

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

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

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Разработка кранового электродвигателя для горно-металлургической промышленности. УДК <u>621.873-83; 622.34.013 (575.1)</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7301	Туробов Улугбек Эркинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Богданов Е. П.	К.Т.Н		

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.	К.Т.Н		

По разделу «Технологическая часть»

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

По разделу «Электромагнитный расчет» специальная часть

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Богданов Е.П.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Институт	ИнЭО
Направление подготовки (специальность)	Электромеханика
Уровень образования	Специалист
Кафедра	ЭКМ
Период выполнения	(осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Студенту:

Группа	ФИО
3-7301	Туробов Улугбек Эркинович

Тема работы:

Крановый АД для горно-металлургической промышленности

Форма представления работы:

Дипломный проект (работа)

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

ЗАДАНИЕ

<p>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</p>	<p>1. <i>Описание рабочего места (электромеханик) на предмет возникновения ;</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы , вибрации, эл – магнитные поля, ионизирующие излучения)</i> – <i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, эле</i> – <i>ктрической, пожарной и взрывной природы)</i> – <i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</i> -- <i>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i>
---	---

	<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке</p>	<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производ – енной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико – химическая природа фактора, его связь с раз – рабатываемой темой; -- действие фактора на организм человека ; – приведение допустимых норм с необходимой размер – ностью (с ссылкой на соответствующий нормативно- технический документ); -- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты,затем – индивидуальные защитные средства) <p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производ - енной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> -- механические опасности (источники, средства защиты) -- электробезопасность (в т.ч. статическое электричес – – тво,молниезащита - источники, средства защиты); -- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактичес – кие мероприятия, первичные средства пожаротушения); <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;

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
3-7301	Туробов У.Э.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-7301	Туробов Улугбек Эркинович

Институт	ИнЭО	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	Электромеханика

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7301	Туробов Улугбек Эркинович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-7301	Туробов У.Э.

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

Исходные данные к разделу «технологический процесс общей сборки кранового асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором»:

1. Сборочный чертеж кранового асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, спецификация, 55кВт ;

2. Годовая программа выпуска изделия 3500штук

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конструкции электрической машины на технологичность

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

3. Составить схему сборки электрической машины

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

2. Разработать маршрутную технологию сборки электрической машины.

5. определить нормы времени на операции и оборудование

3. построить график загрузки оборудования

Перечень графического материала:

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7301	Туробов У.Э.		

Оглавление

	С.
Введение	4
1. Реферат	5
1 Электромагнитный расчет	7
1.1. Исходные данные	7
1. 2 Выбор основных размеров статора	7
1.3. Расчёт обмотки статора	9
1.4. Расчёт размеров зубцовой зоны статора	13
1.5. Расчёт ротора	16
1.6. Расчёт магнитной цепи	21
1.7. Параметры рабочего режима	24
1.8. Расчёт потерь	31
1.9. Расчёт рабочих характеристик	34
1.10. Расчёт пусковых характеристик	39
1.1.1 Тепловой расчёт	45
1.2.1 Вентиляционный расчет	47
1.3.1 Механический расчёт	49
1.3.2 Расчёт на жёсткость	50
1.3.3 Расчёт вала на прочность	52
1.3.4 Выбор подшипников	53
2 Специальная часть	55
3 Технологическая часть	63
3.1 Анализ исходных данных для проектирования технологического процесса сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	64

3.2	Анализ исходных данных для проектирования технологического процесса сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	65
3.3	Размерный анализ двигателя	67
3.4	Разработка схемы сборки и маршрутной технологии	71
3.5	Выбор сборочного оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств.	72
3.6	Техническое нормирование и расчет необходимого количества оборудования	74
4	Финансовый менеджмент, Ресурсоэффективность и ресурсосбережение	79
4.1	Смета затрат на проектирование	80
4.2	Смета затрат на подготовку проекта	81
4.3	Отчисления на социальные нужды	83
4.4	Материальные затраты на канцелярские товары.	83
4.5	Амортизация вычислительной техники.	83
4.6	Прочие неучтенные затраты.	84
4.7	Накладные расходы	84
4.8	Себестоимость проекта	84
4.9	Определение материальных расходов	85
4.10	Затраты на силовую электроэнергию	87
4.11	Оценка конкурентоспособности создаваемого продукта	88
5.	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	92
5.1	Анализ опасных и вредных факторов	92
5.2	Производственная санитария	93
5.3	Расчет искусственного освещения	94
5.4.	Выбор источников света	94

5.5 Выбор системы освещения	95
5.6 Выбор осветительных приборов	96
5.7 Выбор коэффициента запаса	96
5.8 Размещение осветительных приборов	97
5.9 Расчет осветительной установки	98
5.10 Микроклимат	99
5.11 Тепловое излучение	100
5.12 Техника безопасности	104
5.13 Пожарная безопасность	105
5.14 Чрезвычайная ситуация	108
5.15 Причины чрезвычайных ситуаций на объекте	110
5.16 Основные направления по повышению устойчивости функционирования территорий и объектов в чрезвычайных ситуациях	110
5.17 Охрана окружающей среды	112
Заключение	
Список использованных источников	
Приложение	
Графические материалы	

Введение

В связи с ростом механизации производственных процессов в различных отраслях промышленности значительно увеличилось производство краново-подъемных механизмов и электродвигателей.

Специальные серии крановых электродвигателей типа 4МТ характеризуются повторно-кратковременным режимом работы при большой частоте включений, широким диапазоном регулирования частоты вращения, большой кратностью пусковых и перегрузочных моментов. Двигатели должны обеспечивать режим электрического торможения, в том числе режим противовключения.

Электродвигатели приводов крановых механизмов работают в условиях повышенной тряски и вибраций, а также при температуре окружающего воздуха (до 70°C). К электродвигателям предъявляются повышенные требования по надежности и удобству обслуживания в затрудненных условиях эксплуатации крановых механизмов. Электродвигатели должны работать как в закрытых помещениях, так и на открытом воздухе, допускать удобное сочленение с механическим тормозом и иметь необходимые конструктивные модификации, удовлетворяющие требованиям современных крановых механизмов. Величины маховых масс якорей и роторов должны быть минимальными.

Крановые электродвигатели широко применяются на кранах всех видов, экскаваторах, вспомогательных металлургических приводах и других механизмах с повторно-кратковременным режимом работы. Областью применения электродвигателей с короткозамкнутым ротором является также привод кран-балок, тельферов, небольших крановых тележек и других механизмов со сравнительно небольшой частотой включений.

Эти двигатели должны обладать повышенными перегрузочными способностями при возможно меньшем значении махового момента ротора для обеспечения малых времен разгона и торможения механизма, уменьшения пусковых и тормозных потерь в двигателе.

Важнейшей конструктивной особенностью крановые машины с короткозамкнутым ротором является монолитность ротора, детали которого должны быть надежно закреплены на валу, а короткозамкнутая обмотка плотно заполнять пазы.

Особенностями конструкции крановых асинхронных машин сравнительно с конструкциями машин нормальных серий являются повышенная механическая прочность отдельных элементов конструкции.

В отличие от машин нормальных серий ротор кранового двигателя спрессовывается нажимными шайбами и запирается втулкой путем прессовой и горячей посадки. Станины и щиты изготавливаются из чугуна. Пакет статора закрепляется во избежание поворачивания осевой шпонкой и зажимными кольцами. Все крепежные детали и прочие резьбовые соединения крановых электродвигателей имеют предохранение от самоотвинчивания, а крепление частей машины выполняется с повышенной степенью надежности.

Выпускная квалификационная работа посвящена:

- проектированию трехфазного асинхронного кранового электродвигателя с короткозамкнутым ротором на базе железа кранового двигателя 4МТКН225 с короткозамкнутым ротором;
- разработке технологического процесса общей сборки проектируемого двигателя;
- оценке ресурсоэффективности и энергосбережения проекта;
- рассмотрению вопросов безопасности и экологичности при осуществлении общей сборки проектируемого двигателя, разработка мер пожарной безопасности и меры защиты окружающей среды.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 114 _____ с., _____ 20 _____ рис., 19 _____ табл., 23 источника, _____ 6 _____ прил.

Ключевые слова: крановый асинхронный двигатель, короткозамкнутый ротор, статор, ротор, обмотка, проводимость.

Объектом исследования является крановый асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором

Цель работы – произвести электромагнитный, тепловой, вентиляционный, механический и специальный расчёт, разработать технологию общей сборки электродвигателя на программу выпуска 3500 шт./год, оценить ресурсоэффективность и ресурсосбережение для производства двигателя 3500 шт./год, создать безопасность и экологичность проекта, разработать чертежи по данным разделам

В процессе исследования проводились расчёты с помощью программы Mathcad, выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2010, чертежи выполнены в графических редакторах Kompas 3DV14, Visio.

В результате исследования были выбраны главные размеры, определены параметры двигателя, масса активных материалов, потери и КПД, а так же рассчитаны пусковые и рабочие характеристики асинхронного кранового двигателя, Построены графики при пониженным напряжения .

1. Электромагнитный расчет электрической машины

1.1. Исходные данные

Номинальная мощность $P_2 = 55000$ Вт

Номинальное напряжение $U = 220$ В

Номинальная частота $f_1 = 50$ Гц

Число фаз $m_1 = 3$

Число пар полюсов $2p = 6$

Высота оси вращения $h = 225$ мм

Степень защиты IP44

Система охлаждения IC0141

Способ монтажа IM1001

1.2. Выбор основных размеров статора

1.2.1 Внешний диаметр статора предварительно [1, с.164, табл.6-6]

для $h = 225$ мм

$$D_a = 0,4 \text{ м.}$$

1.2.2 Внутренний диаметр статора

$$D = K_D \cdot D_a = 0,7 \cdot 0,4 = 0,28 \text{ м,} \quad (1.1)$$

где K_D – коэффициент, характеризующий отношение внутренних и внешних диаметров сердечников статора. Из [1, с.165, табл.6-7] выбираем $K_D = 0,7$.

1.2.3 Полюсное деление

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,28}{6} = 0,1466 \text{ м.} \quad (1.2)$$

1.2.4 Расчетная мощность

$$P' = P_2 \cdot \frac{k_E}{\eta \cdot \cos \varphi} = 55000 \cdot \frac{0,97}{0,92 \cdot 0,89} = 65160 \text{ Вт} \quad (1.3)$$

где P_2 – мощность на валу двигателя, Вт; k_E – отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению [1, с.164, рис.6-8], $k_E = 0,97$; η и $\cos \varphi$ –

примерное значение КПД и коэффициент мощности [1, с.165, рис.6-9.а]
 $\eta=0,92$ и $\cos\varphi=0,89$

1.2.5 Электромагнитные нагрузки (предварительно) [1, с.166, рис.6-11.а]

при высоте оси вращения $h = 225$ мм, $2p = 6$, $D_a = 0,4$ м

$$A = 38 \cdot 10^3 \text{ А/м}; \quad B_{\delta} = 0,81 \text{ Тл}$$

1.2.6 Обмоточный коэффициент (предварительно) для двухслойной обмотки учитывает уменьшение ЭДС фазы, уложенной в пазы обмотки ЭМ по сравнению с расчетной ЭДС обмотки с тем же числом витков, но имеющей сосредоточенной в одной катушке и диаметральный шаг.

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

$$k_{o\delta 1} = 0,92$$

1.2.7 Расчетная длина магнитопровода

$$l_{\delta} = \frac{P'}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot k_{o\delta 1} \cdot A B_{\delta}} =$$
$$= \frac{65160}{1,1107 \cdot 0,28^2 \cdot 10^{-6} \cdot 104,72 \cdot 0,92 \cdot 38 \cdot 10^3 \cdot 0,81} = 0,252 \text{ м} \quad (1.4)$$

где Ω – синхронная угловая скорость двигателя

$$\Omega = 2\pi \cdot \frac{f}{p} = 2\pi \cdot \frac{50}{6} = 104,72 \text{ рад/с}, \quad (1.5)$$

Принимается коэффициент формы поля для синусоидального поля, а влияние уплощения учитывается при расчете магнитного напряжения отдельных участков магнитной цепи

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

1.2.8 Критерий правильности выбора главных размеров D и l_{δ}

$$\lambda = \frac{l_{\delta}}{\tau} = \frac{0,252}{0,1466} = 1,721 \quad (1.7)$$

Отношение $\lambda = l_{\delta}/\tau$ должно находиться в пределах $(2 \div 1,5)$, представленных в литературе [1, с.168.].

Полученное значение находится в допустимых пределах.

1.2.9 Конструктивная длина сердечника статора

$$\ell_1 = \ell_{cm1} = \ell_s = 0,252 \text{ м} \quad (1.8)$$

Так как длина сердечника не превышает 300 мм, то радиальных вентиляционных каналов не делают. Сердечники шихтуются в один пакет. Для такой конструкции конструктивная длина и длина стали сердечника статора равна [1, с.168].

1.3. Расчёт обмотки статора

При расчёте обмотки статора определяется число пазов статора, число витков в фазе обмотки и сечение проводника. При этом число витков фазы обмотки статора должно быть таким, чтобы линейная нагрузка двигателя и индукция в воздушном зазоре как можно более близко совпадали с их значениями принятыми предварительно при выборе главных размеров, а число пазов статора обеспечивало достаточно равномерное распределение катушек обмотки. Предварительно была выбрана двухслойная обмотка, ее достоинством является возможность использовать укорочение шага для подавления высших гармоник в кривой ЭДС. Двухслойная обмотка применяется в ЭМ, начиная с мощности 15-16 кВт. Схема обмотки статора приведена в Приложении А.

1.3.1 Зубцовое деление статора t_{Z1} [1, с.170, рис.6-15]

Максимальное значение $t_{Z1max}=0,015 \text{ м}$

Минимальное значение $t_{Z1min}=0,012 \text{ м}$

1.3.2 Число пазов статора

$$\begin{aligned} Z_{1min} &= \frac{\pi \cdot D}{t_{Z1max}} = \frac{\pi \cdot 0,28}{0,015} = 73,3 \\ Z_{1max} &= \frac{\pi \cdot D}{t_{Z1min}} = \frac{\pi \cdot 0,28}{0,012} = 58,64 \end{aligned} \quad (1.9)$$

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

Принимаем $Z_1 = 72$.

1.3.3 Число пазов на полюс и фазу [1, стр.241]

$$q = \frac{Z_1}{2p \cdot m} = \frac{72}{6 \cdot 3} = 4 \quad (1.10)$$

1.3.4 Зубцовое деление статора (окончательно)

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{2p \cdot q \cdot m} = \frac{\pi \cdot 0,28}{6 \cdot 4 \cdot 3} = 0,0122 м \quad (1.11)$$

1.3.5. Число эффективных проводников в пазу (при условии, что параллельных ветвей $a = 3$)

$$u_n' = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{ном} \cdot Z_1} = \frac{3,14 \cdot 0,28 \cdot 3,8 \cdot 10^4}{102 \cdot 72} = 4,56, \quad (1.12)$$

где $I_{ном}$ – номинальный фазный ток

$$I_{ном} = \frac{P_2}{m \cdot U_{ном} \cdot \eta \cdot \cos \phi} = \frac{55000}{3 \cdot 220 \cdot 0,92 \cdot 0,89} = 102 А \quad (1.13)$$

1.3.6 Число эффективных проводников в пазу

$$u_n = a \cdot u_n' = 3 \cdot 4,56 = 13,68 \quad (1.14)$$

Принимаем число параллельных ветвей: $a=3$.

В двухслойных обмотках желательно, чтобы число $U_{п}$ было кратно 2.

Принимается $U_{п} = 14$.

1.3.7 Окончательное число витков в фазе

$$W_1 = \frac{u_n \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = \frac{14 \cdot 72}{2 \cdot 3 \cdot 3} = 56 \quad (1.15)$$

1.3.8 Окончательное значение линейной нагрузки

$$A = \frac{2 \cdot I_{ном} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 102 \cdot 56 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,28} = 3,8875 \cdot 10^4 А / м \quad (1.16)$$

Полученное значение находится в допустимых пределах [36200-38900].

1.3.9 Магнитный поток

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U_1}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{об1} \cdot f_1} = \frac{0,97 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 56 \cdot 0,927 \cdot 50} = 19 \cdot 10^{-3} Вб, \quad (1.17)$$

где обмоточный коэффициент для двухслойной обмотки

$$k_{obl} = k_{p1} k_y = 0,958 \cdot 0,966 = 0,925$$

Коэффициент распределения, учитывающий уменьшение ЭДС распределенной по пазам обмотки по сравнению с сосредоточенной для первой гармоники

$$k_p = \frac{\sin \frac{\pi}{2m} \cdot \nu}{q \cdot \sin \frac{\pi}{2mq} \cdot \nu} = \frac{0,5 \cdot 1}{4 \sin \frac{\pi}{6 \cdot 3} \cdot 1} = 0,925$$

(1.18)

Коэффициент укорочения, учитывающий уменьшения ЭДС витка, вызванный укорочением шага

$$k_y = \sin \frac{\pi}{2} \cdot \beta_1 \cdot \nu = \sin \frac{\pi}{2} \cdot 0,833 = 0,966 \quad (1.19)$$

Укорочение шага

$$\beta_1 = \frac{y}{\tau} = \frac{2}{3} \cdot \frac{q+1}{q} = \frac{2}{3} \cdot \frac{2+1}{2} = 0,833 \quad (1.20)$$

Область наиболее распространенных значений $\beta = (0,79 - 0,83)$.

Действительный шаг $y = \tau \cdot \beta = 12 \cdot 0,833 = 10$ (1.21)

1.3.10 Индукцию в воздушном зазоре примем (окончательно)

$$B_\delta = \Phi \cdot \rho / D \cdot l_\delta = \frac{19 \cdot 10^{-3} \cdot 3}{0,28 \cdot 0,2523} = 0,7875 \text{ Тл} \quad (1.22)$$

Полученное значение B_δ выходит за пределы рекомендуемой области (0,79÷0,81) не более чем на 5 %, что вполне допустимо, т.к.

$$\frac{0,79 - 0,78}{0,78} = 0,0128 \times 100\% = 1,28 \%$$

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 повышении температуры обмотки, и, во-вторых, на КПД двигателя. В асинхронных двигателях общего назначения при принятой в них системе

косвенного охлаждения влияние плотности тока на нагрев обмотки более существенно, чем на КПД. Нагрев пазовой части обмотки зависит от произведения линейной нагрузки на плотность тока. Поэтому выбор допустимой плотности тока производят с учётом линейной нагрузки.

1.3.11 Плотность тока [1, с.172]

$$J_1 = \frac{A \cdot J}{A} = \frac{185 \cdot 10^9}{38875} = 4,71 \cdot 10^6 \text{ A/м}^2 \quad (1.23)$$

где произведение линейной нагрузки на плотность тока выбирается из источника [1, с.173, рис.6-16,а];

$$A \cdot J = 185 \cdot 10^9 \text{ A}^2/\text{м} \quad (1.24)$$

1.3.12 Сечение эффективного проводника (предварительно)

$$q_{эф} = \frac{I_{ном}}{a \cdot J_1} = \frac{101,775}{3 \cdot 4,76 \cdot 10^6} = 7,129 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \quad (1.25)$$

Сечение элементарного проводника

$$q_{эл} = \frac{q_{эф}}{n_{эл}} = \frac{8,044 \cdot 10^{-6}}{4} = 1,7822 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \quad (1.26)$$

Принимается число элементарных проводников. $n_{эл} = 4$.

Для в сыпных 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, при механизированной укладке не более 1,5 мм. Если расчетное сечение эффективного проводника в машинах со в сыпной обмоткой выше значений, соответствующих указанным диаметрам, то эффективный проводник разделяется на несколько элементарных проводников $n_{эл}$.

Выбирается провод ПЭТВ:

$$d_{эл} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad d_{из} = 1,685 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad q_{эл} = 2,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \text{ из [1, с. 713,$$

табл. П-3]

1.3.13 Плотность тока (окончательно)

$$J_1 = \frac{I_1}{a \cdot q_{эл} \cdot n_{эл}} = \frac{101}{3 \cdot 1,7822 \cdot 10^{-6} \cdot 4} = 4,217 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2} \quad (1.27)$$

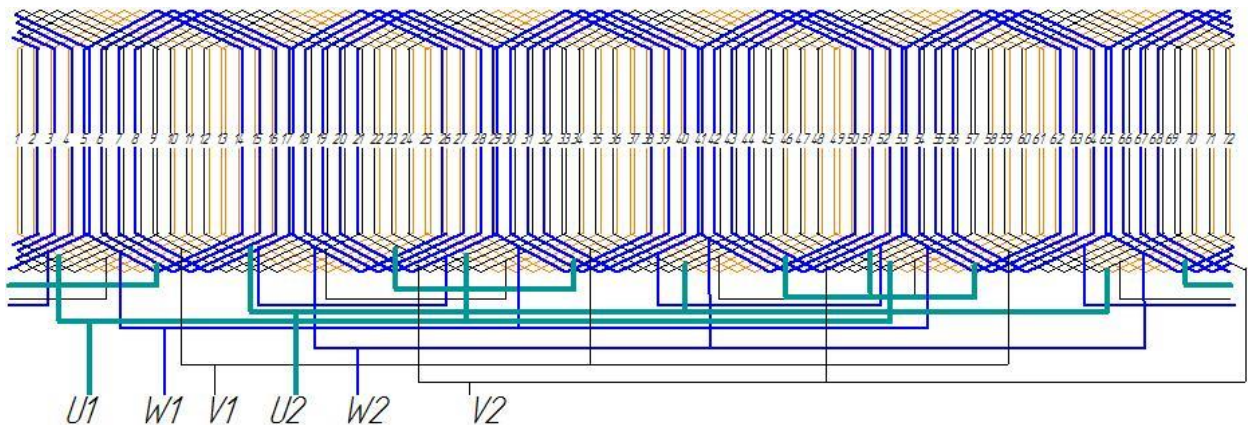


Рисунок 1.1. Развернутая схема обмотки статора

1.4. Расчёт размеров зубцовой зоны статора

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

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

Выбираем трапецеидальной паз

1.4.1 Ширина зубца [1, с.178]

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{B_{z1} \cdot l_{cm} \cdot k_c} = \frac{0,7875 \cdot 12,2 \cdot 10^{-3}}{1,9 \cdot 0,95} = 5,33 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.28)$$

где B_{z1} – индукция в зубцах статора [1, с.174, табл.6-10]; $B_{z1}=(1,6-1,8) \text{ Тл}$

Принимаем $B_{z1}=1,9 \text{ Тл}$;

K_c – коэффициент заполнения пакета сталью магнитопроводов при $h=225 \text{ мм}$, $U_{1n} = 220 \text{ В}$, со способом изолировки листов – оксидирование для стали 2013 [1, с.176, табл.6-11]; $k_c=0.95$

1.4.2 Высота ярма статора

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot \ell_{cm1} \cdot k_{c1}} = \frac{18,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,9 \cdot 252 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95} = 24,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.29)$$

где B_a – индукция в ярме статора [2, с.174 табл.6-10]; $B_a=(1,1-1,2) \text{ Тл}$.

Принимается $B_a = 1,6 \text{ Тл}$.

1.4.3 Ширину шлица паза принимают равной $b_{u1} = d_{uz} + (1,5-2) \text{ мм}$ при $h = 225 \text{ мм}$, $2p = 6$, $b_{u1} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ [2, с.179, табл.6-12].

Высота шлица паза должна быть достаточной для обеспечения механической прочности кромок зубцов, удерживающих в уплотненном состоянии проводники паза после заклиновки пазов в АД при $h = 225 \text{ мм}$, $h_{u1} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ [1, с.178]

1.4.4. Высота паза

$$h_{n1} = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{(0,4 - 0,28)}{2} - 0,0242 = 35,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.30)$$

1.4.5. Максимальная ширина паза

$$b_{12} = \frac{\pi \cdot (D + 2h_{n1})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{\pi \cdot (0,28 + 2 \cdot 0,0358)}{72} - 5,33 \cdot 10^{-3} = 10^{-2} \text{ м} \quad (1.31)$$

1.4.6. Минимальная ширина паза

$$b_{11} = \frac{\pi \cdot (D + 2h_{u1} - b_{u1}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{\pi \cdot (0,28 + 2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} - 0,005) - 72 \cdot 5,33 \cdot 10^{-3}}{72 - \pi} = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.32)$$

1.4.7 Высота паза, предназначенная для укладки обмотки

$$h_{11} = h_{n1} - \left(h_{u1} + \frac{b_{11} - b_{u1}}{2} \right) = 35,8 \cdot 10^{-3} - \left(5 \cdot 10^{-3} + \frac{0,01 - 5 \cdot 10^{-3}}{2} \right) = 28,3 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.33)$$

Размеры паза в свету с учётом припуска на сборку (6-47)

$$b'_{12} = b_{11} - \Delta b_n = 7,4 - 0,2 = 7,2 \text{ мм}$$

$$b'_{11} = b_{21} - \Delta b_n = 28,3 - 0,2 = 28,1 \text{ мм} \quad ,$$

$$h'_{11} = h_{11} - \Delta h_n = 10 - 0,2 = 9,8 \text{ мм}$$

где припуски по ширине и по высоте паза $\Delta b_n = \Delta h_n = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ [1, с.177]

Паз статора с указанием основных размеров изображён на рисунке 1.1.

1.4.9 Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу

$$\begin{aligned} S_{uz} &= b_{uz} \cdot (2h_{n1} + b_{11} + b_{21}) = \\ &= 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot (2 \cdot 0,0358 + 0,0074 + 0,01) = 2,2272 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \end{aligned} \quad (1.34)$$

где b_{uz} – односторонняя толщина изоляции в пазу [1, с.61 табл.3-8]:

$b_{uz} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, для двухслойной обмотки при высоте оси вращения $h = 225 \text{ мм}$,

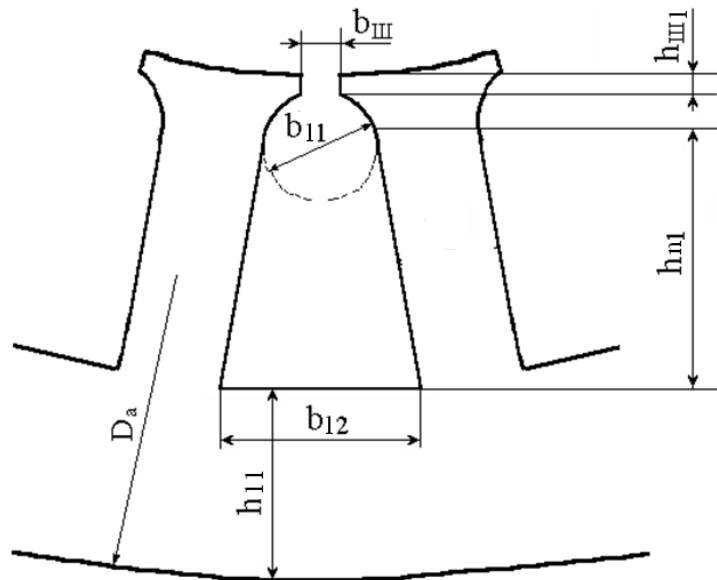


Рисунок 1.2. Паз статора с основными размерами

1.4.10 Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников

$$\begin{aligned} S'_n &= \frac{b'_{11} + b'_{21}}{2} \cdot h'_{нк} - S_{уз} - S_{мс} = \\ &= \frac{0,0072 + 0,0098}{2} \cdot 0,028 - 2,227 \cdot 10^{-5} = 2,1732 \cdot 10^{-4} \end{aligned} \quad (1.35)$$

1.4.11 Коэффициент заполнения паза

$$K'_z = \frac{d_{уз}^2 \cdot U_n \cdot n_{эл}}{S'_n} = \frac{(1,7 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 4 \cdot 14}{217,32 \cdot 10^{-6}} = 0,7316 \quad (1.36)$$

В современном электромашиностроении плотность укладки обмотки стремятся выполнить такой, чтобы K'_z был в пределах (0,7÷0,74) при ручной укладке обмоток.

1.5. Расчёт ротора

1.5.1. При воздушный зазор следует выбирать, руководствуясь данными выпускаемых двигателей [1, с.367, рис.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 соответственному уменьшению МДС магнитной цепи и намагничивающего тока двигателя, благодаря чему возрастает его коэффициент мощности и уменьшаются потери в меди обмотки статора. Но чрезмерное уменьшение воздушного зазора приводит к возрастанию амплитуд пульсаций индукции в воздушном зазоре и, как следствие этого, к увеличению поверхностных и пульсационных потерь. Поэтому КПД двигателей с очень малыми зазорами не улучшается, а часто даже становится меньше. В современных асинхронных двигателях зазор выбирают, исходя из минимума суммарных потерь

$$\delta = (0,25 + D) \cdot 10^{-3} = (0,25 + 0,28) \cdot 10^{-3} = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ м} \quad (1.37)$$

1.5.2 Число пазов ротора [1, с.185, табл.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 характеристику двигателя, так как момент на валу машины является суммой моментов, обусловленных всеми взаимодействующими гармониками.

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

при $2p = 6$ и $Z_1 = 72$ принимаем $Z_2 = 82$.

В АД роторы двигателей с $h \geq 225$ мм выполняются без скоса пазов [1,с.205].

1.5.3 Внешний диаметр ротора

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta = 0,28 - 2 \cdot 0,53 \cdot 10^{-3} = 0,2788 \text{ м} \quad (1.38)$$

Конструктивную длину сердечника ротора берём равной длине сердечника статора

$$\ell_2 = \ell_1 = 0,252 \text{ м} \quad (1.39)$$

1.5.4 Зубцовое деление ротора

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{\pi \cdot 0,28}{82} = 0,0107 \text{ м} \quad (1.40)$$

1.5.5. Внутренний диаметр ротора [1, с.191]

$$D_j = D_B = k_B \cdot D_a = 0,23 \cdot 0,4 = 0,092 \text{ м} \quad (1.41)$$

Сердечники роторов АД при $D_2 \leq 990$ мм выполняются с непосредственной посадкой на гладкий вал при помощи горячей посадки, внутренний диаметр ротора равен диаметру вала.

где при $h=225$ мм, $k_B=0,23$ [1, с.191 табл.6-16];

1.5.6 Ток в стержне ротора [1, с.183]

$$I_2 = k_i \cdot I_1 \cdot \frac{2 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{об1}}{Z_2} = 0,92 \cdot 101,775 \cdot \frac{2 \cdot 3 \cdot 56 \cdot 0,92}{82} = 354,8918 \text{ А}, \quad (1.42)$$

Коэффициент, учитывающий влияние тока намагничивания и сопротивления обмоток на соотношение I_1/I_2 , его приблизительное значение может быть рассчитано в зависимости от номинального $\cos\varphi$, которым задавались в начале расчета [1, с.183, рис.6-22] при $\cos\varphi=0,89$

$$k_i = 0,2 + 0,8 \cdot \cos\varphi = 0,92 \quad (1.43)$$

Коэффициент скоса пазов:

$$k_{ck} = \frac{2 \cdot \sin\left(\frac{\gamma_{ck}}{2}\right)}{\gamma_{ck}} = \frac{2 \cdot \sin\left(\frac{0,084}{2}\right)}{0,084} = 0,99 \approx 1 \quad (1.44)$$

$$\gamma_{ck} = \beta_{ck} \cdot \frac{2p}{Z_2} = 0,839 \cdot \frac{12}{116} = 0,084 \quad (1.45)$$

Площадь поперечного сечения стержня [1, с.186]

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = \frac{354,8918}{3,5 \cdot 10^6} = 1,014 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (1.46)$$

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

Принимаем $J_2=3,5 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$ (1.47)

1.5.8. Паз ротора

Для обеспечения высоких энергетических показателей в номинальном режиме работы выбираем пазы с широкой верхней частью – грушевидные. В двигателях с $h = 160 \div 250$ мм выполняют грушевидные закрытые пазы.

Ширина шлица $b_{u2} = 1 \cdot 10^{-3}$ м; Высота шлица $h_{u2} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м. [1, с.188].

1.5.9 Ширина зубца ротора

$$b_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot l_{\delta}}{B_{z2} \cdot k_c \cdot l_{cm1}} = \frac{0,7875 \cdot 0,0107}{1,95 \cdot 0,95} = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.48)$$

где индукция в зубцах ротора [1, с.174, табл.6-10]; принимаем $B_{z2} = 1,95$

Тл

1.5.10 Максимальная ширина паза

$$\begin{aligned} b_{21} &= \frac{\pi \cdot (D_2 - 2h_{u2}) - Z_2 \cdot b_{z2}}{Z_2 + \pi} = \\ &= \frac{\pi \cdot (0,2788 - 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}) - 82 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3}}{82 + \pi} = 5,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{aligned} \quad (1.49)$$

1.5.11 Минимальная ширина паза по (6-75)

$$\begin{aligned} b_{22} &= \sqrt{\frac{b_{21}^2 \cdot \left(\frac{Z_2 + \pi}{\pi}\right) - q_c \cdot 4}{\frac{Z_2 - \pi}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \\ &= \sqrt{\frac{(5,9 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \left(\frac{82 + \pi}{\pi}\right) - 1,014 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\frac{82 - \pi}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = 4,74 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{aligned} \quad (1.50)$$

1.5.12 Полная высота паза ротора

$$\begin{aligned} h_{n2} &= h_{u2} + \frac{b_{21}}{2} + \frac{b_{22}}{2} + h_{12} = \\ &= \left(0,5 \cdot 10^{-3} + \frac{5,9 \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{14,9 \cdot 10^{-3}}{2} + 4,74 \cdot 10^{-3} \right) = 20,7 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{aligned} \quad (1.51)$$

где

$$h_{12} = (b_{12} - b_{22}) \cdot \frac{Z_2}{2 \cdot \pi} = (5,9 - 4,74) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{82}{2 \cdot \pi} = 60,58 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.52)$$

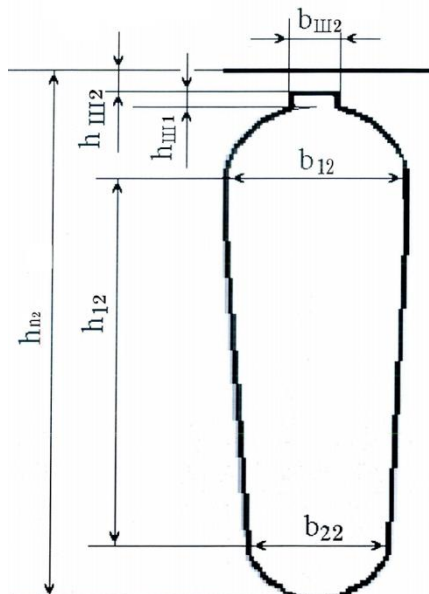


Рисунок 1.3. Паз ротора с основными размерами.

1.5.13 Сечение стержня (окончательно)

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (b_{21}^2 + b_{22}^2) + \frac{1}{2} \cdot (b_{21} + b_{22}) \cdot h_{12} = \frac{\pi}{8} \cdot (5,9^2 + 4,74^2) \cdot 10^{-3} + \frac{1}{2} \times (5,9 + 4,74) \cdot 10^{-3} \cdot 14,9 \cdot 10^{-3} = 1,014 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (1.53)$$

1.5.14 Плотность тока в стержне (окончательно)

$$J_2 = \frac{I_2}{q_c} = \frac{354,8918}{1,014 \cdot 10^{-4}} = 3,5 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2} \quad (1.54)$$

1.5.15 Ток в кольце [1, с.186]

$$I_{кл} = \frac{I_2}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2}} = \frac{354,8918}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot 3}{82}} = 1,547 \cdot 10^3 \text{ А} \quad (1.55)$$

1.5.16 Плотность тока в кольце [1, с.186]

$$J_{кл} = 0,85 \cdot J_2 = 0,85 \cdot 3,5 \cdot 10^6 = 2,975 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2} \quad (1.56)$$

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.

1.5.17 Сечение короткозамкнутого кольца [1, с.186]

$$q_{кл} = \frac{I_{кл}}{J_{кл}} = \frac{1,547 \cdot 10^3}{2,975 \cdot 10^6} = 5,201 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (1.57)$$

1.5.18 Высота короткозамкнутого кольца [1, с.186]

$$b_{кл} = 1,25 \cdot h_{н2} = 1,25 \cdot 20,7 \cdot 10^{-3} = 25,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.58)$$

1.5.19 Длина короткозамкнутого кольца [1, с.244]

$$a_{кл} = \frac{q_{кл}}{b_{кл}} = \frac{5,201 \cdot 10^{-4}}{25,9 \cdot 10^{-3}} = 20,1 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.59)$$

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

$$D_{кл.ср} = D_2 - b_{кл} = (278,8 - 25,9) \cdot 10^{-3} = 0,2529 \text{ м} \quad (1.60)$$

1.6. Расчёт магнитной цепи

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

1.6.1 Индукция в зубцах статора (окончательно)

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{b_{z1} \cdot k_c \cdot l_{cm1}} = \frac{0,7875 \cdot 12,2 \cdot 10^{-3}}{5,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95} = 1,9 \text{ Тл} \quad (1.61)$$

1.6.2. Индукция в зубцах ротора (окончательно)

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot l_{\delta}}{b_{z2} \cdot k_c \cdot l_{cm2}} = \frac{0,7875 \cdot 10,7 \cdot 10^{-3}}{4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95} = 1,95 \text{ Тл} \quad (1.62)$$

1.6.3 Индукция в ярме статора (окончательно)

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot l_{cm1} \cdot k_c} = \frac{18,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 24,2 \cdot 10^{-3} \cdot 252,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95} = 1,6 \text{ Тл} \quad (1.63)$$

1.6.4 Расчётная высота ярма ротора

$$h_j = \left(\frac{D_2}{2} - h_{n2} \right) \cdot \frac{2+p}{3,2 \cdot p} = \left(\frac{278,8 \cdot 10^{-3}}{2} - 20,7 \cdot 10^{-3} \right) \cdot \frac{2+3}{3,2 \cdot 3} = 62 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.64)$$

При посадке сердечника непосредственно на вал в двигателях с $2p=6$ необходимо учитывать, что часть магнитных линий потока замыкается через вал.

1.6.5 Индукция в ярме ротора

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h_j \cdot \ell_{cm2} \cdot k_c} = \frac{18,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 62 \cdot 10^{-3} \cdot 252 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95} = 0,626 \text{ Тл} \quad (1.65)$$

Коэффициент воздушного зазора по (4-14)

В связи с тем, что поверхности статора и ротора, ограничивающие воздушный зазор, не гладкие (имеют различные неравномерности: пазы, углубления для размещения бандажей и др.), то 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.

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma \cdot \delta} = \frac{12,2}{12,2 - 5,208 \cdot 0,6} = 1,3437$$

$$\gamma = \frac{\left(\frac{b_{u1}}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{b_{u1}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{5,0}{0,6} \right)^2}{5 + \frac{5,0}{0,6}} = 5,208 \quad (1.66)$$

$$k_{\delta} = k_{\delta 1} = 1,3437 \quad (1.67)$$

1.6.6 Магнитное напряжение воздушного зазора

$$F_{\delta} = B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot 10^6 = 0,7875 \cdot 0,80 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,3437 = 1034 A \quad (1.68)$$

1.6.7 Магнитное напряжение зубцовых зон статора

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1} = 2 \cdot 35,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1520 = 109 A, \quad (1.69)$$

где напряженность в зубцах статора АД для стали марки 2013 при индукции $B_{z1} = 1,9 \text{ Тл}$; $H_{z1} = 1520 \text{ А/м}$. [1, с.698, табл.П.1.7].

1.6.8 Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2} = 2 \cdot 20,2 \cdot 10^{-3} \cdot 2520 = 101,929 A \quad (1.70)$$

$$h_{z2} = h_{n2} - 0,1 \cdot b_2 = 20,7 - 0,1 \cdot 4,7 = 0,0202 \cdot 10^3 \text{ мм} \quad (1.71)$$

где напряжённость магнитного поля для стали 2013 при индукции $B_{z2} = 1,95 \text{ Тл}$, $H_{z2} = 2520 \text{ А/м}$. [1, с.698, табл.П.1.7]

1.6.9 Коэффициент насыщения зубцовой зоны [1, с.194]

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_{\delta}} = 1 + \frac{109 + 101,929}{1033,6602} = 1,204 \quad (1.72)$$

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.

1.6.10 Длина магнитной линии ярма статора

$$L_a = \frac{\pi \cdot (D_a - h_a)}{2p} = \frac{\pi \cdot 0,4 - 24,2 \cdot 10^{-3}}{6} = 197 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.73)$$

1.6.11 Длина магнитной линии ярма ротора

$$L_j = \pi \cdot \frac{Dj + hj}{2p} = 3,14 \cdot \frac{(92 + 73) \cdot 10^{-3}}{6} = 86,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.74)$$

1.6.12 Магнитное напряжение ярма статора

$$F_a = L_a \cdot H_a = 197 \cdot 10^{-3} \cdot 805 = 158,4082 A \quad (1.75)$$

где напряжённость магнитного поля ярма статора для стали 2013 при индукции $B_a=1,6 \text{ Тл}$, $H_a=805 \text{ А/м}$. [1, с.460, табл.П.16];

1.6.13 Магнитное напряжение ярма статора

$$F_j = L_j \cdot H_j = 86,2 \cdot 10^{-3} \cdot 124 = 10,694 \text{ А} \quad (1.76)$$

где напряжённость магнитного поля ярма ротора для стали 2013 при индукции $B_j=0,37 \text{ Тл}$, $H_j=124 \text{ А/м}$. [1, с.460, табл.П.16];

1.6.14 Магнитное напряжение на пару полюсов

$$F_u = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 1033,6 + 108,9 + 101,9 + 158,4 + 10,69 = 1413,5925 \text{ А} \quad (1.77)$$

1.6.15 Коэффициент насыщения магнитной цепи

$$k_\mu = \frac{F_u}{F_\delta} = \frac{1413,5925}{1033,6602} = 1,4 \quad (1.78)$$

1.6.16 Намагничивающий ток

$$I_\mu = \frac{p \cdot F_u}{0,9 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{o\sigma 1}} = \frac{3 \cdot 1413,5925}{0,9 \cdot 3 \cdot 56 \cdot 0,925} = 30,32 \text{ А} \quad (1.79)$$

1.6.17 Относительное значение намагничивающего тока

$$I_\mu^* = \frac{I_\mu}{I_{ном}} = \frac{30,32}{101,775} = 0,298 \quad (1.80)$$

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 $\cos\varphi$ [1,с.195].

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 (рис. 1.4). Физические процессы в асинхронной машине более наглядно отражает схема, изображённая на рис. 1.4, а.

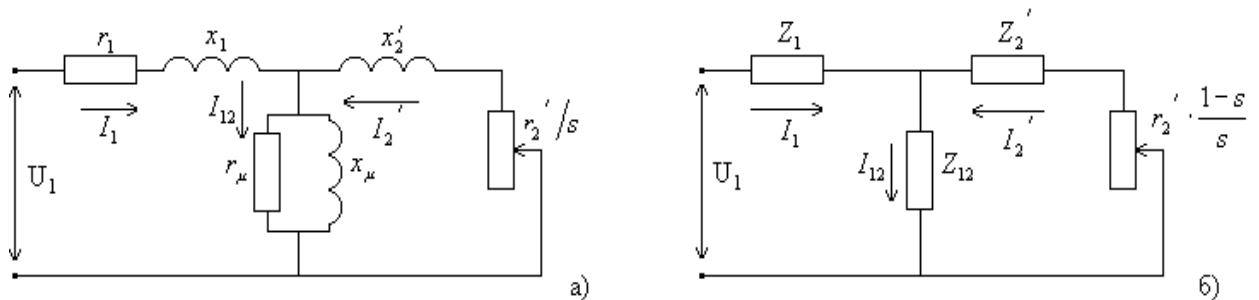


Рис.1.4. Схемы замещения фазы обмотки приведённой асинхронной машины.

Но для расчёта оказалось удобнее преобразовать её в схему, показанную на рис. 1.4, б.

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.

1.7.1 Средняя ширина катушки

$$b_{км} = \frac{\pi \cdot (D + h_{n1})}{2p} = \frac{\pi \cdot (280 + 35,8) \cdot 10^{-3}}{6} = 165,36 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.81)$$

1.7.2 Длина лобовой части.

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

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

$$\ell_{л} = K_{л} \cdot b_{км} + 2B = 1,5 \cdot 165,4 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,01 = 268 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (1.82)$$

где коэффициент $K_{л}=1,5$ при наличии изоляции в лобовых частях [1, с.197, табл.6-19];

1.7.3 Вылет лобовых частей обмотки

$$\ell_{ввл} = K_{ввл} \cdot b_{км} + B = 0,5 \cdot 165,4 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-3} = 93 \text{ мм}, \quad (1.83)$$

где коэффициент $K_{ввл}=0,5$ [1, с.197 табл.6-19];

1.7.4 Средняя длина витка обмотки

$$\ell_{ср1} = 2 \cdot (\ell_{n1} + \ell_{л}) = 2 \cdot (252 + 268) \cdot 10^{-3} = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (1.84)$$

где длина пазовой части; $\ell_{н} = \ell_{1} = 0,252 \text{ м}$

1.7.5 Длина проводников фазы обмотки

$$L_1 = \ell_{ср1} \cdot W_1 = 1,04 \cdot 10^{-3} \cdot 56 = 58,28 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.85)$$

1.7.6 Активное сопротивление фазы обмотки статора

$$r_1 = \rho_{115Cu} \cdot \frac{L_1}{q_{эл} \cdot n_{эл} \cdot a} = \frac{10^{-6}}{41} \cdot \frac{58,28 \cdot 10^{-3}}{8,044 \cdot 10^{-6} \cdot 3} = 0,059 \text{ Ом} \quad (1.86)$$

где ρ_{75Cu} – удельное сопротивление материала обмотки для данного класса нагревостойкости изоляции расчётная температура $115^{\circ}C$, для меди $\rho_{115Cu}=10^{-6}/41 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ [1, с.187, табл.5.1];

1.7.7 Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки статора

$$r_1^* = r_1 \cdot \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 0,059 \cdot \frac{101,775}{220} = 0,0273 \quad (1.87)$$

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.

1.7.8 Сопротивление стержня

$$r_c = \rho_{115} \cdot \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{\ell_2}{q_c} = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{252 \cdot 10^{-3}}{1,014 \cdot 10^{-4}} = 121 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \quad (1.88)$$

где ρ_{115} – удельное сопротивление материала обмотки для данного класса нагревостойкости В изоляции расчётная температура $115^{\circ}C$, для алюминиевого сплава АК10 [1, с.111, табл.4-11, с.55, табл.2-2];

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

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

$$r_k = \rho_{115} \cdot \frac{\pi \cdot D_{кл.сп}}{Z_2 \cdot q_{кл}} = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{\pi \cdot 253 \cdot 10^{-3}}{82 \cdot 5,2 \cdot 10^{-4}} = 9,0887 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \quad (1.89)$$

1.7.10 Активное сопротивление фазы обмотки ротора

$$r_2 = r_c + \frac{2 \cdot r_k}{\Delta^2} = 118 \cdot 10^{-6} + \frac{2 \cdot 9,0887 \cdot 10^{-7}}{(0,2294)^2} = 156 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \quad (1.90)$$

1.7.11 Приводим r_2 к числу витков обмотки статора

$$r_2' = r_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (W_1 \cdot \kappa_{об1})^2}{Z_2} = 156 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (56 \cdot 0,925)^2}{82} = 6,12 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \quad (1.91)$$

1.7.12 Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки ротора

$$r_2^{*'} = r_2' \cdot \frac{I_{1н}}{U_{1н}} = 6,12 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{101,775}{220} = 0,02833 \quad (1.92)$$

1.7.13 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора [1, с.403, рис.9.50Г]

$$\lambda_{n1} = \frac{h_3}{3 \cdot b} + \left(\frac{3 \cdot h_1}{b + 2 \cdot b_u} + \frac{h_w}{b_w} \right) = \frac{283 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 0,01} + \left(\frac{3 \cdot 283 \cdot 10^{-3}}{0,01 + 2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} + \frac{5 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} \right) = 2,32 \quad (1.93)$$

где k_β и k_β' – коэффициенты учитывающие укорочение шага обмотки [1, с.403];

$$k_\beta' = 0,25 \cdot (1 + 3 \cdot \beta) = 1 \quad k_\beta = 0,25 \cdot (1 + 3 \cdot k_\beta') = 1 \quad (1.94)$$

1.7.14 Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки статора

$$\begin{aligned} \lambda_{n1} &= 0,34 \cdot \frac{q}{\ell_\delta} \cdot (\ell_{n1} - 0,64 \cdot \beta_1 \cdot \tau) = \\ &= 0,34 \cdot \frac{4}{252 \cdot 10^{-3}} \cdot (268 \cdot 10^{-3} - 0,64 \cdot 1 \cdot 146,6 \cdot 10^{-3}) = 0,939 \end{aligned} \quad (1.95)$$

1.7.15 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора по (6-170)

$$\lambda_{o1} = \frac{t_1}{12 \cdot \delta \cdot k_\delta} \cdot \xi = \frac{12,2 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 6 \cdot 10^{-4} \cdot 1,3759} \cdot 0,546 = 0,6733 \quad (1.96)$$

где ξ – коэффициент по (6-171)

$$\begin{aligned}\xi &= 2 \cdot \kappa'_{ck} \cdot k_{\beta} - k_{o1}^2 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 \cdot (\beta_{ck}^2 + 1) = \\ &= 2 \cdot 0,6 \cdot 1 - 0,925^2 \cdot \left(\frac{10,7 \cdot 10^{-3}}{12,2 \cdot 10^{-3}}\right)^2 \cdot (0^2 + 1) = 0,546\end{aligned}\quad (1.97)$$

где $\kappa'_{ck}=0,6$ при $t_1/t_2=0,9282$

Суммарный коэффициент магнитной проводимости статора

$$\Sigma \lambda_1 = \lambda_{n1} + \lambda_{r1} + \lambda_{o1} = 0,939 + 2,318 + 0,6733 = 3,9307 \quad (1.98)$$

1.7.16 Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора

$$\begin{aligned}x_1 &= 15,8 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{W_1}{100}\right)^2 \cdot \frac{\ell_{\delta}}{p \cdot q} \cdot (\lambda_{n1} + \lambda_{r1} + \lambda_{o1}) = \\ &= 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{56}{100}\right)^2 \cdot \frac{252 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 4} \cdot (3,9307) = 0,202(O_M)\end{aligned}\quad (1.99)$$

1.7.17 Относительное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки статора

$$x_1^* = x_1 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 0,205 \cdot \frac{101,775}{220} = 0,095 \quad (1.100)$$

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

1.7.18 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки ротора [1, с.408, рис.9.52]

$$\begin{aligned}\lambda_{n2} &= \left[\frac{h_0}{3 \cdot b_{12}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b_{12}^2}{8 \cdot q_c}\right)^2 + 0,66 - \frac{b_{u'2}}{2 \cdot b_{12}} \right] \cdot k_D + \frac{h_{u2}}{b_{u'2}} \\ &= \left(\frac{17,3 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 5,9 \cdot 10^{-3}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot 5,9 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 1,014 \cdot 10^{-4}}\right)^2 + 0,66 - \frac{10^{-3}}{2 \cdot 5,9 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 1 + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{10^{-3}} = 1,81\end{aligned}\quad (1.101)$$

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

$$\begin{aligned}\lambda_{r2} &= \frac{2,3 \cdot D_{\kappa}}{Z_2 \cdot \ell_{\delta} \cdot \Delta^2} \cdot \lg \frac{4,7 \cdot D_{\kappa}}{2 \cdot a_{\kappa} + b_{\kappa}} = \\ &= \frac{2,3 \cdot 0,2529}{82 \cdot 0,252 \cdot 0,2294^2} \cdot \lg \frac{4,7 \cdot 0,2529}{2 \cdot 0,0201 + 0,0259} = 0,67\end{aligned}\quad (1.102)$$

1.7.20 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки ротора

$$\lambda_{\sigma 2} = \frac{t_2}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi = \frac{10,7 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 6 \cdot 10^{-4} \cdot 1,3759} \cdot 0,9225 = 0,9947 \quad (1.103)$$

где ξ – коэффициент

$$\xi = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot p}{Z_2} \right)^2 - \frac{\Delta_Z}{1 - (p/Z_2)^2} = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 6}{82} \right)^2 - \frac{0,08}{1 - (3/82)^2} = 0,92 \quad (1.104)$$

при закрытых пазах $\Delta_Z \approx 0,08$

1.7.21 Коэффициент магнитной проводимости скоса ротора

$$\lambda_{\text{ск}2} = \frac{t_2 \cdot (\beta_{\text{ск}})^2}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot k_{\mu}} = \frac{10,7 \cdot 10^{-3} \cdot (0)^2}{12 \cdot 6 \cdot 10^{-4} \cdot 1,37 \cdot 1,3676} = 0 \quad (1.105)$$

Суммарный коэффициент магнитной проводимости обмотки ротора

$$\Sigma \lambda_2 = \lambda_{n2} + \lambda_{л2} + \lambda_{\sigma 2} + \lambda_{\text{ск}2} = 1,8105 + 0,9947 + 0,6707 + 0 = 3,476 \quad (1.106)$$

1.7.22 Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора

$$x_2 = 7,9 \cdot f_1 \cdot \ell_{\delta} \cdot 10^{-6} \cdot (\lambda_{л2} + \lambda_{л2} + \lambda_{л2}) = \\ 7,9 \cdot 50 \cdot 0,252 \cdot 10^{-6} \cdot (3,476) = 580 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \quad (1.107)$$

1.7.23 Приводим x_2 к числу витков обмотки статора

$$x_2' = x_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (W_1 \cdot \kappa_{\text{об}1})^2}{Z_2} = 580 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (56 \cdot 0,925)^2}{82} = 0,228 \text{ Ом} \quad (1.108)$$

1.7.24 Относительное значение x_2

$$x_2^* = x_2' \cdot \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 0,228 \cdot \frac{101,775}{220} = 0,105 \quad (1.109)$$

Перевод относительных 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.

1.8. 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 “теряется” при электромеханическом преобразовании энергии.

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

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

1.8.1 Масса стали зубцов статора

$$\begin{aligned} m_{z1} &= h_{z1} \cdot b_{z1} \cdot Z_1 \cdot \ell_{cm1} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = \\ &= 35,8 \cdot 10^{-3} \cdot 5,3 \cdot 10^{-3} \cdot 82 \cdot 252 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95 \cdot 7800 = 26 \text{ кг} \end{aligned} \quad (1.110)$$

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

1.8.2 Масса стали ярма статора

$$\begin{aligned} m_a &= \pi \cdot (D_a - h_a) \cdot h_a \cdot \ell_{cm1} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = \\ &= \pi \cdot (0,28 - 24,2) \cdot 10^{-3} \cdot 24,2 \cdot 10^{-3} \cdot 252,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95 \cdot 7800 = 53,37 \text{ кг} \end{aligned} \quad (1.111)$$

1.8.3 Основные потери в стали

$$\begin{aligned} P_{ст.осн} &= p_{\%0} \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^\beta \cdot (\kappa_{Da} \cdot B_a^2 \cdot m_a + \kappa_{Dz} \cdot B_z^2 \cdot m_{z1}) = \\ &= 2,5 \cdot \left(\frac{50}{50} \right)^{1,5} \cdot (1,6^2 \cdot 53,37 \cdot 1,6 + 1,8 \cdot 1,9^2 \cdot 26) = 964,084 \text{ Вт} \end{aligned} \quad (1.112)$$

где удельные потери в стали для стали 2013 $p_{\%0} = 2,5 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$ [1, с.412, табл.9.28];

где показатель степени для стали 2013 $\beta = 1,5$ [1, с.412, табл.9.28];

коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов $\kappa_{да}=1,6$ и $\kappa_{дз}=1,8$ [1, с.412].

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

1.8.4 Амплитуда пульсации индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot \kappa_{\delta} \cdot B_{\delta} = 0,21 \cdot 1,3759 \cdot 0,7875 = 0,228 \text{ Тл} \quad (1.113)$$

где коэффициент, зависящий от отношения ширины шлица пазов статора к воздушному зазору при $\beta_{02}=0,21$

[1, с.413, рис.9.53];

1.8.5 Удельные поверхностные потери

$$\begin{aligned} P_{пов2} &= 0,5 \cdot \kappa_{02} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{10000} \right)^2 \cdot (B_{02} \cdot t_1 \cdot 10^3)^2 = \\ &= 0,5 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{82 \cdot 500}{10000} \right)^2 \cdot (0,0122 \cdot 10^3)^2 = 119,4365 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \end{aligned} \quad (1.114)$$

1.8.6 Полные поверхностные потери ротора

$$\begin{aligned} P_{пов2} &= P_{пов2} \cdot (t_2 - b_{ц2}) \cdot Z_2 \cdot \ell_{см2} = \\ &= 119,4365 \cdot (10,7 - 1) \cdot 10^{-3} \cdot 82 \cdot 0,252 = 23,9244 \text{ Вт} \end{aligned} \quad (1.115)$$

1.8.7 Масса зубцов стали ротора

$$\begin{aligned} m_{z2} &= h_{z2} \cdot b_{z2} \cdot Z_2 \cdot \ell_{см2} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = \\ &= 20,2 \cdot 10^{-3} \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 82 \cdot 252 \cdot 10^{-3} \cdot 0,95 \cdot 7800 = 14,079 \text{ кг} \end{aligned} \quad (1.116)$$

1.8.8 Амплитуда пульсаций индукции в среднем сечении зубцов ротора

$$B_{пуль2} = \frac{\gamma_1 \cdot \delta}{2 \cdot t_2} \cdot B_{z2} = \frac{5,2083 \cdot 6 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0,0107} \cdot 1,95 = 0,285 \text{ Тл} \quad (1.117)$$

1.8.9 Пульсационные потери в зубцах ротора

$$\begin{aligned}
 P_{\text{пуль}2} &= 0,11 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{\text{пуль}2} \right)^2 \cdot m_{z2} = \\
 &= 0,11 \cdot \left(\frac{82 \cdot 1000}{1000} \cdot 0,285 \right)^2 \cdot 14,079 = 653,241 \text{ Вт}
 \end{aligned}
 \tag{1.118}$$

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. Поэтому расчёт этих потерь в статоре двигателя не производится.

1.8.10 Сумма добавочных потерь

$$P_{\text{ст.доб}} = P_{\text{пов}2} + P_{\text{пуль}2} = 23,9244 + 653,241 = 677,165 \text{ Вт} \tag{1.119}$$

1.8.11 Полные потери в стали

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{ст.осн}} + P_{\text{ст.доб}} = 964,0841 + 677,165 = 1641,2491 \text{ Вт} \tag{1.120}$$

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

$$P_{\text{мех}} = K_T \cdot \left(\frac{n}{10} \right)^2 \cdot D_a^4 = 0,78 \cdot \left(\frac{1000}{10} \right)^2 \cdot 0,4^4 = 199,68 \text{ Вт} \tag{1.121}$$

где коэффициент

$$K_T = 1,3 \cdot (1 - D_a) = 1,3 \cdot (1 - 0,4) = 0,78 \tag{1.122}$$

1.8.13 Добавочные потери при номинальном режиме

Добавочные потери возникают за счёт действия потоков рассеяния, пульсаций индукции в воздушном зазоре, ступенчатости кривых распределения МДС обмоток статора и ротора. В короткозамкнутых роторах, кроме того, возникают потери от поперечных токов, то есть токов между стержнями, замыкающихся через листы сердечника ротора. ГОСТ устанавливает средние расчётные добавочные потери при номинальной нагрузке, равные 0,5 % номинальной мощности.

$$P_{\text{доб}} = 0,005 \cdot \frac{P_2}{\eta} = 0,005 \cdot \frac{55 \cdot 10^3}{0,92} = 299 \text{ Вт} \tag{1.123}$$

1.8.14 Электрические потери при холостом ходе в обмотке статора [1, с.209]

$$P_{\text{эл},x} = m \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1 = 3 \cdot (30,32)^2 \cdot 0,0589 = 162,4707 \text{ Вт} \quad (1.124)$$

1.8.15 Активная составляющая тока холостого хода [1, с.209]

$$I_{x,x,a} = \frac{P_{\text{см}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{эл},x}}{m \cdot U_{1H}} = \frac{1641,2491 + 199,68 + 162,4707}{3 \cdot 220} = 3,0355 \text{ А} \quad (1.125)$$

1.8.16 Ток холостого хода двигателя [1, с.209]

$$I_{x,x} = \sqrt{I_{x,x,a}^2 + I_{\mu}^2} = \sqrt{(3,0355)^2 + (30,3216)^2} = 30,4731 \text{ А} \quad (1.126)$$

1.8.17 Коэффициент мощности при холостом ходе [1, с.209]

$$\cos \phi_{x,x} = \frac{I_{x,x,a}}{I_{x,x}} = \frac{3,0355}{30,4731} = 0,1 \quad (1.127)$$

1.9 Расчёт рабочих характеристик

Рабочими характеристиками асинхронного двигателя называют зависимости $P_1, I_1, \cos \phi, \eta, s = f(P_2)$. Методы расчёта характеристик базируются на системе уравнений токов и напряжений асинхронной машины, которой соответствует Г-образная схема замещения (рис. 1.4). Активные и индуктивные сопротивления схемы замещения являются параметрами машины.

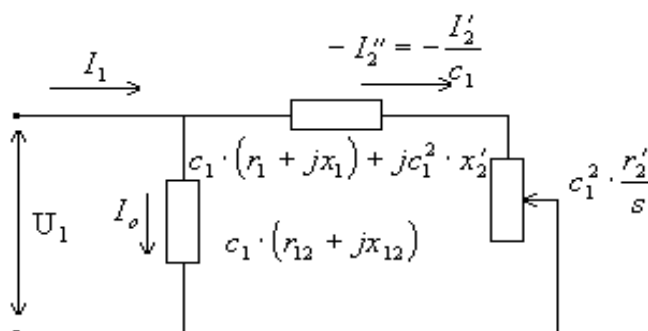


Рис 1.5. Преобразованная Г-образная схема замещения приведённой асинхронной машины.

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

1.9.1 Расчётное сопротивление r_{12} [1, с.205]

$$r_{12} = \frac{P_{cm.очн}}{m \cdot I_{\mu}^2} = \frac{964,0841}{3 \cdot (30,3216)^2} = 0,3495 \text{ Ом} \quad (1.128)$$

1.9.2 Сопротивление взаимной индукции обмоток статора и ротора [1, с.205]

$$x_{12} = \frac{U_{1H}}{I_{\mu}} - x_1 = \frac{220}{30,3216} - 0,2048 = 7,0508 \text{ Ом} \quad (1.129)$$

1.9.3 Коэффициент c_1 [1, с.210]

$$c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_{12}} = 1 + \frac{0,1558}{3,4605} = 1,0454 \quad (1.130)$$

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 $s=(0.005 \div 0.05)$.

Номинальное скольжение предварительно принимаем равным $s_H=r_2^*=0.0371$. Для построения характеристик достаточно рассчитать значения требуемых величин для пяти-шести различных скольжений, выбранных в указанном диапазоне примерно через равные интервалы.

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

$$I_{oa} = \frac{P_{cm.очн} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3 \cdot U_1} = \frac{964,0841 + 3 \cdot 30,3216 \cdot 0,0589}{3 \cdot 220} = 1,707 \text{ А} \quad (1.131)$$

$$I_{op} = I_{\mu} = 30,3216 \text{ А}$$

$$I_o = \sqrt{I_{oa}^2 + I_{op}^2} = \sqrt{(1,707)^2 + (30,3216)^2} = 30,3696 \text{ A} \quad (1.132)$$

1.9.5 Постоянные коэффициенты [1, с.211 6.224]

$$a^1 = c_1^2 = 1,0596$$

$$b^1 = 0,0142$$

$$a = c_1 \cdot r_1 = 0,056$$

$$b = c_1(x_1 + c_1 \cdot x_2^1) = 0,4525$$

Таблица 1.1 – Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Расчётные формулы	Размерность	Скольжение s							
		0.001	0.005	0.010	0.012	0.017	0.020	0,0284	0.037
$a' \cdot r'_2 / s'$	Ом	64,7	12,9	6,5	5,4	3,8	3,2	2,3	1,7
$R = a + a' \cdot r'_2 / s$	Ом	64,7	12,9	6,5	5,5	3,9	3,3	2,4	1,8
$X = b + b' \cdot r'_2 / s$	Ом	1,2	0,6	0,53	0,52	0,5	0,49	0,48	0,47
$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ом	64,7	13	6,5	5,5	3,9	3,3	2,4	1,9
$I_2 = U_{\text{ном}} / Z$	А	3,4	16,9	33,6	40,2	56,5	66,1	92,3	117,9
$\cos \varphi'_2 = R / Z$	-	0,999	0,998	0,996	0,995	0,992	0,989	0,979	0,966
$I_{1a} = I_{0a} + I'_2 \cdot \cos \varphi'_2$	А	5,07	18,57	35,17	41,7	57,7	67,1	92,07	115,6
$I_{1p} = I_{0p} + I'_2 \cdot \sin \varphi'_2$	А	28,2	28,9	30,8	31,2	35	,4	46,8	58,2
$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$	А	28,6	34,3	46,8	52,5	67,7	77	103,3	129,5
$I'_2 = c_1 \cdot I'_2$	А	3,5	17,4	34,5	41,3	58,1	67,9	94,9	121,2
$P_1 = 3 \cdot U_1 \cdot I_{1a} \cdot 10^{-3}$	Вт	3345	12255	23211	27523	38087	44259	60767	76328
$P_{\varphi 1} = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_1 \cdot 10^{-3}$	кВт	144,6	208,4	386,6	487,4	809,6	1048,8	1885,1	2961,9
$P_{\varphi 2} = 3 \cdot I_2^2 \cdot r'_2 \cdot 10^{-3}$	Вт	2,2	55,5	219,2	313,8	619,6	848,4	1653,7	2696,6
$P_{\text{доб}} = P_{\text{доб.н}} \cdot (I_1 / I_{1h})^2 \cdot 10^{-3}$	Вт	23,6	34	63,1	79,6	132,2	171,3	307,8	483,7
$\sum P = (P_{\text{см}} + P_{\text{мех}} + P_{\varphi 1} + P_{\varphi 2} + P_{\text{доб}}) \cdot 10^{-3}$	кВт	2072,7	2200,1	2571,1	2782,9	3463,6	3970,7	5748,6	8044,4
$P_2 = (P_1 - \sum P) \cdot 10^{-3}$	кВт	1270	10100	20600	24700	34600	40300	55000	68300
$\eta = 1 - \sum P / P_1$	-	0,38	0,82	0,889	0,898	0,909	0,91	0,905	0,895
$\cos \varphi = I_{1a} / I_1$	-	0,177	0,54	0,752	0,794	0,853	0,871	0,89	0,893

Жирным шрифтом выделены значения для номинального режима

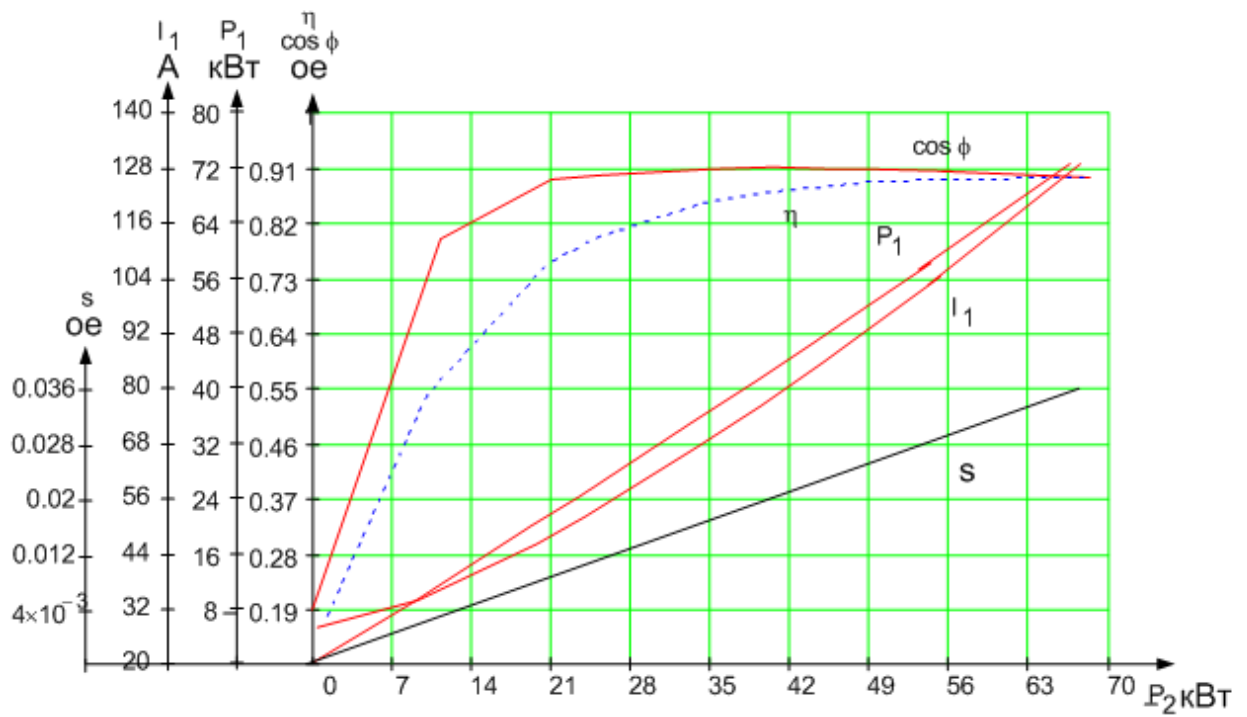


Рис 1.6. Рабочие характеристики проектируемого двигателя.

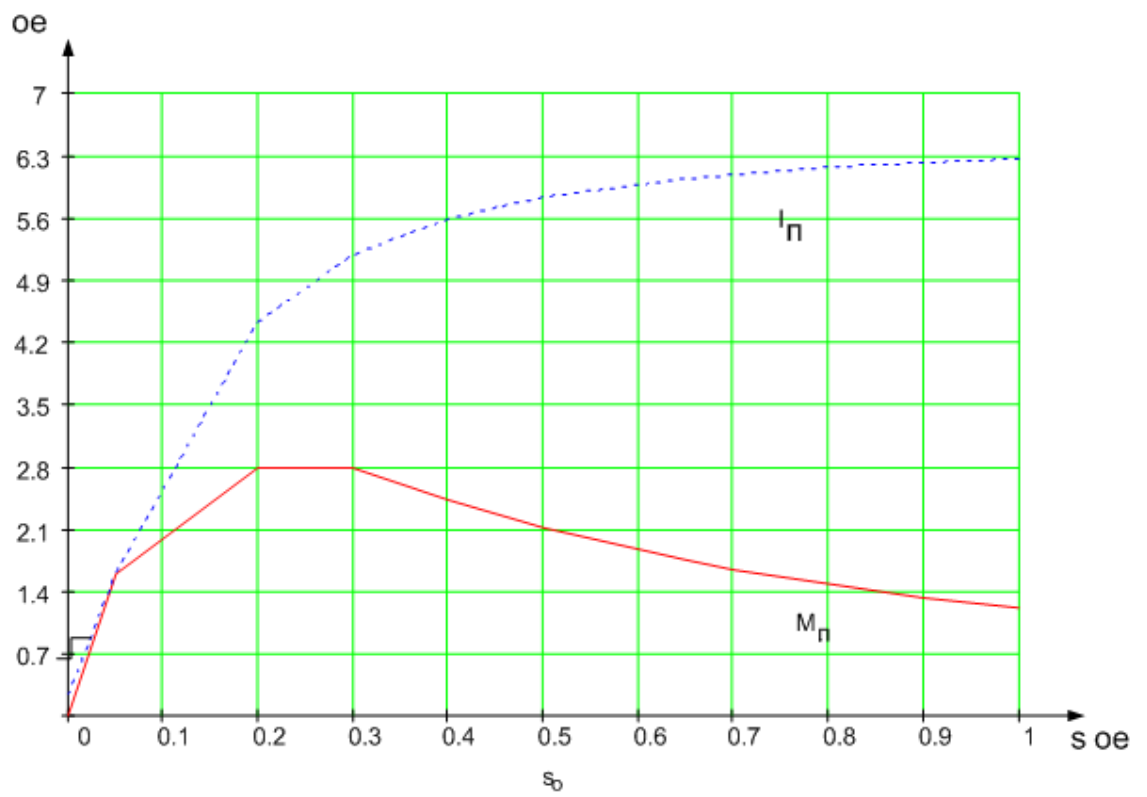


Рис 1.7. Пусковые характеристики проектируемого двигателя.

1.10 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.

1.10.1 Активное сопротивление обмотки ротора с учётом влияния эффекта

вытеснения тока ($v_{расч}=75^{\circ}C$; $\rho_{75Al} = \frac{10^{-6}}{12,7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$) [1 с.215]

$$h_c = h_{n2} - h_{u2} = 0,0207 - 0,0005 = 0,0202 \text{ , мм}; \quad (1.132)$$

При литой алюминиевой обмотке ротора и при расчётной температуре $q=75^{\circ}C$ приведённая высота стержня подсчитывается по ф-ле(6-234):

$$\xi_0 = 65,15 \cdot h_c \cdot \sqrt{s_0} = 65,15 \cdot 0,0202 \cdot \sqrt{1} = 1,3151; \quad (1.133)$$

по [1, с.216, рис. 6.46] для $\xi = 1,31$ $\varphi = 0,21$;

по [1, с.217, рис. 6.47] для $\xi = 1,31$ $\varphi' = 0,87$;

глубина проникновения тока [1, с.216]

$$h_r = \frac{h_c}{1+\varphi} = \frac{0,0202}{1+0,21} = 0,0167 \text{ , м}, \quad (1.134)$$

площадь сечения q_r [1, с.217]:

$$q_r = \frac{\pi \cdot b_{21}^2}{8} + \frac{b_{21} + b_r}{2} \cdot \left(h_r - \frac{b_{21}}{2} \right)$$

$$q_r = \frac{\pi \cdot 5,9 \cdot 10^{-6}}{8} + \frac{5,9 \cdot 10^{-3} + 4,9 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \left(16,7 - \frac{5,9}{2} \right) \cdot 10^{-3} = 8,739 \cdot 10^{-5} \text{ , м}^2,$$

(1.135)

где [1, с.217]

$$b_r = b_{21} - \frac{b_{21} - b_{22}}{h_{21}} \cdot \left(h_r - \frac{b_{21}}{2} \right)$$

$$b_r = \left(5,9 - \frac{5,9 - 4,7}{15,4} \cdot \left(16,7 - \frac{5,9}{2} \right) \right) \cdot 10^{-3} = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.136)$$

коэффициент k_r по [1, с.216]:

$$k_r = \frac{q_c}{q_r} = \frac{1,014 \cdot 10^{-4}}{8,739 \cdot 10^{-5}} = 1,1603. \quad (1.138)$$

Коэффициент общего увеличения сопротивления фазы ротора под влиянием эффекта вытеснения тока [1, с.217]:

$$K_R = 1 + \frac{r_c}{r_2} (k_r - 1) = 1 + \frac{1,2139 \cdot 10^{-4}}{1,5596 \cdot 10^{-4}} \cdot (1,1603 - 1) = 1,1248 \quad (1.139)$$

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

$$r'_{2\xi} = K_R \cdot r'_2 = 1,1248 \cdot 0,00018 = 0,0689 \text{ Ом}. \quad (1.140)$$

1.10.2 Коэффициент изменения индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора от действия эффекта вытеснения тока [1, с.218]:

$$K_x = \frac{\lambda_{n2\xi} + \lambda_{n2} + \lambda_{o2}}{\Sigma \lambda_2} = \frac{1,5686 + 0,6713 + 1,1064}{1,8094 + 0,6713 + 1,1064} = 0,9329, \quad (1.141)$$

коэффициент изменения индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора от действия эффекта вытеснения тока найдем по ф-ле, [1, с.204, табл.6.25]:

$$\lambda_{n2\xi} = \left(\left(\frac{h_0}{3 \cdot b_{21}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b_{21}^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0,66 - \frac{b_{u2}}{2 \cdot b_{21}} \right) \cdot \frac{h_{u2}}{b_{u2}} \right) \cdot \varphi' + \frac{h_{u2}}{b_{u2}} =, \quad (1.142)$$

$$= \left(\left(\frac{15,4}{6,1 \cdot 3} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot 6,1^2}{8 \cdot 0,0001} \right) + 0,66 - \frac{0,001}{2 \cdot 6,1} \right) \cdot 0,9 + \frac{0,0005}{1,5} \right) \cdot 10^{-3} \cdot 0,87 + \left(\frac{0,5}{0,001} \right) \cdot 10^{-3} = 1,5686.$$

1.10.3 Индуктивное сопротивление обмотки ротора с учетом влияния эффекта вытеснения тока:

$$x'_{2\xi} = x'_2 \cdot K_x = 0,2277 \cdot 0,9329 = 0,2125. \quad (1.143)$$

1.10.5 Расчёт тока с учётом влияния эффекта вытеснения тока [1, с.222]

$$R_n = r_1 + \frac{r'_{2\xi}}{s} = 0,0589 + \frac{0,0689}{1} = 0,1278 \text{ Ом}, \quad (1.144)$$

$$X_n = x_1 + x'_{2\xi} = 0,2086 + 0,2125 = 0,4241, \text{ Ом}. \quad (1.145)$$

Ток в обмотке ротора:

$$I'_2 = \frac{U_{ном1}}{\sqrt{R_n^2 + X_n^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,1278^2 + 0,4241^2}} = 496,7226, \text{ А}; \quad (1.146)$$

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

Подробный расчёт для $\mathbf{S=1}$.

1.10.6 Индуктивные сопротивления обмоток.

Принимаем [1, с.219]: $k_{нас}=1.35, 1.3, 1.25, 1.2, 1.15, 1.1, 1.05$.

Средняя МДС обмотки, отнесённая к одному пазу обмотки статора [1, с.219]:

$$F_{n,cp} = 0,7 \cdot \frac{I_{ln} \cdot k_{нас} \cdot u_{n1}}{a} \cdot \left(1 + k_{об1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \right)$$

$$F_{n,cp} = 0,7 \cdot \frac{1,25 \cdot 496 \cdot 14}{2} \cdot \left(1 + 0,925 \cdot \frac{72}{82} \right) = 5513,469 \text{ , A .} \quad (1.147)$$

Коэффициент C_N [1, с.219]

$$C_N = 0,64 + 2,5 \cdot \sqrt{\frac{\delta}{t_{z1} + t_{z2}}} = 0,64 + 2,5 \cdot \sqrt{\frac{5,3 \cdot 10^{-4}}{0,0122 + 0,0107}} = 1,0203 \text{ ,} \quad (1.148)$$

фиктивная индукция потока рассеяния в воздушном зазоре [1, с.219]:

$$B_{\Phi\delta} = \frac{F_{n,cp} \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot \delta \cdot C_N} = \frac{5513 \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 5,3 \cdot 10^{-4} \cdot 1,0203} = 6,3724 \text{ , Tл .} \quad (1.149)$$

По [1, с.219, рис.6.50] для $B_{\Phi\delta} = 6,3724 \text{ Tл}$ находим $\chi_\delta = 0,8$.

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора с учётом влияния насыщения [1, с.219]:

$$c_{\Phi 1} = (t_{z1} - b_{u1}) \cdot (1 - \chi_\delta) = (0,0122 - 0,004) \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0,8) = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ , м .} \quad (1.150)$$

Уменьшение коэффициента проводимости рассеяния паза статора [1, с.220, рис.6-51Г]:

$$\Delta\lambda_{n1нас} = \frac{h_{u1} + 0,58 \cdot h_k}{b_{u1}} \cdot \frac{c_{\Phi 1}}{c_{\Phi 1} + 1,5 \cdot b_{u1}}$$

$$\Delta\lambda_{n1нас} = \frac{0,005 + 0,58 \cdot 0,0025}{0,004} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-3}}{(1,6 + 1,5 \cdot 4) \cdot 10^{-3}} = 0,3469 \quad (1.151)$$

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза статора с учетом насыщения [1, с.220]:

$$\lambda_{n1нас} = \lambda_{n1} - \Delta\lambda_{n1нас} = 2,3184 - 0,3469 = 1,9714 \text{ .} \quad (1.152)$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния статора с учетом насыщения [1, с.220]:

$$\lambda_{\partial 1 \text{нас}} = \lambda_{\partial 1} \cdot \chi_{\delta} = 0,7477 \cdot 0,8 = 0,5981 \quad (1.153)$$

$$\Sigma \lambda_{1 \text{нас}} = \lambda_{n1 \text{нас}} + \lambda_{\partial 1 \text{нас}} + \lambda_{r1} = 1,209 + 2,17 + 0,703 = 4,087. \quad (1.154)$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора с учетом насыщения [1, с.220]:

$$x_{1 \text{нас}} = x_1 \cdot \frac{\Sigma \lambda_{1 \text{нас}}}{\Sigma \lambda_1} = 0,2086 \cdot \frac{3,5086}{4,0051} = 0,1828, \text{ Ом}. \quad (1.155)$$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки ротора с учетом насыщения и вытеснения тока [1, с.220]:

$$\Delta \lambda_{n2 \text{нас}} = \frac{h_{u2}}{b_{u2}} \cdot \frac{c_{\partial 2}}{c_{\partial 2} + b_{u2}} = \frac{0,0005}{0,001} \cdot \frac{0,0019}{0,001 + 0,0019} = 0,3298 \quad (1.156)$$

где $c_{\partial 2}$ [1, с.220]

$$c_{\partial 2} = (t_{z2} - b_{u2}) \cdot (1 - \chi_{\delta}) = (10,7 - 1) \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0,8) = 1,9 \cdot 10^{-3}, \text{ м}. \quad (1.157)$$

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза ротора с учетом насыщения [1, с.220]:

$$\lambda_{n2\xi \text{нас}} = \lambda_{n2\xi} - \Delta \lambda_{n2 \text{нас}} = 1,5686 - 0,3298 = 1,2388. \quad (1.158)$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния статора с учетом насыщения [1, с.220]:

$$\lambda_{\partial 2 \text{нас}} = \lambda_{\partial 2} \cdot \chi_{\delta} = 1,1064 \cdot 0,8 = 0,8851. \quad (1.159)$$

Приведенное индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора с учетом насыщения и вытеснения тока [1, с.220]:

$$x'_{2\xi \text{нас}} = x'_2 \cdot \frac{\Sigma \lambda_{2\xi \text{нас}}}{\Sigma \lambda_2} = 0,2277 \cdot \frac{2,7952}{3,587} = 0,1775, \text{ Ом}; \quad (1.160)$$

Коэффициент $c_{1п.нас}$ [1, с.222]:

$$c_{1п.нас} = 1 + \frac{x_{1 \text{нас}}}{x_{12п}} = 1 + \frac{0,2086}{10,7371} = 1,0194.$$

где $x_{12п}$ сопротивление взаимной индукции обмоток в пусковом режиме находится по ф-ле 6-266:

$$x_{12п} = x_{12} \frac{F_u}{F_{\delta}} = 7,6228 \cdot \frac{1309,65}{929,77} = 10,7371 \quad (1.161)$$

Расчет токов и моментов.

Сопровитления по [1, с.222]:

$$R_{n.нас} = r_1 + \frac{c_{1n.нас} \cdot I'_{2\xi}}{s} = 0,0589 + \frac{1,0194}{1} = 0,1291, \text{ Ом}; \quad (1.162)$$

$$X_{n.нас} = X_{1нас} + c_{1n.нас} \cdot x'_{2\xiнас} = 0,1828 + 1,0194 \cdot 0,1775 = 0,3637, \text{ Ом}. \quad (1.163)$$

Токи в обмотке ротора вычислим по ф-ле 6-269 [1, с.222]:

$$I'_{2n} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_{n.нас}^2 + X_{n.нас}^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,129^2 + 0,3637^2}} = 570,044, \text{ А}; \quad (1.164)$$

$$\begin{aligned} I_{1n} &= I'_{2n} \cdot \frac{\sqrt{R_{n.нас}^2 + (X_{n.нас} + x_{12n})^2}}{c_{1n.нас} \cdot x_{12n}} = \\ &= 570 \cdot \frac{\sqrt{0,129^2 + (0,36 + 10,73)^2}}{10,7 \cdot 1,019} = 578,1585, \text{ А}. \end{aligned} \quad (1.165)$$

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

$$I_{n*} = \frac{I_{нас}}{I_{ном}} = \frac{578,15}{92,3} = 6,26. \quad (1.166)$$

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

$$M'_n = \left(\frac{I'_{2n}}{I'_{2н}} \right)^2 \cdot K_R \frac{S_{ном}}{S} = \left(\frac{570}{92} \right)^2 \cdot 1,12 \cdot \frac{0,0284}{1} = 1,218. \quad (1.167)$$

1.10.7 Критическое скольжение [1, с. 223]:

$$S_{кр} = \frac{r'_2}{x'_{2\xiнас} + \frac{x_{1нас}}{c_{1n.нас}}} = \frac{0,06}{0,1775 + \frac{0,1828}{1,0194}} = 0,2 \quad (1.168)$$

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

Таблица 1.2 – Пусковые характеристики двигателя

Расчётные формулы	Размерность	Скольжение s						
		1	0,8	0,64	0,3	0,25	0,2	0,0001
$k_{нас}$	-	1,4	1,35	1,3	1,25	1,2	1,12	1,1
$F_{п.ср} = 0,7 \cdot \frac{I_1 \cdot k_{нас} \cdot U_{п.}}{a} \cdot \left(k'_{\beta} + k_{y1} \cdot K_{об1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \right)$	А	5513	5449	5360	4761	4521	4173	3,544
$B_{\phi\delta} = \frac{F_{п.ср} \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot \delta \cdot C_N}$	Тл	6,37	6,3	6,2	5,5	5,2	4,8	0,0041
$\lambda_{п1нас} = \lambda_{п1} - \Delta\lambda_{п1нас}$	-	1,97	2,05	2,32	2,51	2,7	3,1	3,3
$\lambda_{д1нас} = \lambda_{д1} \cdot k_{\delta}$	-	0,6	0,84	0,95	1,2	1,83	2,1	2,8
$x_{1нас} = x_1 \cdot \sum \lambda_{1нас} / \sum \lambda_1$	Ом	1,18	1,26	1,48	1,63	1,89	2,01	2,12
$\lambda_{п2нас} = \lambda_{п2\xi} - \Delta\lambda_{п2нас}$	-	1,24	1,67	1,89	2,15	2,39	2,68	3,05
$\lambda_{д2нас} = \lambda_{д2} \cdot k_{\delta}$	-	0,89	0,93	2,07	2,19	2,28	2,39	2,5
$x'_{2нас} = x'_2 \cdot \sum \lambda_{2нас} / \sum \lambda_2$	Ом	1,18	1,29	1,40	1,52	1,67	1,73	1,89
$R_{пнас} = r_1 + c_{п.нас} \cdot r'_{2\xi} / s$	Ом	0,129	0,146	0,168	0,293	0,339	0,41	702,3
$X_{пнас} = x_{1нас} + c_{п.нас} \cdot x'_{2нас}$	Ом	0,3637	0,452	0,536	1,202	1,31	1,45	2,4
$I'_{2нас} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{R_{пнас}^2 + X_{пнас}^2}}$	А	570	561	549	471	442	401	0,313
$I_{1нас} = \frac{I'_{2нас} \cdot \sqrt{R_{пнас}^2 + (X_{пнас} + x_{12п})^2}}{c_{п.нас} \cdot x_{12п}}$	А	578,2	569	556,6	478	448,5	407,4	20,1
$I_{п*} = I_1 / I_{ном}$	А	6,3	6,2	6	5,2	4,85	4,4	0,2
$M_{п*} = \left(\frac{I'_{2п.нас}}{I'_{2ном}} \right)^2 \cdot K_R \cdot \frac{s_{ном}}{s}$	-	1,2	1,5	1,8	2,8	2,92	3,02	0,004

По результатам расчётов строятся рабочие характеристики, которые представлены на рисунке 1.7.

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

1.1.1. 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 $k_p = 1.15$.

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

$$P'_{\text{эл.н.1}} = k_p \cdot P_{\text{эл}} \cdot \frac{2 \cdot l_{\delta}}{l_{\text{сп1}}} = 1,15 \cdot 1885,07 \cdot \frac{2 \cdot 0,2523}{1,04} = 1051,16 \text{ Вт} \quad (2.1)$$

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

$$\Delta V_{\text{пов1}} = K \cdot \frac{P'_{\text{эл.н.1}} + P_{\text{ст.осн}}}{\pi \cdot D \cdot l_{\delta} \cdot \alpha_1}, \quad (2.2)$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи с поверхности, зависит от D_a

$$\alpha_1 = 90 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

K – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину непосредственно в окружающую среду, зависит от $2p$, $K = 0,19$ тогда:

$$\Delta V_{\text{пов1}} = 0,19 \cdot \frac{1051,2 + 964,08}{3,14 \cdot 0,28 \cdot 0,2523 \cdot 110} = 15,68^\circ\text{C} \quad (2.3)$$

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

$$\Pi_1 = 2 \cdot h_{\text{н.к.}} + b_1 + b_2 = 2 \cdot 0,0358 + 5,8 \cdot 10^{-3} + 4,7 \cdot 10^{-3} = 0,0823 \text{ м} \quad (2.4)$$

2.2. Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора :

$$\Delta V_{\text{уз.н1}} = \frac{P'_{\text{эл.н.1}}}{Z_1 \cdot \Pi_1 \cdot l_{\delta}} \cdot \left(\frac{b_{\text{уз.н1}}}{\lambda_{\text{экс}}} + \frac{b_1 + b_2}{16 \cdot \lambda'_{\text{экс}}} \right), \quad (2.5)$$

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

$$\lambda_{\text{экв}} = 0,16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}), \quad (2.6)$$

$\lambda'_{\text{экв}}$ - среднее значение коэффициента теплопроводности внутренней изоляции катушки всыпной обмотки из эмалированных проводников, $\lambda'_{\text{экв}} = 1,3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, зависит от $d/d_{\text{из}} = 1,8 \cdot 10^{-3} / 1,896 \cdot 10^{-3} = 0,949$,

тогда:

$$\Delta v_{\text{из.л1}} = \frac{1051,2}{72 \cdot 0,0823 \cdot 0,2523} \cdot \left(\frac{0,25 \cdot 10^{-3}}{0,16} + \frac{(5,9 + 4,7) \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 1,3} \right) = 1,46^\circ \text{C} \quad (2.7)$$

2.3. Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей:

$$\Delta v_{\text{из.л1}} = \frac{P'_{\text{эл.л1}}}{2 \cdot Z_1 \cdot \Pi_1 \cdot l_\delta} \cdot \left(\frac{b_{\text{из.л1}}}{\lambda_{\text{экв}}} + \frac{h_{\text{н1}}}{12 \cdot \lambda'_{\text{экв}}} \right),$$

$$\Delta v_{\text{из.л1}} = \frac{1116,68}{2 \cdot 72 \cdot 0,0823 \cdot 0,268} \cdot \left(\frac{0,0358}{12 \cdot 1,3} \right) = 0,8075^\circ \text{C} \quad (2.8)$$

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

$$\Delta v_{\text{нов.л1}} = \frac{K \cdot P'_{\text{эл.л1}}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot l_{\text{обл}} \cdot \alpha_1} = \frac{0,19 \cdot 1116,68}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,28 \cdot 0,0927 \cdot 110} = 11,83^\circ \text{C} \quad (2.9)$$

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя:

$$\Delta v'_1 = \frac{(\Delta v_{\text{нов.л1}} + \Delta v_{\text{из.л1}}) \cdot 2 \cdot l_\delta + (\Delta v_{\text{из.л1}} + \Delta v_{\text{нов.л1}}) \cdot 2 \cdot l_\delta}{l_{\text{сп1}}} \quad (2.10)$$

$$\Delta v'_1 = \frac{(15,7 + 1,46) \cdot 2 \cdot 0,2523 + (1,46 + 15,7) \cdot 2 \cdot 0,2523}{1,04} = 14,82^\circ \text{C}$$

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

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

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

$$\sum P'_B = \sum P' - (1 - K) \cdot (P'_{\text{эл.л1}} + P_{\text{ст.очн}}) - 0,9 \cdot P_{\text{мех}}, \quad (2.12)$$

$$\sum P' = \sum P - (k_p - 1) \cdot (P_{s1} + P_{s2}) = 6280 - (1 - 0,19) \cdot (1051 + 964,1) = 4647,2165 \text{ Вт}, \quad (2.13)$$

тогда:

$$\sum P'_B = 6280 - (1 - 0,19) \cdot (1051 + 964,1) = 4647,2165 \text{ Вт}, \quad (2.14)$$

$s_{кор}$ - эквивалентная поверхность охлаждения корпуса [с.453, формула 9.327]:

$$s_{кор} = (\pi \cdot D_a + 8 \cdot \Pi_p) \cdot (l_\delta + 2 \cdot l_{был}) = (3,14 \cdot 0,4 + 8 \cdot 0,27) \cdot (0,2523 + 2 \cdot 0,0927) = 1,4954 \text{ м}^2$$

где Π_p - условный периметр поперечного сечения рёбер корпуса двигателя [с.453, рис. 9.70], $\Pi_p = 0,27 \text{ м}$, зависит от h ,

α_B - коэффициент подогрева воздуха, учитывающий теплоотдающую способность поверхности корпуса и интенсивность перемешивания воздуха внутри машины [с.450, рис. 9.67 а],

$$\alpha_B = 29 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot ^\circ\text{C}), \text{ зависит от } D_a, \quad (2.15)$$

тогда:

$$\Delta v_B = \frac{4647,2}{1,5 \cdot 29} = 107,2^\circ \text{ C} \quad (2.16)$$

2.6. Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды:

$$\Delta v_1 = \Delta v'_1 + \Delta v_B = 14,82 + 107,2 = 121,98^\circ \text{ C} \quad (2.17)$$

Температура обмотки не превышает допустимой 160° C для класса нагревостойкости Н, поэтому расчет сделан правильно. Запас более 20%.

1.2.1. 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.

3.1 Требуемый для охлаждения расход воздуха:

$$\theta_B = \frac{k_m \cdot \sum P'_B}{1100 \cdot \Delta v_B}, \quad (3.1)$$

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

$$k_m = m' \cdot \sqrt{\frac{n}{100} \cdot D_a} = 2,6 \cdot \sqrt{\frac{1000}{100} \cdot 0,4} = 5,2, \quad (3.2)$$

где $m' = 2,6$, для двигателей с $2 \cdot p = 4$ при $h = 225$ мм .

тогда:

$$\theta_B = \frac{5,2 \cdot 4647,2}{1100 \cdot 107,16} = 0,205 \text{ м}^3 / \text{с} \quad (3.3)$$

Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором:

$$\theta'_B = 0,6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n}{100} = 0,6 \cdot (0,4)^3 \cdot \frac{1000}{100} = 0,384 \text{ м}^3 / \text{с} \quad (3.4)$$

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

1.3.1. Механический расчет

Конструкция вала приведена на рисунке.

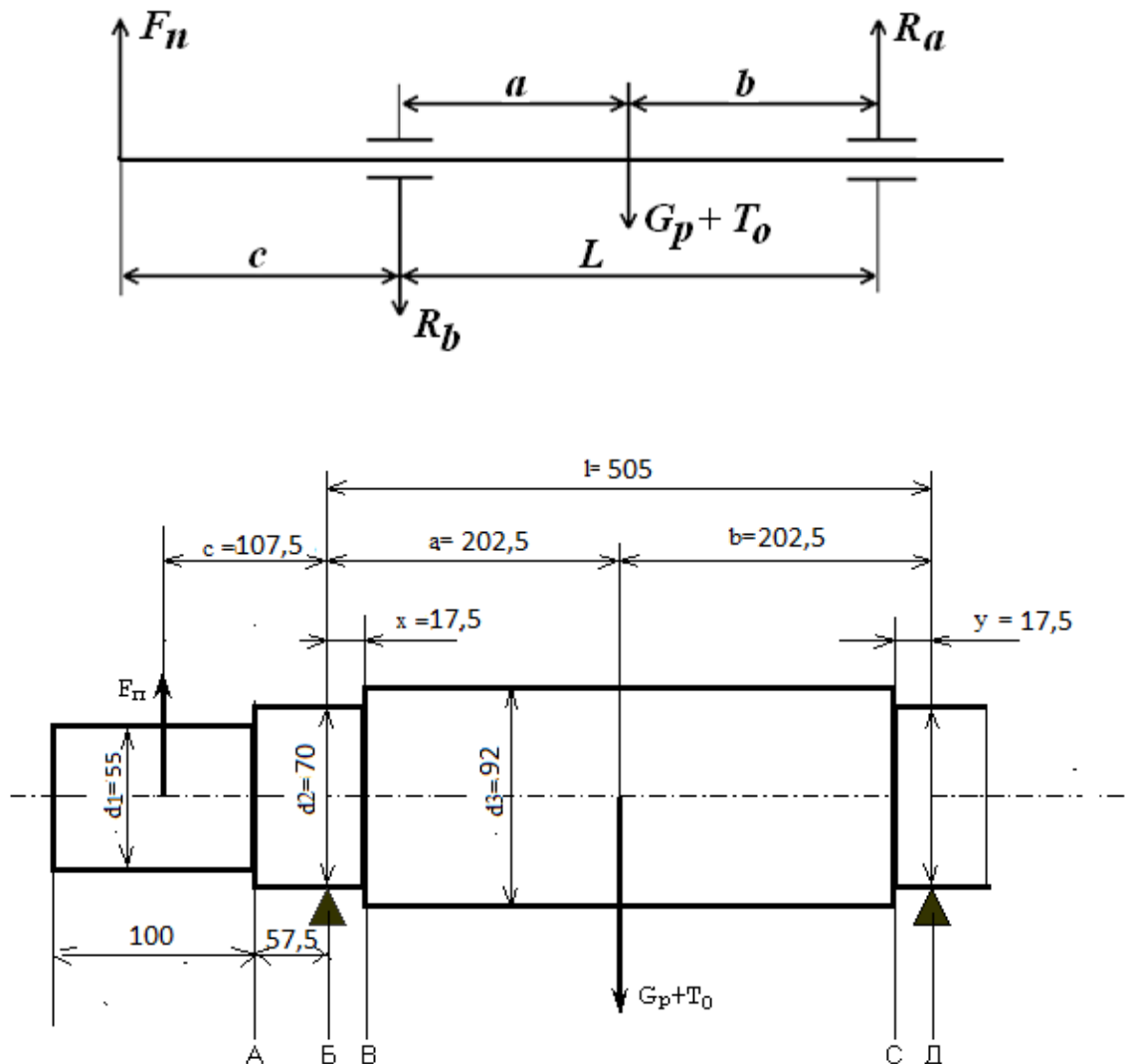


Рис. 1.8 Конструкция и основные размеры вала
для механического расчёта

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

$$d_1 = 55 \text{ мм}; l_1 = 100 \text{ мм}.$$

Диаметр вала под подшипник и диаметр вала за подшипником принимаем по таб. 4.1 [4]: $d_2 = 70 \text{ мм}; d_3 = D_j = 92 \text{ мм}.$

Выберем предварительно для вала подшипник радиальный однорядный с двухсторонним уплотнением (ГОСТ 8882-75) средней серии 63 13, который имеет следующие параметры: $d = 70 \text{ мм}; D = 150 \text{ мм}; B = 35 \text{ мм}; C = 80200 \text{ Н};$

Из предварительной компоновки вала имеем:
 $l=505 \text{ мм}; a=202,5 \text{ мм}; b=202,5 \text{ мм}; x=y=17,5 \text{ мм}; c=107,5 \text{ мм}.$

Модуль Юнга для стали равен: $E = 2,06 \cdot 10^{11} \text{ м}.$

1.3.1 Расчёт на жёсткость

4.1.1 Определим приближённое значение силы тяжести:

$$m_p = 6500 \cdot D_2^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0,1916^2 \cdot 0,119 = 29, \text{ кг} \quad (4.1)$$

4.1.2 Определим момент инерции участка вала:

$$J = \frac{\pi \cdot d_2^4}{64} = \frac{\pi \cdot (65 \cdot 10^{-3})^4}{64} = 8,76 \cdot 10^{-7}, \text{ м}^2. \quad (4.2)$$

4.1.3 Приближённое значение силы тяжести

$$G_p = 9,81 \cdot m_p = 9,81 \cdot 29 = 282, \text{ Н}. \quad (4.3)$$

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

Для асинхронного двигателя с $h = 225 \text{ мм}$ с достаточным приближением можно принять коэффициенты [2, с.248, табл.8.3]:

$$S_a = S_b = \frac{a^3 - x^3}{J} = \frac{0,229^3 - 0,0165^3}{8,76 \cdot 10^{-7}} = 1,37 \cdot 10^4, \text{ м}^{-1}; \quad (4.4)$$

$$S_0 = (a^2 - x^2) / J = (0,229^2 - 0,0165^2) / 8,76 \cdot 10^{-7} = 1,37 \cdot 10^4, \text{ м}^{-2}. \quad (4.5)$$

4.1.4 Прогиб вала под действием силы тяжести [2, с.245, ф.8.15]

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

$$= \frac{281}{3 \cdot 0,458^2 \cdot 2,06 \cdot 10^{11}} \cdot (0,229^2 \cdot 1,37 \cdot 10^4 + 0,229^2 \cdot 1,37 \cdot 10^4) = 3,12 \cdot 10^{-6}, \text{ м}, \quad (4.6)$$

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

4.1.5 Определим номинальный вращающий момент [2, с.246, ф.8.18]:

$$M_{ном} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9,55 \cdot \frac{37000}{3000} = 117,8 \text{ , } H \cdot м . \quad (4.7)$$

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

$$F_{II} = \frac{k_n}{r} \cdot M_{ном} = \frac{0,3}{60 \cdot 10^{-3}} \cdot 117,8 = 739 \text{ , } H , \quad (4.8)$$

где $k_n = 0,3$ коэффициент при передаче упругой кулачковой муфтой. Радиус упругой муфты $r = 60 \cdot 10^{-3}$.

4.1.7 Прогиб вала посередине сердечника ротора от реакции передачи [2, с.246, ф.8,19]

$$\begin{aligned} f_{II} &= \frac{F_{II} \cdot c}{3 \cdot E \cdot l^2} \cdot \left[(1,5 \cdot l \cdot S_0 - S_b) \cdot a + b \cdot S_a \right] = \\ &= \frac{739,2 \cdot 0,103}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 0,458^2} \cdot ((1,5 \cdot 0,458 \cdot 5,95 \cdot 10^4 - 1,37 \cdot 10^4) \cdot \\ &\quad \cdot 0,229 + 0,229 \cdot 1,37 \cdot 10^4) = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ , } м \end{aligned} \quad (4.9)$$

4.1.8 Начальный эксцентриситет ротора [2, с.247, ф.8.20]:

$$\begin{aligned} e_0 &= 0,1 \cdot \delta + f_G + f_{II} = \\ &= 0,1 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} + 5,5 \cdot 10^{-6} + 3,12 \cdot 10^{-6} = 5,28 \cdot 10^{-5} . \end{aligned} \quad (4.10)$$

4.1.9 Начальная сила одностороннего магнитного притяжения [2, с.247, ф.8.21]:

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

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

$$f_T = f_G \cdot \frac{T_0}{G_p} = 3,12 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{801}{281} = 8,88 \cdot 10^{-6} \text{ , } м . \quad (4.12)$$

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

$$f_M = \frac{f_T}{1 - f_T/e_0} = \frac{8,88 \cdot 10^{-6}}{1 - 0,167} = 1,06 \cdot 10^{-5} \text{ , } м . \quad (4.13)$$

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

$$f = f_T + f_{II} + f_M = (3,12 + 5,5 + 10,6) \cdot 10^{-6} = 1,92 \cdot 10^{-5}, \text{ м.} \quad (4.14)$$

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

$$x = \frac{f}{\delta} \cdot 100\% = \frac{1,9 \cdot 10^{-5}}{0,9 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 0,044 \%. \quad (4.15)$$

4.1.14 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

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

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

(4.16)

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

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

1.3.3 Расчёт вала на прочность

4.2.1 Изгибающий момент в сечении А:

$$M_{шк} = k \cdot F_{II} \cdot 0,0 = 2 \cdot 739 \cdot 0,0575 = 85, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.17)$$

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

4.2.2 Момент сопротивления при изгибе:

$$W_A = 0,1 \cdot d_2^3 = 0,1 \cdot 0,065^3 = 2,75 \cdot 10^{-5}, \text{ м}^3. \quad (4.18)$$

4.2.3 Напряжение изгиба:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{W_A} \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + (k \cdot M_{\text{ном}})^2} = \\ &= \frac{1}{2,75 \cdot 10^{-5}} \cdot \sqrt{85^2 + (2 \cdot 147,8)^2} = 1,12 \cdot 10^7, \text{ Па}, \end{aligned} \quad (4.19)$$

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

4.2.4 Изгибающий момент в сечении В

$$M_{\text{изг}} = k \cdot F_{\text{П}} \cdot c = 2 \cdot 739 \cdot 0,103 = 152, \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (4.20)$$

4.2.5 Момент сопротивления при изгибе:

$$W_B = 0,1 \cdot d_1^3 = 0,1 \cdot 0,055^3 = 1,7 \cdot 10^{-5}, \text{ м}^3. \quad (4.22)$$

4.2.6 Напряжение изгиба будет для сечения А.

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{W_B} \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + (k \cdot M_{\text{ном}})^2} = \\ &= \frac{1}{1,7 \cdot 10^{-5}} \cdot \sqrt{152,2^2 + (2 \cdot 147,8)^2} = 1,85 \cdot 10^7, \text{ Па} \end{aligned} \quad (4.26)$$

Нагруженными сечениями является сечение А и В для которого

$\sigma_{\text{прА}} = 1,85 \cdot 10^7 < 0,7 \cdot 36 \cdot 10^7$, $1,85 \cdot 10^7 < 25,2 \cdot 10^7$ 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

1.3.4 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: $G_P = 281 \text{ Н}$; $T_0 = 801,1 \text{ Н}$; $F_{\text{П}} = 739,2 \text{ Н}$.

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

$$R_a = F_H \cdot \frac{c}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{b}{l} =$$

$$= 739,2 \cdot \frac{0,103}{0,458} + (281,8 + 801,1) \cdot \frac{0,229}{0,458} = 707,7 \text{ , } H . \quad (4.27)$$

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

$$Q_A = k_H \cdot R_a = 1,5 \cdot 707,7 = 1061 \text{ , } H . \quad (4.28)$$

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

4.3.3 Необходимая динамическая грузоподъёмность шарикоподшипника [2, с.257, ф.8.38]:

$$C = \frac{Q_A}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_D \cdot n} = \frac{1061}{25,6} \cdot \sqrt[3]{15000 \cdot 3000} = 14750 \text{ , } H . \quad (4.29)$$

Наибольшая радиальная нагрузка на другой подшипник

$$R_b = F_H \cdot \frac{c+l}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{a}{l} =$$

$$= 477,7 \cdot \frac{0,103 + 0,458}{0,458} + (281,8 + 801,1) \cdot \frac{0,274}{0,458} = 1447 \text{ , } H$$

$$Q_B = k_H \cdot R_b = 1,5 \cdot 1446 = 2170,4 \text{ , } H$$

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

Выбираем шарикоподшипник серии 6313 с динамической грузоподъёмностью $C = 80200 \text{ } H$.

2. Специальная часть.

Повышение энергоэффективности электродвигателей является актуальной современной задачей. Одним из самых перспективных экономически оправданных направлений из всех энергосберегающих технологий является разработка и внедрение регулируемого привода на основе АД, предназначенных для привода промышленных вентиляторов, насосов и задвижек. Ёмкость рынка преобразователей частоты для России составляет, по оценкам экспертов десятки млн. штук, Сроки окупаемости при внедрении регулируемого асинхронного электропривода составляет менее одного года. Эффект будет более значительным в связи с тенденцией повышения цен на энергоносители. Но при использовании асинхронного регулируемого электропривода не стоит забывать об основной его части – асинхронном двигателе. АД является одним из основных источников потерь в электроприводе. При этом экономить энергию можно не только за счет регулирования частоты и напряжения питающей сети при изменении нагрузки, но и за счет снижения потерь в самом АД.

Для комплексной оценки энергоэффективности электродвигателей предлагается система показателей, которая представлена на рисунке 1.9.

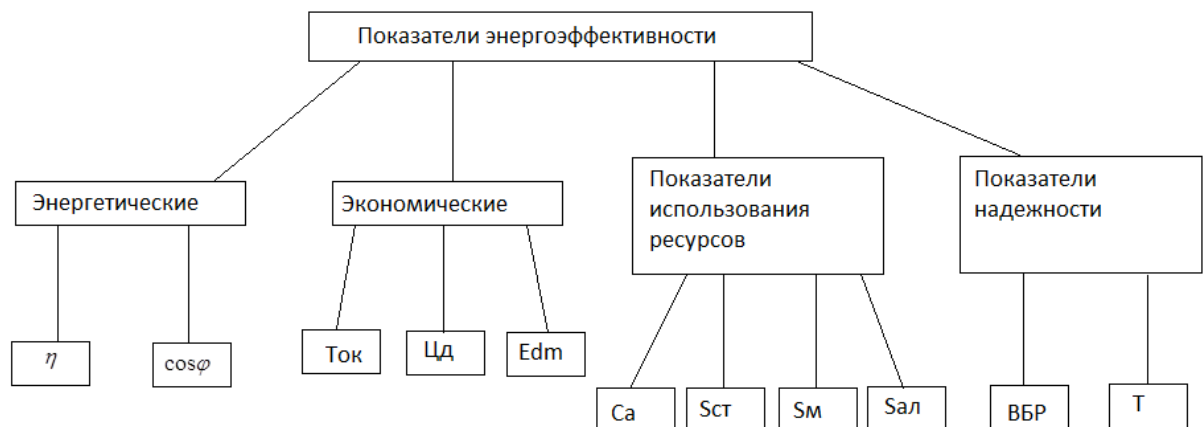


Рисунок 2.1 Система показателей энергоэффективности АД

В качестве экономических показателей эффективности представлены стоимость двигателя (Цд), срок окупаемости (Ток) и затраты на диагностику

и ремонт (Edm). В условиях рыночной экономики следует учитывать показатели использования ресурсов, такие, как годовые затраты и активные потери электроэнергии (Ca), удельный расход материалов: стали (Sct), меди (Sm) и алюминия (Sal). А также использованы показатели надежности: вероятность безотказной работы (ВБР) и ресурс (Т).

В последние десятилетия много стран в качестве критерия при проектировании АД используют КПД, максимум которого достигается в результате параметрической оптимизации. Но критерий КПД не может учесть много финансовых аспектов, таких как затраты на изготовление и эксплуатацию двигателя, коэффициент инфляции и другое. При проектировании серий АД используется критерий приведенных затрат (ПЗ). При разработке энергосберегающих АД проектным критерием является КПД и определение экономической эффективности основывается на расчетах экономии электроэнергии и стоимости компенсации реактивной энергии. Также может быть использован критерий ПЗ, если он модифицирован с учетом следующих обстоятельств: необходимо учитывать влияние на критерий инфляционных процессов, поскольку нормативные сроки окупаемости АД достаточно продолжительные (5-8 лет), за время службы двигателя энергетическая составляющая критерию ПЗ в несколько раз превышает составляющую, связанную с капитальными затратами, поэтому вопрос об оптимизации энергетической составляющей является особенно важным. Для того, чтобы использовать модифицированный критерий ПЗ, необходимо согласовать критерий ПЗ с критерием КПД, т.е. приблизить их экстремумы.

Для достижения желаемого эффекта, а именно повышения КПД и уменьшения пускового момента применяется способ снижения подводимого напряжения.

Снижение напряжения U_1 при пуске в ход асинхронного двигателя может быть достигнуто 2 способами:

- С помощью реакторов;
- С помощью автотрансформатора.

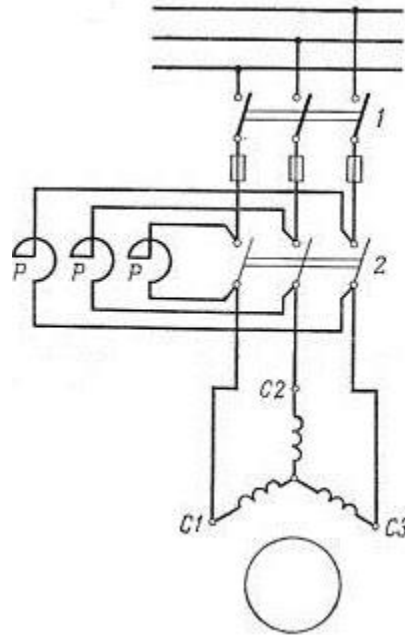


Рисунок 2.2 Запуск двигателя с помощью реактора.

Порядок запуска с помощью реактора следующий. При разомкнутом рубильнике 2 включают рубильник 1. Ток из сети поступает в обмотку статора через реакторы P, в которых происходит падение напряжения jI_1x_p (здесь x_p – индуктивное сопротивление реактора). В результате на выводы статорной обмотки двигателя подводится пониженное напряжение $U_1 = U_{1н} - jI_1x_p$. После того как ротор двигателя разгонится и пусковой ток спадет, включают рубильник 2, и двигатель оказывается под полным напряжением сети $U_{1н}$.

Недостаток этого способа пуска состоит в том, что уменьшение напряжения в n раз сопровождается уменьшением начального пускового момента M_p двигателя в $(\frac{U_1}{U_{1н}})^2$ раз. Необходимое сопротивление реактора определяется по формуле:

$$x_p = \frac{U_{1н}(1 - K_p)}{K_p \cdot I_p}$$

где $U_{1н}$ – номинальное (фазное) напряжение статорной обмотки;

$K_p = \frac{I_{п}}{I_n}$ – отношение пускового тока статора при пуске к пусковому току двигателя при пуске непосредственным включением в сеть; обычно $K_p = 0,65$.

Снижение напряжения при помощи автотрансформатора. При автотранспортном пуске вначале замыкают рубильник 1, соединяющий звездой обмотки автотрансформатора.

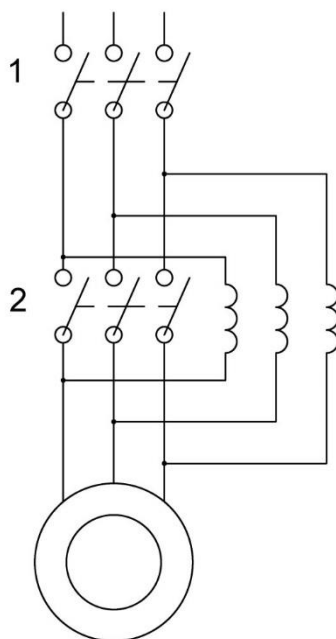


Рисунок 2.3 Запуск двигателя с помощью реактора

Затем замыкают рубильник 2, и двигатель оказывается включенным на пониженное напряжение $U'1$. При этом пусковой ток двигателя, измеренный на выходе автотрансформатора, уменьшается в K_a раз, где K_a – коэффициент трансформации автотрансформатора. Ток, измеренный на входе автотрансформатора, уменьшается в K_a^2 раз по сравнению с пусковым током при непосредственном включении двигателя в сеть. Дело в том, что в понижающем автотрансформаторе первичный ток в K_a раз меньше вторичного, а поэтому уменьшение пускового тока при автотрансформаторном пуске составляет $K_a \cdot K_a = (K_a)^2$ раз.

После того как ротор двигателя придет во вращение, рубильник 1 размыкают, и автотрансформатор превращается в реактивную катушку. При этом напряжение на выводах статорной обмотки несколько повышается.

Включением рубильника 3 на зажимы двигателя подается полное напряжение сети $U_{1н}$. Таким образом, автотрансформаторный пуск происходит тремя ступенями: на первой ступени к двигателю подводят напряжение, равное 50-70% от номинального; на второй ступени, где трансформатор служит реактором, напряжение составляет 70-80% от номинального. Так как применение автотрансформатора дает уменьшение пускового тока в $(Ka)^2$ раза

$$I_{п} = \frac{I_{п}}{Ka^2}$$

то мощность, на которую должен быть рассчитан пусковой автотрансформатор:

$$S_a = 3U_{1н} \cdot \frac{1}{Ka^2},$$

где $U_{1н}$ – номинальное (фазное) напряжение статорной обмотки;

$I_{п}$ - пусковой ток двигателя при пуске непосредственным включением в сеть.

Автотрансформаторный способ пуска, как и другие способы пуска асинхронных двигателей, основанные на уменьшении подводимого напряжения, сопровождается уменьшением пускового момента, так как величина последнего прямо пропорциональна квадрату напряжения. С точки зрения пусковых токов и пусковых моментов, автотрансформаторный способ пуска выгоднее реакторного, так как при одинаковом уменьшении напряжения пусковой ток при реакторном способе пуска уменьшается в $\frac{U_1}{U_{1н}}$ раз, а при автотрансформаторном способе пуска – в $(\frac{U_1}{U_{1н}})^2$ раз. Но сложность пусковой операции и высокая стоимость аппаратуры несколько ограничивают применение автотрансформаторного способа пуска асинхронных двигателей.

Тем не менее, в работе принимается способ понижения напряжения с помощью автотрансформатора как наиболее приемлемый для условий эксплуатации на предприятии-заказчике «Новайский горно-

металлургический комбинат». При этом для наглядности принимаются разные сечения проводов обмотки статора.

Двигатель запускается по 3-м ступеням.

За прототип принят асинхронный двигатель номинальной мощностью 55 кВт. Двигатель предназначен для эксплуатации на высоте над уровнем моря не более 1000 м в условиях умеренного климата (У).

Данные двигателя представлены в таблице 3

Таблица 3. Результаты расчета

U, В	50%U _н (110В)			75% U _н (165В)			100%U _н (220В)		
Диаметр провода изолированного, мм	1,585	1,685	1,785	1,585	1,685	1,785	1,585	1,685	1,785
Ток ротора , А	40,7	40,8	40,9	61,7	61,9	62	95,8	94,4	91,3
Ток статора , А	47,9	48,05	48	70,8	70,9	71	109,7	103	102
Эл.потери в статоре при х.х Вт	61,7	29	48,9	103	91	82,5	158	140	123
Ток х.х А	17,7	17,7	17,66	23	22,9	22,9	28,3	28,3	28,3
Коэффициент мощности х.х., Вт	0,131	0,13	0,128	0,115	0,114	0,113	0,11	0,109	0,109
Плотность тока в обмотке А*м ² *10 ⁶	9,6	7	7,6	6,37	5,62	5,07	4,8	4,2	3,73
КПД %	0,888	0,892	0,895	0,901	0,905	0,908	0,9	0,905	0,906
Коэффициент мощности %	0,851	0,852	0,854	0,875	0,876	0,877	0,88	0,89	0,89
M _п ое	1,2	1,19	1,1	1,19	1,085	1	1,2	1,2	1,19
I _п ое	6,32	6,1	5,4	6	5,7	5,3	6,23	6,3	6,1
I _п , А	286	292	298	412	415	417	574	578	581
M _п , Н*М	366	372	380	779	785	791	1487	1501	1510

*Жирным шрифтом выделены данные, полученные ранее при электромагнитном расчете.

Расчет сделан в системе MathCad. Все расчеты и формулы аналогичны формулам в электромагнитном расчете.

По результатам расчетов построены графики .

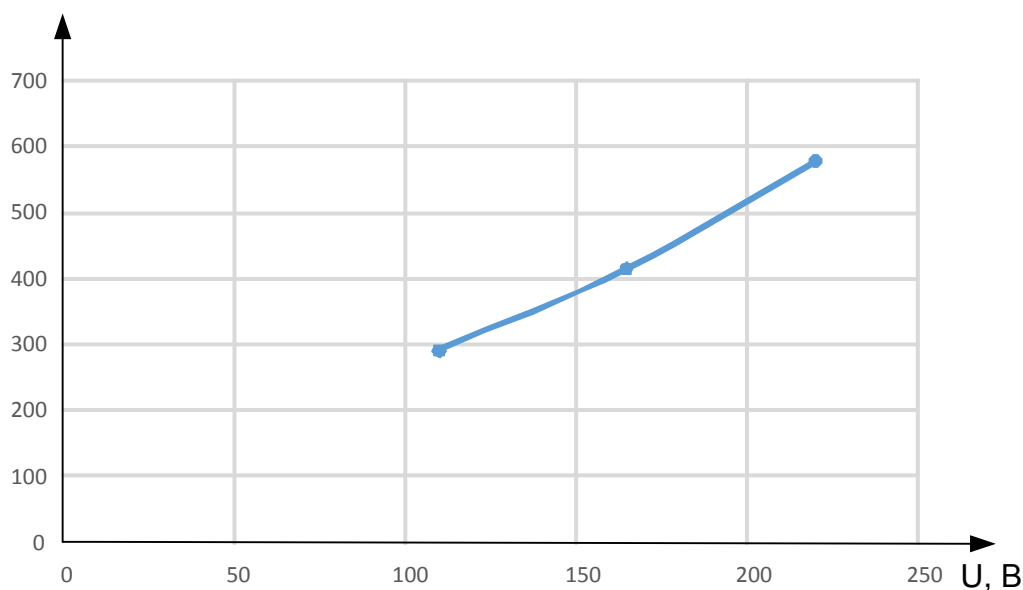


Рисунок 2.4 - График зависимости напряжения от пускового тока

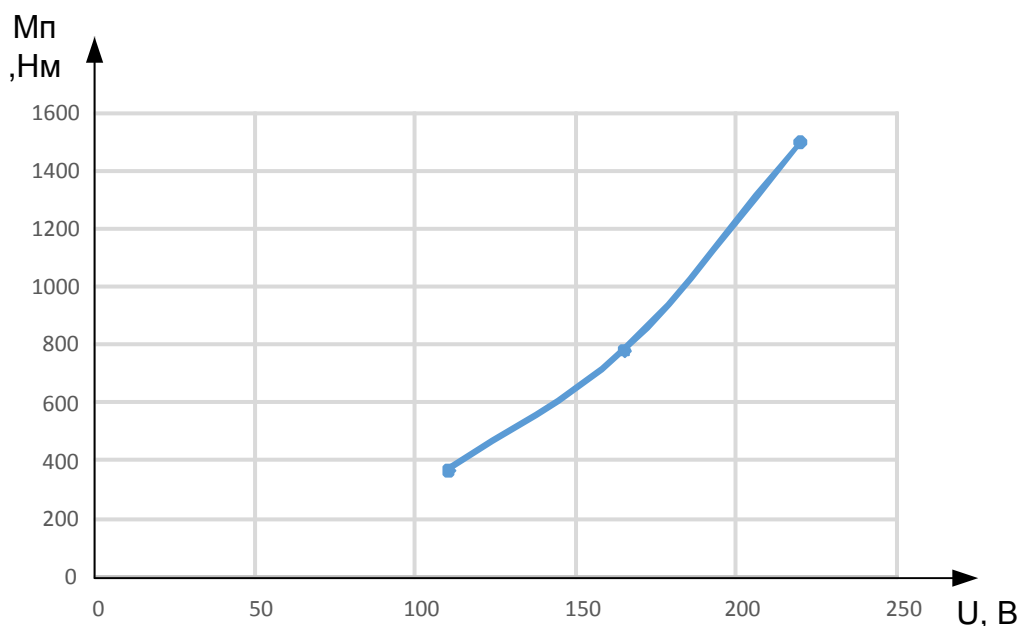


Рисунок 2.5 - График зависимости напряжения от пускового момента

В результате исследования сделан вывод, что наилучшие энергетические показатели проектируемого двигателя при запуске двигателя от напряжения 110 В диаметр провода параметры двигателя не меняет.

Мы наблюдаем на графике , что при понижении напряжения ощутимо падает пусковой то и пусковой момент. При понижении напряжения до 110 В

пусковой момент уменьшается почти в 3 раза, также как и пусковой ток падает практически в 2 раза, это доказывает, что пусковой ток двигателя пропорционален напряжению подводимому к двигателю, поэтому уменьшение напряжения сопровождается соответствующим уменьшением пускового тока.

3 Технологическая часть

Технологический процесс общей сборки кранового АД с короткозамкнутым ротором

Электротехническая промышленность является материальной основой электрификации страны, автоматизации и механизации производственных процессов, ускорения темпов технического прогресса во всех отраслях народного хозяйства. Повышение качества, технического уровня, надежности, долговечности электротехнических изделий — важные факторы интенсификации общественного производства.

Современное производство электрических машин характеризуется значительным повышением механизации и автоматизации технологических процессов в связи с появлением вычислительной техники и различных НИИ, которые разрабатывают, усовершенствуют и внедряют новые технологии. Освоенные промышленностью новые серии электрических машин и трансформаторов производятся на специализированных предприятиях с широким использованием автоматических установок и линий. Освоен ряд новых материалов, позволивших механизировать технологические процессы. Ведущими научно-исследовательскими и проектно-технологическими институтами разработаны типовые технологические процессы и специальное технологическое оборудование, что позволяет резко сократить время технологической подготовки производства и трудоемкость выпускаемых изделий. Для изготовления специального технологического оборудования построены и введены в строй специализированные предприятия.

В настоящее время перед технологами стоят задачи не только улучшения технологии и технологического оборудования для повышения производительности труда, но и создания новых технологических процессов и технологического оборудования, позволяющих совершенствовать конструкции машин и трансформаторов. Тесное сотрудничество конструкторов и технологов при разработке новых изделий и подготовке их производства является совершенно необходимым условием, как для

повышения эффективности производства, так и для получения наиболее экономичных изделий.

Процесс изготовления изделий состоит из комплекса работ, необходимых для производства заготовок, их обработки, сборки из деталей узлов и, наконец, сборки из узлов готовых изделий. Совокупность отдельных взаимосвязанных процессов, в результате которых исходные материалы и полуфабрикаты превращаются в готовое изделие, называется производственным процессом.

Технологический процесс выполняется на рабочих местах, которые представляют собой участок производственной площади, оборудованный в соответствии с выполняемой работой. Технологический процесс разбивается на операции. Технологической операцией называют часть технологического процесса, выполняемого на одном рабочем месте и охватывающего все последовательные действия рабочего и станка при обработке детали. Операция является основной частью технологического процесса, и по ней определяется трудоемкость процесса, необходимое число рабочих, станков, приспособлений, инструмента.

В данной дипломной работе требуется выполнить разработку технологического процесса асинхронного двигателя с КЗ ротором; составить схему сборки, маршрутную технологию сборки, произвести расчет необходимого оборудования, техническое нормирование сборочных операций

3.1 Анализ исходных данных для проектирования технологического процесса сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

В данном разделе дипломного проекта разрабатывается технологический процесс сборки асинхронного двигателя с высотой оси вращения $h=225$ мм при программе выпуска $N=3500$ шт. в год.

Технологический процесс сборки представляет собой часть производственного процесса, непосредственно связанного с последовательным соединением, взаимной ориентировкой и фиксацией

деталей и узлов, для получения готового изделия, удовлетворяющего установленным требованиям.

К исходным данным для проектирования технологического процесса сборки относят: сборочный чертеж изделия, чертежи его составных частей и спецификации; программу выпуска изделия и условия осуществления технологического процесса; технические условия сборки и испытаний изделия; каталоги и справочники по сборочному оборудованию и технологической оснастке.

Для проверки соответствия двигателей требованиям настоящих технических условий устанавливаются следующие испытания: приемо-сдаточные, периодические и типовые.

Двигатели предъявляются к приемке поштучно и подвергаются проверке сплошным контролем. Осуществляется проверка размеров и характеристик.

3.2 Анализ исходных данных для проектирования технологического процесса сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

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

Статор представляет сборочную единицу, состоящую из станины, сердечника статора и обмотки статора, соединенная с клеммой колодкой. Наличие поперечных ребер охлаждения позволяет повысить прочность конструкции и снизить расход конструкционных материалов. Сердечник статора представляет собой шихтованный пакет, набранный из листов электротехнической стали.

Ротор представляет сборочную единицу, состоящую из: вала, изготовленного из стального цилиндрического проката; сердечника ротора, набранного из листов электротехнической стали (листы изготавливаются из внутренних

вырубков листов статора), напрессованных на вал; подшипниковых крышек, подшипников, насаженных на вал, и контактных колец, а также сразу посажены подшипники. Подшипниковые щиты отливаются из чугуна. Выбор чугуна в качестве материала для изготовления подшипниковых щитов обусловлен тем, что двигатель работает в тяжелых условиях и воспринимает большие механические нагрузки. Недостатками чугунного подшипникового щита по сравнению с алюминиевым является его низкая коррозионная стойкость и относительная большая масса.

Контроль размеров данных деталей позволяет снизить дефектность общей сборки.

К преимуществам данной конструкции асинхронного двигателя можно отнести:

- 1) возможность сборки электродвигателя из отдельных узлов, контроль которых уменьшает дефектность общей сборки, что позволяет сократить общее время изготовления (параллельно работающие люди) и повысить производительность труда;
- 2) максимальное применение стандартных и унифицированных сборочных единиц, и деталей таких как метизы, и клеммная колодка;
- 3) отверстия для подвода питающих проводов расположены с одной стороны коробки выводов, что позволяет подводить питание как с левой стороны двигателя, так и с правой;
- 4) наличие рым-болта – для удобства транспортировки двигателя, в процессе сборки;
- 5) присутствие вентилятора повышает радиальные нагрузки на вал и увеличивает время сборки, однако улучшает охлаждение, повышая надежность изделия;
- 6) так как в процессе работы двигателя вал может расширяться от нагрева и смещать тем самым задний подшипник, то чтобы избежать возникновения осевой нагрузки на задний подшипник предусмотрены зазоры между этим подшипником и краем подшипниковой крышки;

7) станина, подшипниковые щиты и подшипниковые крышки отливаются из одной марки чугуна СЧ 15-32 ГОСТ 1412-70;

Недостатками данной конструкции являются:

1) т.к. масса двигателя составляет 115 кг – необходимо применение дополнительных транспортных и грузоподъемных механизмов при перемещении сборочных единиц;

2) необходимость дополнительной механической обработки при сборке узлов;

3) использование резьбовых соединений, неполная и неравномерная затяжка может явиться причиной некачественной сборки, ведущей к более быстрому износу сборочной единицы или машины.

Таким образом, основные требования обеспечения технологичности конструкции проектируемого двигателя в целом соблюдены.

3.3 Размерный анализ двигателя

Изыскание наиболее рационального метода достижения требуемой точности машины или ее составных частей, изучение взаимосвязи ее сборочных единиц, разработка последовательности их комплектации - таковы основные задачи размерного анализа, базирующегося на теории и практике решения размерных цепей.

Размерной цепью называют совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное положение поверхностей (или осей) одной или нескольких деталей. Каждый из размеров, образующих размерную цепь, называют *звеном*. Любая размерная цепь имеет одно замыкающее звено и одно или несколько составляющих. *Замыкающим звеном размерной цепи* называют звено исходное при постановке задачи расчета размерной цепи или полученное в результате ее решения. Составляющие звенья могут быть увеличивающими, если при увеличении их замыкающее звено увеличивается, или уменьшающими, если

при увеличении их замыкающее звено уменьшается. Размерные цепи используются для решения прямой и обратной задачи. При проведении размерного анализа используем обратную задачу, при решении которой по установленным номинальным размерам, допускам и предельным отклонениям составляющих звеньев, определяют номинальный размер, допуск и предельные отклонения замыкающего звена.

Решение той или иной задачи расчета размерных цепей при разработке технологического процесса сборки выполняется с целью определения базовых размеров на деталях, выявления не указанных на чертежах зазоров в многозвенных цепях, проверки возможности сборки и отсутствия задеваний вращающихся и неподвижных элементов, снижения точности задания размеров составных частей, определения размеров компенсирующего звена и пр.. Для выявления замыкающих звеньев и составления размерных цепей вычертим масштабный конструктивный эскиз двигателя, рисунок 6.1

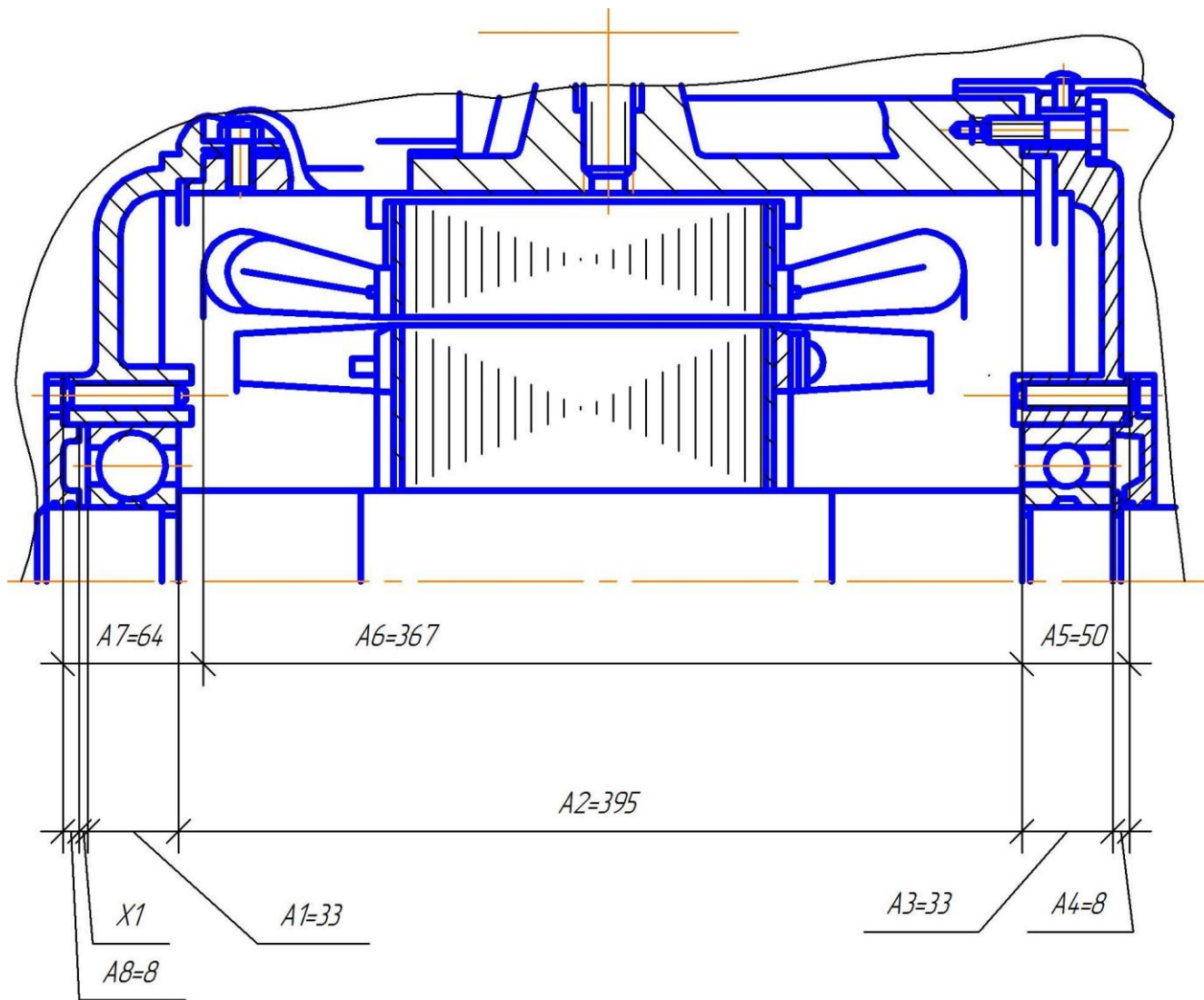


Рисунок 3.1 - Эскиз двигателя с составляющими и замыкающими звеньями

Первая размерная цепь строится для определения зазора между подшипниковым щитом и подшипником. Этот размер очень важен для двигателя. Схема размерной цепи представлена на рисунке 6.2

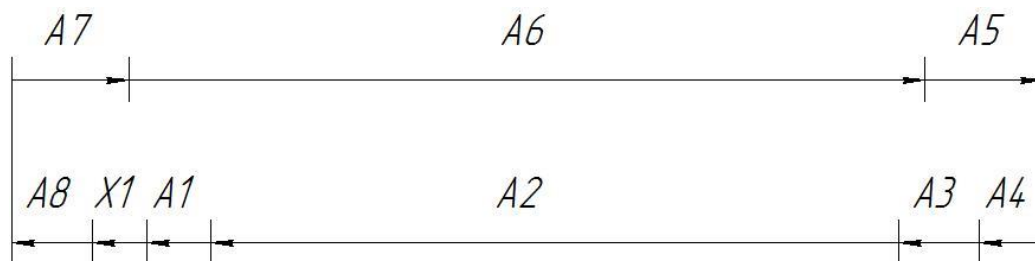


Рисунок 3.2 – Схема размерной цепи X1

Рисунок 2 – Размерная цепь электродвигателя

Выявим зазоры и для них составим размерные цепи.

Исходные данные (замыкающее звено): $X1 = 4^{+2}(\text{мм})$.

X1 – зазор между фланцем и подшипником. Зазор необходим, так как в при нагреве электрической машины зазор позволит компенсировать это расширение и избежать заземления подшипника.

Запишем исходные длины составляющих звеньев в табл. 2. Результаты расчетов, допусков, отклонений и т.д. заносятся в табл.2.

Таблица 2.1 - Допуски и номинальные размеры звеньев цепочки X1

Размер	Квалитет	Отклонение	Допуск	Предельное откл.	Ср. откл.	Примечание
мм	-	-	мм	-	мм	-
A1=33	13	-0,250	0,250	h, вал	-0,125	Уменьшающее
A2=395	10	-0,230	0,230	h, вал	-0,115	Уменьшающее
A3=33	13	-0,250	0,250	h, вал	-0,125	Уменьшающее
A4=8	13	-0,220	0,220	h, вал	-0,110	Уменьшающее
A5=50	12	+0,25	0,250	H, отверстие	+0,125	Увеличивающее
A6=367	10	+0,23	0,230	H, отверстие	+0,115	Увеличивающее
A7=64	11	+0,19	0,190	H, отверстие	+0,095	Увеличивающее
A8=8	13	-0,220	0,220	h, вал	-0,110	Уменьшающее

Уравнение замыкающего звена:

$$X1 = A5 + A6 + A7 - A8 - A1 - A2 - A3 - A4 = 50 + 367 + 64 - 8 - 33 - 395 - 33 - 8 = 4(\text{мм})$$

Средний размер составляющих звеньев:

$$L_{cp} = \frac{A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 + A7 + A8}{8} = \frac{33 + 395 + 33 + 8 + 50 + 367 + 64 + 8}{8} = 118,375 \text{ мм.}$$

Допуск на замыкающее звено: $T_{X1} = +2,00$ мм.

Величина среднего допуска: $T_{cp} = \frac{2,00}{9-1} = \frac{2,00}{8} = 0,25$ мм.

Используя средний размер составляющих звеньев и величину среднего допуска найдем квалитет для каждого звена. Квалитет на средний размер составляющих звеньев равен 11 квалитету: $118,375H11(+0,22)$.

Расставим для всех составляющих звеньев допуски соответствующие 11 квалитету или ближайшие квалитеты, чей допуск близок к T_{cp} . Полученные значения занесем в табл. 2:

Величина ожидаемого поля рассеивания:

$$\omega_0 = TA1 + TA2 + TA3 + TA4 + TA5 + TA6 + TA7 + TA8 = 0,250 + 0,230 + 0,250 + 0,220 + 0,250 + 0,230 + 0,190 + 0,220 = 1,84 \text{ мм}$$

Таким образом, условие $T_{X1} \geq \omega_0$ выполняется.

Проверка:

$$\begin{aligned} X1^{\max} &= (A5^{\max} + A6^{\max} + A7^{\max}) - (A8^{\min} + A1^{\min} + A2^{\min} + A3^{\min} + A4^{\min}) = \\ &= (50,250 + 367,23 + 64,190) - (7,780 + 32,750 + 394,770 + 32,750 + 7,780) = \\ &= 481,67 - 475,83 = 5,84 \text{ мм} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X1^{\min} &= (A5^{\min} + A6^{\min} + A7^{\min}) - (A8^{\max} + A1^{\max} + A2^{\max} + A3^{\max} + A4^{\max}) = \\ &= (50 + 367 + 64) - (8 + 33 + 395 + 33 + 8) = 481 - 477 = 4 \end{aligned}$$

$$X1_{\text{расчет}} = 4^{+1,84} \text{ мм.}$$

Вывод: расчетное значение замыкающего звена входит в диапазон заданного допуска звена.

3.4 Разработка схемы сборки и маршрутной технологии

Схема сборки позволяет отразить маршрут сборки изделия, выделить составные части изделия, которые можно собрать отдельно (организовать параллельную сборку составных частей); оценить предварительно трудоемкость сборки отдельных составных частей; иногда выявить конструктивные неувязки; выявить и сравнить варианты технологического процесса. На базе схемы сборки, представленной на рисунке 6.4,

разрабатывается маршрутная технология, устанавливающая последовательность и содержание операций.

Маршрутный технологический процесс фиксируется на маршрутных картах, форма и содержание которых определена в ГОСТ 3.1118-82

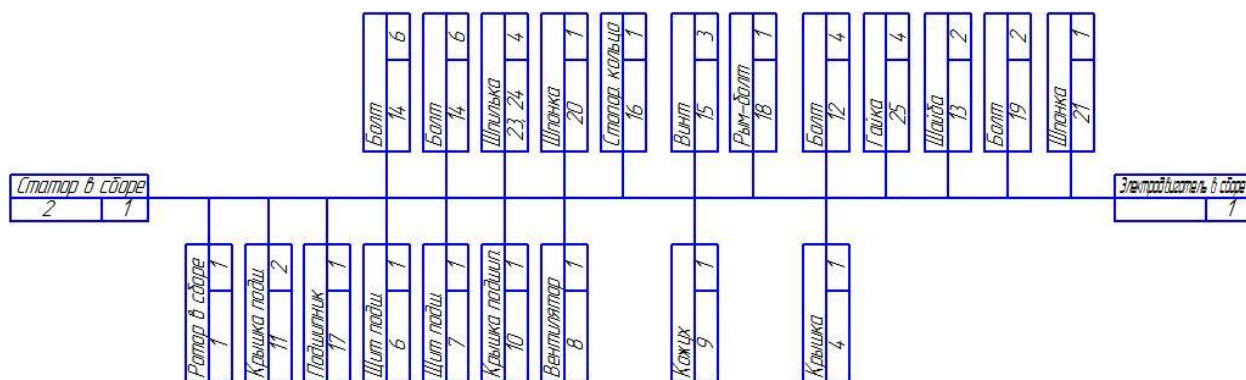


Рисунок 3.3. Схема сборки

3.5 Выбор сборочного оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств.

К технологическому оборудованию, предназначенному для выполнения работ по осуществлению подвижных и неподвижных сопряжений деталей, их регулировке и контролю в процессе узловой и общей сборки относят прессы, мойки, балансирующее оборудование, сборочные стенды и ряд других.

Из оснастки необходимо: набор отверток, набор торцевых ключей, молоточек, щипцы, оснастка для контроля размеров (производство заводом).

Перечислим оборудование:

Стол слесарный: обычный стол с размерами 1,3х2,5 м.

Стол ОТК: обычный стол с размерами 1,3х2,5 м с держателями и технологической оснасткой для контроля размеров.

**Станция испытательная электрических машин переменного тока
мощностью от 100 Вт до 1000 кВт.**

Технические характеристики	
Номинальное напряжение питания, В	380, 50Гц (400кВА)
Потребляемый ток в установившемся режиме, А	до 630
Выходное регулируемое напряжение, В	0 ÷ 650(I _{max} – 355А)
Выходное регулируемое напряжение, В	0 ÷ 10000(I _{max} -50А)
Выходное регулируемое однофазное напряжение, кВ	0 ÷ 27,5 (I _{max} – 1,5А)
Выходное регулируемое напряжение постоянного тока, В	0 ÷ 100 (I _{max} – 300А)
Выходное напряжение мегаомметра, В	100, 500, 1000
Диапазон измерения сопротивления обмоток, Мом	2 ÷ 200x10 ⁶
Количество испытательных мест, шт.	1
Высота оси испытываемых электродвигателей, мм	280-630
Габаритные размеры,	
Шкаф.№1, мм / масса, кг	750x1650x2030 / 580
Шкаф.№2, мм / масса, кг	490x1220x1830 / 260
Шкаф.№3, мм / масса, кг	900x1040x1830 / 400
Шкаф.№4, мм / масса, кг	850x1040x1830 / 580
Регулятор индукционный, мм / масса, кг	1380x1300x2000 / 2700
Преобразователь частоты, мм / масса, кг	195x340x550 / 24
Испытательный стол, мм / масса, кг	1930x1890x500 / 820
Стойка с приводом, мм / масса, кг	740x700x1200 / 390

3.6 Техническое нормирование и расчет необходимого количества оборудования

Весь процесс сборки состоит из 3 операций. Распишем все операции в табл. 2.2.

Таблица 2.2– Список операций

№	Операция	Оборудование, оснастка
005	Сборочная	Стол слесарный, одежда, обувь, набор ключей, молоточек, набор отверток
010	Контрольная	Стол ОТК, оснастка для контроля размеров, одежда, обувь
015	Приемно-сдаточные испытания	Станция испытательная, одежда, обувь

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

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

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

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

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:

$$T_{оп} = T_о + T_в .$$

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

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

Время организационного обслуживания рабочего места учитывает затраты времени на подготовку рабочего места к началу работы, замены инструмента в процессе работы, уборку рабочего места в конце смены, смазку и чистку сборочного оборудования и приспособлений и т.п. Его определяют в процентах от оперативного времени по нормативам (обычно в пределах 0,6-8%) [6, 7].

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

Таблица 2.3- Расчет норм времени

Операция	T _о , мин	T _в , мин	T _{оп} , мин	T _{об} , мин	T _п , мин	T _{пз} , мин	T _{шт} , мин	T _{шт.к} , мин
005	32,1	3,9	36,0	2,7	0,9	20,0	75,5	75,5
010	12,6	1,5	14,1	1,0	0,4	20,0	29,6	29,6
015	67,3	8,1	75,4	5,6	1,9	20,0	158,2	158,2

Определение потребного количества оборудования

Для определения требуемого количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий (в нашем случае 3500 шт/год), суммарные нормы времени по каждому виду оборудования и эффективный годовой фонд производственного времени оборудования, который при сорокачасовой неделе можно рассчитать по формуле:

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

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

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

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

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

K_p – коэффициент учитывающий время пребывания единицы оборудования в ремонте,

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

$z = 1$ – число смен работы оборудования

Расчетное число каждого из видов сборочного оборудования:

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

где $N = 3700$ шт/год – годовая программа выпуска;

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

Коэффициент загрузки оборудования:

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{\Pi}} \cdot 100\%$$

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

Данные расчета коэффициента загрузки каждого вида оборудования представлены в таблице 6.6.2.

Пример для расчета загрузки оборудования

Стол слесарный

$$C_p = \frac{T_{шт.к} \cdot N}{60 \cdot F_{\delta}} = \frac{75,5 \cdot 3500}{60 \cdot 1991} = 2,212$$

Принимаем C_{Π} равное 3

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{\Pi}} \cdot 100\% = \frac{2,212}{3} \cdot 100\% = 74\%$$

Занесем полученные результаты в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 - Расчет коэффициента загрузки

Наименование оборудования	C_p	C_{Π}	$K_3, \%$
Стол слесарный	2,2	3	74
Контрольная	0,9	1	87
Стенд приемо-сдаточных испытаний	4,6	5	93

По данным таблицы 2.4 построена диаграмма, показывающая коэффициенты загрузки для различных типов оборудования, участвующего в процессе общей сборки асинхронного двигателя.

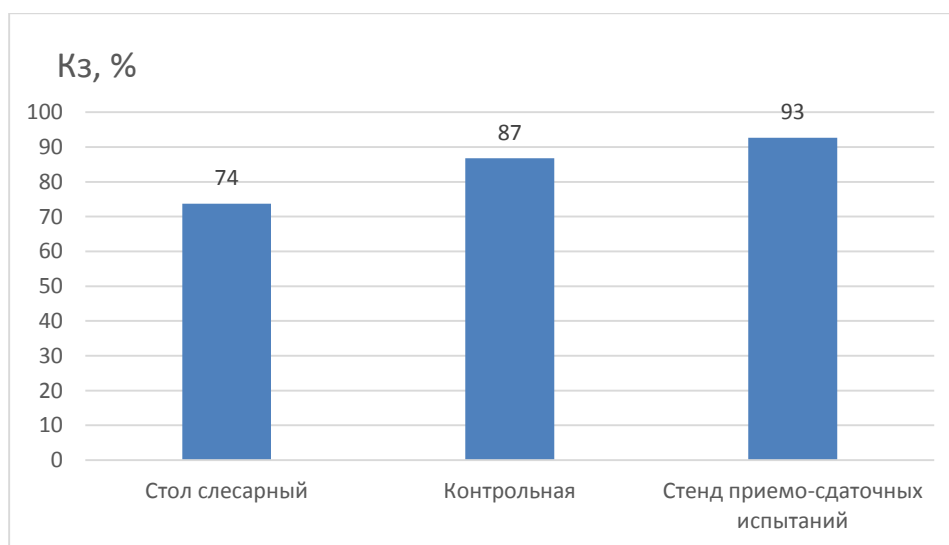


Рисунок 3.4 - График загрузки оборудования

Из рис. 3.4 видно, что самым загруженным является стенд приемо-сдаточных испытаний.

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 стенд приемо-сдаточных испытаний в количестве 5 штуки.

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

$$N = \frac{60 \cdot F_{\partial} \cdot C_{\Pi}}{T_{\text{шт.к}}} = \frac{60 \cdot 1991 \cdot 5}{(158,2)} = 3775 \text{ шт}$$

Таким образом, 3775 больше 3500. То есть выбранное оборудование способно произвести партию электродвигателей в количестве 3500 штук в год. Программа выпуска выполняется.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование		Примечание
				<u>Документация</u>		
A1			ФЮРА.526000.011 СБ	Сборочный чертёж		
			ФЮРА.526000.011 ПЗ	Пояснительная записка		
				<u>Сборочные единицы</u>		
		1	ФЮРА.684222.001	Ротор	1	
		2	ФЮРА.684261.002	Статор	1	
					1	
				<u>Детали</u>		
		4	ФЮРА.735301.004	Коробка выводов	1	
		6	ФЮРА.712210.006	Подшипниковый щит передний	1	
		7	ФЮРА.712210.007	Подшипниковый щит задний	1	
		8	ФЮРА.725460.008	Вентилятор		
		9	ФЮРА.731021.009	Кожух		
		10	ФЮРА.724200.001	Крышки подшипника переднего	2	
		11	ФЮРА.724200.002	Крышки подшипника заднего	2	
		12	ФЮРА. 712.223.001	Крышка	1	
				<u>Стандартные изделия</u>		
		13		Болт М5х20	4	
				ГОСТ 7798 – 70		
		14		Болт М8х30		
				ГОСТ 7798 – 70	2	
		16		Винт М5х15	4	
		15		Болт М10 х40		
				ГОСТ 7798 – 70	12	
			ФЮРА.526000.011			

					<i>ФЮРА.526000.011</i>		<i>Листов</i>
							2
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№докум.</i>	<i>Подп</i>	<i>Дата</i>			

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Важным обстоятельством, которое нужно учитывать, говоря о влиянии научно технического прогресса на конкурентоспособность ресурсоэффективного изделия, является совершенствование существующих и разработка новых видов двигателей, а так же их реализация по приемлемы ценам. Как правило, оценка показателей конкурентоспособности осуществляется по техническим и экономическим показателем товара. Технические характеристики двигателя:

Мощность – 55000 Вт,

Номинальная частота вращения $n_H = 925$ об/мин

Номинальное напряжение (линейное) $U_n = 220$ В

Частота питающей сети – 50 Гц,

Число пар полюсов – $2p=6$.

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

Распределение работы между работниками, проектирующими сводим, в таблицу 3.1

Таблица 3.1 – План разработки выполнения этапов проекта.

№ п/п	Перечень выполняемых работ	Исполнители		Разряд	Продолж. (дней)
		Кол-во	Должность		
1	Получение тех. задания на разработку проекта	2	научный руководитель	15	1
			инженер	10	
2	Сбор исходных данных	1	инженер	10	2
3	Ознакомление с технической документацией	1	инженер	10	2
4	Электромагнитный расчет двигателя	2	инженер	9	3
			инженер	10	
5	Расчет и выбор блока добавочных сопротивлений двигателя	1	инженер	10	4
6	Расчет технологической части проекта	2	инженер	10	6
7	Проверка выполненных расчётов	2	научный руководитель	15	1
			инженер	10	
8	Выполнение чертежей, схем	2	инженер	9	2
			инженер	10	
9	Технико-экономическое обоснование выбора оборудования	1	инженер	10	4
10	Разработка раздела БЖД	1	инженер	10	4
11	Оформление пояснительной записки	2	инженер	9	1
			инженер	10	

12	Проверка пояснительной записки и чертежей	2	научный руководитель. инженер	15 10	1
Длительность работы, дней					31

4.1 Смета затрат на подготовку проекта

Суммарные издержки на проектирование определяем по выражению:

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

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

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

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

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

$I_{\text{пр}}$ - прочие издержки;

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

Издержки на заработную плату

Таблица 3.2 – Единая тарифная сетка с учетом занимаемой должности

Должность	Оклад	Доплата	Коэффициент за отпуск	Районный коэффициент	Итоговая зарплата за месяц	Средняя зарплата за один день, руб.	Количество дней работы над проектом	ФЗП
Научный руководитель, 15р	23300	2200,0	1,1	1,3	32620	1553,3	3	5168,4
Инженер 10р	14500		1,1	1,3	20300	966	31	30608,8
Инженер, 9р	14500		1,1	1,3	20300	966	6	5924
Итого					73220	3485,9	40	41701,2

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

где: 3 – оклад;

D – доплата за интенсивность труда

k_1 - коэффициент за отпуск (1,1);

k_2 - районный коэффициент (1,3);

21 - количество рабочих дней в месяце;

Расчет для научного руководителя 15 разряда

X - количество рабочих дней затраченных на проект (3 дня).

Зарплата.

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + D) \cdot k_2}{21} \cdot X = \frac{(23300 \cdot 1.1 + 2200) \cdot 1.3}{21} \cdot 3 = 5168.4 \text{ (руб.)}$$

Расчет для инженера 9 разряда

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

Расчет для инженера 10 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{(14500) \cdot 1.1 \cdot 1.3}{21} \cdot 31 = 30608.8 \text{ (руб.)}$$

Тогда

$$I_{з.пл\Sigma} = \sum I_{з.пл} = 5168.4 + 5924 + 30608.5 = 41701.2 \text{ (руб.)}$$

4.3 Отчисления на социальные нужды.

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

$$I_{соц} = 0,3 \cdot I_{з.пл\Sigma} = 0,3 \cdot 41701.2 = 12510.3 \text{ (руб.)}$$

4.4 Материальные затраты на канцелярские товары.

Материальные затраты на канцелярские товары примем в размере 950 руб. (в условиях цен на канцелярские товары в настоящее время).

$$I_{mat} = 950 \text{ (руб.)}$$

4.5 Амортизация вычислительной техники.

Основной объем работ по разработке проекта был выполнен на персональном компьютере первоначальной стоимостью 28,7 тысячи рублей.

Произведём расчёт амортизации стоимости ПК

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

где T_u - количество отработанных дней на ПК;

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

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

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

4.6 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.

$$\begin{aligned} I_{пр} &= 0,1 \cdot (I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам}) = \\ &= 0,1 \cdot (41701,2 + 12510,3 + 950 + 294,9) = 5545,64 \text{ (руб)} \end{aligned}$$

4.7 Накладные расходы.

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

$$I_{накл} = 2 \cdot I_{з.пл} = 2 \cdot 41701,2 = 83402,4 \text{ (руб)}$$

4.8 Себестоимость проекта

$$\begin{aligned} \sum I_{\text{проекта}} &= I_{\text{з.пл}} + I_{\text{соц}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}} = \\ &= 41701.2 + 12510.3 + 950 + 294,9 + 5545.64 + 83402.4 = 144404.4 \text{ (руб)} \end{aligned}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Смета затрат на подготовку проекта

№ п/п	Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
1	Заработная плата	$I_{\text{з.пл}\Sigma}$	41701.2
2	Социальные отчисления	$I_{\text{соц}}$	12510.3
3	Материальные затраты	$I_{\text{мат}}$	950
4	Амортизационные отчисления	$I_{\text{ам}}$	294,9
5	Прочие издержки	$I_{\text{пр}}$	5545.64
6	Накладные расходы	$I_{\text{накл}}$	83402.4
7	Себестоимость проекта	$\sum I_{\text{проекта}}$	144404.4

4.9 Определение материальных расходов

Материальные затраты – это затраты, связанные с приобретением и изготовлением материалов для изготовления единицы продукции. Представим перечень материалов, необходимых для изготовления одного образца (см. таблицу 6.4).

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

$$M_{\text{осн}} = P \cdot C_M,$$

где C_M – цена материала за единицу (руб./кг);

P – норма расхода материала (вес материала).

Рекомендации к материальным расходам предприятия для изготовления единицы продукции рассматриваются для двух вариантов, базового (1 вариант) и предлагаемого (2 вариант). Их стоимость указана в таблице 3.4.

Таблица 3.4– Затраты на материалы.

Наименование материала	Цена, руб./кг.	Норма расхода, шт.		Сумма, руб.		Удел. вес, %	
		Баз. 1 вар	Предл. 2 вар	Баз. 1 вар	Предл. 2 вар	1 вар	2 вар
1. Черные металлы						60,0	63,0
Чугун СЧ-20	58,5	55.008	53.424	3217.968	3125.304		
Валовая сталь	50,1	25.358	23.328	1270.456	1168.733		
Электротехническая сталь	73,9	64.656	60.336	4778.078	4458.83		
Прочие чёрные металлы	84,4	24.768	24.048	2090.419	2029.651		
2. Цветные металлы						3,0	3,0
Алюминий сплав АК7	216,0	2.304	1.872	497.664	404.352		
Прочие цвет. Металлы	231,2	0.288	0.2448	66.5856	56.59776		
3. Прочие материалы						5,0	5,0
Подшипник 309 и 310	448,0	2	2	896	896		
4. Кабельные изделия						25,0	22,5
Обмоточный провод ПЭТ155 d=1,015	962,2	4.464	3.456	4295.261	3325.363		
Провод установочный ПВКФ d=2,5,1	244,8	2.592	2.16	634.5216	528.768		
5. Изоляция						4,5	4,0
Стеклолакоткань ЛСК	244,8	1.5552	1.5264	380.713	373.6627		
Ст.пласт ССП БИД 8,2*3,5	214,0	0.5472	0.2592	117.1008	55.4688		

Синтофлекс или Элифлекс	645,9	0.1872	0.1872	120.9125	120.9125		
Плѐнка ПЭТ-Э	520,0	0.0129	0.02736	6.7392	14.2272		
Резина трубка ТСКП	54,4	4.032	3.744	219.3408	203.6736		
6.Лакокраски	205,0	2.16	1.584	442.8	324.72	2,5	2,5
Всего				19034.56	17086.26	100,	100,

Как видно по расчетам из таблицы 3.4 – для базового варианта, наиболее затратным пунктом материальных расходов являются черные металлы – 60%, также дорого обходятся кабельные изделия – 25%, а для предлагаемого варианта - черные металлы составляют 63% и кабельные изделия 22,5%. Затраты на основные материалы с учётом транспортных расходов составят:

1 вариант технологии $C_M = M \cdot K_{\text{тзр}} = 19034 \cdot 1,14 = 21,8$ тыс. руб

2 вариант технологии $C_M = M \cdot K_{\text{тзр}} = 17086 \cdot 1,14 = 19,5$ тыс. руб

где $K_{\text{тзр}} = 1.14$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Уменьшение во втором варианте нормы расхода материалов, позволило сэкономить 2,3 тыс.руб. или 10,6% в расчёте на единицу изделия.

4.10 Затраты на силовую электроэнергию

Затраты на силовую электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\Theta = \frac{\sum N \cdot t_{\text{ум}} \cdot k_z \cdot k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{зд}} \cdot k_{\text{н.с}} \cdot \Pi_{\text{э}}}{k_{\text{н.д}}}, \text{руб} / \text{шт}$$

где N – установленная мощность электродвигателей, Квт;

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

K_{op} – коэффициент, учитывающий одновременность работы электродвигателей; 0,80

$K_{зд}$ – средний коэффициент загрузки электродвигателей во времени; 0,85

K_{nc} – коэффициент отражающий потери электроэнергии в сети; 1,05

$C_{э}$ – цена 1кВт часа электроэнергии; 5,4руб.

$K_{ПД}$ – средний коэффициент полезного действия двигателей; 0,88

1 вариант технологии $\Theta = \frac{8,5*1,75*0,65*0,8*0,85*1,05*5,4}{0,88} = 42,4$ руб/шт

2 вариант технологии $\Theta = \frac{8,5*1,6*0,65*0,8*0,85*1,05*5,4}{0,88} = 38,7$ руб/шт

Таблица 3.5–Расчет расходов на силовую электроэнергию.

№ п/п	Операции	Мощность двигателя, кВт	Трудоемкость. час/шт		Расход на электроэнергию руб./шт	
			1 вариант	2 вариант	1 вариант,	2 вариант,
1	Точить	8,5	1,7	1,6	42,4	38,7
2	Фрезеровать	7,5	0,7	0,6	21,4	12,6
3	Штамповать	7,5	0,3	0,3	6,4	5,4
4	Точить	5,5	0,6	0,5	8,8	8,1
5	Сверлить	10,0	1,5	1,3	41,3	37
6	Прессовочная	7,5	0,2	0,1	3,5	2,6
7	Шлифовать	5,5	0,2	0,1	2,4	1,9

Всего		5,2	4,5	126,2	106,3
-------	--	-----	-----	-------	-------

Уменьшив во втором варианте время работы станков, за счет изменения конструкции двигателя на 0,7 час/шт или на 13,5% удалось сократить расходы на электроэнергию в предлагаемом варианте на 19,9руб./шт. или же на 16% по сравнению с базовым вариантом.

4.11 Оценка конкурентоспособности создаваемого продукта

Рассматривая ситуацию на рынке сбыта продукции видим, что основными конкурентами являются отечественные производители асинхронных двигателей. Отечественные производители имеют свой сложившийся рынок сбыта, определяемый в основном географическим расположением производителей.

На российском рынке существует несколько заводов изготовителей аналогичной продукции. Значительную часть рынка занимают зарубежные производители. По сравнению с продукцией отечественных заводов двигателя ОАО «ЗАРЭЛЕКТРОМОТОР» при приблизительно равных ценах имеет лучшее качество и соответственно больший срок службы, что подтверждается тестовыми испытаниями.

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать вывод, что ОАО «ЗАРЭЛЕКТРОМОТОР» есть довольно перспективная маркетинговая возможность сбыта продукции высокого качества по низким ценам.

После реализации продукции, согласно договору о купле продаже продукции, предоставляется сервисное обслуживание, консультации специалистов по возникающим вопросам при монтаже и эксплуатации двигателя.

Завод-изготовитель предоставляет следующие гарантии после реализации продукции:

1. Бесплатный гарантийный ремонт двигателя в течение двух лет после его реализации в случае выхода его из строя по вине завода-изготовителя.
2. Замена не подлежащего ремонту двигателя в течение гарантийного периода обслуживания.

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

Результаты анализа сведем в таблицу 6.8

Таблица 3.6– Оценка факторов конкурентоспособности изделия [29]

Факторы конкурентоспособности изделия	Российские предприятия		Зарубежные предприятия	
	ОАО «ЗАРЭЛЕКТРОМОТОР»	ЗАО «Электромеханический завод»,	ОАО «Электродвигатель»,	ОАО «Полесье Электромаш»,
Изделие	Энергоэффективный АД КЗ ротором			
1.Качество	4	4	4	4
2.Технико-экономические показатели	4	4	3	4
3.Престиж торговой марки	4	5	4	4
4. Упаковка	5	4	4	3
5.Уровень послепродажного обслуживания	5	5	5	3
6.Гарантия	2 года (5)	2 года (5)	1 года (4)	1 года(4)
7.Уникальность	(4) Встроенный темп. датчик в лобовые части	(4) Высокий класс изоляции	(4) Температурная защита	(4)Применение вентилятора с пониженным шумом
8.Надежность	5	5	4	4
9.Защищенность патента	5	5	5	5
Цена				
1.Продажная	4	4	5	5
2.Процент скидки	(5) До 10%	(4) До 8%	(3) До 6%	(4) До 8%

3.Сроки платежа	(4) До 1 мес.	(4) До 1 мес.	(4) До 1 мес.	(4) До 1 мес.
Каналы сбыта				
1.Форма сбыта:				
1.1. прямая	4	4	3	3
1.2. через торговых представителей	4	4	4	4
1.3 оптовые посредники	4	4	3	4
2.Система транспортировки	(5) Авто-, ж/д., авиа	(5) Авто-, ж/д., авиа	(5) Авто-, ж/д., авиа	(5) Авто-, ж/д., авиа
Продвижение изделия на рынках				
1.Реклама:				
1.1. для потребителей	5	5	3	4
1.2. для торговых посредников	5	4	4	4
2.Индивидуальная продажа:	4	4	3	3
2.1. способы стимулирования потребителей				
2.2. показ образцов товаров	5	4	4	4
3.Телевизионный маркетинг	4	3	4	4
4. Продажа товаров через средства массовой информации	4	3	3	4

ИТОГО	98	93	86	87
-------	----	----	----	----

Примечание: оценка факторов конкурентоспособности товара производится по пяти бальной шкале.

Проектированию новой серии асинхронных двигателей предшествует разработка технико-экономических требований. По данным маркетингового исследования рынка, колебание цен на данный вид изделия незначительно, поэтому основные моменты, интересующие покупателя, - качество продукции, ее производительность.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

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

Техника безопасности представляет собой систему организационных технических мероприятий и средств, предотвращающих воздействие опасных производственных факторов, которые приводят к несчастным случаям на

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

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

5.1 Анализ опасных и вредных факторов

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

Опасные факторы возникающие при данном технологическом процессе:

- Поражение электрическим током, при работе испытательной станции.
- Получение механических травм, при слесарно-сборочных работах.
- Пожар
- Наряду с опасными факторами можно выделить вредные факторы, которые приводят к нарушению нормального режима работы. К вредным факторам относятся:
- Отклонение параметров микроклимата на участке общей сборки асинхронного двигателя от установленных норм.
- Шум, при работе с ручным механизированным инструментом.
- Вибрация, при работе с ручным механизированным инструментом.
- Недостаточная освещенность рабочей зоны.
- Пыль и другие вредные вещества.

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

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

5.2 Производственная санитария

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

При длительном воздействии шума на организм человека происходят нежелательные явления:

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

Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно сосудистой и нервной систем [23]. 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.

5.3 Расчет искусственного освещения

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

Задачи расчета искусственного освещения является определение числа светильников, их типа, мощности источников света [16].

5.4. 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: ЛД, ЛХБ, ЛБ, ЛТБ, ЛДЦ. Из них наиболее экономичными являются лампы типа ЛБ. Характеристики люминесцентных ламп сведены в таблицу 8.1.

Таблица 4.1- Характеристики люминесцентных ламп

Мощность, кВт.	Напряжение сети, В	Напряжение лампы, В	Ток лампы, А	Световой поток, Лм
				ЛБ
20	127	60	0,34	980
30	220	108	0,35	1740
40	220	108	0,41	2480
80	220	108	0,82	4320

5.5 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.

5.6 Выбор осветительных приборов

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

5.7 Выбор коэффициента запаса

Полученная из [17] величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп освещённость снижается

Таблица 4.2 Значение коэффициента запаса

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

Помещения с малым выделением пыли	1.5	1.3
-----------------------------------	-----	-----

5.8 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 освещенности

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

$$h = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7 \text{ м}; \quad (8.1)$$

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

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

$$L_{\text{св.}} = \square \cdot h = 1.4 \cdot 2.7 = 3,78 \text{ м} \quad (8.2)$$

Количество светильников в одном ряду:

По длине:

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

По ширине:

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

общее число светильников в помещении:

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

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

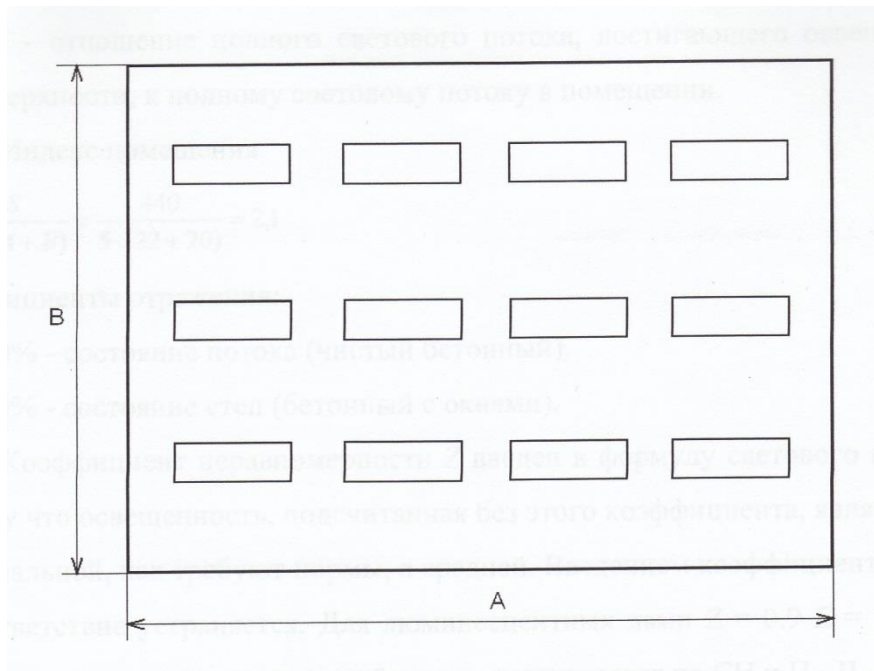


Рисунок4.1. План расположения

5.9 Расчет осветительной установки

Важной задачей на производстве, является создание наилучших условий для видения. Эту задачу можно решить только осветительной системой. В этих нормах рекомендуется освещённость участков, содержащих нужное оборудование, должна быть не менее 200 лм [17].

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:

$$F = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta}, \text{ где} \quad (8.3)$$

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

η - отношение полного светового потока, достигающего освещаемой поверхности, к полному световому потоку в помещении.

Индекс помещения

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{150}{4 \cdot (15 + 10)} = 1.5 \quad (8.4)$$

коэффициенты отражения [16. табл. 10]:

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

$\rho_0 = 30\%$ - 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 $Z = 0.9$ $E = 200$ лм - минимальная нормативная освещённость, для разряда зрительных работ средней точности, принимается по [17].

$\eta = 0.57$ - для ламп типа ЛД40.

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

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

Делаем проверку условия:

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

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

$$-10\% \leq -0.9 \leq 20\%$$

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

5.10 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).

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

Таблица 8.3 -допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений [10]

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

5.11 Тепловое излучение

Таблица 4.4 Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников [10]

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

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

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

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

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

Также вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твёрдых тел, передаваемые организму человека. Они могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а

так же опорно-двигательной системы человека. Измерение вибрации производится прибором ВШВ-003, снабженным микрофоном и датчиком вибрации.

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

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

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

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

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

Таблица 4.5 Значения весовых коэффициентов K_i, L_{k_i} дБ для локальной вибрации [24]

Гц	Значения весовых коэффициентов			
	для виброускорения		для виброскорости	
	K_i	L_{k_i}	K_i	L_{k_i}
8	1,0	0	0,5	- 6
16	1,0	0	1,0	0
31,5	0,5	- 6	1,0	0
63	0,25	- 12	1,0	0
125	0,125	- 18	1,0	0

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

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

Таблица 4.6 Концентрация вредных веществ

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

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

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

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

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

Таблица 4.7 Уровни звукового давления

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

Необходимые условия для снижения шума:

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

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

5.12 Техника безопасности

Цех относится к помещениям с повышенной опасностью поражением людей электрическим током, характеризуется наличием следующих условий согласно ПУЭ 1.1.13 [19]:

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

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

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

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

4. Рабочий должен работать в спецодежде:

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

5. Защита от электростатического электричества осуществляется:

- уменьшение генерации электрических зарядов;
- устранение уже образовавшихся зарядов (защитное заземление);
- нейтрализаторы статического электричества;

- увлажнение воздуха;
- средства индивидуальной защиты: обувь на кожаной подошве или подошве из электропроводной резины;
- механические травмы.

5.13 Пожарная безопасность

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033 – 81[21] понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожары на промышленных предприятиях представляют большую опасность для работающих и могут причинить огромный материальный ущерб.

Причинами пожаров на общественных предприятиях чаще всего бывают:

-Нарушения, допущенные при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

-Несоблюдение элементарных мер пожарной безопасности производственным персоналом и неосторожное обращение с огнем.

-Задействование в производственном процессе неисправного оборудования.

-Нарушение правил пожарной безопасности технологического характера в процессе работы промышленного предприятия (например, при проведении сварочных работ), а также при эксплуатации электрооборудования и электроустановок;

Пожарная безопасность может быть обеспечена мерами пожарной профилактики [2]. Пожарная профилактика включает в себя комплекс мероприятий необходимых для предупреждения возникновения пожара или уменьшения его последствий.

Обмоточный участок согласно НПБ 105-03[2] относится к категории Д, т.е. это производство, в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Лица, не прошедшие противопожарный инструктаж к работе не допускаются. Каждый работающий на предприятии независимо от занимаемой должности должен знать и строго соблюдать установленные правила пожарной безопасности не допускать действий могущих привести к возникновению пожара или возгоранию.

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

На территории участка сборки электродвигателей запрещается:

- загромождать различными предметами и оборудованием, готовой продукцией и заготовками проходы, выхода, коридоры, лестничные проемы и подходы;
- хранить специальную одежду и другие сгораемые материалы на радиаторах, вешать на производственное оборудование, электроприборы;
- курить, пользоваться открытым огнем, не предусмотренным спец. технологией, разводить костры;
- производить уборку помещений, оборудования с применением ЛВЖ и ГЖ;
- скапливать на рабочем месте мусор, промасленную ветошь;
- использовать не по назначению противопожарный инвентарь;
- загромождать различными предметами проходы, выходы;
- самовольно подключать в электросеть электронагревательные приборы,
- пользоваться неисправными, кустарного производства электроприборами;
- оставлять включенными станки, электроприборы без просмотра;
- при работе с огнеопасными жидкостями использовать инструмент могущий вызвать искрообразование;
- соприкосновение промасленной одежды, масел и др. жиров с арматурой кислородных баллонов;

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

- хранить без упаковки и рассыпать уретропин.

Каждый работающий на объединении должен знать:

- при обнаружении пожара или загорания вызвать пожарную помощь и принять меры к ликвидации очага пожара или действовать по указанию старшего начальника или начальника ДПД;

- знать пути эвакуации из помещения (образец представлен на рисунке 1);

- знать пожароопасность своего цеха, участка и при обнаружении нарушений противопожарного характера устранить их или сообщить начальнику цеха;

- знать и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения;

На участке изготовление и сборки статора используются средства пожаротушения, такие как:

- Огнетушитель ОУ-3 - Углекислотный, предназначенный для тушения загорания установок под напряжением до 1000В. При загорании снять огнетушитель, поднести к загоранию, выдернуть чеку и нажать на рычаг, а затем направить раструб на огонь.

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

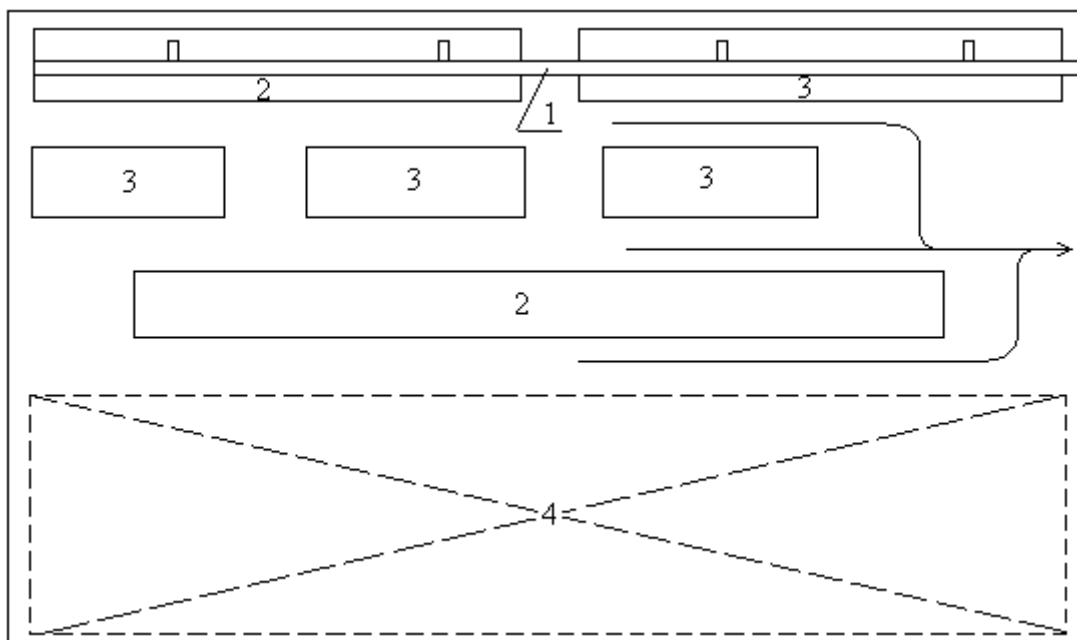


Рисунок4.2. План эвакуации

1 – монорельс

2 – верстак для сборки двигателей

3 – верстак для комплектации роторов

4 – места складирования деталей и заготовок

5.14 Чрезвычайная ситуация

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Авария - это непреднамеренный выход из строя машин, механизмов, устройств, коммуникаций, линий связи, продуктопроводов вследствие нарушения технологии производства, правил эксплуатации, мер безопасности, ошибок, допущенных при проектировании, строительстве, изготовлении, или низкой трудовой дисциплины.

Действующими правилами безопасности предусматривается обязательно заблаговременное составление на промышленных предприятиях планов предотвращения аварий. Это объясняется тем, что аварии, как правило, развиваются стремительно и поэтому не всегда представляется возможной быстрая разработка эффективных мероприятий по спасению людей и ликвидации последствий аварии.

В планах устанавливаются конкретные обязанности должностных лиц предприятия на время аварийной ситуации. Планы находятся у диспетчера, главного инженера предприятия и командира соответствующего подразделения спасательной службы. Состояние противоаварийной профилактики на всех объектах контролируется Ростехнадзором и его местными органами. Происшедшие на предприятиях аварии, которые сопровождались травмами и гибелью людей, расследуются в соответствии с "Инструкцией о расследовании и учёте несчастных случаев на подконтрольных Ростехнадзору предприятиях и объектах. Основные задачи расследования — выявление причин и условий возникновения аварии, разработка мер по недопущению их в дальнейшем. Ответственность лиц, чьи действия или поступки вызвали аварию, определяется законами РФ.

На любой объект экономики (включающий в себя комплекс зданий, сооружений, технологических, энергетических и транспортных коммуникаций), помимо стихийных бедствий, постоянно действуют и другие природные и производственные факторы, недоучет и недооценка которых, а также отсутствие необходимых профилактических мероприятий могут привести к катастрофическим последствиям.

5.15 Причины чрезвычайных ситуаций на объекте

- стихийных бедствий, вызываемых катаклизмами природы (землетрясение, ураганы, горные обвалы, наводнения, лесные пожары, снегозаносы и т. а);

- эпидемий, эпизоотии, эпизоотий и массового размножения вредителей лесного и сельского хозяйства (саранча, сибирский шелкопряд, колорадский жук и т. п.);

- воздействия внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии материалов, конструкций, сооружений и снижению их физико-механических свойств;

- проектно-производственных дефектов сооружений и конструкций при изыскании и проектировании, низкокачественное выполнение строительных работ, плохого качества строительных материалов и конструкций, нарушения правил техники безопасности при ведении строительных и монтажных работ;

- воздействия технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, превышающие допустимые, высокие температуры, вибрации, действие окислителей, парогазовой и жидкой агрессивных сред, минеральных масел, эмульсий и дисперсии);

- нарушения правил эксплуатации сооружений и технологических процессов производства (вызывающие взрывы котлов, химических веществ, угольной пыли и метана в шахтах, пыли на элеваторах, муки на мельничных комбинатах, сахарной пудры на сахарных заводах, древесной пыли на деревообрабатывающих предприятиях и т. п.).

5.16 Основные направления по повышению устойчивости функционирования территорий и объектов в чрезвычайных ситуациях

- выявление источников ЧС;

- прогнозирование последствий возможных ЧС; уменьшение количества источников ЧС; совершенствование основных фондов и производственных процессов; разработку (уточнение) и соблюдение требований и норм безаварийности производств; эффективный контроль за состоянием основных производственных фондов (ОПФ) и режимов производства; проведение

регулярного технического обслуживания и ремонта ОПФ; повышение квалификации персонала в области безаварийности производств.

Защита производственного персонала (населения) и подготовка системы его жизнеобеспечения. В случае невозможности полностью исключить риск возникновения ЧС, необходимо обеспечить защиту производственного персонала путем: своевременного оповещения персонала об аварии и (или) стихийном бедствии (угрозе) (создание объектовой системы оповещения; поддержание систем оповещения в постоянной готовности); создания и подготовки сил и средств для защиты персонала в условиях ЧС (создание объектовых формирований для проведения СидНР; обеспечение формирований необходимой техникой и имуществом; подготовка к обеспечению их продуктами питания и предметами первой необходимости в условиях ЧС; обучение действиям в условиях ЧС; поддержание формирований в необходимой степени готовности); обучения персонала способам защиты в условиях ЧС (изучение поражающих факторов ЧС; изучение способов защиты от ЧС; проведение тренировок и учений); подготовки к оказанию первой медицинской помощи (накопление медицинских средств защиты и подготовки к их рациональному использованию); подготовки системы жизнеобеспечения к работе в условиях ЧС (организация коммунально - бытового обслуживания персонала в условиях ЧС; защита продовольствия, водоисточников и систем водоснабжения от порчи, заражения (загрязнения); создание резервных источников хозяйственного и питьевого водоснабжения; подготовка временных (стационарных и передвижных) средств очистки воды; определение режимов деятельности людей в зависимости от степени радиоактивного и химического заражения; организация дозиметрического и химического контроля; подготовка технических средств к проведению работ по обеззараживанию территорий, сооружений, оборудования, транспорта, сырья и материалов; подготовка техники и инвентаря к проведению работ в холодное время года; подготовка мест и создание условий для нормального отдыха людей, занятых ликвидацией последствий ЧС; организация

информационного обеспечения персонала в условиях ЧС; морально психологическая подготовка персонала к действиям в ЧС).

Рациональное размещение объектов. Рациональное размещение объектов предполагает: размещение объектов и выбор площадок для размещения их элементов с учетом рельефа, грунтовых и климатических условий, а также других особенностей местности; исключение (ограничение) размещения элементов объекта на локально неблагоприятных участках местности; рассредоточение элементов крупных объектов и их разукрупнение, ограничение расширения крупных производств; ограничение размещения опасных объектов в зонах опасных природных явлений и размещение их на безопасном удалении от других объектов; строительство базисных складов для хранения вредных, взрывоопасных и легковоспламеняющихся веществ за пределами территории объекта в загородной зоне.

5.17 Охрана окружающей среды

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

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

В качестве дополнительных средств защиты применяют системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей, глушителей шума, виброизоляторы технологического оборудования. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных

предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

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

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, так же твердые отходы являются обрезки кабелей, а также вышедшие из строя оборудование, которое направляется на заводы для переработки. Для оставшихся отходов предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

Заключение

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

В начале расчета двигателя были получены значения электромагнитных нагрузок A и B_s , входящие в рекомендуемые пределы, основанные на исследовании работающих двигателей серии АИ. От электромагнитных нагрузок зависят не только размеры машины, а также и ее характеристики. Число пазов статора принято стандартному и равно $Z_1=72$, т.о. обмотка имеет целое число пазов на полюс и фазу ($q=4$).

Плотность тока в обмотке статора получилась значительной, что характерно для двигателей небольшой и средней мощности. Для обмотки статора используется стандартный эмалированный провод с диаметром $d_{из}=1.685$ мм, это позволяет применять механизированную укладку обмотки,

коэффициент заполнения паза соответствует механизированной укладке. В расчете зубцовой зоны статора была принята конфигурация пазов, при которой зубцы имеют постоянное поперечное сечение по всей высоте, т.е. в зубцах не будет участков с разной индукцией.

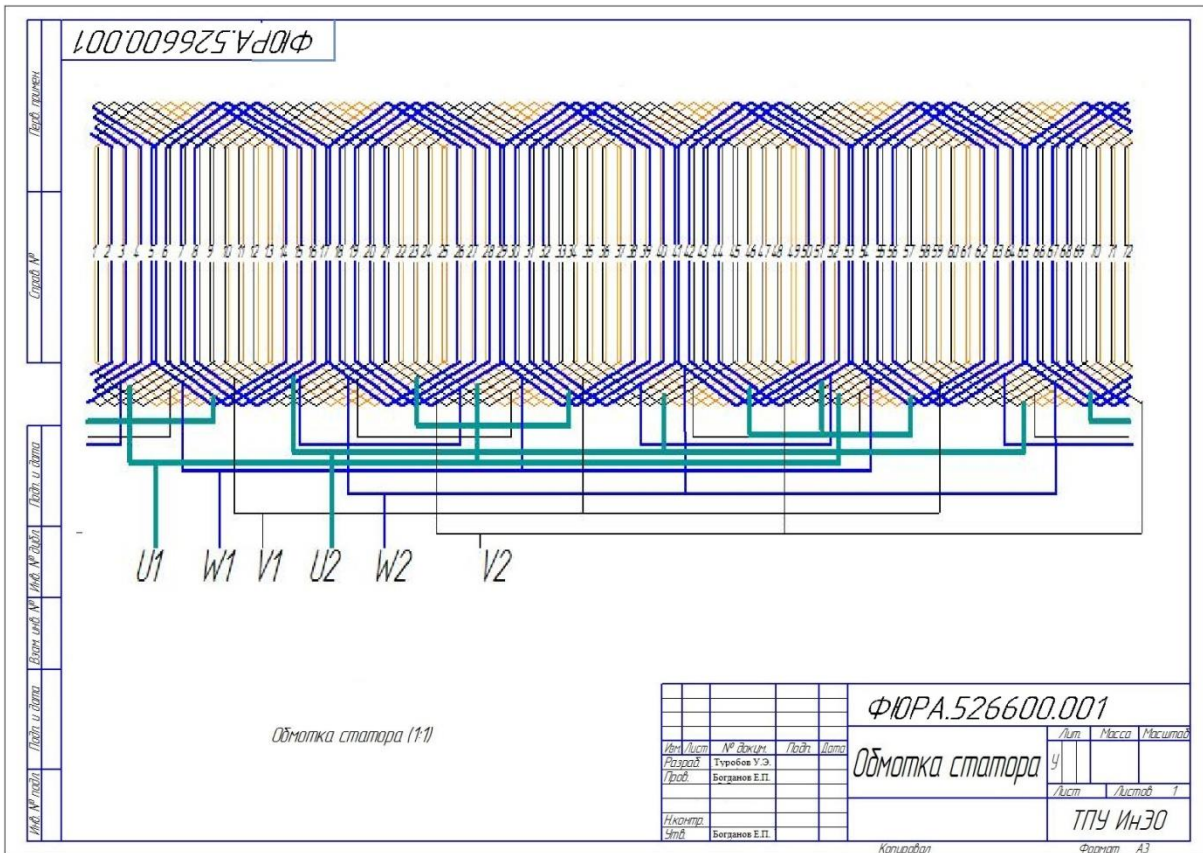
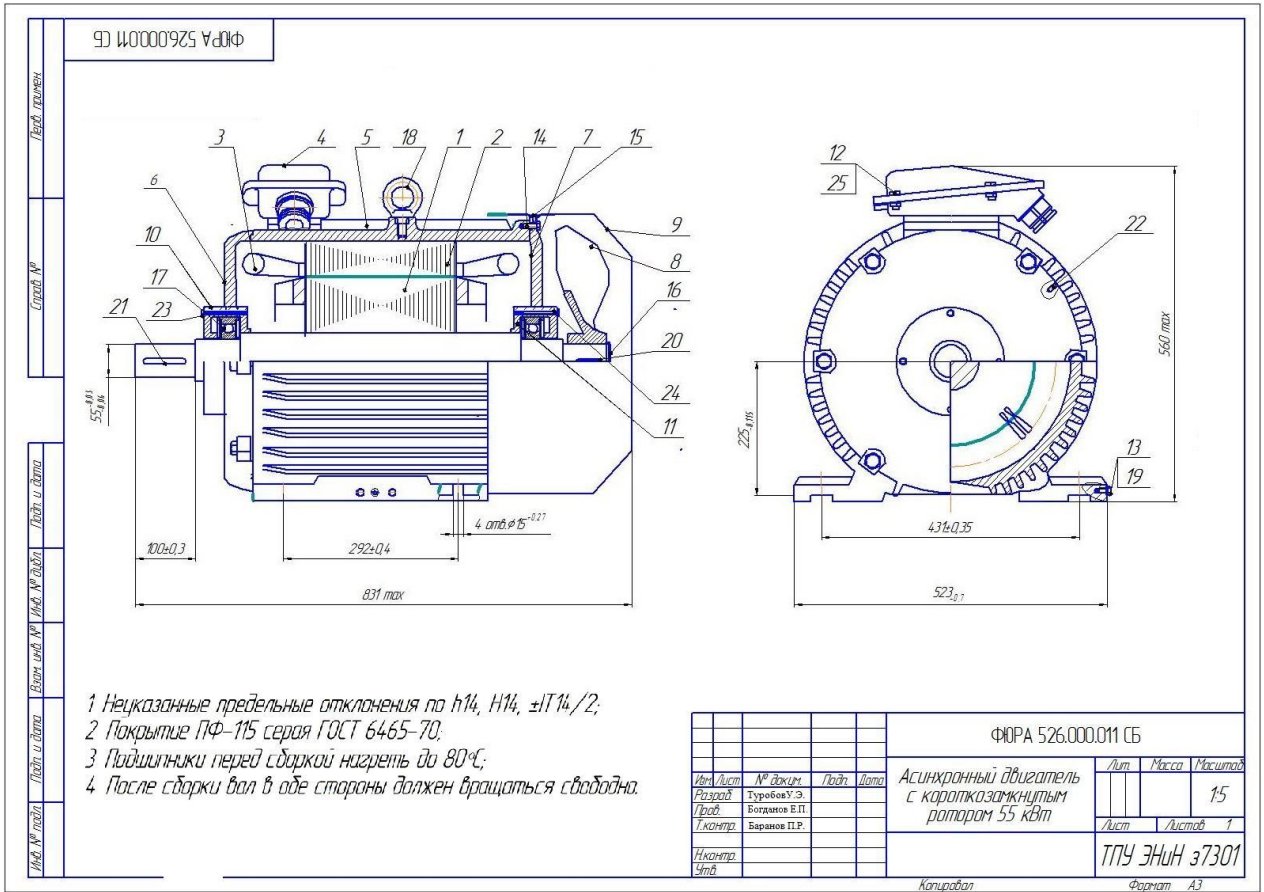
Воздушный зазор был выбран небольшим, что приводит к уменьшению магнитодвижущей силы магнитной цепи и тока намагничивания. При этом будут уменьшаться суммарные потери, благодаря чему в расчете рабочих характеристик повысились значения $\cos \varphi$ и КПД. Число пазов ротора выбрано по рекомендациям, основанным на изучении влияния соотношений числа зубцов статора и ротора на кривую момента, а также шумы и вибрации. Пазы ротора выполнены без скоса. При расчете рабочих характеристик получили уточненные значения номинального тока обмотки статора и мощности, потребляемой двигателем, которые меньше, чем принятые вначале работы предварительно.

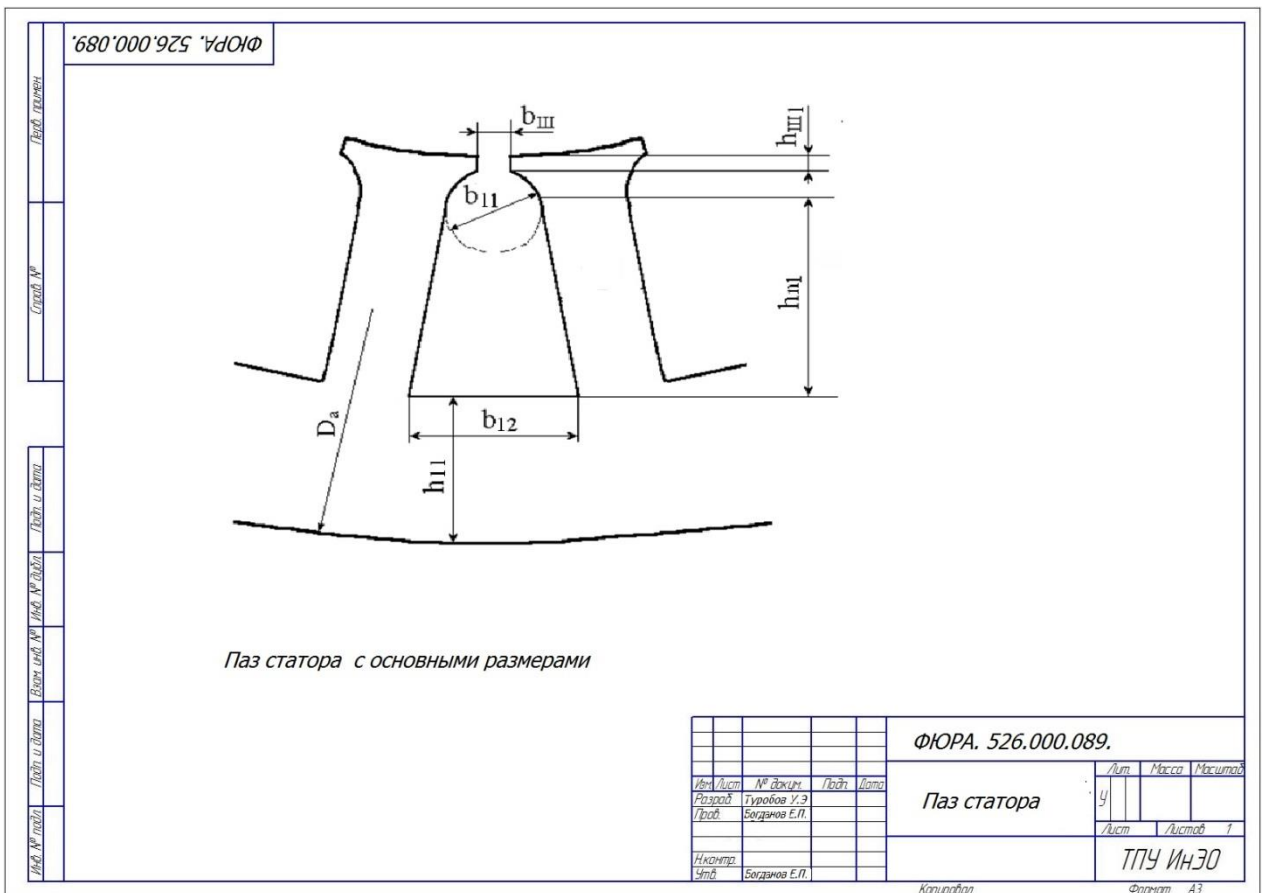
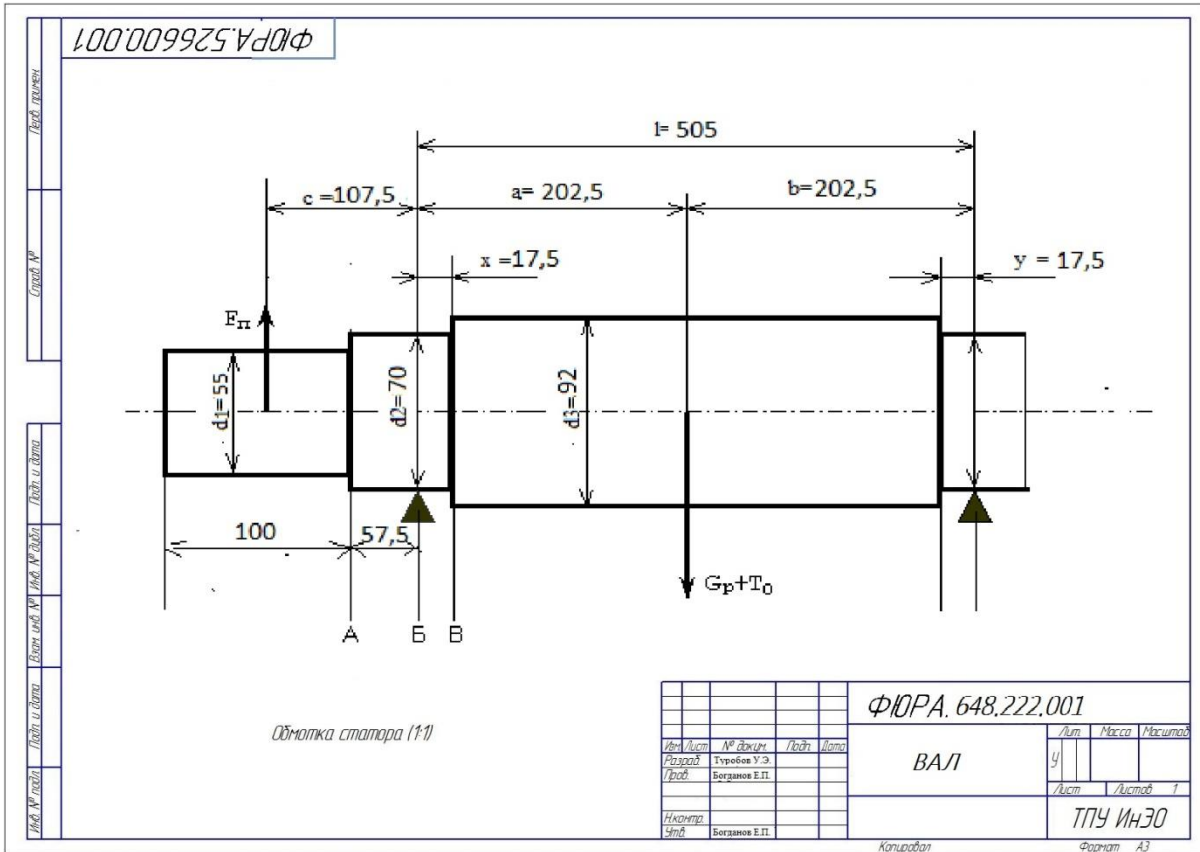
В расчете пусковых характеристик кратность пускового тока получилась в допустимых пределах, установленных стандартом (ГОСТ 19523 - 74), а пусковой момент удовлетворяющим техническому заданию, его кратность превысила заданного значения. Это явилось следствием таких факторов, как довольно высокое сопротивление фазы обмотки ротора, высокая и тонкая форма пазов ротора, в которых более сильно проявляется эффект вытеснения тока, проявляющегося в результате действия потока пазового рассеяния. Таким образом можно задавать пусковой момент меняя плотность тока в обмотке ротора или индукцию в зубцах ротора.

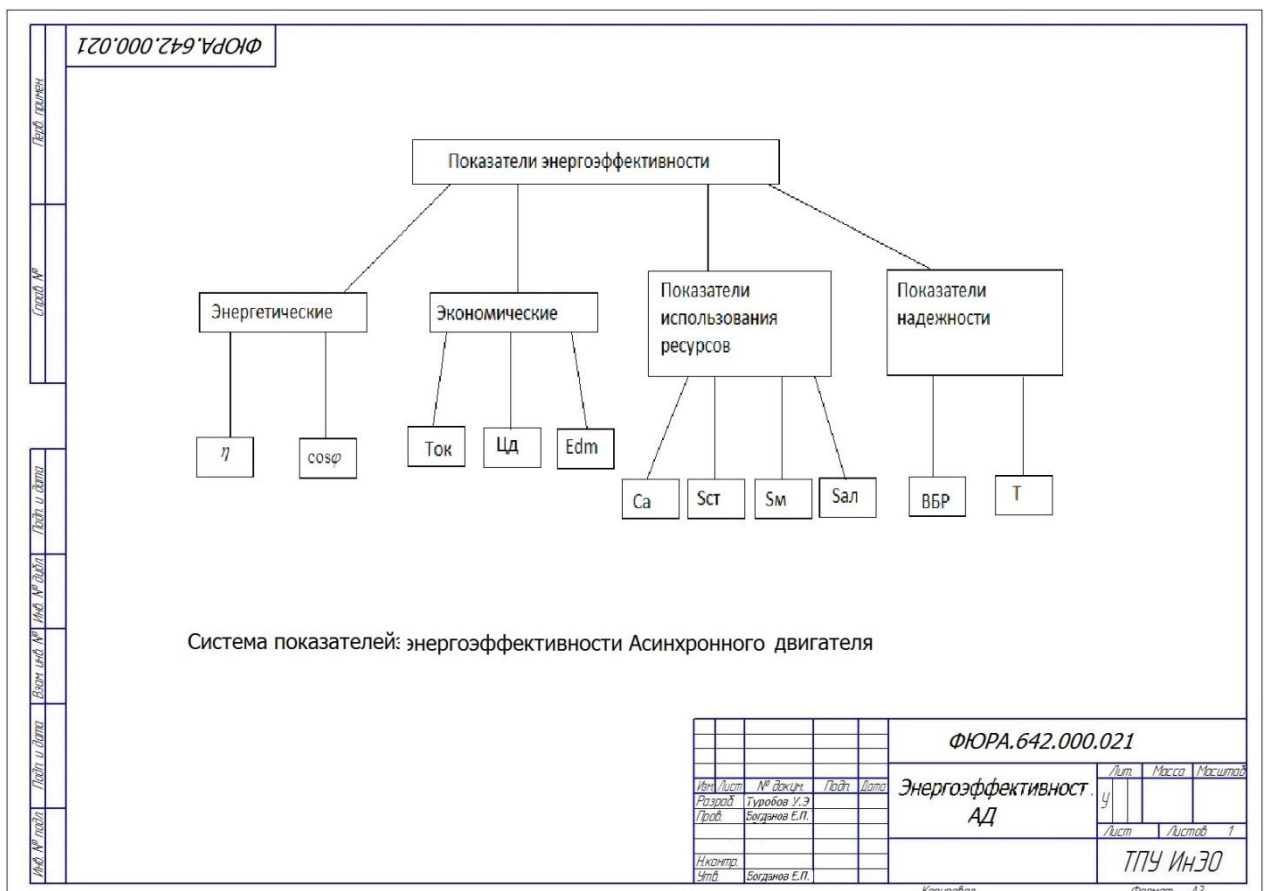
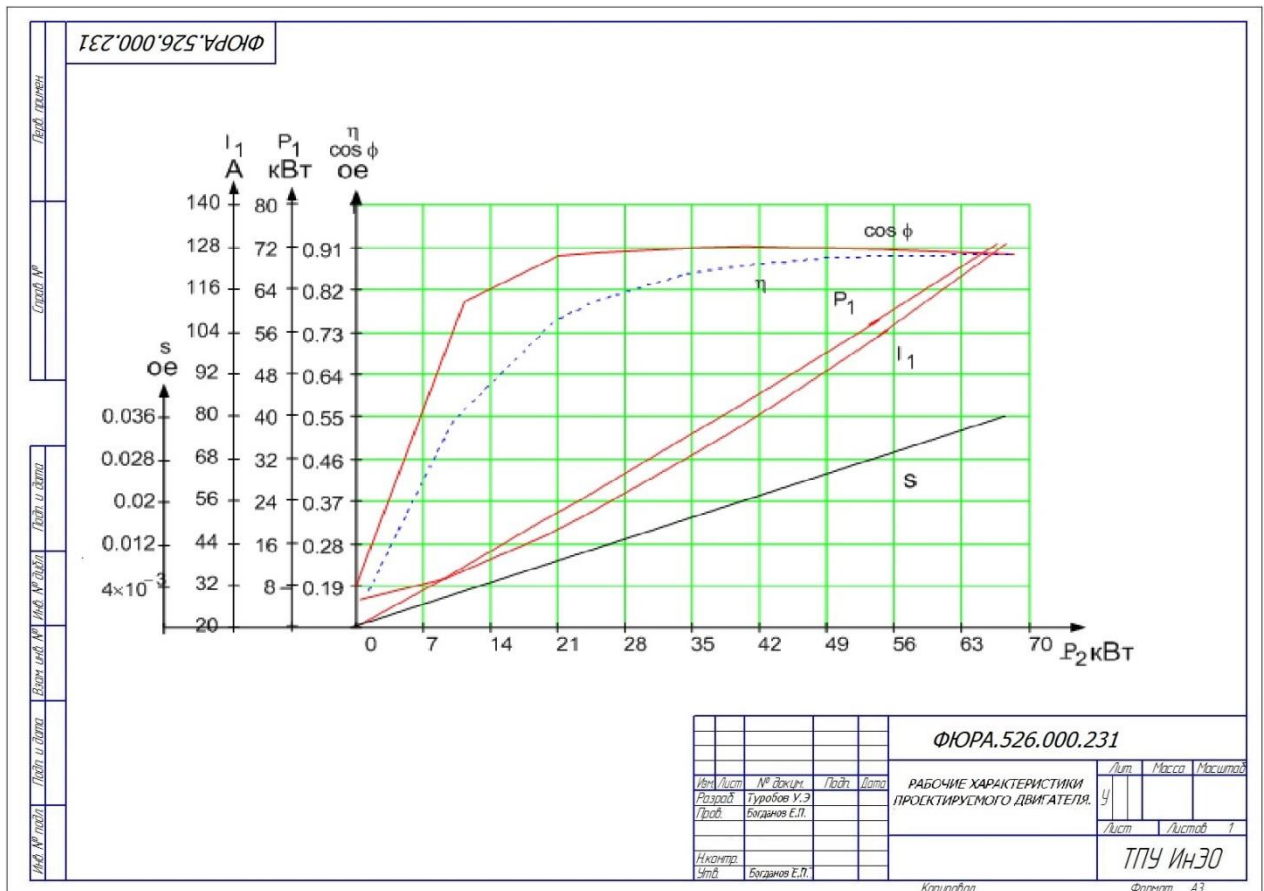
Тепловой расчет показал, что у двигателя имеется небольшой температурный запас по температуре нагрева обмотки статора (для класса изоляции F), а вентилятор обеспечивает расход воздуха почти с двукратным запасом.

В механическом расчете определен суммарный прогиб вала от действия силы тяжести ротора и силой, обусловленной соединением муфтой. Полученный прогиб вала не превышает 10% от воздушного зазора. По критической частоте вращения и напряжениях в опасных сечениях, вал имеет огромные запасы.

В данном двигателе применяются герметизированные подшипники, устанавливаемые на весь срок службы двигателя, что обеспечивает высокую долговечность и надежность. Спроектированный двигатель отвечает поставленным в техническом задании требованиям.







СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс: учебник для вузов / А. А.

Чунихин. – 4-е изд., стер. – М.: Альянс, 2008. – 720 с.: ил.

2. Электрические аппараты: учебное пособие / сост. Н.Ю. Сипайлова, Р.Я. Кляйн, Е.П. Богданов. – Томск: Из-во Томского политехнического университета, 2012. – 88 с.

Дополнительная литература:

1. Электрические и электронные аппараты: Учебник для вузов / Под ред. Ю.К. Розанова. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 752 с.

2. Кляйн Р.Я. Электрические и электронные аппараты. Ч. II: Электромеханические аппараты: учебное пособие / Р.Я. Кляйн. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 161 с.

3. Копылов Ю.В. Лабораторный практикум. Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Электрические и электронные аппараты». – Томск: Изд-во ТПУ 2007 г. – 107 с.

4. Кляйн Р.Я., Сипайлова Н.Ю. Электрические и электронные аппараты. Программа, методические указания по изучению дисциплины и контрольные задания для студентов направления 551300 – электротехника, электромеханика, электротехнологии и студентов специальности 180100 – электромеханика. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004 г. – 30 с.

5. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: Высш. шк. 1984. – 247 с.

6. Родштейн Л.А. Электрические аппараты. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 304 с.

7. Буль Б.К., Буль О.Б. и др. Электромеханические аппараты автоматики. – М.: Высш. шк., – 1988, – 304 с.

8. Шопен Л.Б. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. – М.: Энергия, 1986. – 568 с.

9. Буткевич Г.В., Дегтярь В.Г., Сливинская А.Г. Задачник по электрическим аппаратам. – М.: Высш. шк. 1987. – 200 с.

10. Кляйн Р.Я. Лабораторный практикум. – Томск: Изд. ТПУ 2002 г. – 79 с.

11. Кляйн Р.Я. Электрические и электронные аппараты. Уч. пособие. Ч.1 «Физические явления в электрических аппаратах». – Томск: ТПУ, 2000 г. – 97 с.

12. Sipaylova N. Electrical devises. –Tomsk: TPU, 2001. – 137 с.

13. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов. – М.: Энергия, 1974. – 554 с.

14. Проектирование электрических аппаратов. Под ред. Г.Н. Александрова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 447 с.

Интернет-ресурсы

1. <http://www.power-e.ru> – журнал «Силовая электроника»;

2. <http://www.platan.ru> – каталог электронных компонентов;

3. <http://www.electrolab.ru> – сайт компании «Учебное оборудование», поставщика лабораторного оборудования различного назначения;

4. <http://www.osp.ru> – рекомендации по опубликованию научных трудов;

5. <http://www.vak.ed.go.ru> – официальный сайт Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации;

6. http://window.edu.ru/window_catalog/files/2901/metod37.pdf – основы научных исследований;

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

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

		ТПУ	ФЮРА.526000.011		
Двигатель				П	

Комплект документов на технологический процесс
сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Дубл.															
Взам.															
Подл.															
														3	
											ФЮРА.526000.011				
А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код, наимен. операции				Обозначение документа						
Б	Код, наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тпз	Тшт
к/м	Наименование детали, сб. единицы или материала				Обозначение				опп	ЕВ	ЕН	КИ	Н. расх		
A01	010 0250, контроль формы и расположения поверхностей														
B02	562910, стол универсального назначения														
03					2	12920	220	4P	1	1	120	3700	1	0,04	22.39
K04	Двигатель в сборе										1	3700	3700	3700	3700
T05	y02-ХЛ синий, ботинки тканевые														
T06	Оправки для проверки, ШЦ-III- 630-0,1 ГОСТ 166-89, ШЦЦ-II- 250-0,01 ГОСТ 166-89														
O07	Проверить размеры														
08															
A09	015 0390, приемно-сдаточные испытания														
B10	344001, стенд приемно-сдаточных испытаний														
11					2	18312	220	2P	1	1	120	3700	1	1,04	46.61
T12															
K13	Двигатель в сборе										1	3700	3700	3700	3700
T14	422600(1), оборудование для проведения испытаний (омметр, амперметр, частотомер)														
T15	y02-ХЛ синий, ботинки тканевые														
O16	Измерить сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками (выборочно на 10% от партии)														
17	Определение коэффициента трансформации														
18	Испытание изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками на электрическую прочность производится на стадии статора														
19	Испытать междувитковую изоляцию обмоток на электрическую прочность														
20	Определить ток и потери холостого хода														
21	Определить ток и потери короткого замыкания (выборочно на 10% от партии)														
22	Передать двигатель на склад														
23															
24															
25															
26															
МК		Маршрутная карта											4		

