cdot D_a = 0,23 \cdot 0,35 = 0,081 \text{ м}$$

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

2.5.6 Ток в стержне ротора по [1, формула 6.60]

$$I_2 = k_i \cdot I_1 \cdot \frac{2 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{\text{об1}}}{Z_2} = 0,92 \cdot 69,211 \cdot \frac{2 \cdot 3 \cdot 60 \cdot 0,93}{44} = 480,464 \text{ А}$$

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

$$k_i = 0,2 + 0,8 \cdot \cos\phi = 0,2 + 0,8 \cdot 0,9 = 0,92$$

2.5.7 Площадь поперечного сечения стержня по формуле

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = \frac{480,464}{3 \cdot 10^6} = 1,602 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

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

2.5.8 Паз ротора

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

[1, стр.188]: ширина шлица $b_{u2}=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, высота шлица $h_{u2}=0,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

2.5.9 Ширина зубца ротора

$$b_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot \ell_{\delta}}{B_{z2} \cdot \ell_{cm2} \cdot k_c} = \frac{0,765 \cdot 0,014 \cdot 0,119}{1,8 \cdot 0,119 \cdot 0,97} = 0,006 \text{ м}$$

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

2.5.10 Максимальная ширина паза

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_u - 2 \cdot h'_u) - Z_2 \cdot b_{z2}}{\pi + Z_2} =$$

$$= \frac{\pi \cdot (0,191 - 2 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3}) - 44 \cdot 0,006}{\pi + 44} = 0,007 \text{ м}$$

2.5.11 Минимальная ширина паза по формуле

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \cdot \left(\frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - q_c \cdot 4}{\frac{Z_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \sqrt{\frac{0,007^2 \cdot \left(\frac{44}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - 1,602 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\frac{44}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = 0,003 \text{ м}$$

2.5.12 Полная высота паза ротора

$$h_{n2} = h_{u2} + \frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{2} + h_1 = 0,7 \cdot 10^{-3} + \frac{0,007}{2} + \frac{0,003}{2} + 0,0274 = 31,6 \text{ мм}$$

где по формуле [1, формула 6.76]

$$h_1 = (b_1 - b_2) \cdot \frac{Z_2}{2 \cdot \pi} = (0,007 - 0,003) \cdot \frac{44}{2 \cdot \pi} = 0,0274 \text{ м}$$

2.5.13 Площадь поперечного сечения стержня формуле

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (b_1^2 + b_2^2) + \frac{1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \cdot h_1 = \frac{\pi}{8} \cdot (0,007^2 + 0,003^2) + \frac{1}{2} \cdot (0,007 + 0,003) \cdot 0,0274 = 1,602 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

2.5.14 Плотность тока в стержне (окончательно)

$$J_2 = \frac{I_2}{q_c} = \frac{480,464}{1,602 \cdot 10^{-4}} = 3 \cdot 10^6 \frac{A}{\text{м}^2}$$

2.5.15 Ток в кольце по формуле

$$I_{кл} = \frac{I_2}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2}} = \frac{480,464}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot 1}{44}} = 3367,465 \text{ А}$$

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

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

$$J_{кл} = 0,85 \cdot J_2 = 0,85 \cdot 3 \cdot 10^6 = 2,55 \cdot 10^6 \frac{A}{\text{м}^2}$$

2.5.17 Сечение короткозамкнутого кольца по формуле

$$q_{кл} = \frac{I_{кл}}{J_{кл}} = \frac{3367,465}{2,55 \cdot 10^6} = 0,001 \text{ м}^2$$

2.5.18 Высота короткозамкнутого кольца [1, стр.186]

$$h_{кл} = 1,25 \cdot h_{н2} = 1,25 \cdot 0,034 = 0,042 \text{ м}$$

2.5.19 Длина короткозамкнутого кольца [1, стр.244]

$$b_{кл} = \frac{q_{кл}}{h_{кл}} = \frac{0,001}{0,042} = 0,031 \text{ м}$$

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

$$D_{кл.ср} = D_2 - b_{кл} = 0,191 - 0,042 = 0,149 \text{ м}$$

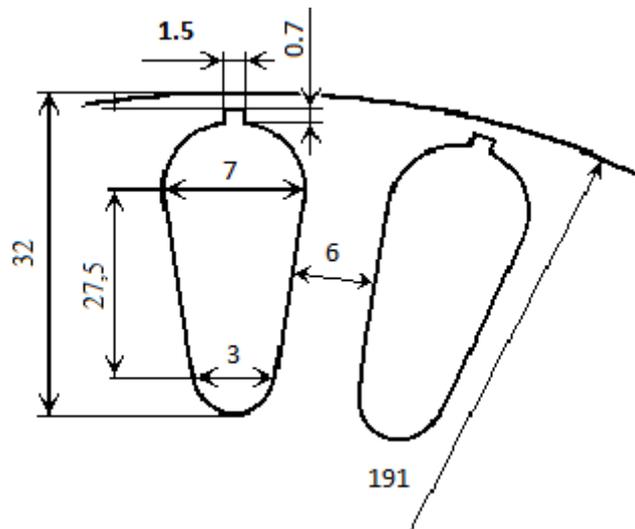


Рисунок 3 – Паз ротора с размерами

2.6 Расчёт магнитной цепи

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

2.6.1 Индукция в зубцах статора (окончательно) по формуле

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot \ell_{\delta}}{b_{z1} \cdot \ell_{cm1} \cdot k_c} = \frac{0,765 \cdot 0,017 \cdot 0,119}{0,008 \cdot 0,119 \cdot 0,95} = 1,8 \text{ Тл}$$

Индукция в зубцах ротора:

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot \ell_{\delta}}{b_{z2} \cdot \min \cdot \ell_{cm2} \cdot k_c} = \frac{0,765 \cdot 0,014 \cdot 0,119}{0,007 \cdot 0,119 \cdot 0,97} = 1,52 \text{ Тл}$$

Значения индукции лежит в допустимых пределах 1,7-1,9 Тл

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

$$H_{z2} = 1770 \text{ А/м,}$$

Индукция в ярме статора (окончательно) по формуле

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot \ell_{cm1} \cdot k_c} = \frac{0,018}{2 \cdot 0,058 \cdot 0,119 \cdot 0,95} = 1,52 \text{ Тл}$$

2.6.2 Расчётная высота ярма ротора по формуле

$$h_j = \frac{2+p}{3,2 \cdot p} \cdot \left(\frac{D_2}{2} - h_{n2} \right) = \frac{2+2}{3,2 \cdot 2} \cdot \left(\frac{0,191}{2} - 0,034 \right) = 0,058 \text{ м}$$

2.6.3 Индукция в ярме ротора по формуле

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h_j \cdot \ell_{cm2} \cdot k_c} = \frac{0,018}{2 \cdot 0,058 \cdot 0,119 \cdot 0,97} = 1,34 \text{ Тл}$$

2.6.4 Коэффициент воздушного зазора [1, стр.106]

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

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

Коэффициент воздушного зазора [1, формула 4.14, 4.15]

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma \cdot \delta} = \frac{0,017}{0,017 - 2,282 \cdot 8,5 \cdot 10^{-4}} = 1,131$$

$$\gamma = \frac{\left(\frac{b_{u1}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{u1}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{0,004}{0,00085}\right)^2}{5 + \frac{0,004}{0,00085}} = 2,282$$

2.6.5 Магнитное напряжение воздушного зазора:

$$F_{\delta} = \frac{2}{\mu} \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot 10^6 = \frac{2}{1,257 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,765 \cdot 0,00085 \cdot 1,131 = 1169,759 \text{ А}$$

По [1, таблица П.17] , для стали марки 2013 определяем напряженность магнитного поля для зубцов статора АД: $H_{z1} = 1150 \text{ А/м}$.

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1} = 2 \cdot 0,023 \cdot 2500 = 116,992 \text{ А}$$

2.6.6 Магнитное напряжение зубцов ротора :

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2} = 2 \cdot 0,0334 \cdot 2050 = 136,931 \text{ A}$$

где H_{z2} – напряжённость магнитного поля для стали 2013 $H_{z2}=2050$ А/м.

2.6.7 Коэффициент насыщения зубцовой зоны по формуле

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} = 1 + \frac{116,992 + 136,931}{1169,759} = 1,22$$

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

$$L_a = \frac{\pi \cdot (D_a - h_a)}{2p} = \frac{\pi \cdot (0,35 - 0,055)}{2} = 0,463 \text{ м}$$

2.6.8 Длина магнитной линии ярма ротора по формуле

$$L_j = \pi \cdot \frac{d_j + h_j}{2 \cdot p} = \pi \cdot \frac{0,081 + 0,021}{2 \cdot 1} = 0,16 \text{ м}$$

где h_j – высота спинки ротора

2.6.9 Магнитное напряжение ярма статора по формуле

$$F_a = L_a \cdot H_a = 0,463 \cdot 656 = 303,618 \text{ A}$$

где H_a – напряжённость магнитного поля ярма статора [1, таблица П.16.]; для стали 2013 $H_a=656$ А/м.

2.6.10 Магнитное напряжение ярма статора по формуле

$$F_j = L_j \cdot H_j = 0,16 \cdot 318 = 50,923 \text{ A}$$

где H_j – напряжённость магнитного поля ярма ротора [1, таблица П.16.];

для стали 2013 $H_j=318$ А/м.

2.6.11 Магнитное напряжение на пару полюсов по формуле

$$F_u = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 1169,759 + 116,992 + 136,931 + 303,618 + 50,923 = 1778,224 \text{ A}$$

2.6.12 Коэффициент насыщения магнитной цепи по формуле

$$k_{\mu} = \frac{F_{\psi}}{F_{\delta}} = \frac{1778,224}{1169,759} = 1,52$$

2.6.13 Намагничивающий ток по формуле

$$I_{\mu} = \frac{p \cdot F_{\psi}}{0,9 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{\text{об1}}} = \frac{1778,224}{0,9 \cdot 3 \cdot 60 \cdot 0,922} = 11,902 \text{ A}$$

2.6.14 Относительное значение намагничивающего тока по формуле

$$I_{\mu}^* = \frac{I_{\mu}}{I_{\text{ном}}} = \frac{11,9}{69,21} = 0,21$$

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

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

1.7 Параметры рабочего режима

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

Известные из общей теории электрических машин схемы замещения фазы асинхронной машины, основанные на приведении процессов во вращающейся машине к неподвижной (рисунок 4). Физические процессы в асинхронной машине более наглядно отражает схема, изображённая на рисунок 4а.

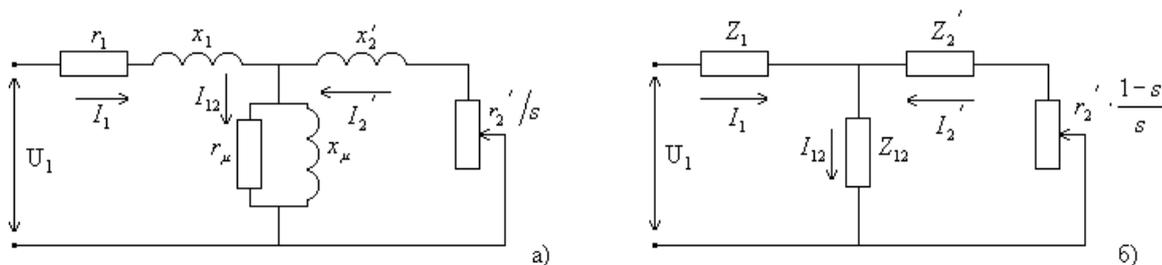


Рисунок 4 – Схемы замещения фазы обмотки приведённой асинхронной машины: а – Т-образная, б – Т-образная эквивалентная.

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

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

2.7.1. Средняя ширина катушки по формуле

$$b_{\text{ср}} = \frac{\pi \cdot (D + h_{n1})}{2p} = \frac{\pi \cdot (0,193 + 0,023)}{2} = 0,339 \text{ м}$$

2.7.2. Длина лобовой части по формуле

Лобовая часть катушек имеет сложную конфигурацию. Точный расчёт её длины и длины вылета лобовой части требует предварительного определения всех размеров катушки и сопряжён со значительным объёмом расчётов, данные которых в дальнейшем

электромагнитном расчёте обычно не используются. Для машин малой и средней мощности достаточно точные для практических расчётов результаты дают эмпирические формулы, учитывающие основные особенности конструктивных форм катушек.

$$\ell_n = K_n \cdot b_{км} + 2B = 1,2 \cdot 0,339 + 2 \cdot 0,01 = 0,427 \text{ м}$$

где K_n – коэффициент [1, таблица 6.19]; $K_n = 1,2$

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

2.7.3. Вылет лобовых частей обмотки по формуле

$$\ell_{\text{выл}} = K_{\text{выл}} \cdot b_{км} + 2 \cdot B = 0,26 \cdot 0,339 + 0,01 = 0,108 \text{ м}$$

где $K_{\text{выл}}$ – коэффициент [1, таблица 6.19]; $K_{\text{выл}} = 0,4$

2.7.4. Средняя длина витка обмотки по формуле

$$\ell_{\text{ср1}} = 2 \cdot (\ell_n + \ell_n) = 2 \cdot (0,119 + 0,427) = 1,093 \text{ м}$$

где ℓ_n – длина пазовой части; $\ell_n = \ell_1 = 0,119 \text{ м}$

2.7.5. Длина проводников фазы обмотки по формуле

$$L_1 = \ell_{\text{ср1}} \cdot W_1 = 1,093 \cdot 60 = 65,574 \text{ м}$$

2.7.6. Активное сопротивление фазы обмотки статора по формуле

$$r_1 = \rho_{75} \cdot \frac{L_1}{q_{\text{эф}} \cdot a} = 2,464 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{65,574}{9,234 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 0,175 \text{ Ом}$$

где ρ_{75} – удельное сопротивление материала обмотки [1, таблица 4-1]; для данного класса нагревостойкости изоляции расчётная температура 75°C , для меди $\rho_{75} = 10^{-6}/47 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

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

$$r_1^* = r_1 \cdot \frac{I_{1н}}{U_{1н}} = 0,175 \cdot \frac{69,211}{220} = 0,055$$

Относительные значения активных сопротивлений обмотки статора обычно составляют несколько сотых долей $r_1^* \approx 0,02 - 0,03$

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

2.7.8. Сопротивление стержня определяется по формуле

$$r_c = \rho_{75} \cdot \frac{\ell_2}{q_c} = 6,732 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,119}{1602 \cdot 10^{-4}} = 5,022 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$$

где ρ_{75} — удельное сопротивление материала обмотки [1, таблица 4-1]; для данного класса нагревостойкости изоляции расчётная температура 75°C , для алюминия $\rho_{75}=10^{-6}/28 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

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

$$r_{кл} = \rho_{75} \cdot \frac{\pi \cdot D_{к.ср}}{Z_2 \cdot q_{кл}} = 6,732 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\pi \cdot 0,149}{44 \cdot 0,001} = 5,411 \cdot 10^{-7} \text{ Ом}$$

2.7.10. Активное сопротивление фазы обмотки ротора по формуле

$$r_2 = r_c + \frac{2 \cdot r_{кл}}{\Delta^2} = 5,022 \cdot 10^{-5} + \frac{2 \cdot 5,411 \cdot 10^{-7}}{0,02^2} = 1,034 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

2.7.11. Приводим r_2 к числу витков обмотки статора по формуле

$$r_2' = r_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (W_1 \cdot \kappa_{об1})^2}{Z_2 \cdot K_c} = 1,034 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (60 \cdot 0,922)^2}{44 \cdot 0,9} = 0,107 \text{ Ом}$$

2.7.12. Относительное значение активного сопротивления фазы

обмотки ротора [1, с.245]

$$r_2^{*'} = r_2' \cdot \frac{I_{1n}}{U_{1n}} = 0,107 \cdot \frac{69,211}{220} = 0,034$$

2.7.13. Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора [1, таблица 6-22]

$$\lambda_{\pi 1} = \frac{h_2}{3 \cdot b_1} \cdot k_{\beta} + \left(\frac{h_1}{b_1} + \frac{3 \cdot h_{\kappa}}{b_1 + b_{u1}} + \frac{h_{u1}}{b_{u1}} \right) \cdot k'_{\beta} = \frac{0,019}{3 \cdot 0,01} \cdot 0,904 + \left(\frac{3 \cdot 0,003}{0,01 + 2 \cdot 0,004} + \frac{0,001}{0,004} \right) \cdot 0,872 = 1,215$$

где k_{β} и k'_{β} – коэффициенты учитывающие укорочение шага обмотки [1, с.199];

2.7.14. Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки статора [1, формула 6.154]

$$\lambda_1 = 0,34 \cdot \frac{q}{\ell_{\delta}} \cdot (\ell_{\pi} - 0,64 \cdot \beta \cdot \tau) = 0,34 \cdot \frac{6}{0,119} \cdot (0,427 - 0,64 \cdot 0,83 \cdot 0,302) = 4,547$$

2.7.15. Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора [1, формула 6.170]

$$\lambda_{\pi 1} = \frac{t_1}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi = \frac{0,017}{12 \cdot 0,00085 \cdot 1,131} \cdot 0,764 = 1,112$$

где ξ – коэффициент [1, формула 6.172];

при полузакрытых или полукрытых пазах статора с учетом скоса пазов:

$$\xi = 2 \cdot k'_{\text{ск}} \cdot k_{\beta} - k_{\text{оо1}}^2 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \cdot (1 + \beta^2) = 2 \cdot 1,1 \cdot 0,904 - 0,922^2 \cdot \left(\frac{0,014}{0,017} \right)^2 = 1,43$$

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

$k'_{\text{ск}}$ – коэффициент [1, рисунок 6-39д]; при $t_2/t_1=1,258$ и $\beta_{\text{ск}}=0$, $k'_{\text{ск}}=1,1$

2.7.16. Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора

$$\begin{aligned} x_1 &= 15,8 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{W_1}{100} \right)^2 \cdot \frac{\ell'_{\delta}}{p \cdot q} \cdot (\lambda_1 + \lambda_{\pi 1} + \lambda_{\pi 1}) = \\ &= 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{60}{100} \right)^2 \cdot \frac{0,119}{1 \cdot 6} \cdot (1,215 + 4,547 + 1,112) = 0,389 \text{ Ом} \end{aligned}$$

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

$$x_1^* = x_1 \cdot \frac{I_{1н}}{U_{1н}} = 0,389 \cdot \frac{69,211}{220} = 0,12$$

см. вывод в конце параграфа

2.7.18. Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки ротора,[1, таблица 6-23]

$$\lambda_{л2} = \left[\frac{h_0}{3 \cdot b_1} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b_1^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_{ц2}}{2 \cdot b_2} \right] \cdot k_{л} + 0,3 + 1,12 \frac{h_{ц2} \cdot 10^{-6}}{I_2} = \left(\frac{0,029}{3 \cdot 0,007} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot 0,007^2}{8 \cdot 1,602 \cdot 10^{-4}} \right) + 0,66 - \frac{0,002}{2 \cdot 0,007} \right) \cdot 1 + \frac{7 \cdot 10^{-4}}{0,002} + 1,12 \frac{6 \cdot 10^{-4}}{480,464} = 3,479$$

2.7.19. Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки ротора по формуле

$$\lambda_{л2} = \frac{2,3 \cdot D_{кл.сп}}{Z_2 \cdot \ell'_\delta \cdot \Delta^2} \cdot \lg \frac{4,7 \cdot D_{кл.сп}}{2 \cdot a_{кл} + b_{кл}} = \frac{2,3 \cdot 0,149}{44 \cdot 0,119 \cdot 0,143^2} \cdot \lg \frac{4,7 \cdot 0,149}{2 \cdot 0,031 + 0,042} = 2,632$$

2.7.20. Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора по формуле

$$\lambda_{л2} = \frac{t_2}{12 \cdot \delta \cdot k_\delta} \cdot \xi = \frac{0,014}{12 \cdot 0,00085 \cdot 1,131} \cdot 1,001 = 1,183$$

где ξ – коэффициент по формуле

$$\xi = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot p}{Z_2} \right)^2 - \frac{\Delta_z}{1 - (p/Z_2)^2} = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi}{44} \right)^2 = 1,001$$

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

2.7.21. Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора по формуле

$$x_2 = 7,9 \cdot f_1 \cdot l'_\delta \cdot (\lambda_{л2} + \lambda_{л2} \cdot \lambda_{л2} + \lambda_{ск}) \cdot 10^{-6} = 7,9 \cdot 50 \cdot 0,119 \cdot (3,479 + 2,632 + 1,418) \cdot 10^{-6} = 3,554 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}$$

2.7.22. Приводим x_2 к числу витков обмотки статора по формуле

$$x_2' = x_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (W_1 \cdot \kappa_{об1})^2}{Z_2 \cdot K_{ск}} = 3,554 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (60 \cdot 0,922)^2}{44 \cdot 0,9^2} = 0,366 \text{ Ом}$$

1.7.23 Относительное значение x_2 [1, с.205]

$$x_2^* = x_2' \cdot \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 0,366 \cdot \frac{69,211}{220} = 0,115$$

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

Так, относительные значения индуктивных сопротивлений рассеяния обмотки статора и приведённого сопротивления обмотки ротора большей частью находятся в пределах $x_1^* = 0.08 \div 0.14$ и $x_2^* = 0.1 \div 0.16$.

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

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

2.8 Расчёт потерь

При работе асинхронного двигателя часть подводимой мощности расходуется на нагрев проводников, перемагничивание сердечника, создание необходимого для охлаждения потока воздуха, трение вращающихся частей о воздух, трение в подшипниках и т.д. Эту часть мощности называют потерями, так как она как бы «теряется» при электромеханическом преобразовании энергии.

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

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

2.8.1. Масса стали зубцов статора по формуле

$$m_{z1} = h_{z1} \cdot b_{z1} \cdot Z_1 \cdot \ell_{cm1} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = 0,023 \cdot 0,008 \cdot 36 \cdot 0,119 \cdot 0,95 \cdot 7800 = 5,604 \text{ кг}$$

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

2.8.2. 2.7.2 Масса стали ярма статора по формуле

$$m_a = \pi \cdot (D_a - h_a) \cdot h_a \cdot \ell_{cm1} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = \pi \cdot (0,35 - 0,055) \cdot 0,055 \cdot 0,119 \cdot 0,95 \cdot 7800 = 45,366 \text{ кг}$$

2.8.3. Основные потери в стали по формуле

$$P_{ст.осн} = p_{1,50\%} \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^\beta \cdot (\kappa_{Да} \cdot B_a^2 \cdot m_a + \kappa_{ДЗ} \cdot B_z^2 \cdot m_{z1}) = 1,75 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{1,5} \cdot (1,6 \cdot 1,4^2 \cdot 45,366 + 1,8 \cdot 1,8^2 \cdot 5,604) = 306,2 \text{ Вт}$$

где $p_{1,50\%}$ – удельные потери в стали [1, таблица 6-24]; для стали 2013

$$p_{1,50\%} = 1,75 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$$

β – показатель степени [1, таблица 6-24]; для стали 2013 $\beta = 1,5$

$\kappa_{Да}$ и $\kappa_{ДЗ}$ – коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали

неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов [1, с.206]; $\kappa_{да}=1.6$ и $\kappa_{дз}=1.8$.

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

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

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot \kappa_{\delta} \cdot B_{\delta} = 0,271 \cdot 1,113 \cdot 0,765 = 0,23 \text{ Тл}$$

где β_{02} — зависит от отношения ширины шлица пазов статора к воздушному зазору $\beta_{02}=f(b_{шл1}/\delta)$ [1, рисунок 6-41]; $\beta_{02}=0,271$

2.8.5. Удельные поверхностные потери по формуле

$$P_{пов2} = 0,5 \cdot \kappa_{02} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{10000} \right)^{1,5} \cdot (B_{02} \cdot t_1 \cdot 10^3)^2 = 0,5 \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{36 \cdot 3000}{10000} \right)^{1,5} \cdot (0,234 \cdot 0,017 \cdot 10^3)^2 = 412,801$$

где κ_{02} – коэффициент, учитывающий влияние обработки поверхности ротора на удельные потери [1, с.207]; $\kappa_{02}=1.5$.

2.8.6. Полные поверхностные потери ротора по формуле

$$P_{пов2} = P_{пов2} \cdot (t_2 - b_{ц2}) \cdot Z_2 \cdot \ell_{cm2} = 412,801 \cdot (0,014 - 0,002) \cdot 44 \cdot 0,119 = 26,311 \text{ Вт}$$

2.8.7. Масса зубцов стали ротора по формуле

$$m_{z2} = h_{z2} \cdot b_{z2} \cdot Z_2 \cdot \ell_{cm2} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = 0,033 \cdot 0,007 \cdot 44 \cdot 0,119 \cdot 0,97 \cdot 7800 = 9,36 \text{ кг}$$

2.8.8. Амплитуда пульсаций индукции в среднем сечении зубцов ротора по формуле

$$B_{пуль'2} = \frac{\gamma_1 \cdot \delta}{2 \cdot t_2} \cdot B_{z2} = \frac{2,228 \cdot 0,00085}{2 \cdot 0,014} \cdot 1,525 = 0,109 \text{ Тл}$$

2.8.9. Пульсационные потери в зубцах ротора по формуле

$$P_{пуль'2} = 0,11 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{пуль'2} \right)^2 \cdot m_{z2} = 0,11 \cdot \left(\frac{36 \cdot 3000}{1000} \cdot 0,109 \right)^2 \cdot 9,359 = 141,461 \text{ Вт}$$

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

2.8.10. Сумма добавочных потерь по формуле

$$P_{ст.доб} = P_{пов2} + P_{пуль2} = 26,311 + 141,461 = 167,772 \text{ Вт}$$

2.8.11. Полные потери в стали по формуле

$$P_{ст} = P_{ст.осн} + P_{ст.доб} = 306,163 + 167,772 = 473,934 \text{ Вт}$$

2.8.12. Механические потери по формуле

$$P_{мех} = K_T \cdot \left(\frac{n}{10}\right)^2 \cdot D_a^4 = 0,845 \cdot \left(\frac{30000}{10}\right)^2 \cdot 0,35^4 = 1141 \text{ Вт}$$

где K_T – коэффициент [1, с.208]; при $2p=2$ $K_T = 0,841$

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

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

$$P_{доб} = 0,005 \cdot \frac{P_2}{\eta} = 0,005 \cdot \frac{37000}{0,9} = 205,55 \text{ Вт}$$

2.8.14. Электрические потери при холостом ходе в обмотке статора

по формуле

$$P_{эл.х} = m \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 11,902^2 \cdot 0,175 = 74,369 \text{ Вт}$$

2.8.15. Активная составляющая тока холостого хода по формуле

$$I_{x,x,a} = \frac{P_{cm} + P_{mex} + P_{\text{эл}x,x}}{m \cdot U_{1H}} = \frac{473,934 + 1141 + 74,369}{3 \cdot 220} = 2,56 \text{ A}$$

2.8.16. Ток холостого хода двигателя по формуле

$$I_{x,x} = \sqrt{I_{x,x,a}^2 + I_{\mu}^2} = \sqrt{2,56^2 + 11,902^2} = 12,174 \text{ A}$$

2.8.17. Коэффициент мощности при холостом ходе по формуле

$$\cos \varphi_{x,x} = \frac{I_{x,x,a}}{I_{x,x}} = \frac{2,56}{12,174} = 0,21$$

2.9 Расчёт рабочих характеристик

Рабочими характеристиками асинхронного двигателя называют зависимости P_1 , I_1 , $\cos \varphi$, η , $s=f(P_2)$. Методы расчёта характеристик базируются на системе уравнений токов и напряжений асинхронной машины, которой соответствует Т-образная схема замещения (рисунок 5). Активные и индуктивные сопротивления схемы замещения являются параметрами машины.

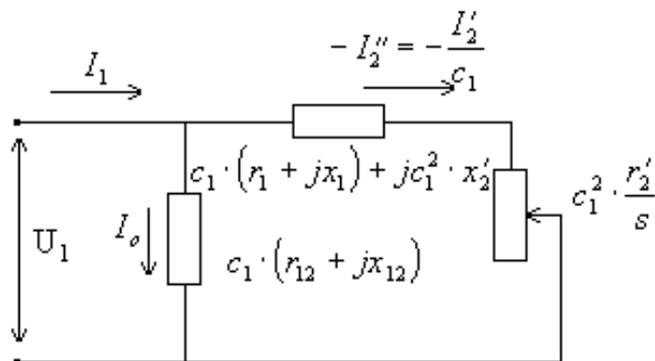


Рисунок 5 – Преобразованная Т-образная схема замещения.

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

2.9.1. Расчётное сопротивление r_{12} по формуле

$$r_{12} = \frac{P_{cm,ocн}}{m \cdot I_{\mu}^2} = \frac{306,163}{3 \cdot 11,902^2} = 0,72 \text{ Ом}$$

2.9.2. Сопротивление взаимной индукции обмоток статора и ротора [1, формула 6.180];

$$x_{12} = \frac{U_{1H}}{I_{\mu}} - x_1 = \frac{220}{11,902} - 0,689 = 18,095 \text{ Ом}$$

2.9.3. Коэффициент c_1 [1, формула 6.218];

$$c_1 \approx 1 + \frac{x_1}{x_{12}} = 1 + \frac{0,389}{18,095} = 1,022$$

Была использована приближённая формула

$$\gamma = \arctg \frac{r_1 \cdot x_{12} - r_{12} \cdot x_1}{r_{12} \cdot (r_1 + r_{12}) + x_{12} \cdot (x_1 + x_{12})} = \arctg \frac{0,175 \cdot 18,095 - 0,72 \cdot 0,389}{0,72 \cdot (0,175 + 0,72) + 18,095 \cdot (0,389 + 18,095)} = 0,4934$$

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

Для расчёта рабочих характеристик выбираем аналитический метод. Расчёт характеристик проводим, задаваясь значениями скольжений в диапазоне $s=(0.011 \div 0,040)s_H$. Номинальное скольжение предварительно принимаем равным $s_H=r_2^*=0.033$. Для построения характеристик достаточно рассчитать значения требуемых величин для пяти-шести различных скольжений, выбранных в указанном диапазоне примерно через равные интервалы.

2.9.4. Активная составляющая тока синхронного холостого хода по формуле

2.9.5. Постоянные коэффициенты по формуле

$$a' = c_1^2 = 1,022^2 = 1,044; \quad a = c_1 \cdot r_1 = 1,022 \cdot 0,175 = 0,179$$

$$b' = 0; \quad b = c_1 \cdot (x_1 + c_1 \cdot x_2') = 1,022 \cdot (0,389 + 1,022 \cdot 0,366) = 0,78$$

Результаты расчёта сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты рабочих характеристик

N п/п	Расчётная формула	Еде- ница.	Скольжение						
			0,001	0,003	0,01	0,012	0,013	0,03652	0,038
1	$b' \cdot r_2' / s$	Ом	0	0	0	0	0	0	0
2	$R = a + a' \cdot r_2' / s$	Ом	33,3	37,2	16,06	11,3	9,44	8,73	3,1
3	$X = b + b' \cdot r_2' / s$	Ом	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
4	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ом	33,36	37,26	16,08	11,32	9,48	3,317	6,54
5	$I_2'' = U_{н1} / Z$	А	6,59	5,9	13,6	13,7	19,4	66,3	68,7
8	$I_{1a} = I_{oa} + I_2'' \cdot \cos \varphi_2'$	А	0,58	6,48	14,2	20	23,7	65,3	67,2
9	$I_{1p} = I_{op} + I_2'' \cdot \sin \varphi_2'$	А	11,9	12,02	12,6	13,2	14,1	27,5	28,6
10	$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$	А	11,9	13,7	19	24	27,4	70,6	73,05
11	$I_2' = c_1 \cdot I_2''$	А	6,73	6,031	14	20	23,7	67,7	70,2
12	$P_1 = 3 \cdot U_{1н} \cdot I_{1a} \cdot 10^{-3}$	кВт	1,65	4,27	9,4	13,2	15,6	42,9	44,4
13	$P_{\text{э1}} = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_1 \cdot 10^{-3}$	кВт	0,075	0,098	0,189	0,301	0,395	2,617	2,802
14	$P_{\text{э2}} = 3 \cdot I_2'^2 \cdot r_2' \cdot 10^{-3}$	кВт	0,015	0,012	0,062	0,126	0,18	1,46	1,57
15	$P_{\text{доб}} = P_{\text{доб.н}} \cdot (I_1 / I_{1н})^2$	кВт	0,008	0,021	0,047	0,066	0,078	0,215	0,22
16	$\sum P = P_{\text{см}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{э1}} + P_{\text{э2}} + P_{\text{доб}}$	кВт	1,62	1,74	1,9	2,1	2,3	5,9	6,2
17	$P_2 = P_1 - \sum P$	кВт	0	2,53	7,4	11,06	14,5	37	38,1
18	$\eta = 1 - \sum P / P_1$	–	0,02	0,59	0,796	0,84	0,86	0,862	0,86
19	$\cos \varphi = I_{1a} / I_1$	–	0,048	0,47	0,75	0,83	0,86	0,92	0,92

По результатам расчётов строятся рабочие характеристики, которые представлены на рисунке 6.

Также по результатам видно, что КПД оказалось меньше заданной величины, это свидетельствует о увеличении потерь связанных с выбором воздушного зазора. Максимальное КПД достигается при мощности на валу в 37кВт. При этом значение коэффициента мощности при номинальной нагрузке превысило заданную величину.

Номинальное значение скольжения составило 0,0365. Значения тока соответствует рассчитанной величине.

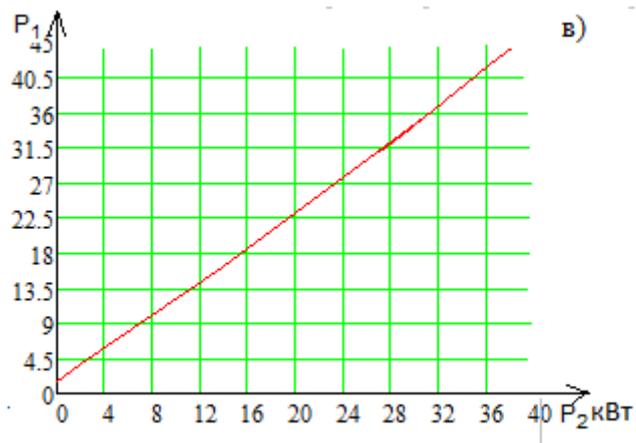
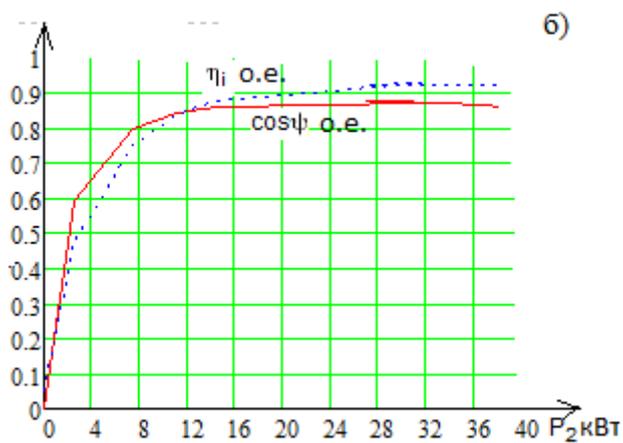
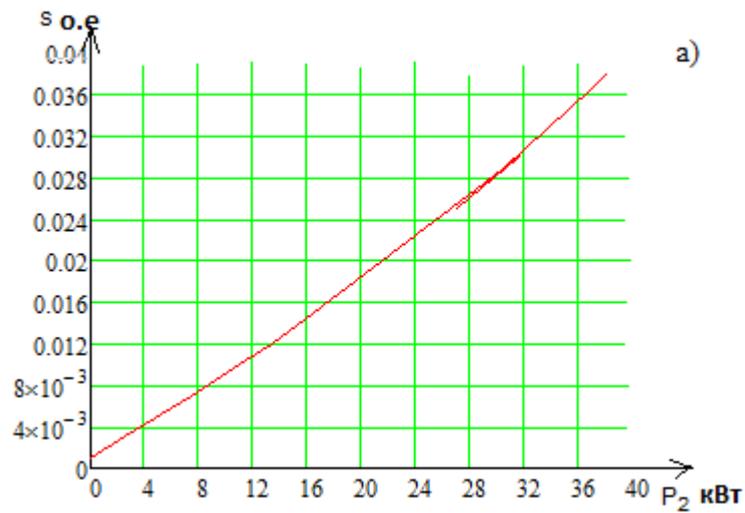


Рисунок 6 – Рабочие характеристики АД

- а) Зависимость скольжения от номинальной мощности
- б) Зависимость КПД от номинальной мощности
- в) Зависимость потребляемой мощности от полезной

2.10 Расчёт пусковых характеристик

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

Расчёт для $s=1$.

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

$$h_c = h_n - h_{ш} = 0.032 \text{ м};$$

$$\text{по формуле } \xi = 63.61 \cdot h_c \cdot \sqrt{s} = 63,61 \cdot 0.032 = 1,75;$$

$$\text{по [1, рисунок 6.46] для } \xi = 1,75 \text{ } \varphi = 0,582;$$

глубина проникновения тока по формуле

$$h_r = \frac{h_c}{1 + \varphi} = \frac{0.032}{1 + 0,582} = 0.0205 \text{ м};$$

площадь сечения q_r по формуле

$$q_r = \frac{\pi b_1^2}{8} + \frac{b_1 + b_r}{2} \left(h_r - \frac{b_1}{2} \right) = \frac{\pi 0.007^2}{8} + \frac{0.007 + 0.0059}{2} \left(0.0205 - \frac{0.0059}{2} \right) = 117 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

где по коэффициент k_r по по формуле

$$k_r = q_c / q_r = 160,2 / 117 = 1,369;$$

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

$$K_R = 1 + \frac{r_c}{r_2} (k_r - 1) = 1 + \frac{50 \cdot 10^{-6}}{103 \cdot 10^{-6}} (1,369 - 1) = 1,5;$$

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

$$r'_{2\xi} = K_R r'_2 = 1,5 \cdot 0,107 = 0,16, \text{ Ом.}$$

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

$$K_x = \frac{\lambda_{n2\xi} + \lambda_{л2} + \lambda_{\partial 2} + \lambda_{ск2}}{\lambda_{n2} + \lambda_{л2} + \lambda_{\partial 2} + \lambda_{ск2}} = \frac{5,71}{7,53} = 0,758;$$

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

$$\lambda_{n2\xi} = \left(\frac{h_1}{3b_1} \left(1 - \frac{\pi b_1^2}{8q_c} \right)^2 + 0.66 - \frac{b_{u1}}{2b_1} \right) k_{\delta} + 0.3 + 1.12 \frac{h_{u2} \cdot 10^6}{I_2} = 1,614 \cdot 0.98 + 0,3 + 1,12 \frac{0.001 \cdot 10^6}{480,4} = 1,66;$$

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

$$x'_{2\xi} = x'_2 K_x = 0,366 \cdot 0,758 = 0,278 \text{ Ом.}$$

2.9.3. Пусковые параметры по формуле

$$x_{12n} = k_{\mu} x_{12} = 1,52 \cdot 18 = 27,5 \text{ Ом,}$$

Подробный расчёт для S=1.

2.9.4. Индуктивные сопротивления обмоток. Принимаем [1, с.219]: $k_H=1.25$

средняя МДС обмотки, отнесённая к одному пазу обмотки статора по формуле

$$F_{n.cp} = 0.7 \frac{I_1 k_{нас} u_{n1}}{a} \left(k'_\beta + k_y \cdot k_{об1} \frac{Z_1}{Z_2} \right) = 0.7 \frac{295,9 \cdot 1,1 \cdot 11}{1} \left(1 + 1 \cdot 0,91 \frac{36}{29} \right) = 3646 \text{ ,А,}$$

коэффициент C_N [1, формула 6.254]

$$C_N = 0.64 + 2.5 \sqrt{\frac{\delta}{t_{z1} + t_{z2}}} = 0.64 + 2.5 \sqrt{\frac{0.00085}{0.03}} = 1,058 ,$$

фиктивная индукция потока рассеяния в воздушном зазоре по формуле $B_{\Phi\delta} = \frac{F_{n.cp} \cdot 10^{-6}}{1.6\delta \cdot C_N} = \frac{3646 \cdot 10^{-6}}{1.6 \cdot 0.00085 \cdot 1,058} = 2,53 \text{ ,Тл.}$

По [1, рисунок 6.50] для $B_{\Phi\delta} = 2,53 \text{ Тл}$ находим $k_{\delta}=0.7$.

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

$$c_{\beta 1} = (t_{z1} - b_{ш1})(1 - k_{\delta}) = (0.0156 - 0.0037)(1 - 0.7) = 0.003 \text{ ,м .}$$

Уменьшение коэффициента проводимости рассеяния паза статора по формуле

$$\Delta \lambda_{n1нас} = \frac{h_{u1} + h_k}{b_{u1}} \frac{c_{\beta 1}}{c_{\beta 1} + 1.5b_{u1}} = \frac{0.001 + 0.0003}{0.0037} \frac{0.003}{0,003 + 1.5 \cdot 0.0037} = 0.204.$$

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза статора с учетом насыщения [1, формула 6.261]

$$\lambda_{n1нас} = \lambda_{n1} - \Delta\lambda_{n1нас} = 1,215 - 0,204 = 1,211.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния статора с учетом насыщения [1, формула 6.263]

$$\lambda_{\partial1нас} = \lambda_{\partial1} k_{\delta} = 1,112 \cdot 0,7 = 0,89.$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора с учетом насыщения по формуле

$$x_{1нас} = x_1 \frac{\Sigma\lambda_{1нас}}{\Sigma\lambda_1} = 0,389 \frac{6,448}{6,875} = 0,365 \text{ Ом.}$$

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза ротора с учетом насыщения по формуле

$$\lambda_{n2\xiнас} = \lambda_{n2\xi} = 0,38.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния статора с учетом насыщения по формуле

$$\lambda_{\partial2нас} = \lambda_{\partial2} k_{\delta} = 2,462 \cdot 0,5 = 1,231.$$

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

$$x'_{2\xiнас} = x'_2 \frac{\Sigma\lambda_{2\xiнас}}{\Sigma\lambda_2} = 0,638 \text{ Ом,}$$

коэффициент $c_{1п.нас}$ по формуле

$$c_{1п.нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12п}} = 1 + \frac{0,365}{27,5} = 1,013.$$

2.9.5. Расчет токов и моментов:

токи по формуле

$$I'_{2нас} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_n^2 + X_n^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,302^2 + 0,5^2}} = 516,5 \text{ ,А,}$$

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

$$I_{П*} = \frac{I_{1нас}}{I_{ном}} = \frac{515,3}{70,6} = 7,5$$

Лежит в допустимых пределах 6,5-7,5.

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

$$M'_n = \left(\frac{I'_{2п.нас}}{I'_{2ном}} \right)^2 K_R \frac{S_{ном}}{S} = \left(\frac{516}{68} \right)^2 1,179 \frac{0,037}{1} = 2.4$$

Лежит в допустимых пределах 1,2-1,4.

Результаты расчёта сведены в таблице 2. По результатам расчётов строятся пусковые характеристики $M_*, I_* = f(s)$, которые представлены на рисунке 7.

Таблица 2 – Расчёт пусковых характеристик с учётом эффекта вытеснения тока и насыщения от полей рассеяния.

№	Расчётная формула	Ед	Скольжение S					
			1	0,8	0,5	0,2	0,1	0,001
1	$\xi = 65.15 h_c \sqrt{s}$	–	1,75	1,56	1,23	0,513	0,363	0,036
2	$\varphi(\xi)$	–	0,582	0,432	0,289	0,183	0,129	0,013
3	$k_r = q_c / q_r$	–	1,369	1,247	1,162	1,096	1,08	1
4	$K_R = 1 + \frac{r'_c}{r_2} (k_r - 1)$	–	1,179	1,12	1,08	1,105	1,039	1
5	$r'_{2\xi} = K_R r'_2$	Ом	0,126	0,119	0,115	0,112	0,111	0,107
6	$k_d = \varphi'(\xi)$	–	0,5	0,53	0,64	0,75	0,76	0,8
7	$K_x = \Sigma \lambda_{2\xi} / \Sigma \lambda_2$	–	0,707	0,709	0,720	0,740	0,756	0,780
8	$x'_{2\xi} = x'_2 K_x$	Ом	0,259	0,264	0,287	0,298	0,310	0,450
9	$x'_{2\xi_{нас}} = x'_2 \frac{\Sigma \lambda_{2\xi_{нас}}}{\Sigma \lambda_2}$	Ом	0,638	0,668	0,678	0,709	0,732	0,905
10	$x_{1нас} = x_1 \frac{\Sigma \lambda_{1нас}}{\Sigma \lambda_1}$	–	1,362	1,123	0,957	0,579	0,594	0,685
11	$c_{1п.нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12п}}$	–	1,013	1,013	1,013	1,014	1,014	1,016
12	$R_{п.нас} = r_1 + c_{1п.нас} \frac{r'_{2\xi}}{s}$	Ом	0,302	0,326	0,357	0,407	2,33	180
13	$I'_{2нас} = \frac{U_{1НОМ}}{\sqrt{R_{п.нас}^2 + X_{п.нас}^2}}$	А	516,5	496,4	471,7	435	421,8	2
14	$I_{нас} = I'_{2нас} \frac{\sqrt{R_{п.нас}^2 + (X_{п.нас} - X_{12п})^2}}{c_{1п.нас} \cdot X_{12п}}$	А	515,3	495,3	470,7	434	420,8	8
15	$I_{п*} = \frac{I_{1п.нас}}{I_{1НОМ}}$	–	7,29	7,014	6,66	6,15	5,96	0,11
16	$M'_п = \left(\frac{I'_{2п.нас}}{I'_{2НОМ}} \right)^2 K_R \frac{S_{НОМ}}{S}$	–	2,39	2,63	2,86	3,1	3,3	0,032

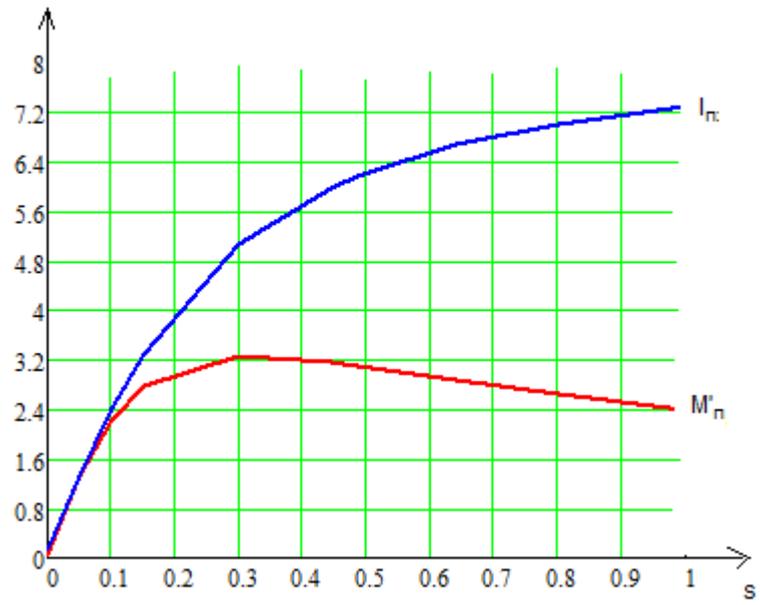


Рисунок 7 – Пусковые характеристики АД

3. Тепловой расчет

Расчёт нагрева проводят, используя значения потерь, которые получились для номинального режима, но потери в изолированных обмотках статора несколько увеличивают по сравнению с расчётными, предполагая, что обмотки могут быть нагреты до предельно допустимой для принятого класса изоляции температуры при классе нагревостойкости изоляции Н – до плюс 160 °С. При этом коэффициент увеличения потерь k_p по сравнению с полученными для расчётной температуры составит $k_p = 1.15$.

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

$$P'_{\text{эл.1}} = k_p \cdot P_{\text{эл}} \cdot \frac{2 \cdot l_{\delta}}{l_{\text{сп1}}} = 1,15 \cdot 2617 \cdot \frac{2 \cdot 0,119}{1,093} = 655,3 \text{ Вт}$$

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

$$\Delta v_{\text{нов1}} = K \cdot \frac{P'_{\text{эл.1}} + P_{\text{ст.осн}}}{\pi \cdot D \cdot l_{\delta} \cdot \alpha_1},$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи с поверхности, зависит от D_a

$$\alpha_1 = 170 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) \text{ [с. 235 рисунок 6.59]}$$

K – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину непосредственно в окружающую среду, зависит от $2p$, $K = 0,22$ табл. 6.22 тогда:

$$\Delta v_{\text{нов1}} = 0,22 \cdot \frac{653 + 316}{3,14 \cdot 0,35 \cdot 0,119 \cdot 170} = 17,4 \text{ °C}$$

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

$$P_1 = 2 \cdot h_{\text{н.к.}} + b_{11} + b_{12} = 2 \cdot 0,023 + 10,1 \cdot 10^{-3} + 13,4 \cdot 10^{-3} = 0,0702$$

3.2 Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора:

$$\Delta v_{\text{из.н1}} = \frac{P'_{\text{эл.1}}}{Z_1 \cdot P_1 \cdot l_{\delta}} \cdot \left(\frac{b_{\text{из.н1}}}{\lambda_{\text{эке}}} + \frac{b_1 + b_2}{16 \cdot \lambda'_{\text{эке}}} \right),$$

где $\lambda_{\text{экв}}$ - средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции; для классов нагревостойкости В, F и Н по рисунку 6.62

$$\lambda_{\text{экв}} = 0,16 \text{ Вт / (м} \cdot \text{}^{\circ}\text{C)},$$

$\lambda'_{\text{экв}}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности внутренней изоляции катушки всыпной обмотки из эмалированных проводников, $\lambda'_{\text{экв}} = 1,2 \text{ Вт / (м} \cdot \text{}^{\circ}\text{C)}$, зависит от $d/d_{\text{из}} = 0,94$,

тогда:

$$\Delta v_{\text{из.л1}} = \frac{655}{36 \cdot 0,0701 \cdot 0,119} \cdot \left(\frac{0,25 \cdot 10^{-3}}{0,16} + \frac{(10,1+13,4) \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 1,2} \right) = 6,06^{\circ} \text{C}$$

3.3 Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей:

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

Где $P'_{\text{эл.л1}}$ электрические потери в обмотках статора в пазовой части найдем

$$P'_{\text{эл.л1}} = k_{\rho} \cdot P_{\text{эл}} \cdot \frac{2 \cdot l_{\text{л1}}}{l_{\text{сп1}}} = 1,15 \cdot 2118 \cdot \frac{2 \cdot 0,427}{1,093} = 2351,5$$

тогда

$$\Delta v_{\text{из.л1}} = \frac{2351}{2 \cdot 36 \cdot 0,0701 \cdot 0,427} \cdot \left(\frac{0,023}{12 \cdot 0,16} \right) = 1,77^{\circ} \text{C}$$

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

$$\Delta v_{\text{нов.л1}} = \frac{K \cdot P'_{\text{эл.л1}}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot l_{\text{ввл}} \cdot \alpha_1} = \frac{0,22 \cdot 2351}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,193 \cdot 0,108 \cdot 170} = 23,2^{\circ} \text{C}$$

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя:

$$\Delta v'_1 = \frac{(\Delta v_{\text{нов.л1}} + \Delta v_{\text{из.л1}}) \cdot 2 \cdot l_{\delta} + (\Delta v_{\text{из.л1}} + \Delta v_{\text{нов.л1}}) \cdot 2 \cdot l_{\delta}}{l_{\text{сп1}}}$$

$$\Delta v'_1 = \frac{(17,4 + 6,06) \cdot 2 \cdot 0,119 + (6,06 + 23,2) \cdot 2 \cdot 0,427}{1,093} = 24,7^{\circ} \text{C}$$

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

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

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

$$\sum P'_B = \sum P' - (1 - K) \cdot (P'_{э.л.1} + P_{ст.осн}) - 0.9 \cdot P_{мех},$$

$$P = P + (1.15 - 1)(P_{э1} + P_{э2}) = 5900 + (1.15 - 1)(2617 + 316) = 5691 \text{ Вт}, \quad (2.13)$$

$$\text{тогда: } \sum P'_B = 6449 - (1 - 0.22) \cdot (655.3 + 316) = 5691 \text{ Вт}$$

$s_{кор}$ - эквивалентная поверхность охлаждения корпуса [с.238, формула 6.61]:

$$s_{кор} = (\pi \cdot D_a + 8 \cdot \Pi_p) \cdot (l_\delta + 2 \cdot l_{выл}) = (3.14 \cdot 0.35 + 8 \cdot 0.45) \cdot (0.119 + 2 \cdot 0.108) = 1.57 \text{ м}^2$$

где Π_p - условный периметр поперечного сечения рёбер корпуса двигателя

[с.237, рисунок 6.63], $\Pi_p = 0.45$, зависит от h , способность поверхности корпуса и интенсивность перемешивания воздуха внутри машины [рисунок 6.59 б],

$$\alpha_B = 32 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}), \text{ зависит от } D_a,$$

тогда:

$$\Delta v_B = \frac{5691}{1.57 \cdot 32} = 113^\circ \text{C}$$

3.6 Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды:

$$\Delta v_1 = \Delta v'_1 + \Delta v_B = 24.6 + 113 = 137^\circ \text{C}$$

Тепловое состояние рассчитанной ЭМ соответствует требованиям ГОСТ 183-74,

при температуре окружающей среды $+40^\circ\text{C}$ над уровнем не более 1000 м предельно допустимая температура составляет 160°C -для класса нагревостойкости Н.

4. Вентиляционный расчет

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.

4.1 Требуемый для охлаждения расход воздуха:

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

где k_m – коэффициент, учитывающий изменение условий охлаждения по длине поверхности корпуса [1, с.240] обдуваемого наружным вентилятором:

$$k_m = m' \cdot \sqrt{\frac{n}{100} \cdot D_a} = 2,6 \cdot \sqrt{\frac{3000}{100} \cdot 0,35} = 8,4,$$

где $m' = 2,6$, для двигателей с $2 \cdot p = 2$ при $h \geq 160$ мм .

тогда:

$$\theta_B = \frac{8,4 \cdot 5691}{1100 \cdot 113} = 0,39 \text{ м}^3 / \text{с}$$

4.2 Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором:

$$\theta'_B = 0,6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n}{100} = 0,6 \cdot (0,35)^3 \cdot \frac{3000}{100} = 0,772 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Расход воздуха θ'_B должен быть больше требуемого для охлаждения машины θ_B , значения соответствуют требованиям. Условия соблюдаются значит тепловой расчет сделан правильно.

5. Механический расчет

Конструкция вала приведена на рисунке.

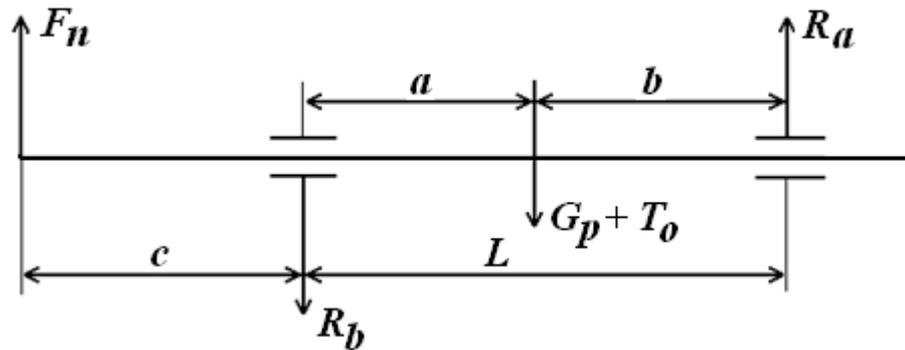


Рисунок 8 – Расстановка сил на валу двигателя

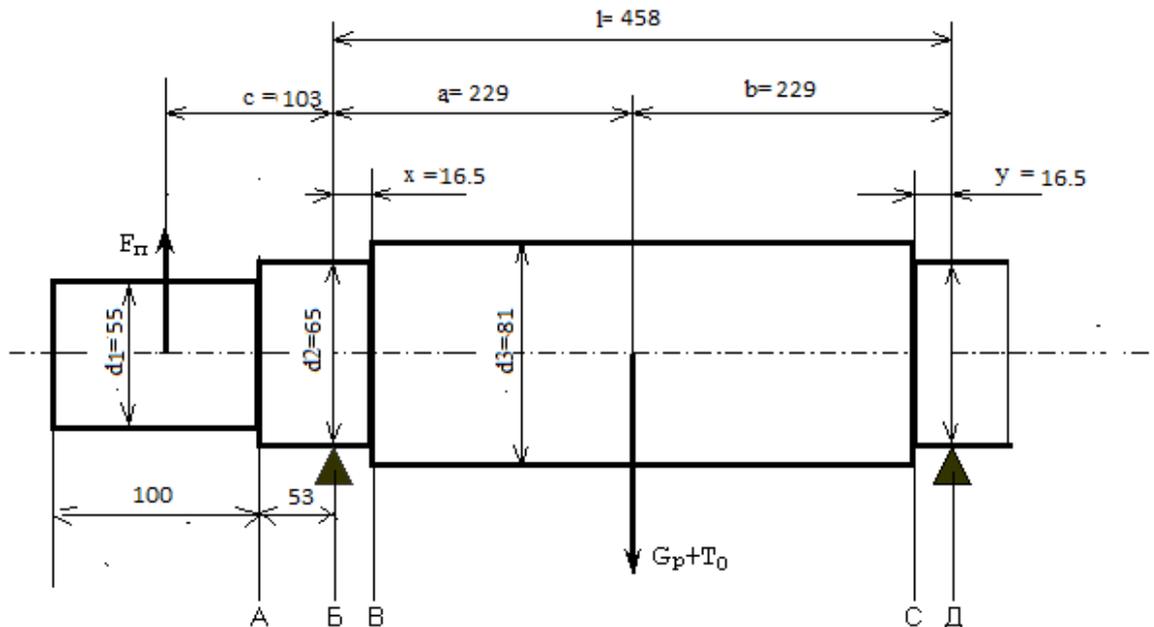


Рисунок 9 – Конструкция и основные размеры вала
для механического расчёта

Валы двигателей с высотами оси вращения $h \leq 250$ мм выполняют с минимальным числом ступеней – 3. Согласно [4, таблица 4.1] определяем по величине наибольшего допускаемого момента длину выступающего конца вала, связанные с диаметром выступающего цилиндрического конца вала: $d_1 = 55$ мм; $l_1 = 100$ мм.

Диаметр вала под подшипник и диаметр вала за подшипником принимаем [4, таблица 4.1]: $d_2 = 65$ мм; $d_3 = 81$ мм.

Выберем предварительно для вала подшипник радиальный однорядный с двухсторонним уплотнением (ГОСТ 8882-75) средней серии 6313, который имеет следующие параметры: $d=65 \text{ мм}$; $D=140 \text{ мм}$; $B=35 \text{ мм}$; $C=71300 \text{ Н}$;

Из предварительной компоновки вала имеем:

$$l=458 \text{ мм}; a=229 \text{ мм}; b=229 \text{ мм}; x=y=16,5 \text{ мм}; c=103 \text{ мм}.$$

Модуль Юнга для стали равен: $E = 2.06 \cdot 10^{11} \text{ м}$.

5.1 Расчёт на жёсткость

5.1.1 Определим приближённое значение силы тяжести:

$$m_p = 6500 \cdot D_2^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0,1916^2 \cdot 0,119 = 29 \text{ , кг}.$$

5.1.2 Определим момент инерции участка вала:

$$J = \frac{\pi \cdot d_2^4}{64} = \frac{\pi \cdot (65 \cdot 10^{-3})^4}{64} = 8,76 \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2.$$

5.1.3 Приближённое значение силы тяжести

$$G_p = 9,81 \cdot m_p = 9,81 \cdot 29 = 282 \text{ , Н}.$$

Определим прогиб вала в середине сердечника ротора под действием силы тяжести.

Для асинхронного двигателя с $h=200 \text{ мм}$ с достаточным приближением можно принять коэффициенты [2, с.248, таблица 8.3]:

$$S_a = S_b = \frac{a^3 - x^3}{J} = \frac{0,229^3 - 0,0165^3}{8,76 \cdot 10^{-7}} = 1,37 \cdot 10^4, \text{ м}^{-1};$$

$$S_0 = (a^2 - x^2) / J = (0,229^2 - 0,0165^2) / 8,76 \cdot 10^{-7} = 1,37 \cdot 10^4, \text{ м}^{-2}.$$

5.1.4 Прогиб вала под действием силы тяжести [2, с.245, формула 8.15]

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

$$= \frac{281}{3 \cdot 0,458^2 \cdot 2,06 \cdot 10^{11}} \cdot (0,229^2 \cdot 1,37 \cdot 10^4 + 0,229^2 \cdot 1,37 \cdot 10^4) = 3,12 \cdot 10^{-6}, \text{ м},$$

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

5.1.5 Определим номинальный вращающий момент [2, с.246, формула 8.18]:

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9,55 \cdot \frac{37000}{3000} = 147,8, \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5.1.6 Реакция передачи [1, с.246, формула 8.17]

$$F_{II} = \frac{k_n}{r} \cdot M_{\text{ном}} = \frac{0,3}{60 \cdot 10^{-3}} \cdot 147,8 = 739, \text{ Н},$$

где $k_n = 0,3$ коэффициент при передаче упругой кулачковой муфтой.

Радиус упругой муфты $r = 60 \cdot 10^{-3}$.

5.1.7 Прогиб вала посредине сердечника ротора от реакции передачи

[2, с.246, формула 8,19]

$$f_{II} = \frac{F_{II} \cdot c}{3 \cdot E \cdot l^2} \cdot \left[(1,5 \cdot l \cdot S_0 - S_b) \cdot a + b \cdot S_a \right] =$$

$$= \frac{739,2 \cdot 0,103}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,458^2} \cdot ((1,5 \cdot 0,458 \cdot 5,95 \cdot 10^4 - 1,37 \cdot 10^4) \cdot$$

$$\cdot 0,229 + 0,229 \cdot 1,37 \cdot 10^4) = 5,5 \cdot 10^{-6}, \text{ м}$$

5.1.8 Начальный эксцентриситет ротора [2, с.247, формула 8.20]:

$$e_0 = 0,1 \cdot \delta + f_G + f_{II} =$$

$$= 0,1 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} + 5,5 \cdot 10^{-6} + 3,12 \cdot 10^{-6} = 5,28 \cdot 10^{-5}.$$

5.1.9 Начальная сила одностороннего магнитного притяжения

[2, с.247, формула 8.21]:

$$T_0 = \left(2,94 \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \frac{e_0}{\delta} \right) \cdot 10^5 = \left(2,94 \cdot 0,192 \cdot 0,119 \cdot \frac{52,87 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^{-4}} \right) \cdot 10^5 = 801, \text{ Н}$$

5.1.10 Прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения [2, с.247, формула 8.22]

$$f_T = f_G \cdot \frac{T_0}{G_p} = 3,12 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{801}{281} = 8,88 \cdot 10^{-6}, \text{ м.}$$

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

$$f_M = \frac{f_T}{1 - f_T/e_0} = \frac{8,88 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,167} = 1,06 \cdot 10^{-5}, \text{ м.}$$

5.1.12 Результирующий прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения, реакции передачи и магнитного притяжения [2, с.247, формула 8.24]

$$f = f_T + f_{II} + f_M = (3,12 + 5,5 + 10,6) \cdot 10^{-6} = 1,92 \cdot 10^{-5}, \text{ м.}$$

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

$$x = \frac{f}{\delta} \cdot 100\% = \frac{1,9 \cdot 10^{-5}}{0,9 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 0,044 \text{ \% .}$$

5.1.14 Определение критической частоты вращения вала

Определим силу тяжести полумуфты

$$P_{шк} = 9,81 \cdot G_{шк}$$

Где $G_{шк} = 4,4$

$$P_{шк} = 9,81 \cdot 4,4 = 43,16$$

Определяем прогиб вала от тяжести полумуфты

$$f_{шк} = \frac{f_{II} \cdot P_{шк}}{G_p} = \frac{5,5 \cdot 10^{-6} \cdot 43,16}{739,2} = 3,21 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$n_{кр} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - f_T/e_0}{f_G + f_{шк}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - 0,168}{5,5 \cdot 10^{-6}}} = 11668, \text{ об / мин}$$

Полученное значение должно удовлетворять неравенству: $n_{кр} > 1,3 \cdot n$;

Проверим это условие $11668 > 1300$. Условие выполняется.

5.2 Расчёт вала на прочность

5.2.1 Изгибающий момент в сечении А:

$$M_{uA} = k \cdot F_{II} \cdot 0,0 = 2 \cdot 739 \cdot 0,0575 = 85, \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где k – коэффициент перегрузки, $k = 2$.

5.2.2 Момент сопротивления при изгибе:

$$W_A = 0,1 \cdot d_2^3 = 0,1 \cdot 0,065^3 = 2,75 \cdot 10^{-5}, \text{ м}^3.$$

5.2.3 Напряжение изгиба:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{W_A} \sqrt{M_{uA}^2 + (k \cdot M_{ном})^2} = \\ &= \frac{1}{2,75 \cdot 10^{-5}} \cdot \sqrt{85^2 + (2 \cdot 147,8)^2} = 1,12 \cdot 10^7, \text{ Па}, \end{aligned}$$

где $\alpha = 0,8$ – отношение допустимого напряжения при изгибе к удвоенному допустимому напряжению при кручении, для реверсивных машин.

5.2.4 Изгибающий момент в сечении В

$$M_{uB} = k \cdot F_{II} \cdot c = 2 \cdot 739 \cdot 0,103 = 152, \text{ Н} \cdot \text{м},$$

5.2.5 Момент сопротивления при изгибе:

$$W_B = 0,1 \cdot d_1^3 = 0,1 \cdot 0,055^3 = 1,7 \cdot 10^{-5}, \text{ м}^3.$$

5.2.6 Напряжение изгиба будет для сечения А.

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{W_B} \sqrt{M_{uB}^2 + (k \cdot M_{ном})^2} = \\ &= \frac{1}{1,7 \cdot 10^{-5}} \cdot \sqrt{152,2^2 + (2 \cdot 147,8)^2} = 1,85 \cdot 10^7, \text{ Па} \end{aligned}$$

Нагруженными сечениями является сечение А и В для которого $\sigma_{прА} = 1,85 \cdot 10^7 < 0,7 \cdot 36 \cdot 10^7$, $1,85 \cdot 10^7 < 25,2 \cdot 10^7$ Па, где предел текучести для стали $45 \cdot 36 \cdot 10^7$ Па.

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

5.3 Выбор подшипников

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

Данные для расчёта: $G_p = 281 \text{ Н}$; $T_0 = 801,1 \text{ Н}$; $F_{II} = 739,2 \text{ Н}$.

5.3.1 Наибольшая радиальная нагрузка на подшипник расположенный ближе к выходному концу вала [2, с.257, формула 8.37]:

$$\begin{aligned} R_a &= F_{II} \cdot \frac{c}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{b}{l} = \\ &= 739,2 \cdot \frac{0,103}{0,458} + (281,8 + 801,1) \cdot \frac{0,229}{0,458} = 707,7 \text{ , Н . } \quad (4.27) \end{aligned}$$

5.3.2 Принимаем при нагрузке с ударами и частыми сильными толчками ($k_n = 1,5$ - коэффициент учитывающий характер нагрузки двигателя). Для однорядных радиальных шарикоподшипников динамическая приведённая нагрузка на один подшипник [2, с.256, формула 8.35а]

$$Q_A = k_n \cdot R_a = 1,5 \cdot 707,7 = 1061 \text{ , Н .}$$

Принимаем расчётный срок службы подшипников $L_D = 18000$ часов.

5.3.3 Необходимая динамическая грузоподъёмность шарикоподшипника [2, с.257, формула 8.38]:

$$C = \frac{Q_A}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_D \cdot n} = \frac{1061}{25,6} \cdot \sqrt[3]{15000 \cdot 3000} = 14750 \text{ , Н .}$$

Наибольшая радиальная нагрузка на другой подшипник

$$\begin{aligned} R_b &= F_{II} \cdot \frac{c+l}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{a}{l} = \\ &= 477,7 \cdot \frac{0,103 + 0,458}{0,458} + (281,8 + 801,1) \cdot \frac{0,274}{0,458} = 1447 \text{ , Н} \end{aligned}$$

$$Q_B = k_n \cdot R_b = 1,5 \cdot 1446 = 2170,4 \text{ , Н}$$

$$C = \frac{Q_B}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_D \cdot n} = \frac{2170}{25,6} \cdot \sqrt[3]{15000 \cdot 3000} = 30155 \text{ , Н}$$

Выбираем шарикоподшипник серии 6312 с динамической грузоподъёмностью $C = 63000 \text{ Н}$.

6. Исследование частотного регулирования

Оценка пусковых и рабочих свойств двигателя, как частотно-регулируемого, проводится по механическим характеристикам двигателя, рассчитанным при разных напряжениях и частотах питающего напряжения. Предполагается, что напряжение и частота напряжения изменяются по закону $U_{1x} / f_{1x} = const$, обеспечивающего постоянство момента на валу двигателя.

При частотном пуске влияние насыщения и вытеснение тока на механическую характеристику двигателя обычно не учитывают. Это обусловлено следующими факторами. При частотном пуске по мере разгона двигателя частота и напряжение нарастают практически от нулевых до своих установившихся значений. Это исключает влияние вытеснения тока в стержнях на активное сопротивление короткозамкнутой обмотки ротора. Сам преобразователь частоты (ПЧ) предусматривает ограничение по току обмотки статора, что дает возможность не учитывать влияние насыщения магнитопровода на индуктивные сопротивления рассеяния обмоток, а, следовательно, и на механическую характеристику двигателя.

Следует так же отметить, что даже при прямом пуске влияние насыщения магнитопровода и вытеснение тока в стержнях на механическую характеристику двигателя проявляется только при изменении скольжения s от 1 до $(1 \dots 1,25) s_{кр}$, где $s_{кр}$ – критическое скольжение, при котором электромагнитный момент двигателя достигает максимального значения. Это позволяет рассчитывать механическую характеристику двигателя при изменении скольжения от $1,25 s_{кр}$ до 0 без учёта насыщения и вытеснения тока, т.е. при постоянных параметрах (активных и индуктивных сопротивлениях обмоток), свойственных номинальному режиму работы двигателя.

Для расчета возьмем все данные которые получили при проектировании АД. Полезная мощность $P_n=37$ кВт, фазное напряжение $U_{нф}=220$ В, частота сети $f_1=50$ Гц, число пар полюсов $p=1$, число фаз $m_1=3$. Из элек-

тромагнитного расчёта получены параметры номинального режима работы двигателя. Активные сопротивления обмоток двигателя: статора $r_1=0,175$ Ом, короткозамкнутого ротора $r_2'=0,107$ Ом. Индуктивные сопротивления рассеяния обмоток: статора $x_1=0,389$ Ом, ротора $x_2'=0,366$ Ом. Индуктивное сопротивление взаимной индукции $x_{12}=18,1$ Ом. Номинальный момент $M_n = 122,3$ Н·м.

В расчётах рабочих и пусковых характеристик двигателя обычно пользуются Г-образной схемой замещения, для которой необходимо пересчитать параметры двигателя по следующим формулам:

6.1 Активное сопротивление обмотки статора

$$r_1 = r_1 \cdot c_1 = 0,175 \cdot 1,014 = 0,177 \text{ Ом,}$$

6.2 Активное сопротивление обмотки ротора

$$r_2 = r_2' \cdot c_1^2 = 0,107 \cdot 1,014^2 = 0,11 \text{ Ом;}$$

6.3 Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$x_{\sigma 1} = x_1 \cdot c_1 = 0,389 \cdot 1,014 = 0,394 \text{ Ом}$$

6.4 Индуктивное сопротивление обмотки ротора

$$x_{\sigma 2} = x_2' \cdot c_1^2 = 0,244 \cdot 1,014^2 = 0,376 \text{ Ом,}$$

где коэффициент $c_1 = 1 + x_1 / x_{12} = 0,389 / 18,1 = 1,014$

При частотном регулировании с изменением частоты индуктивные сопротивления обмоток изменяются, а индуктивности обмоток остаются постоянными и пересчитываются по следующим формулам:

6.5 Индуктивность рассеяния обмотки статора

$$L_{\sigma 1} = x_{\sigma 1} / \omega_1 = 0,394 / 314 = 0,001 \text{ Гн,}$$

6.6 Индуктивность рассеяния обмотки ротора

$$L_{\sigma 2} = x_{\sigma 2} / \omega_1 = 0,376 / 314 = 0,001 \text{ Гн,}$$

где

$$\omega_1 = 2\pi \cdot f_1 = 314 \text{ – угловая частота напряжения сети, рад/с.}$$

Далее сделаем расчет для 100 Гц а остальные расчеты внесем в таблицу 3 : $f := 100 \text{ Гц}$

6.7 Синхронная угловая частота

$$\omega := 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 100 = 628$$

6.8 Синхронная частота вращения двигателя

$$n_1 = 60 \cdot f / p = 60 \cdot 100 / 1 = 6000 \text{ об/мин}$$

6.9 Фазное напряжение двигателя Uf_i в зависимости от частоты f_i

рассчитывается по формуле

$$Uf = U_{\text{ком}} + \frac{U_{\text{нф}} - U_{\text{ком}}}{f_1} \cdot f = 220 + \frac{220 - 0}{50} \cdot 100 = 440, \text{ В}$$

где $U_{\text{ком}}$ – напряжение компенсации, учитывающее падение напряжения на активном сопротивлении обмотки статора с уменьшением частоты.

Рассчитываются критическое скольжение $s_{\text{кр}}$ и критическая частота вращения ротора $n_{\text{кр}}$ по формулам:

$$s_{\text{кр}} = r_2 / \sqrt{r_1^2 + \omega_i^2 \cdot (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 2})^2} = 0,11 / \sqrt{0,177^2 + 628^2 \cdot (0,001 + 0,001)^2} = 0,071;$$

6.10 Критическая частота:

$$n_{\text{кр}} = n_1 \cdot (1 - s_{\text{кр}}) = 6000 \cdot (1 - 0,071) = 5574, \text{ об/мин}$$

К расчёту механических характеристик двигателя задается количество точек, $n_j := 100$. Рассчитывается шаг скольжения.

$$\Delta s = 1,25 \cdot s_{\text{кр}} / n_j.$$

В цикле $n := 0 \dots n_j$ определяются в Mathcad проводится расчет механической характеристики результат увидим на графике (рисунок 7)

$$sf_j = \Delta s \cdot j$$

$$M_{j,i} = \frac{m_1 \cdot p \cdot (Uf)^2 \cdot r_2 \cdot sf}{\omega_i \cdot \left[(sf \cdot r_1)^2 + (sf \cdot \omega)^2 \cdot (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 2})^2 \right]}$$

и частота вращения ротора

$$n_{2,i} = n_{1,i} \cdot (1 - sf_{j,i}).$$

6.11 При критических скольжениях $s_{\text{кр}_i}$ рассчитываются критические (максимальные) электромагнитные моменты двигателя

Таблица 3 – Расчетные точки механической характеристики

$sf_{j,i}$	n_2	$M_{ЭМ}$
0	6000	79,873
0.01	5940	146,907
0.02	5880	197,607
0.03	5760	232,251
0.04	5700	253,328
0.05	5640	264,023
0.06	5580	267,31
0.08	5520	265,588
0.09	5460	260,641
0.1	5400	253,728
0.11	5340	245,713
0.12	5280	237,17
0.13	5220	228,475
0.14	5160	219,867

$$M_{кр_i} = \frac{m_1 \cdot p \cdot (Uf_i)^2 \cdot r_2 \cdot s_{кр_i}}{\omega_i \cdot \left[(s_{кр_i} \cdot r_1)^2 + (\omega_i)^2 \cdot (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 2})^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 1 \cdot 440^2 \cdot 0.11 \cdot 0.071}{628 \left[(0.071 \cdot 0.17)^2 + (628)^2 \cdot (0.001 + 0.001)^2 \right]} = 267.3$$

При частотном регулировании по закону $Uf_i = U_{ком} + \frac{U_{нф} - U_{ком}}{f_1} \cdot f_i$ дви-

гатель должен работать с постоянством момента на валу, например с моментом $M_H = 122,2$ Н·м.

6.12 Перегрузочная способность двигателя характеризуется кратностью максимального момента и определяется, как

$$k_{M_i} = M_{кр_i} / M_H = 267.3 / 122,2 = 2,065.$$

Чтобы получить формулу для расчёта скольжения s_{n_i} , соответствующего заданному моменту M_H , воспользуемся выражением электромаг-

нитного момента. Заменяем $M_{эм j,i}$ на M_n , $sf_{j,i}$ на s_{n_i} . Введем обозначения и рассчитаем:

$$cx_i = r_1^2 + \omega_i^2 \cdot (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 2})^2 = 0,117^2 \cdot 628 \cdot 0,002^2 = 2,4;$$

$$qx_i = r_2^2 / cx_i = 0,17^2 / 2,4 = 0,005;$$

$$px_i = \left[\frac{2 \cdot r_1 \cdot r_2}{cx_i} - \frac{m_1 \cdot p \cdot Uf_i^2 \cdot r_2}{\omega_i \cdot M_n \cdot cx_i} \right] = \left[\frac{2 \cdot 0,11 \cdot 0,17}{2,4} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 440^2 \cdot 0,11}{628 \cdot 122,3 \cdot 2,4} \right] = 0,31$$

При принятых обозначениях выражение электромагнитного момента сводится к квадратному уравнению вида $s_{n_i}^2 + px_i \cdot s_{n_i} + qx_i = 0$.

6.13 Формула для расчёта номинального скольжения получается из решения квадратного уравнения и записывается в виде:

$$s_{n_i} = \frac{px_i}{2} - \sqrt{\left(\frac{px_i}{2}\right)^2 - qx_i} = \frac{2,4}{2} - \sqrt{\left(\frac{2,4}{2}\right)^2 - 0,005} = 0,017.$$

6.14 Частота вращения ротора при номинальном скольжении

$$n_{2x_i} = (1 - s_{n_i}) \cdot n_1 = 5897.$$

Механические характеристики двигателя представлены на рисунках 8,9.

Таблица 4 – Расчет для частот 10, 50, 100 Гц

F	ω	n_1	Uf	$n_{кр}$	$S_{кр}$	$M_{кр}$	k_m	S_n	n_n
100	628	6000	440	5575	0.071	267	2.065	0.017	5897
50	314	3000	220	2583	0.139	239	1.897	0.035	2894
10	62	600	44	319	0.468	112	0.912	0.34	362

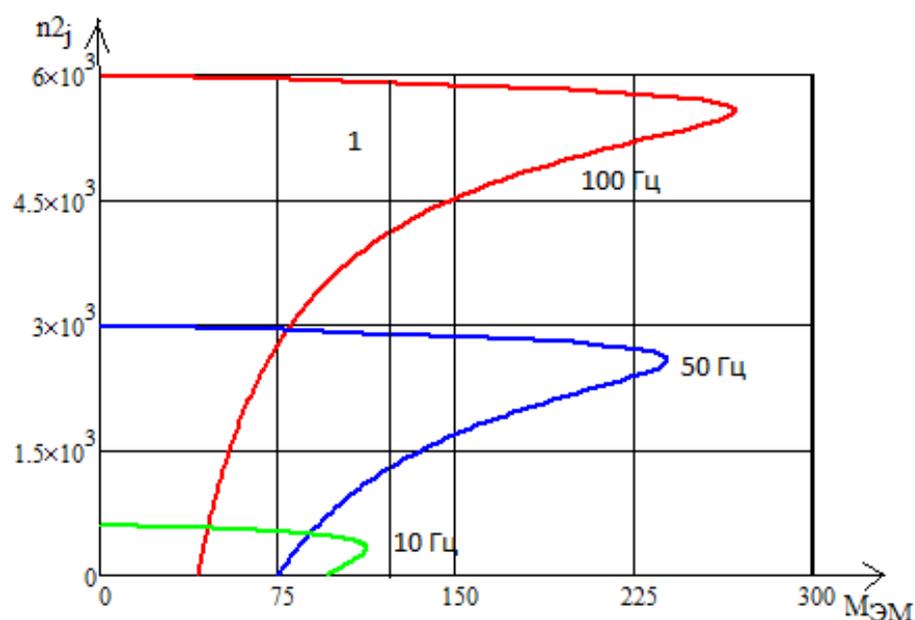


Рисунок 10 – Механические характеристики двигателя

Прямая линия соответствует нагрузочному моменту двигателя $M_n = 122,3$ Н·м. Точки пересечения прямой 1 с механическими характеристиками соответствуют как номинальному скольжению s_{n_i} , так и номинальной частоте вращения ротора n_{2x_i} . Точки пересечения механических характеристик с осью абсцисс соответствуют синхронной частоте вращения ротора.

С уменьшением частоты уменьшается максимальный момент двигателя, что при постоянстве момента на валу двигателя (прямая 1, Рисунок 8) приводит к снижению перегрузочной способности двигателя. Например, при уменьшении частоты с 50 до 10 Гц перегрузочная способность двигателя снизилась с 1,89 до 0,9 о.е. Допустимая перегрузочная способность для частотно-регулируемых двигателей должна быть не менее 1,2 о.е. соответственно при 10 Гц двигатель может выйти из строя

При работе двигателя с постоянством момента на валу с уменьшением частоты возрастают номинальное и критическое скольжения двигателя (рисунок 9), причем более заметно при низких частотах.

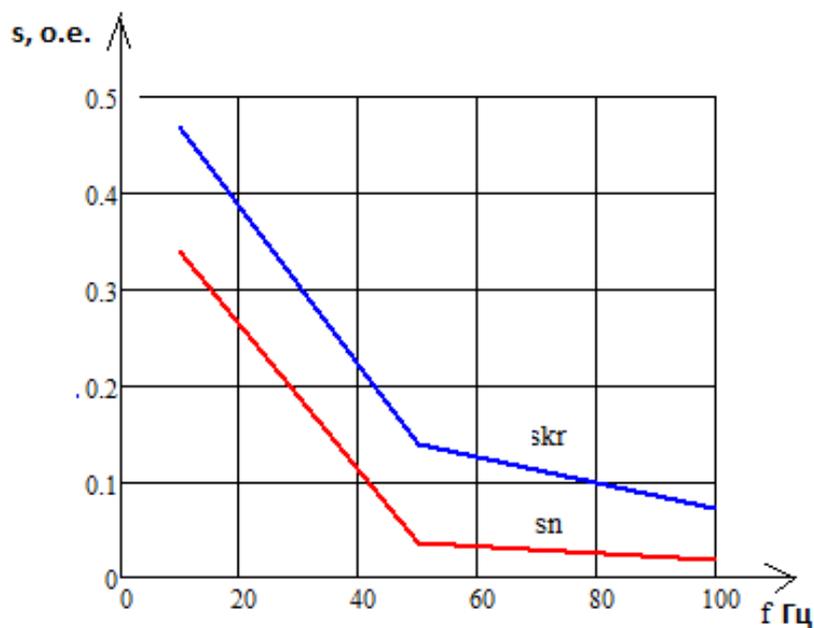


Рисунок 11 – Зависимость критического скольжения и номинального скольжения двигателя от частоты

Например, для этого двигателя при увеличении частоты с 10 до 100 Гц понижается критическое скольжения от 0,48 до 0,08 о.е. При этом номинальное скольжение также возрастает от 0,035 до 0,02 о.е. Резкий рост номинального скольжения при низких частотах приводит к резкому возрастанию электрических потерь в обмотке ротора, к резкому снижению КПД двигателя. Резкое возрастание номинального скольжения при низких частотах объясняется влиянием на механическую характеристику двигателя падения напряжения на активном сопротивлении обмотки статора. С целью повышения перегрузочной способности, снижения номинального скольжения, повышения КПД двигателя рекомендуется компенсация напряжения, т.е. принять $U_{\text{ком}} \neq 0$.

7. Проектирование технологического процесса сборки статора асинхронного двигателя

На данном этапе технического прогресса происходит постоянное совершенствование технологии производства. 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.

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

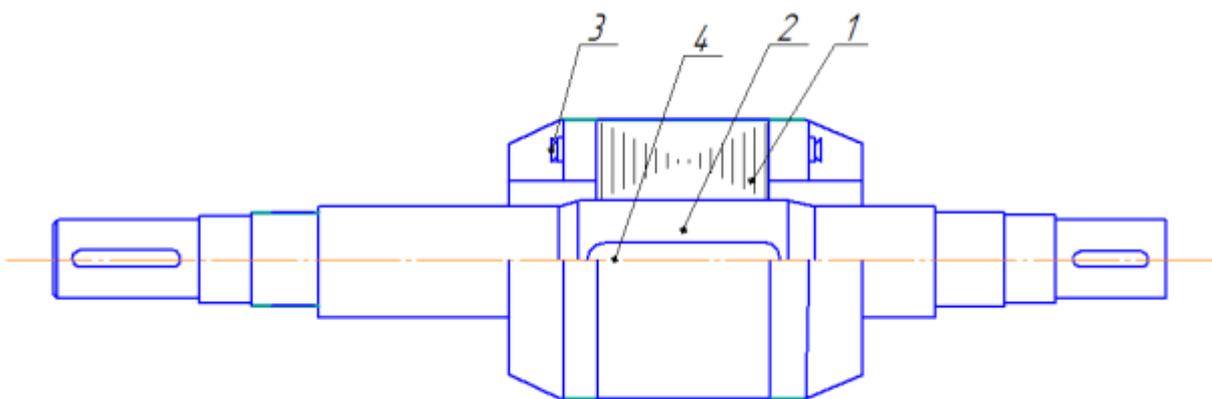
Технологический процесс представляет собой сборку ротора электродвигателя. Сборка ротора является одним из важнейших процессов, определяющих качество двигателя. В частности большое значение имеет разработка процесса сборки и выбор оптимальных средств для решения поставленной задачи.

Общие технические требования устанавливаются соответственно ГОСТ Р 52776-2007 [16].

Данная программа производства (8000 шт./год) предусматривает серийное производство, которое характеризуется ограниченной номенклатурой изделия и сравнительно большим объемом выпуска. В данной работе были рассмотрены оценка технологичности конструкции, анализ исходных данных, составление маршрутной технологии обработки, составлена маршрутная карта, выполнен расчет норм времени, а так же выбрано оборудование и оснастка для сборки.

7.1 Анализ исходных данных

Рассматриваемая деталь является короткозамкнутым ротором асинхронного двигателя (рисунок 12). Данные двигатели применяются в бытовой технике. Требуется спроектировать технологический процесс изготовления ротора асинхронного двигателя 37 КВт. В данной работе следует выполнить анализ исходных данных и служебного назначения; провести оценку технологичности конструкции ротора; разработать схему сборки ротора 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 (8000шт/год). Анализируя конструкцию ротора, необходимо составить спецификацию. Спецификация является основным конструкторским документом для сборочной единицы.



1) сердечник (бочка), 2) вал, 3) балансировочный груз, 4) шпонка

Рисунок 12 – Короткозамкнутый ротор асинхронного двигателя

7.2 Служебное назначение и особенности конструкции

Ротор состоит из сердечника поз. 1 с короткозамкнутой обмоткой, отлитой из алюминиевого сплава. Ротор в сборе состоит из самостоятельных элементов – сердечника ротора и вала. Это обеспечивает возможность параллельного независимого изготовления составных частей ротора в сбо-

ре и самого изделия. Ротор имеет узкую номенклатуру входящих в его состав материалов, что позволяет применять для механической обработки узкую номенклатуру режущих инструментов. Сердечник ротора выполняется из листов электротехнической стали. Листы штампуются на специально предназначенных штампах, это упрощает изготовление пакета ротора, так как не требуется точение или фрезерование пазов ротора, упрощено получение всей формы пакета. Одновременно с отливкой обмотки отлиты вентиляционные лопатки и между ними бобышки для крепления балансировочных шайб поз. 2. Сердечник ротора с обмоткой напрессован на вал поз. 3. Неподвижность сердечника на валу обеспечивается за счёт посадки с натягом и шпонки поз. 4. Ротор после сборки с валом подлежит дополнительной механической обработке: точить наружный диаметр сердечника и галтели; шлифовать шейки вала под подшипники и выходной конец вала. Далее обработанную наружную поверхность сердечника необходимо окрасить эмалью ЭП-91.

Сердечник ротора является элементом магнитной цепи. Вращающий момент на валу ротора образуется в результате взаимодействия вращающегося магнитного поля, созданного обмоткой статора, и тока, наведённого в литой короткозамкнутой обмотке.

Балансировочные шайбы и предусмотренные для установки специальных конструкторских мер и грузов, и позволяют выполнить динамическую балансировку ротора и уменьшить вибрации и шумы. Применение посадки ротора на вал с натягом позволяет существенно уменьшить число деталей и главное снизить трудоемкость при сборке, тем самым повышается количество собранных единиц. Проточка наружного диаметра сердечника и шлифовка шеек вала под подшипники позволяет обеспечить точность и равномерность воздушного зазора, тем самым повысить качество двигателя и снизить стоимость штампа для штамповки листов сердечников.

Из достоинств следует отметить лёгкость в изготовлении, и отсутствие электрического контакта со статической частью машины, что гарантирует долговечность и снижает затраты на обслуживание. **Ротор вместе со статором предназначен для преобразования в асинхронном двигателе электрической энергии в механическую.** Сердечник ротора является элементом магнитной цепи. Вращающий момент на валу ротора образуется в результате взаимодействия вращающегося магнитного поля, созданного обмоткой статора, и тока, наведённого в литой короткозамкнутой обмотке.

7.3 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.

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

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

Сборка ротора является одним из важнейших процессов, определяющих качество двигателя. Данная программа производства (11500 шт./год) предусматривает серийное производство, которое характеризуется ограниченной номенклатурой изделия и сравнительно большим объемом выпуска.

Ротор рассматриваемого двигателя имеет небольшую массу, что позволяет применять для его транспортировки стандартную тару. Ротор в сборе состоит из самостоятельных элементов – сердечника ротора и вала. Это обеспечивает возможность параллельного независимого изготовления составных частей ротора в сборе и самого изделия. Ротор имеет узкую номенклатуру входящих в его состав материалов, что позволяет применять для механической обработки узкую номенклатуру режущих инструментов.

Анализируя конструкцию ротора в сборе проектируемого двигателя, следует выделить как технологические достоинства, так и технологические недостатки конструкции ротора. Сердечник ротора выполняется из листов электротехнической стали. Листы штампуются на специально предназначенных штампах, это упрощает изготовление пакета ротора, так как не требуется точение или фрезерование пазов ротора, упрощено получение всей формы пакета. Так же такая конструкция ротора обусловлена требованиями по снижению потерь в стали ротора на вихревые токи. С точки зрения технологии это хорошо, но при работе штампы изнашивается - это ведет к образованию заусенцев, наклепа и т.д., а это приводит к уве-

личению потерь в стали зубцов ротора, а значит ухудшение энергетических характеристик двигателя. Так же стоит отметить, что ротор имеет такие достоинства как взаимозаменяемость деталей и узлов сборочной единицы, что обеспечивает удобный подход при использовании монтажно-сборочных инструментов и кроме того ротор имеет простую геометрическую форму, что очень важно при сборке. Таким образом конструкция данного изделия технологична.

7.4 Расчет усилий запрессовки ротора без вала на вал и выбор оборудования и оснастки для запрессовки

Исходные данные:

- наружный диаметр ротора $D=192$ мм;
- номинальный диаметр соединения $d=80$ мм;
- диаметр отверстия в роторе без вала $\text{Ø}80\text{H}8^{(+0,046)}$ мм;
- диаметр вала под напрессовку ротора $\text{Ø}80\text{m}7^{(+0,041)}_{(+0,011)}$ мм;
- осевая длина ротора без вала $L=120$ мм.

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

Определим максимальное значение осевой силы P , создаваемой прессом

$$P = f_3 \pi d L p = 0,14 \cdot \pi \cdot 80 \cdot 120 \cdot 40,8 = 172100 \text{ Н} = 172,1 \text{ кН},$$

где $f_3 = 0,14$ – коэффициент трения при запрессовке;

$$p = \frac{1}{d} \cdot \frac{\delta_p \cdot 10^{-3}}{\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}} = \frac{1}{80} \cdot \frac{38,32 \cdot 10^{-3}}{\frac{0,72}{20,6 \cdot 10^4} + \frac{1,7}{20,6 \cdot 10^4}} = 40,8 \text{ – давление на по-}$$

верхности контакта, МПа

$$\delta_p = \delta_{\max} - 1,2(R_{a1} + R_{a2}) = 46 - 1,2 \cdot (3,2 + 3,2) = 38,3 \text{ – расчётный}$$

натяг в соединении, мкм;

$$\delta_{\max} = e s_B - EI_O = 46 - 0 = 46 \text{ – максимальный натяг в соединении,}$$

мкм;

$es_B = 46$ – верхнее предельное отклонение вала, мкм;

$EI_O = 0$ – нижнее предельное отклонение отверстия, мкм;

$R_{a1} = R_{a2} = 3,2$ – шероховатость сопрягаемых поверхностей, мкм;

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

$C_2 = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_2 = \frac{192^2 + 80^2}{192^2 - 80^2} + 0,28 = 1,7$ – расчётный коэффициент

для сердечника ротора;

$E_1 = E_2 = 20,6 \cdot 10^{10}$ – модуль Юнга для стали, Н/м²;

$\mu_1 = \mu_2 = 0,28$ – коэффициент Пуассона для стали.

Осевая сила, которую должен развивать пресс, равна 172,1 кН. Выбираем гидравлический одностоечный пресс типа П40, с номинальной силой 400 кН.

Таблица 5 – Основные технические характеристики прессы П40:

Производительность (в зависимости материала), кип/ч	1...3
Усилие прессования, т, не более	40
Объем пресскамеры, м ³	1,3
Размер пресскамеры, мм	2500x800x1000
Размер кипы, ДхШхВ, мм:	1200x800x1000
Размер загрузочного окна	1200x800
Мощность электродвигателя, кВт	7,5
Ход каретки, мм	2500
Время движения каретки, с	60
Время движения прессплиты, с	35
Габаритные размеры прессы, ДхШхВ, мм, не более	4900x1380x1460
Масса прессы, кг	3100
Масса кипы, кг (в зависимости от прессуемого материала), до	500
Напряжение питающей сети, В	380

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

$$T = \frac{\delta_{\max} + i}{k_{\alpha} \cdot d} + T_0 = \frac{0,046 + 0,089}{11,6 \cdot 10^{-6} \cdot 80} + 20 = 166 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $i = 0,01\sqrt{d} = 0,01\sqrt{80} = 0,089$ – тепловой сборочный зазор, мм,

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

$T_0 = 20$ – температура окружающей среды, $^{\circ}С$.

В серийном производстве часто применяют индукционные нагреватели, мощность которых можно рассчитать по формуле [8, с. 207]

$$W = \nu \frac{mc(T - T_0)}{\tau \eta \cdot 10^3} = 1 \cdot \frac{22,4 \cdot 481 \cdot (166 - 20)}{146 \cdot 0,4 \cdot 10^3} = 27 \text{ кВт},$$

где $\nu = 1$ – коэффициент, учитывающий величину зоны нагрева, принимаем равным 1, т.к. отношение длины ротора к диаметру мало и ротор будет нагреваться по всему объёму;

$$m = 0,25\pi(D^2 - d^2)L\gamma = 0,25 \cdot \pi \cdot (0,192^2 - 0,80^2) \cdot 0,12 \cdot 7800 = 22,4 \text{ кг}$$

– ориентировочная масса ротора без вала;

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

$c = 481 \text{ Дж/(кг} \cdot ^{\circ}С)$ – удельная теплоёмкость стали [8, с. 463];

$\tau = (T - T_0) / \nu_H = (166 - 20) / 1 = 146$, с – время нагрева ротора;

$\nu_H = 1$, $^{\circ}С/с$ – скорость нагрева ротора [8, с. 207];

$\eta = 0,4$, общий КПД индуктора [8, с. 207].

С точки зрения расхода электроэнергии, более выгоден продольно-прессовый способ сборки ротора. Установленная мощность привода прессы 7,5 кВт. КПД асинхронного двигателя такой мощности равен 0,85. Следовательно, двигатель будет потреблять мощность $7,5/0,85=8,8$ кВт, что в 3 раза меньше мощности, потребляемой индуктором при нагреве ротора. Следует отметить, что качество сопряжения при термовоздействии выше, но дороже.

7.4 Схема сборки ротора

Схема сборки отображает схематично путь сборки ротора. На ней также показаны необходимые пояснения. Она изображена на рисунке 13.



Рисунок 13 – Схема сборки

7.5 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 (приложение А). В маршрутной карте указывается наименование операции, наименования переходов в последовательности их выполнения, оборудование, приспособления и инструменты, и режимы работы.

Маршрутная технология состоит из 4 операций отображенные в таблице 6.

Таблица 6 – Список операций

№	Операция
005	Запрессовка
010	Обточка
015	Балансировка
020	Контроль

7.6 Расчет норм времени

При расчете норм времени следует опираться на литературу:

«Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно - сборочные работы по сборке машин. Серийное и крупносерийное производство.- М.: Машиностроение, 1985. - 496 с.»

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

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

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

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

где T_o - основное (технологическое) время ;

T_v - вспомогательное время;

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

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

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

$$T_{оп} = T_o + T_v.$$

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 [6].

Вспомогательное время учитывает действия, которые сопровождают и обеспечивают выполнение основной работы. Оно включает время на

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

Время организационного обслуживания рабочего места учитывает затраты времени на подготовку рабочего места к началу работы, замены инструмента в процессе работы, уборку рабочего места в конце смены, смазку и чистку сборочного оборудования и приспособлений и т.п.. Его определяют в процентах от оперативного времени по нормативам (обычно в пределах 0,6-8%) [6].

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

Пример расчета норм времени для операции 005 (прессование).

Берется ротор без вала, ставится на стакан, одевается в отверстие вал и прессуется. Готовый ротор, вынимается и переходит к следующей операции для дальнейшей обработки.

T_o - основное (технологическое) время: прессование –равно 0,45 мин;

T_v - вспомогательное время: Одевание перчаток, перенос и установка ротора без вала и вала в пресс и изъятие ротора в сборе – 0,25 мин;

$$T_{оп} = T_o + T_v = 0,07 \text{ мин.};$$

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

$$T_{об} = 0,06 * T_{оп} = 0,04 \text{ мин.};$$

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

$$T_n = 0,03 * T_{оп} = 0,02 \text{ мин.};$$

Штучное время: $T_{шт} = T_0 + T_в + T_{об} + T_п = 0,76$ мин

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

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} = 0,76 + \frac{0,014}{7000} = 0,76 \text{ мин},$$

где $T_{пз} = 0,02 * T_{оп} = 0,014$ - подготовительно заключительное время,

n - число изделий в партии. Принимаем равным годовому выпуску - 8000 штук/год.

Подготовительно заключительным называют время, которое затрачивает 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, 6].

Норма времени для всех операций составлена в таблице 7.

Таблица 7 – Норма времени

Операция	T_0 , мин	$T_в$, мин	$T_{оп}$, мин	$T_{об}$, мин	$T_п$, мин	$T_{пз}$, мин	$T_{шт}$, мин	$T_{шт.к}$, мин
005	0,45	0,25	0,70	0,04	0,02	0,014	0,76	0,76
010	0,56	0,10	0,66	0,04	0,02	0,01	0,72	0,72
015	9,40	0,12	9,52	0,57	0,29	0,019	10,38	10,38
020	0,67	0,34	1,01	0,06	0,03	0,02	1,10	1,10

Для заполнения таблицы 7 была использована литература [5].

7.7 Расчет количества оборудования для выполнения годовой программы

Для определения потребного количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий (в нашем случае 11500шт/год), суммарные нормы времени по каждому виду оборудования и эффективный годовой

фонд производственного времени оборудования, который при сорокачасовой неделе можно рассчитать по формуле:

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

$$F_{\partial} = \left[(365 - 104 - 11) \cdot 8 - 9 \right] \cdot 1 \cdot 1 = 1991 \text{ ч}$$

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

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

$\Pi_{n\partial} = 9$ – 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:

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

где $N = 8000$ шт/год – годовая программа выпуска;

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

Коэффициент загрузки оборудования:

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

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

Данные расчета коэффициента загрузки каждого вида оборудования представлены в таблице 4.

Расчет коэффициента загрузки для каждого оборудования

Запрессовочный станок

(операции 005)

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}} = \frac{0,76 \cdot 8000}{60 \cdot 1991} = 0,051.$$

Принимаем C_{Π} равное 1,

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{II}} \cdot 100\% = \frac{0,051}{1} \cdot 100\% = 5,1\% ;$$

Станок токарный

(операции 010)

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}} = \frac{0,72 \cdot 8000}{60 \cdot 1991} = 0,048$$

Принимаем C_{II} равное 1

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{II}} \cdot 100\% = \frac{0,048}{1} \cdot 100\% = 4,8\%$$

Балансировочный станок

(операции 015)

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}} = \frac{10,38 \cdot 8000}{60 \cdot 1991} = 0,70 .$$

Принимаем C_{II} равное 1,

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{II}} \cdot 100\% = \frac{0,70}{1} \cdot 100\% = 70\% ;$$

Стол слесарный

(операции 020)

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}} = \frac{1,1 \cdot 8000}{60 \cdot 1991} = 0,74 .$$

Принимаем C_{II} равное 1

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{II}} \cdot 100\% = \frac{0,074}{1} \cdot 100\% = 7,4\%$$

Занесем полученные результаты в таблицу 8.

Таблица 8 – Коэффициенты загрузки для каждого оборудования

Наименование оборудования	C_p	C_{II}	$K_3, \%$
Запрессовочный станок	0,045	1	4,5
Станок токарный	0,042	1	4,2
Балансировочный станок	0,61	1	61
Стол слесарный	0,065	1	6,5

По данным таблицы 8 построена диаграмма, показывающая коэффициенты загрузки для различных типов оборудования, участвующего в процессе сборки ротора асинхронного двигателя 37 КВТ



Рисунок 14 – График загрузки оборудования

Из рисунка видно, что самым загруженным является балансировочный станок.

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 балансировочный станок в количестве 1 штуки.

Из формулы $C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\partial}}$ выразим N , подставив C_p вместо C_p .

$$N = \frac{60 \cdot F_{\partial} \cdot C_p}{T_{шт.к}} = \frac{60 \cdot 1991 \cdot 1}{10.38} = 11512 \text{ шт}$$

Таким образом, 11512 больше 8000. **Программа выпуска выполняется.**

8. Планирование научно-исследовательских работ

8.1 Структура работ в рамках научного исследования

В рамках научного исследования составим перечень этапов и работ, который представлен в таблице 9.

В проектировании данного электродвигателя принимали участие научный руководитель и инженер.

Таблица 9 – План разработки выполнения этапов проектирования.

№ работ	Перечень выполняемых работ	Исполнители		Продолж. (дней)
		Кол-во	Должность	
1	Составление и утверждение технического задания	2	Научный руководитель	1
			Инженер	
2	Подбор и изучение материалов по теме	1	Инженер	2
3	Изучение технической документации	1	Инженер	2
4	Календарное планирование работ	2	Научный руководитель	1
			Инженер	
5	Электромагнитный расчет двигателя	1	Инженер	7
6	Электромагнитный расчет двигателя с другими данными (Спец. Часть)	1	Инженер	4
7	Проверка выполненных расчетов	2	Научный руководитель	1
			Инженер	
8	Разработка чертежей, схем	1	Инженер	4
9	Расчет технологической части проекта	1	Инженер	5
10	Технико-экономическое обоснование выбора оборудования	1	Инженер	2
11	Разработка раздела БЖД	1	Инженер	2
12	Оформление пояснительной записки	1	Инженер	2
13	Проверка пояснительной записки и чертежей	2	Научный руководитель	1
			Инженер	

По данным таблицы 9 можно выделить занятость исполнительней. Всего продолжительность проекта – 34 дня. Научный руководитель занят 4 календарных дня. Инженеры заняты 34 календарных дня.

8.2 Разработка графика проведения научного исследования

На основе таблицы 9 построим календарный план-график.

Таблица 10 – План-график.

№ раб	Перечень выполняемых работ	Исполнитель	Дни для выполнения проекта																																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	■																																				
		Инженер	■																																				
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер		■	■																																		
3	Изучение технической документации	Инженер				■	■																																
4	Календарное планирование работ	Научный руководитель						■																															
		Инженер						■																															
5	Электромагнитный расчет двигателя	Инженер							■	■	■	■	■	■	■																								
6	Электромагнитный расчет двигателя с другими данными (Спец. Часть)	Инженер													■	■	■	■																					
7	Проверка выполненных расчетов	Научный руководитель																																					
		Инженер																				■																	
8	Разработка чертежей, схем	Инженер																				■	■	■	■														
9	Расчет технологической части	Инженер																							■	■	■	■	■										
10	Технико-экономическое обоснование выбора оборудования	Инженер																																					
11	Разработка раздела БЖД	Инженер																																					
12	Оформление пояснительной записки	Инженер																																					
13	Проверка пояснительной записки и чертежей	Научный руководитель																																					
		Инженер																																					

■ - научный руководитель ■ - инженер

8.3 Смета затрат на подготовку проекта

Суммарные издержки на проектирование определяем по выражению:

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

где:

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

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

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

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

$I_{\text{пр}}$ - прочие издержки;

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

Издержки на заработную плату

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

где:

3 – оклад;

D – доплата за интенсивность труда

k_1 - коэффициент за отпуск;

k_2 - районный коэффициент ;

Z - количество рабочих дней в месяце;

X - количество рабочих дней затраченных на проект .

Расчет издержек на заработную плату приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет ЗП с учетом занимаемой должности.

	Оклад	Доплата	Коэффициент за отпуск	Районный коэффициент	зарплата за один месяц, руб.	Средняя зарплата за один день, руб.	работы над проектом	ФЗП
Научный руководитель	14500,00	2200,00	1,1	1,3	23 595,00	1 123,57	4	4 494,29
Инженер	14500,00		1,1	1,3	20 735,00	987,38	34	33 570,95
Итого								38 065,24

8.4 Отчисления на социальные нужды

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

$$I_{\text{соц}} = 0,3 \cdot I_{\text{з.пл}\Sigma} = 0,3 \cdot 38\,065,24 = 11419,57 \text{ (руб)}$$

7.5 Отчисления на социальные нужды

Материальные затраты на канцелярские товары примем в размере 1000 руб. (в условиях цен на канцелярские товары в настоящее время).

$$I_{\text{мат}} = 1000 \text{ (руб)}$$

7.6 Амортизация вычислительной техники.

Основной объем работ по разработке проекта был выполнен на персональном компьютере первоначальной стоимостью 40 тысячи рублей.

Произведём расчёт амортизации стоимости ПК

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_u}{T_{\text{кал}}} \cdot \Phi_{\text{кт}} \cdot H_{\text{ф}} = \frac{34}{365} \cdot 40000 \cdot \frac{1}{7} = 532,29 \text{ (руб)}$$

Где

T_u - количество отработанных дней на ПК;

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

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

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

8.7 Прочие неучтенные затраты

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

$$\begin{aligned} I_{пр} &= 0,1 \cdot (I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам}) = \\ &= 0,1 \cdot (38065.24 + 11419.57 + 1000 + 532.29) = 5101.71 (\text{руб}) \end{aligned}$$

8.8 Накладные расходы

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

$$I_{накл} = 2 \cdot (I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам} + I_{пр}) = 11223,76$$

8.9 Себестоимость проекта

$$\sum I_{\text{проекта}} = I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам} + I_{пр} + I_{накл} = 168356.43 (\text{руб})$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 12.

Таблица 12 – расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Заработная плата	38065,24
2. Социальные отчисления	11419,57
3. Материальные затраты	1000,00
4. Амортизация отчисления	532,29
5. Прочие издержки	5101,71
6. Накладные расходы	112237,62
7. Себестоимость проекта	168356,43

8.10. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений

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.
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; необхо-

димось придания количественной оценки тем параметрам, которые не имеют естественной физической меры (например, комфортность изделия), с использованием экспертных методов; необходимость построения весовой базы для технических параметров на основе всесторонних рыночных исследований.

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

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

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 всех единичных показателей становится реальностью вычисление обобщенного (группового показателя), характеризующего соответствие изделия потребности в нем (полезный эффект товара)

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i d_i$$

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

$$k_{ТП} = \frac{Q_H}{Q_K}$$

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

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

Данные для оценки конкурентоспособности разрабатываемого новшества приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Оценка технического уровня новшества.

Характеристики	Вес показателей	Новшество		Конкурент		Гипотетический образец	
		d_i	P_i	q_i	P_i	q_i	P_{100}
Коэффициент полезного действия, %	0,153	87,8	0,901	88,5	0,908	97,5	1
Коэффициент мощности $\cos\varphi$, %	0,203	87	0,916	85	0,895	95	1
Пусковой ток, А	0,136	0,150	0,750	0,130	0,650	0,2	1
Пусковой момент, Н*м	0,186	2,01	0,804	2,4	0,960	2,5	1
Номинальный ток, А	0,169	0,050	1,000	0,050	1,000	0,05	1
Степен защиты IP	0,153	54	0,794	44	0,647	68	1
Итого			0,866		0,856		1,00

Таблица 14 – Матрица предпочтений.

№ п/п	Наименование	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	сумма	d _{ij}
1.1	Коэффициент полезного действия	1	0,5	1,5	0,5	1	1	4,5	0,153
1.2	Коэффициент мощности Cosφ	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

В итоге по оценке конкурентоспособности новшества видно, что разработанный товар не уступает товарам заменителям и коэффициент технического уровня равен $K_{ТЛ} = 0,866/0,856 = 1,012$.

9. Социальная ответственность

В данном разделе мы рассмотрим безопасность и экологичность технологического процесса механической обработки станины однофазного конденсаторного асинхронного двигателя. Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование: вертикально-сверлильный станок 2Н125, токарный вертикальный восьмишпиндельный станок п/а мод.1К282, , ключ ТВ-11588, отвертка ТВ-6666 , верстак цеховой, емкость ТВ-6504 , ключ М6 ТВ-6458 , механизированная линия ЛНК-10, приспособление ТП 6322, резцедержатель ТД-1159, сверла различного диаметра по ГОСТ 886-77, резцы по ГОСТ 18878-73, метчики по ГОСТ 3266-81.

Технологический процесс механической обработки включает в себя следующие виды работ: работу с ручным инструментом, настройку работы оборудования, работу с транспортными приспособлениями.

9.1 Анализ опасных и вредных факторов

При механической обработке станины асинхронного двигателя возникает ряд вредных и опасных производственных факторов [9].

Опасные факторы, возникающие при данном технологическом процессе:

- Поражение электрическим током, при работе оборудования;
- Получение механических травм, при слесарно-сборочных работах.

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

- Отклонение параметров микроклимата на участке механической обработки станины от установленных норм.
- Шум, при работе оборудования.
- Вибрация, при работе оборудования.

В цехе на участке механической обработки станины используются вещества, которые оказывают вредное влияние на организм человека. Санитарными нормами установлены предельно - допустимые концентрации вредных примесей в воздухе. Одно из веществ – хромовый ангидрид, его ПДК = 0.01 мг/м^3 , класс опасности – 1; марганец, его ПДК = 0.1 мг/м^3 , класс опасности 2. Аэрозоль, образуемая при сверлении и точении станины её ПДК = 4 мг/м^3 , класс опасности 2. Также образуется пыль, её ПДК = 6.0 мг/м^3 , класс опасности 4.

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

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

9.2 Производственная санитария

Техпроцесс механической обработки станины относится к категории работ средней тяжести 2Б с энергозатратами 201-250 ккал/час, характеризующейся выполнением и переносом тяжести до 10 кг. [10]

Требуемое состояние воздуха рабочей зоны обеспечивается системами вентиляции и отопления.

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

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 нежелательные явления:

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

Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно сосудистой и нервной систем. Измерение шума проводят с целью оценки его на рабочих местах или рабочих зонах для сопоставления с требованиями санитарных норм, а также для оценки шумовых характеристик машин и оборудования, с целью разработки мероприятий по борьбе с шумом. Для оценки шума используют частотный спектр измеренного уровня звукового давления, выраженного в децибелах в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром. Допустимый уровень шума в производственных помещениях и на территории промышленных предприятий не должен превышать 80 дБ. В связи с тем, что участок сборки находится в одном здании с участками механической обработки, штамповки, то для уменьшения уровня шума предлагается установить звукоизолирующие ограничения.

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 определены ГОСТ 124002-74 [11].

В условиях профилактики вибрационной болезни для работающих предусмотрен специальный режим труда: суммарное время работы в контакте с вибрацией не должно превышать $2/3$ рабочей смены.

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

9.3 Расчет искусственного освещения

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятиях машиностроительной промышленности, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности [12].

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

9.4 Выбор источников света

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

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

Основным источником света, как для общего, так и для комбинированного освещения, являются люминесцентные лампы: АД4, ЛД, ЛХБ, ЛБ, ЛТБ. Из них наиболее экономичными являются лампы типа ЛБ.

9.5 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.

9.6 Выбор осветительных приборов

- люминесцентные лампы - открытые двухламповые светильники типа ОД, ОЛОП, ОДО, ШОТ, ООД - для нормальных помещений с хорошим отражением стен и потолка; их применение допускается при умеренной влажности и запыленности. Светильники ПВЛ - являются пылевлагозащитными, пригодны для некоторых пожароопасных помещений. Мощность лампы 2x40 Вт

- Плафоны потолочные для общего освещения закрытых, сухих помещений:

1. Л71ВОЗ - мощность лампы 10х30 Вт

2. Л71В84-мощность лампы 8х40 Вт

9.7 Выбор коэффициента запаса

Величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп освещённость снижается

Таблица 15 – Значение коэффициента запаса

Характеристика объекта	Люминесцентные лампы	<i>Лампы накаливания</i>
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

9.8 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 наивыгоднейшее расстояние между светильниками: $\lambda = \frac{L}{h}$, где

L - расстояние между светильниками;

h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью

Для люминесцентных светильников с защищённой решёткой (ОДП, ШОД, ОДОП) $\lambda = 1.1-1.3$.

Для светильников с люминесцентными лампами без защищённой решётки (ОД, ОДО) $\lambda = 1.4$

Расстояние от стен помещения до крайних светильников рекомендуется брать $1.3L$

Выбираем люминесцентный светильник без защищённой решётки:

тип ОДО, $\lambda = 1.4$. размеры помещения $a = 15$ м, $b = 10$ м, ширина между рядами светильников $L_{св.} = \lambda * h = 1.4 * 5 = 7$ м

Количество светильников в одном ряду:

По длине:

$$n_{св.дл} = \frac{A - L_{св}}{L_{св}} + 1 = \frac{15 - 7}{7} + 1 = 3$$

По ширине:

$$n_{св.ш} = \frac{B - L_{св}}{L_{св}} + 1 = \frac{10 - 7}{7} + 1 = 1$$

общее число светильников в помещении:

$$n_{св.дл} = n_{св.дл} \cdot n_{св.ш} = 3 \cdot 1 = 3$$

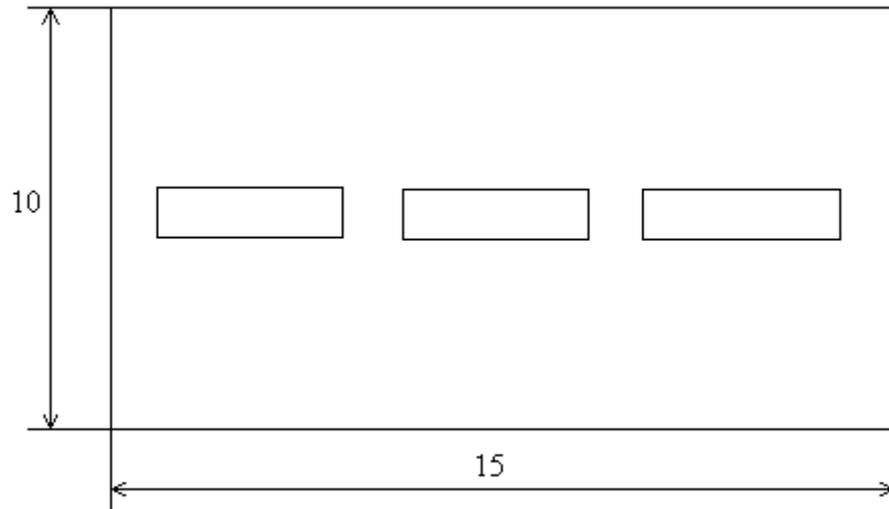


Рисунок 15 – Расположение светильников в помещении

9.9 Расчет осветительной установки

Расчет производится методом коэффициента использования. Применяя этот метод можно определить световой поток лампы, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности с учетом света, отражённого стёклами 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;

η - коэффициент использования светового потока;

Z - коэффициент неравномерности освещения

Коэффициент использования светового потока

i - 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:

$f_n = 50\%$ - состояние потока (чистый бетонный),

$p_0 = 30\%$ - 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 $Z = 0.9$ $E = 50$ лк - минимальная нормативная освещенность, принимается по СН и П - П - 4 - 79.

$\eta = 0.5$ - для ламп типа ОДО

$$F = \frac{50 \cdot 1.8 \cdot 150 \cdot 0.9}{3 \cdot 0.5} = 8100 \text{ лк.}$$

Принимаем в каждом светильнике типа ОДО два источника света мощностью по 80 Вт, тогда общая установленная мощность люминесцентных ламп с учетом потерь в пускорегулирующих аппаратах

$$W_{\text{общ}} = n_{\text{л}} \cdot W_{\text{л}} \cdot 1.33 = 3 \cdot 280 \cdot 1.33 = 638.4 \text{ Вт} = 0.638 \text{ кВт}$$

9.10 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) [14].

Эти требования устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны помещения, нормируемые следующие

ми параметрами: температура, оптимальная влажность, скорость движения воздушного потока.

Значения перечисленных параметров непосредственно к проектируемому участку приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Значения микроклимата

Параметр	Сезон года	
	Холодный	Тёплый
Оптимальная температура, °С	18-20	21-23
Относительная влажность, %	60-40	60-40
Скорость движения воздуха, м/с	0,2	0,3

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

Таблица 17 – Показатель образования пыли

Вещества	ПДК, мг/м	Класс опасности	Агрегатное состояние
Пыль алюминевая	4	2	Аэрозоль
Пыль	6	4	аэрозоль

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

Другой не мало важной задачей на производстве, является создание наилучших условий для видения. Эту задачу можно решить только осветительной системой. В этих нормах рекомендуется освещённость участков, содержащих нужное оборудование, должна быть не менее 2000 лк.

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

Шум на производстве - это ещё одна проблема, которая наносит большой экономический и социальный ущерб. Шум не благоприятно воз-

действует 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 восьми октановых полосах со среднегеометрическими частотами. [14]

Таблица 18 – Допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, Дб, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
99	92	86	83	80	78	78	74

Необходимые условия для снижения шума:

- Всё оборудование, применяемое на участке обработки, 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 ШШ-В1, снабженным датчиком вибрации.

Техника безопасности слесаря-сборщика электрических машин.

Цех, в котором производится механическая обработка станин, относится к помещению с повышенной опасностью поражения людей электрическим током, т.к. имеется токопроводящий железобетонный пол. Необходимо применять определенный комплекс защитных мер, обеспечивающих достаточную электробезопасность.

1.К самостоятельной работе слесаря на участке механической обработки станин 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. Слесарь на данном участке может использовать пневмоинструмент, при ремонте оборудования, (гайковерты, пневмосверлилка) и грузоподъёмные механизмы, поэтому сборщикам предъявляются повышенные требования и они раз в три года проходят обучение в объёме знаний программы и инструкций по охране труда.

5. Рабочий должен работать в спецодежде:

- Костюм ХБ ГОСТ 27575-87 Ми;
- Перчатки ХБ вязанные ГОСТ 5007-87 Ми;
- Ботинки кожаные с металлическим носком ГОСТ 28807-90;
- Рукавицы, комбинированные ГОСТ 124010-75.

6. Необходимо соблюдать:

- Правила внутреннего распорядка, не допускать распития спиртных напитков

- Правила личной гигиены (работать в спецодежде, спецобуви и других СИЗ, пищу принимать только в отведённых для этих целей помещениях)

- Курить разрешается в специально отведённых местах

7. Соблюдать производственную и технологическую дисциплину, при выполнении работ быть внимательным не отвлекаться посторонними делами

и не отвлекать других. Выполнять только ту работу, которая поручена мастером.

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

9. За несоблюдение требований инструкции по охране труда рабочий несёт дисциплинарное взыскание и материальное:

- Перевод на нижеоплачиваемую должность сроком до 3-х месяцев
- Уголовную ответственность

Требования безопасности перед началом работы

1. Надеть спецодежду, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты.

2. Проверить общее состояние рабочего места и убедиться, что проходы не загромождены, освещены и нет выбоин на полу.

3. Работать инструментом, отвечающим требованиям ГОСТ 12.2.027-80:

- Молотки, зубила, бородки, обжимки, керны и т.д. не должны иметь скошенных бойков и заусенцы;

- Гаечные ключи должны быть исправными и соответствовать размерам болтов и гаек; Наравивать ключи другими предметами запрещается.

4. Проверить исправность тележки, конвейера и зажимных приспособлений.

5. Проверить исправность проводов и шлангов (нет ли утечки масла).

6. При работе с грузоподъёмными механизмами нужно проверить их исправность (тормоза, состояния троса, ограничителя подъёма высоты и станцию (пульта) управления на передвижения тельфера и наличия заземления).

7. Обо всех обнаруженных неисправностях сообщить мастеру и до его указания к работе не приступать.

8.К работе с электроинструментом допускаются лица, прошедшие инструктаж по 1 группе безопасности.

Требования безопасности во время работы

1.Выполнять только ту работу, которая поручена мастером или начальником цеха.

2.Не загромождать рабочее место деталями. Своевременно убирать бракованные детали, не допуская их накопления.

3.Установку и съём тяжёлых деталей производить с помощью другого рабочего или грузоподъёмных механизмов и приспособлений.

4.Пользоваться только исправным инструментом, предусмотренным для данных работ технологической картой.

5. Не останавливать вращающийся инструмент руками или каким-либо предметом.

6.Детали укладывать в специальную тару или в стеллажи, если складирование производится на полу, то укладывать детали надо устойчиво, высота штабеля должна быть не более 1м, как указано в техпроцессе.

7.Напряжение переносного инструмента должно быть не выше 42В.

8.К работе с бензином и легко-воспламеняющимися веществами допускаются лица, прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности и противопожарным правилам.

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

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

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

12. Лицам, моложе 18-ти лет запрещается работать с грузоподъемными механизмами.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

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

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

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

Требования безопасности по окончании работы

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

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

3. Произвести уборку рабочего места.

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

9.11 Пожарная безопасность

Участок механической обработки станин согласно [15] относится к категории П-Па, 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 объединении, не зависимо, от занимаемой должности должен знать и строго соблюдать установленные

правила пожарной безопасности не допускать действий могущих привести к пожару или загоранию.

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

Содержание зданий и помещений на объединении

- на входных дверях производственных помещений, складах должны быть вывешены категории взрывопожароопасности.

- все производственные и вспомогательные помещения должны 1 раз в смену очищаться от промышленных отходов и горючих материалов.

- проходы, тамбуры, выходы, коридоры, лестничные клетки не разрешается загромождать.

- все выходы должны открываться по направлению из здания, помещения.

- хранение в цехах сырья, полуфабрикатов, горючих жидкостей разрешается только не более суточной, сменной потребности.

- использовать ГЖ (горючесмазочная жидкость) и ЛВЖ (легковоспламеняющаяся жидкость) для мойки деталей и узлов запрещается.

- для использованных обтирочных материалов должны быть установлены металлические ящики с крышкой. По окончании смены они должны очищаться.

- сварочные работы, и другие огневые работы в складах и производственных помещениях должны производиться только по письменному разрешению и согласовываться с пожарной охраной, с соблюдением всех указанных мероприятий.

- спец. одежду следует хранить в специальных кабинках, изолированных от складских помещений и производственных помещений. В карманах не должны храниться промасленная ветошь. Спец. одежда должна своевременно стираться

На территории объединения и в помещениях запрещается

- загромождать различными предметами и оборудованием, готовой продукцией и заготовками проходы, выхода, коридоры, лестничные проемы и подходы.

- хранить специальную одежду и другие сгораемые материалы на радиаторах, вешать на производственное оборудование, электроприборы.

- курить, пользоваться открытым огнем, не предусмотренным спец. технологией разводить костры.

- производить уборку помещений, оборудования с применением ЛВЖ и ГЖ.

- скапливать на рабочем месте мусор, промасленную ветошь.

- использовать не по назначению противопожарный инвентарь.

- загромождать различными предметами проходы, выхода.

- самовольно подключать в электросеть электронагревательные приборы, пользоваться неисправными, кустарного производства электроприборами.

- оставлять включенными станки, электроприборы без просмотра.

- при работе с огнеопасными жидкостями использовать инструмент могущий вызвать искрообразование.

- соприкосновение промасленной одежды, масел и др. жиров с арматурой кислородных баллонов.

- пользоваться не просушенными ковшами, инструментами при разливе металла пользоваться заливщикам неисправной и необработанной огнезащитным составом специальной одеждой.

- хранить без упаковки и рассыпать уретропин.

Каждый работающий на объединении должен знать

- при обнаружении пожара или загорания вызвать пожарную помощь по тел.: 21-01 21-09; 23-29; 9-01 и принять меры у ликвидации очага пожара или действовать по указанию старшего начальника или начальника ДПД.

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

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

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

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

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

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

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

План эвакуации

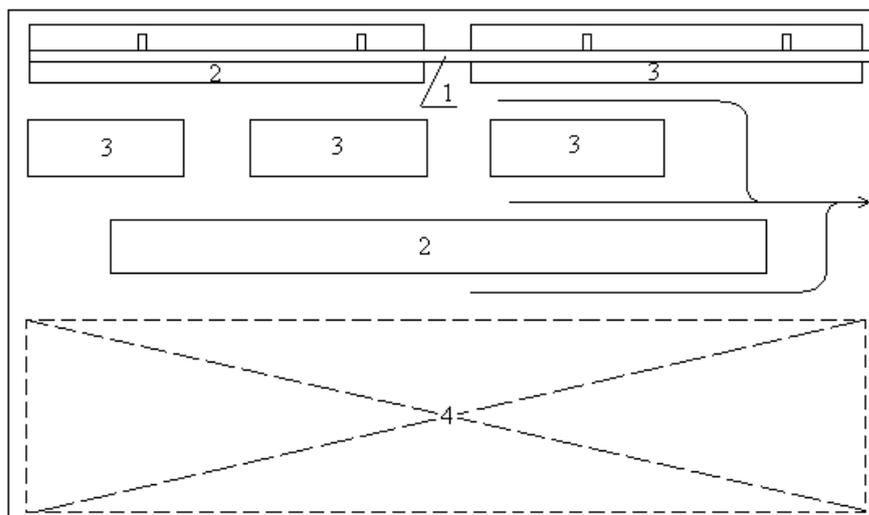


Рисунок 16 – План эвакуации

1 – монорельс

2 –вертикально-сверлильный станок

3 – цеховое оборудование

4 – места складирования деталей и заготовок

9.12 Охрана окружающей среды

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилия учёных многих специальностей. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий, является полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам. Это требует решения целого комплекса сложных технологических и конструктивных задач, основанных на исследовании новейших научно-технологических достижений.

Важными направлениями следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов в окружающую среду, замену и по возможности широкое применение дополнительных методов и средств защиты окружающей среды.

В качестве дополнительных средств защиты применяют аппараты и системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей, глушителей шума, виброизоляторы технологического оборудования. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному

размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности;

установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

На участке сборки в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

Вследствие использования работниками душевых и туалетов образуются жидкие отходы для удаления, которых применяют канализационную систему.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

Неуклонный рост поступлений токсичных веществ в окружающую среду, прежде всего отражается на здоровье населения, ухудшает качество продукции сельского хозяйства, снижает урожайность, преждевременно ухудшает жилища, металлоконструкции промышленных и гражданских сооружений, оказывает влияние на климат отдельных регионов и состояния озонового слоя Земли, приводит к гибели флоры и фауны.

С целью охраны окружающей среды от загрязнений предусматривается внедрение:

- системы обратного водоснабжения;
- системы очистки дождевой канализации;
- пыле и газоулавливания.

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы был спроектирован высокоскоростной асинхронный двигатель мощностью 37кВт, фазное напряжение равно 220 В, частота сети равна 50 Гц, число пар полюсов равно 1, число фаз равно 3.

В электромагнитном расчете были выбраны главные размеры, определены параметры высокоскоростного асинхронного двигателя, масса активных материалов, потери и КПД, а также рассчитаны рабочие и пусковые характеристики, кратность пускового тока и максимального момента, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к двигателю. Активные сопротивления обмоток двигателя: статора равно 0,175 Ом, ротора равно 0,107 Ом. Индуктивные сопротивления рассеяния обмоток: статора равно 0,389 Ом, ротора равно 0,366 Ом. Индуктивное сопротивление взаимной индукции равно 18,1 Ом. Номинальный момент равен 122,3 Н.м.

Для обмотки статора используется стандартный эмалированный провод с диаметром 1.485мм , это позволяет применять механизированную укладку обмотки, коэффициент заполнения паза соответствует механизированной укладке.

Механический расчет вала показал, что жесткость, прочность и критическая частота вращения вала удовлетворяют требуемым условиям.

Тепловой расчет показал, что у высокоскоростного асинхронного двигателя имеется температурный запас при нагреве обмотки статора.

Применение преобразователя частоты (ПЧ) предусматривает ограничение по току обмотки статора, что дает возможность не учитывать влияние насыщения магнитопровода на индуктивные сопротивления рассеяния обмоток, а, следовательно, и на механическую характеристику высокоскоростного асинхронного двигателя.

В ходе проектирования выяснилось, что данный двигатель не может работать на низких частотах, так как при снижении частоты, например, до 10 Гц, снижается перегрузочная способность до 0,9 о.е., которая является ниже

допустимой, поэтому двигатель на низкой частоте может выйти из строя. Однако выяснилось, что при увеличении частоты возрастает номинальное скольжение при этом снижается КПД двигателя.

При выполнении технологической части выпускной квалификационной работы был разработан технологический процесс сборки высокоскоростного асинхронного двигателя. Выбрано оборудование и оснастка. Определены нормы времени и необходимое количество оборудования для выполнения требуемой программы выпуска.

В экономической части работы рассчитана себестоимость изготовления, спроектированного высокоскоростного асинхронного двигателя. Произведен расчет получаемой прибыли, определены точка безубыточности и диапазон безопасности.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ опасных и вредных факторов, возникающих в процессе сборки двигателя. Освещены вопросы техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности. Проведен расчет искусственного освещения для участка сборки.

В целом спроектированный высокоскоростной асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором удовлетворяет требованиям задания.

Перечень использованных источников

1. Проектирование электрических машин: Учебник для вузов / П79 И.П.Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под редакцией И.П. Копылова. - 4-е издание, дополненное. - М.: Высш. шк., 2005. - 767с.
2. Расчет асинхронного с короткозамкнутого двигателя с вьспной обмоткой статора: учебно-методическое пособие / В.С. Баклин, В.В Големгрейн., В.М. Игнатович, В.И. Попов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. –59 с.
3. Проектирование электрических машин.: Пособие для вузов/ О.Д. Гольдберг, Я.С Гурин, И.С. Свириденко., Под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Высш. шк., 2001. –430 с.
4. Технология производства электротехнических изделий: учебное пособие / А.Д. Чесалин, П.Р. Баранов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 60 с.
5. Байкалова В.Н., Колокатов А.М., Малинина И.Д. Расчет режимов резания при точении. Методические рекомендации по курсу «Технология конструкционных материалов и материаловедение» (раздел «Обработка конструкционных материалов резанием»).
6. Общемашиностроительные нормативы времени на слесарную обработку деталей и слесарно-сборочные работы по сборке машин. Серийное и крупносерийное производство. - М.: Машиностроение, 1985. - 496 с.
7. Антонов М.В. Технология производства электрических машин: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 592 с.
8. Виноградов Н.В. Производство электрических машин. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. М., «Энергия», 1970. 288 с. С илл.
9. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.

10. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
11. ГОСТ 12.4.002-74. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования.
12. СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение.
13. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
14. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.
15. СП12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
16. ГОСТ Р 52776-2007. Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и характеристики/
17. Делекторский Б.А. Высокоскоростной вращающийся сканер/ Б.А. Делекторский, В.Б. Никаноров// Вестник МГУП. - 2010.-8-С.56-76.
18. Патент РФ 2141714, МКИ Н 02 К 17/26, 17/14. Двухскоростной синхронно-асинхронный двигатель / Стрижков И.Г. и др. Опубл. 20.11.99 Б.И. №32.
19. Опыт разработки высокоскоростных электротурбомашин на кафедре ЭКАО МЭИ [Текст] / М.Ю.Румянцев, Н.Е. Захарова, С.И. Сигачев// Вестник Московского энергетического института. – 2007. – №3. –С.45-50.- Библиогр.: с. 50

Дубл.									
Взам.									
Подл.									

								1	1
--	--	--	--	--	--	--	--	---	---

			ИНЭО	ФЮРА.684261.001. СБ				
--	--	--	------	---------------------	--	--	--	--

								Ротор	П		
--	--	--	--	--	--	--	--	-------	---	--	--

Комплект документов на технологический процесс
 сборки ротора асинхронного двигателя КД
 ФЮРА.684261.001. СБ

Руководитель: Баранов П.Р.
 доцент, к.т.н _____

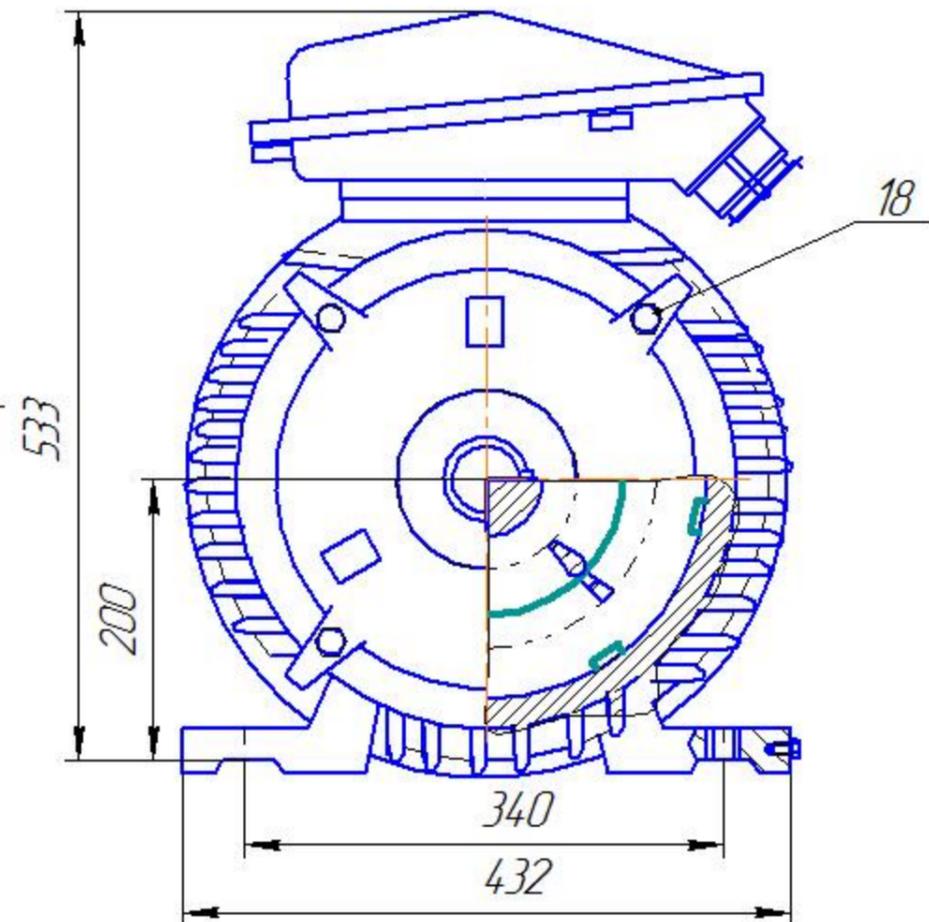
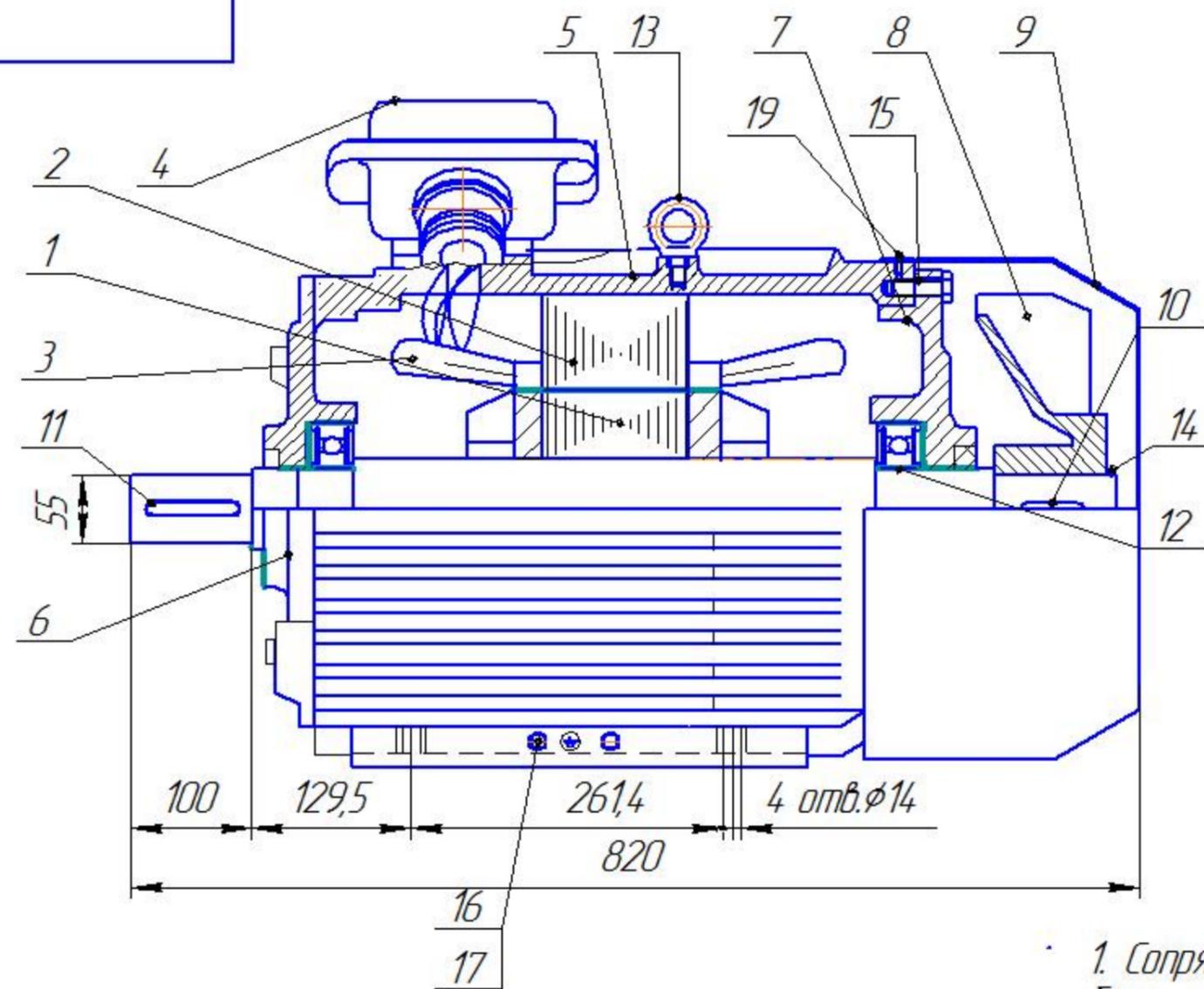
Исполнитель: Умаров Н. М.
 студент группы К-7302 _____

ТЛ	Титульный лист								
----	----------------	--	--	--	--	--	--	--	--

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ФЮРА 526.000.011 СП

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование		Примечание		
				<u>Документация</u>				
A1			ФЮРА 526.000.011 СБ	Сборочный чертёж				
			ФЮРА 526.000.011 ПЗ	Пояснительная записка				
				<u>Сборочные единицы</u>				
		1	ФЮРА 526.600.001	Ротор	1			
		2	ФЮРА 526.600.002	Статор	1			
		3	ФЮРА 526.600.003	Обмотка	1			
				<u>Детали</u>				
		4	ФЮРА 526.600.004	Коробка выводов				
		5	ФЮРА 526.600.005	Станина	2			
		6	ФЮРА 526.600.006	Подшипниковый щит передний	1			
		7	ФЮРА 526.600.007	Подшипниковый щит задний	1			
		8	ФЮРА 526.600.008	Вентилятор				
		9	ФЮРА 526.600.009	Кожух				
				<u>Стандартные изделия</u>				
		10	ФЮРА 526.600.010	Шпонка 10 × 14 × 25	1			
				СТ СЭВ 189-75				
		11	ФЮРА 526.600.011	Шпонка 8 × 14 × 50	2			
				СТ СЭВ 189-75				
		12	ФЮРА 526.600.012	Подшипник 6313	2			
		13	ФЮРА 526.600.013	Рым-болт М16 × 40				
				ГОСТ 4751-73	1			
Из м.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ФЮРА 526.000.011 СП			
Разраб.	Умаров				Асинхронный двигатель скороткозамкнутым ротором	Литера	Лист	Листов
Пров.	Баранов					У	1	2
Н.контр						ТПУ ИнЭО Группа К-7302		
УТВ.								



- 1. Сопрягаемые поверхности щитов, станины, поверхность под болт заземления, все резьбовые поверхности покрыть тонким слоем масла К-17 ГОСТ 10877-76.
- 2. Свободный конец вала консервировать маслом К-17 ГОСТ 10877-76.
- 3. Поверхность под болты заземления не должна иметь окраску.
- 4. Рельеф знака заземления покрыть эмалью НЦ-25, красная ГОСТ 5406-84.

Перв. помет

Справ. №

Подп. и дата

Изм. № эцкл

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 37 кВт	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Умаров Н.М.					у		1:5
Проб.	Падалко Д.А.					Лист	Листов	1
Т.контр.						K7302		
И.контр.								
Утв.								