

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: ____ страниц, ____ рисунков, ____ таблиц, ____ источников, ____ приложений, ____ л. графического материала.

ДВИГАТЕЛЬ АСИНХРОННЫЙ, РОТОР ФАЗНЫЙ,
РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПУСКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ,
КЛАСС НАГРЕВОСТОЙКОСТИ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, СХЕМА СБОРКИ,
ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ, МАРШРУТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ,
ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА, ЗАГРУЗКА ОБОРУДОВАНИЯ,
НОРМИРОВАНИЕ.

Объектом проектирования является крановый асинхронный двигатель с фазным ротором.

В процессе работы разработан крановый асинхронный двигатель с фазным ротором, а именно: рассчитаны главные размеры, спроектированы обмотки статора и ротора, выбраны обмоточные провода, изоляция, рассчитаны рабочие и пусковые характеристики, произведен механический расчет вала и тепловой расчет двигателя. Проведен расчет пусковых добавочных сопротивлений, спроектированного АД и построена пусковая диаграмма. Разработан комплект документов на общую сборку электродвигателя, рассчитана себестоимость проекта и рассмотрены вопросы социальной ответственности.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 и представлена на бумаге формата А4.

Содержание

	стр.
Введение.....	11
1 Электромагнитный расчет.....	13
1.1 Выбор главных размеров.....	14
1.2 Расчет зубцовой зоны и обмотки статора.....	16
1.2.1 Расчёт размеров зубцовой зоны статора.....	19
1.2.2 Размер паза в штампе.....	20
1.3 Расчёт ротора.....	23
1.3.1 Расчет размеров зубцовой зоны ротора.....	26
1.4 Расчет магнитной цепи.....	29
1.5 Параметры рабочего режима.....	33
1.5.1 Активные сопротивления обмоток.....	34
1.5.2 Индуктивные сопротивления обмоток.....	36
1.6 Расчет потерь.....	39
1.7 Холостой ход двигателя.....	42
1.8 Расчет рабочих характеристик.....	43
1.9 Расчет пусковых характеристик.....	47
2 Тепловой и вентиляционный расчёт.....	54
3 Механический расчет вала.....	58
3.1 Расчет на жесткость.....	59
3.2 Выбор подшипников.....	61
4. Специальная часть.....	63
4.1 Построение пусковой диаграммы и расчет сопротивлений ступеней.....	65
4.2 Выбор типового ящика резисторов.....	68
4.3 Особенности конструкции блока Бб.....	68
4.4 Условия эксплуатации.....	69
4.5 Технические данные.....	70

5 Технологическая часть.....	74
5.1 Оценка технологичности конструкции.....	75
5.2 Размерные анализ конструкции двигателя методом полной взаимозаменяемости.....	80
5.3 Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки электрической машины.....	86
5.4 Выбор сборочного оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств.....	89
5.5 Нормирование сборочных работ, расчет количества технологического оборудования для обеспечения заданной программы.....	91
5.6 Определение потребного количества оборудования	94
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	97
6.1 Смета затрат на проектирование	100
6.1.1 Смета затрат на подготовку проекта.....	102
6.1.2 Отчисления на социальные нужды.....	103
6.1.3 Материальные затраты на канцелярские товары.....	104
6.1.4 Амортизация вычислительной техники.....	104
6.1.5 Прочие неучтенные затраты.....	104
6.1.6 Накладные расходы.....	105
6.1.7 Себестоимость проекта.....	105
6.2.1 Определение материальных расходов.....	106
6.2.2 Затраты на силовую электроэнергию.....	107
6.3 Оценка конкурентоспособности создаваемого продукта.....	109
7. Социальная ответственность	110
7.1 Анализ опасных и вредных факторов.....	110
7.2 Производственная санитария.....	112
7.3 Расчет искусственного освещения.....	113

7.3.1 Выбор источников света.....	113
7.3.2 Выбор системы освещения.....	113
7.3.3 Выбор осветительных приборов.....	114
7.3.4 Выбор коэффициента запаса.....	114
7.3.5 Размещение осветительных приборов.....	115
7.3.6 Расчет осветительной установки.....	116
7.4 Микроклимат.....	118
7.5 Техника безопасности.....	123
7.6 Пожарная безопасность.....	125
7.6.1 Содержание зданий и помещений на объединении.....	126
7.6.2 На территории объединения и в помещениях запрещается.....	127
7.6.3 Каждый работающий на объединении должен знать.....	128
7.7 Охрана окружающей среды.....	129
7.8 Чрезвычайная ситуация.....	130
Заключение	134
Список использованной литературы	136
Приложение А	
Графический материал	

Введение

Электродвигатели различных типов и исполнений развиваются на протяжении последних 150 лет, но наиболее используемым на сегодняшний день, является асинхронный электродвигатель переменного тока, т.к. является более надежным и простым в эксплуатации. Достаточно высокая эффективность в сочетании с простотой изготовления, высокой надежностью и низкой ценой делает его самым широко-применяемым типом двигателя по всему миру.

Цель работы: Проектирование кранового асинхронного двигателя с фазным ротором, мощностью 5кВт, высотой оси вращения 132 (мм), числом полюсов $2p=6$, номинальным напряжением сети $U_n=220(V)$, частотой сети $f=50$ (Гц), расчета и выбора пусковых добавочных сопротивлений.

Для достижения поставленных целей в данной ВКР, необходимо:

- Произвести электромагнитный, тепловой, вентиляционный и механический расчёты асинхронного двигателя (АД).
- Произвести расчет пусковых добавочных сопротивлений, выбор типового комплекта – ящика резисторов для пуска данного АД, и разработать пусковую схему.
- Рассмотреть технологический процесс сборки АД.
- Обосновать технико-экономическое производство АД.
- Рассмотреть безопасность технологического процесса сборки АД.

Во введении рассмотрена актуальность проектирования асинхронных двигателей с фазным ротором.

В первом разделе выпускной квалификационной работы был произведён электромагнитный расчёт АД с фазным ротором, а именно: рассчитаны главные размеры, спроектированы обмотки статора и ротора. Также выбраны обмоточные провода, изоляция, рассчитаны рабочие и пусковые характеристики.

Во втором разделе произведены тепловой и вентиляционный расчеты двигателя.

В третьем разделе был произведен механический расчет вала асинхронного двигателя.

В четвертом разделе - специальная часть - проведены расчеты пусковых добавочных сопротивлений спроектированного АД и построена пусковая диаграмма.

В пятом разделе - технологическая часть - была произведена оценка технологичности конструкции проектируемого двигателя. Произведен размерный анализ конструкции. Разработан комплекс документов на общую сборку двигателя. Определены нормы времени и рассчитано количество оборудования необходимое для производства партии АД количеством 5000 штук.

В пятом разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение - рассматриваются затраты и себестоимость данного проекта. Произведена оценка конкурентоспособности продукции.

В шестом разделе социальная ответственность проекта был проведен анализ опасных и вредных факторов воздействующих на работников при производстве АД.

В заключении приведены основные результаты выполненных исследований, проведен их анализ и сделаны выводы по проделанной работе.

1 Электромагнитный расчет

Проектируемый асинхронный двигатель с фазным ротором предназначен для привода грузоподъемной тележки грейферного крана КК-25Г (рисунок 1) который установлен в цеху СК-40 завода АО “Аммофос-Максам”

АО “Аммофос-Максам” - одно из крупнейших предприятий Республики Узбекистан, введенное в строй в 1969 году и производящим в настоящее время сложные азотно-фосфорные удобрения на базе фосфоритов Кызылкумского месторождения. К основным цехам завода относятся аммофос -2,3 Эфк-2,3 СК-40, ОЖА.

Цех СК-40 производит для нужд завода серную кислоту путем плавления серы завозимой на территорию завода.

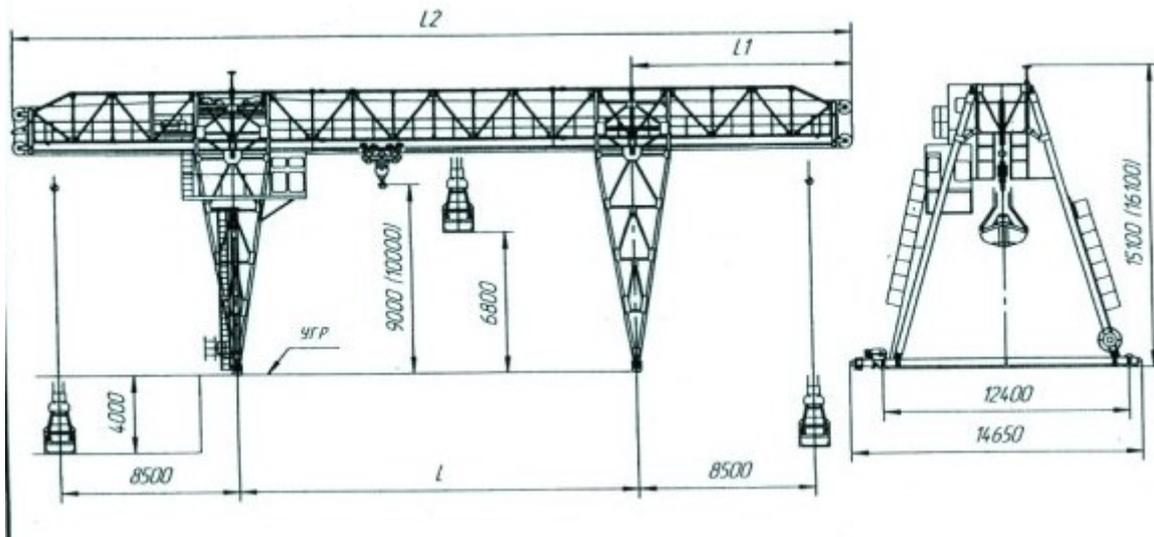


Рис.1 Грейферный кран КК-25

Кран используется для перемещения, прибывшего в цех сырья (сера) которое используется при производстве основной продукции завода. На кране установлено большое количество эл. машин, один из которых АД с фазным ротором мощностью 5 кВт модели МТФ 112-6 для перемещения грузоподъемной тележки крана который работает в повторно-кратковременном режиме.

Для того что бы привести грузоподъемную тележку крана в движение электродвигатель должен иметь плавный пуск и большой пусковой момент. Поэтому и был выбран асинхронный двигатель с фазным ротором.

Данный тип двигателя обладает хорошими пусковыми характеристиками. Пуск осуществляется с помощью пусковых реостатов. Для уменьшения пускового тока обмотка ротора замыкается на пусковой реостат через контактные кольца и щетки.

В ВКР была выполнена разработка асинхронного кранового двигателя с фазным ротором. Основной технологической особенностью двигателя является регулирование частоты вращения в необходимых пределах с помощью пусковых реостатов, обеспечивающих плавный пуск механизма (грузоподъемной тележки грейферного крана).

1.1 Выбор главных размеров

Электромагнитный расчет проведен в соответствии с методикой проектирования описанным в литературе: “Проектирование электрических машин: Учеб. пособие для вузов/И. П. Копылов, Ф.а. Горяинов, Б. К. Клоков и др.; Под ред. И. П. Копылова. М.: Энергия, 2002”

К главным размерам машины относят внутренний диаметр расточки статора D_1 и расчетную длину воздушного зазора l_δ . При заданной высоте оси вращения ($h=132$ мм) вначале по табл. 9.8, [1, с.344], определяется наружный диаметр сердечника статора: $D_a = 0,230$ м.

Внутренний диаметр сердечника статора:

$$D_1 = K_D \cdot D_a = 0,7 \cdot 0,230 = 0,161 \text{ м.}$$

Принимаем $D_1=0,16$ м, (1.1)

где K_D - коэффициент, характеризующий отношение внутреннего и наружного диаметра сердечника статора. Согласно рекомендациям табл. 9.9, [1,с.344]:

$$K_D = 0,7 .$$

Расчетная длина воздушного зазора определяется следующим образом.

Определяется расчетная (электромагнитная) мощность двигателя:

$$P' = \frac{K_E \cdot P_2}{\eta \cdot \cos \phi} = \frac{0,96 \cdot 5000}{0,84 \cdot 0,82} = 6969 \text{ Вт,} \quad (1.2)$$

где K_E - отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению, по рис.9.20 [1,с.345], принимаем $K_E=0,96$. Коэффициент полезного действия $\eta=0,84$ и коэффициент мощности $\cos\phi=0,82$ выбираются по рис. 9.21 [1,с.345].

Синхронная угловая частота вращения вала двигателя:

$$\Omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ рад/с.} \quad (1.3)$$

Электромагнитные нагрузки – линейная нагрузка и индукция в воздушном зазоре B_δ - сильно влияют на размеры двигателя. Увеличение произведе-

ния а B_δ , характеризующего электромагнитную мощность, приводит к уменьшению размеров статора.

Однако, увеличение произведения $A \cdot B_\delta$ ограничивается тем, что начиная с некоторого его значения ухудшаются характеристики двигателя, возрастают перегревы, а так же внешние размеры и масса двигателя. Поэтому электромагнитные нагрузки должны быть оптимальными.

По рис. 9.22 [1] задаемся предварительными значениями: линейной нагрузки $a=27 \cdot 10^3$ а/м; индукции в воздушном зазоре $B_\delta=0,9$ Тл; обмоточного коэффициента однослойной обмотки, $k_{об1}=0,96$; коэффициента формы магнитного потока $k_B=1,11$.

Расчетная длина воздушного зазора:

$$l_\delta = \frac{P'}{D_1^2 \cdot \Omega \cdot k_B \cdot k_{об1} \cdot A \cdot B_\delta} = \frac{6969}{0,16^2 \cdot 104,72 \cdot 1,11 \cdot 0,96 \cdot 27 \cdot 10^3 \cdot 0,9} = 0,1 \text{ м.} \quad (1.4)$$

Синхронная частота вращения:

$$n = \frac{f_1 \cdot 60}{p} = \frac{50 \cdot 60}{3} = 1000 \text{ об/мин.} \quad (1.5)$$

Полюсное деление машины:

$$\tau_1 = \frac{\pi \cdot D_1}{2p} = \frac{\pi \cdot 0,16}{2 \cdot 3} = 0,084 \text{ м.} \quad (1.6)$$

Критерием правильности выбора главных размеров служит отношение λ , определяемое по формуле:

$$\lambda = \frac{l_\delta}{\tau_1} = \frac{0,1}{0,084} = 1,19$$

Полученное значение входит в область рекомендуемых пределов [1]

$$\lambda = 0,9 \div 1,6$$

В результате проделанных вычислений получены значения высоты оси вращения h , внутреннего диаметра статора D_1 , внешнего диаметра статора D_a ,

расчетной длины магнитопровода l_{δ} и полюсного деления τ_1 , и правильность найденных значений подтверждает отношение λ , которое находится в рекомендуемых пределах.

1.2 Расчет зубцовой зоны и обмотки статора

Этот этап расчета включает определение числа пазов статора Z_1 и числа витков w_1 в фазе обмотки статора. 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 предварительно принятыми значениями, а число пазов статора обеспечивало достаточно равномерное распределение катушек обмотки.

Согласно рекомендациям, [1], определяем диапазон числа пазов статора:

$$Z_{1\min} \div Z_{1\max} = \frac{\pi \cdot D_1}{t_{1\max}} \div \frac{\pi \cdot D_1}{t_{1\min}} = \frac{\pi \cdot 0,16}{0,012} \div \frac{\pi \cdot 0,16}{0,009} = 41,89 \div 55,85, \quad (1.7)$$

где $t_{1\max}, t_{1\min}$ - диапазон предварительных значений зубцового деления. Согласно рис. 9.26 [1, с. 351] принимаем: $t_{1\min} = 0,009$ м, $t_{1\max} = 0,012$ м. Принимаем число пазов статора: $Z_1 = 54$.

Число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{Z_1}{2 \cdot p \cdot m} = \frac{54}{2 \cdot 3 \cdot 3} = 3. \quad (1.8)$$

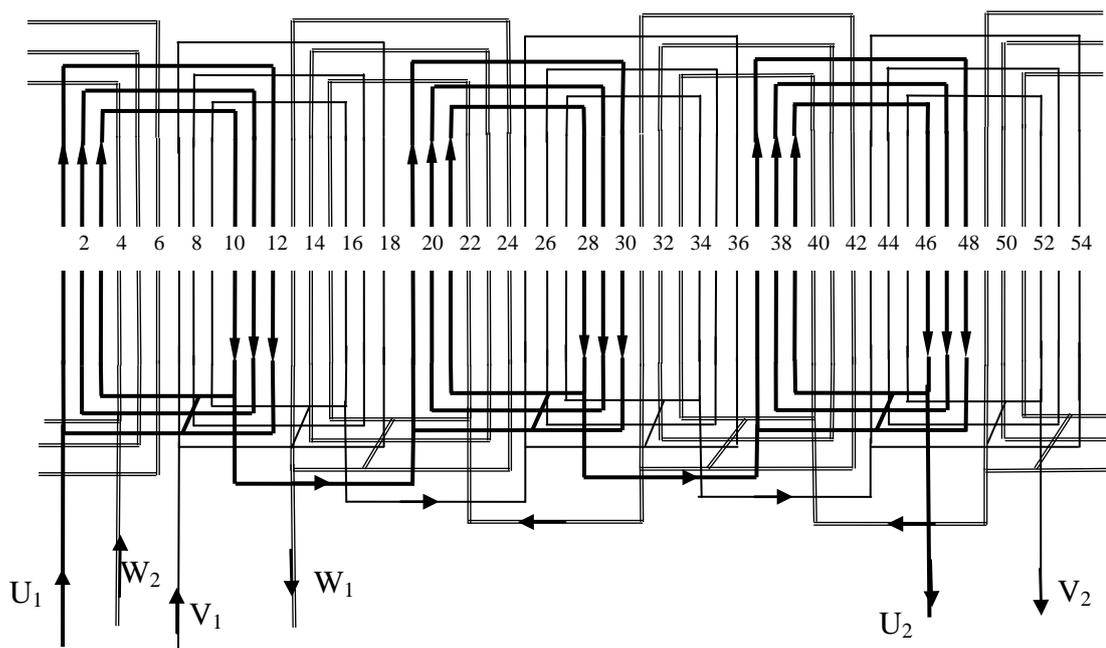


Рис.1.1 Схема трехфазной однослойной обмотки статора $Z_1=54$, $2p=6$,
 $q=3, a=1, \tau=9$

Уточняем зубцовое деление статора:

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_1}{Z_1} = \frac{\pi \cdot 0,16}{54} = 0,0093 \text{ м.} \quad (1.9)$$

Номинальный ток статора:

$$I_{1H} = \frac{P_2}{m_1 \cdot U_{1H} \cdot \eta \cdot \cos \phi} = \frac{5000}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,82} = 11 \text{ А.} \quad (1.10)$$

По рис. 9.27 [1, с. 355], задаемся удельной тепловой нагрузкой: $A \cdot J_1 = 170 \cdot 10^9 \text{ А}^2/\text{м}^3$ и определяем предварительно допустимую плотность тока обмотки статора:

$$J_1 = \frac{A \cdot J_1}{A} = \frac{170 \cdot 10^9}{27,18 \cdot 10^3} = 6,26 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2. \quad (1.11)$$

Обмотка статора выбираем однослойной, всыпной. Всыпная обмотка укладывается в полузакрытые пазы, имеющие узкий шлиц. Для всыпных обмоток диаметр обмоточного провода не должен превышать 1,7 мм при ручной укладке и 1,33 мм при механизированной укладке обмоток, так как провода большего диаметра имеют слишком большую жесткость и плохо уплотняются в

пазах во время укладки. Принимаем для обмотки статора число параллельных ветвей: $a_1=1$ и определяем предварительно:

число эффективных проводников в пазу:

$$u_{n1} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot A \cdot a_1}{Z_1 \cdot I_{1H}} = \frac{\pi \cdot 0,16 \cdot 27,18 \cdot 10^3 \cdot 1}{54 \cdot 11} = 22,85; \quad (1.12)$$

сечение эффективного проводника:

$$q'_{\phi 1} = \frac{I_{1H}}{a_1 \cdot J_1} = \frac{11}{1 \cdot 6,26 \cdot 10^6} = 1,758 \cdot 10^{-6} \text{ а/м}^2. \quad (1.13)$$

Принимаем число эффективных проводников в пазу статора: $u_{n1}=23$.

Принимаем число элементарных проводников в одном эффективном проводнике: $n_{\text{эл}} = 1$.

Определяем сечение элементарного проводника:

$$q_{\text{эл}} = \frac{q'_{\phi 1}}{n_{\text{эл}}} = \frac{1,758 \cdot 10^{-6}}{1} = 1,758 \cdot 10^{-6} \text{ м}. \quad (1.14)$$

В проектируемом двигателе, выбираем провод марки ПЭТ-200-2.

Для обмотки статора из табл. П 3.1, [1, стр. 713], с учетом размеров среднего сечения элементарного провода (1.15), выбираем обмоточный провод следующих размеров:

$$\text{провод} - d_{\text{эл11}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad q_{\text{эл11}} = 1,767 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2, \quad d_{\text{ИЗ11}} = 1,585 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Уточненное значение сечения эффективного проводника обмотки статора при выбранных размерах элементарных проводников:

$$q_{\phi 1} = n_{\text{эл}} \cdot q_{\text{эл}} = 1 \cdot 1,758 \cdot 10^{-6} = 1,758 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (1.15)$$

Число последовательно соединенных витков в фазе обмотки статора:

$$w_1 = \frac{u_{n1} \cdot Z_1}{2 \cdot a_1 \cdot m_1} = \frac{23 \cdot 54}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 207. \quad (1.16)$$

Уточняем линейную нагрузку:

$$A = \frac{2 \cdot I_{1H} \cdot w_1 \cdot m_1}{\pi \cdot D_1} = \frac{2 \cdot 11 \cdot 207 \cdot 3}{\pi \cdot 0,16} = 2,72 \cdot 10^4 \text{ А/ м}. \quad (1.17)$$

Коэффициент распределения однослойной обмотки статора:

$$k_p = \frac{\sin \frac{\pi}{2 \cdot m_1}}{q_1 \cdot \sin \frac{\pi}{2 \cdot m_1 \cdot q_1}} = \frac{\sin \frac{\pi}{2 \cdot 3}}{3 \cdot \sin \frac{\pi}{2 \cdot 3 \cdot 3}} = 0,9598 \quad (1.18)$$

Обмоточный коэффициент однослойной обмотки статора:

$$k_{об1} = k_y \cdot k_p = 1 \cdot 0,9598 = 0,9598, \quad (1.19)$$

где $k_y = 1$ - коэффициент укорочения.

Магнитный поток в воздушном зазоре машины:

$$\Phi_\delta = \frac{k_e \cdot U_{1н}}{4 \cdot k_g \cdot w_1 \cdot k_{об1} \cdot f_1} = \frac{0,96 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 207 \cdot 0,9598 \cdot 50} = 0,0048 \text{ Вб.} \quad (1.20)$$

Уточняем значение магнитной индукции в воздушном зазоре:

$$B_\delta = \frac{p \cdot \Phi_\delta}{D_1 \cdot l_\delta} = \frac{3 \cdot 0,0048}{0,16 \cdot 0,1} = 0,898 \text{ Тл.} \quad (1.21)$$

Уточненные значения электромагнитных нагрузок (линейной нагрузки и индукции в воздушном зазоре) Значения A и B_δ находятся в допустимых пределах ($\pm 5\%$)

$$\Delta B_\delta = \frac{0,9 - 0,898}{0,9} \cdot 100\% = 0,22\% \quad \Delta A = \frac{27 - 27,2}{27} \cdot 100\% = -0,74\%$$

1.2.1 Расчет размеров зубцовой зоны статора

Размеры пазов в электрических машинах должны удовлетворять следующим требованиям. Площадь паза должна соответствовать количеству и размерам размещаемых в пазу проводников обмотки с учетом всей изоляции. Значение индукций в зубцах и ярме статора должны находится в определенных пределах, зависящих от типа, мощности, исполнения машины и от марки электротехнической стали сердечника. Для проектируемого двигателя выбираем электротехническую сталь марки 2211, с коэффициентом заполнения сердечников статора и ротора $k_c = 0,97$, табл. 9.13 [1, с. 358]. Сердечники статора и ротора двигателя выполняются без радиальных вентиляционных каналов.

Принимаем длину железа сердечника статора равной расчетной длине
 $l_1 = l_\delta = 0,1$ м.

Ширина зубца статора:

$$b_{z1} = \frac{B_\delta \cdot t_1 \cdot l_\delta}{B_{z1} \cdot l_1 \cdot k_c} = \frac{0,898 \cdot 0,0093 \cdot 0,1}{1,65 \cdot 0,1 \cdot 0,97} = 0,0052 \text{ м}, \quad (1.22)$$

где $B_{z1}=1,65$ Тл - индукция в зубцах статора, выбранная по табл. 9.12 [1,с.357].

Высота ярма статора:

$$h_{j1} = \frac{\Phi_\delta}{2 \cdot B_{j1} \cdot l_1 \cdot k_c} = \frac{0,0048}{2 \cdot 1,5 \cdot 0,1 \cdot 0,97} = 0,0165 \text{ м}, \quad (1.23)$$

где $B_{j1}=1,5$ Тл - индукция в ярме статора, выбранная по табл. 9.12 [1,с.357].

1.2.2 Размер паза в штампе

Высота паза статора:

$$h_{n1} = \frac{D_a - D_1}{2} - h_{j1} = \frac{0,23 - 0,16}{2} - 0,0165 = 0,0185 \text{ м}. \quad (1.24)$$

Ширина паза статора:

Меньший диаметр:

$$b_{11} = \frac{\pi \cdot (D_1 + 2 \cdot h_{n1}) - b_{z1} \cdot Z_1}{Z_1 + \pi} = \frac{\pi \cdot (0,16 + 2 \cdot 0,0185) - 0,0052 \cdot 54}{54 + \pi} = 0,0063 \text{ м}. \quad (1.25)$$

Принимаем меньший диаметр: $b_{11} = 6,3 \cdot 10^{-3}$ м.

Больший диаметр:

$$b_{12} = \frac{\pi \cdot (D_1 + 2 \cdot h_{ш1}) - b_{z1} \cdot Z_1}{Z_1 - \pi} =$$
$$= \frac{\pi \cdot (0,16 + 2 \cdot 0,0005) - 0,0052 \cdot 54}{54 - \pi} = 0,0042 \text{ м.} \quad (1.26)$$

Расстояние между центрами:

$$h_1 = h_{n1} - \left(h_{ш1} + \frac{b_{11} - b_{ш}}{2} \right) =$$
$$= 0,0185 - \left(0,0005 + \frac{0,0042 - 0,0035}{2} \right) = 0,0176 \text{ м.} \quad (1.27)$$

Высота шлица паза статора: $h_{ш1}=0,0005$ м. Ширина шлица паза статора: $b_{ш}=0,0035$ м.

Припуски на шихтовку и сборку сердечника согласно табл.9.14[1,с360] принимаем: $\Delta b_{ш} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м, $\Delta h_{ш} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м.

Размеры паза в свету:

$$b'_{11} = b_{11} - \Delta b_{ш} = 0,0063 - 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,0062 \text{ м,}$$

$$b'_{12} = b_{12} - \Delta b_{ш} = 0,0042 - 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,0041 \text{ м,}$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_{ш} = 0,0177 - 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,0176 \text{ м.}$$

Паз статора с заполнением представлен на рисунке 1.3.

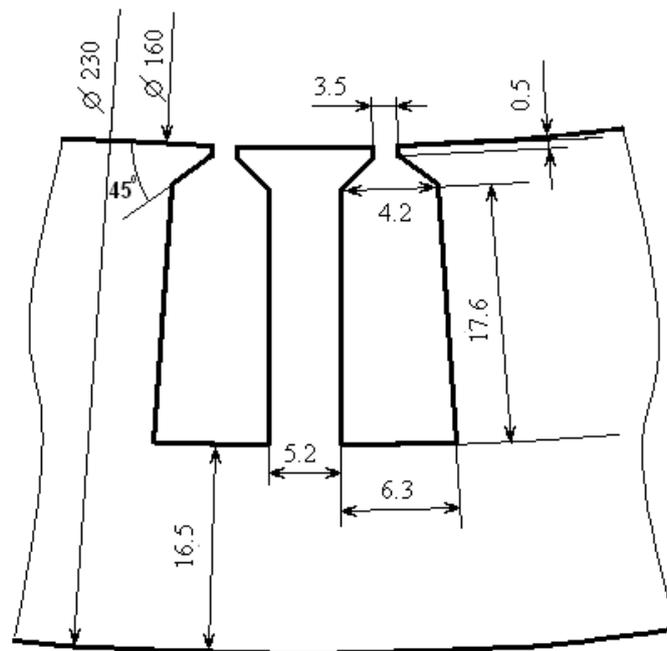
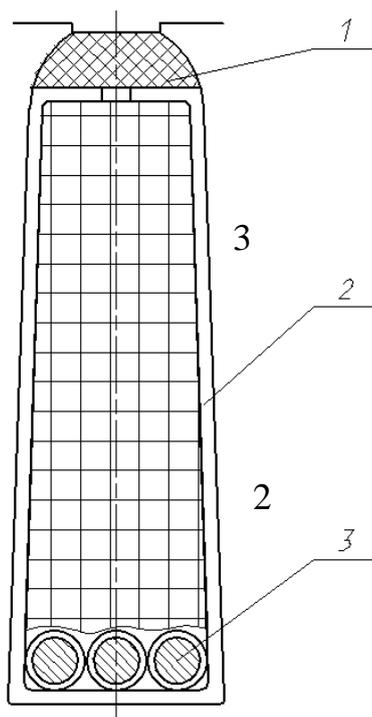


Рис. 1.2 Трапецеидальные пазы статора



Позиция	Наименование	Материал
1	Клин пазовый	Стеклотекстолит СТЭФ-1
3	Коробка пазовая	Стеклоткань ЛСК-155/180
2	Обмоточный провод	ПЭТ-200-2

Рис. 1.3 Паз статора с заполнением

Площадь корпусной изоляции:

$$S_{uz} = b_{uz} \cdot (2 \cdot h_1 + b_{11} + b_{12}) = \\ = 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 0,0185 + 0,0063 + 0,0042) = 1,188 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2. \quad (1.28)$$

Площадь паза, занятая проводниками обмотки:

$$S'_{n1} = \frac{b'_{11} + b'_{12}}{2} \cdot h'_{11} - S_{uz} = \frac{0,0062 + 0,0041}{2} \cdot 0,0176 - 1,188 \cdot 10^{-5} = 7,877 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \quad (1.29)$$

Коэффициент заполнения паза:

$$k_3 = \frac{(d_{uz1}^2 \cdot n_{эл1}) \cdot u_{n1}}{S'_{n1}} = \frac{(1,585 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3 \cdot 23}{7,877 \cdot 10^{-5}} = 0,734. \quad (1.30)$$

Коэффициент заполнения паза k_3 оценивает плотность укладки проводников обмотки в площадь поперечного сечения паза S'_{n1} , свободную от изоляции. Он должен находиться в пределах $k_3=0,69 \div 0,71$ для двухполюсных двигателей, $k_3=0,72 \div 0,74$ для двигателей с $2p \geq 4$, согласно [1,с366], как видим это условие выполняется и размеры зубцовой зоны и обмотки статора, оставляем без изменений.

1.3 Расчет ротора

Правильный выбор воздушного зазора δ во многом определяет энергетические показатели асинхронного двигателя. Чем меньше воздушный зазор, тем меньше его магнитное сопротивление и магнитное напряжение, составляющие основную часть суммарной магнитодвижущей силой (МДС) магнитной цепи всей машины. Уменьшение воздушного зазора приводит к уменьшению МДС магнитной цепи и намагничивающего тока двигателя. Благодаря этому возрастает коэффициент мощности $\cos\varphi$ двигателя, и уменьшаются потери в меди обмотки статора. Однако, чрезмерное уменьшение δ приводит к возрастанию амплитуд пульсаций индукции в воздушном зазоре и, как следствие этого, к увеличению поверхностных и пульсационных потерь. Поэтому КПД двигателей с очень маленьким воздушным зазорами не улучшается, а часто становится меньше.

Воздушный зазор принимаем, по рис. 9.31 [1,с.367]: $\delta = 0,25 \cdot 10^{-3}$ м.

Наружный диаметр ротора:

$$D_2 = D_1 - 2 \cdot \delta = 0,16 - 2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} = 0,1595 \text{ м.} \quad (1.31)$$

Длина железа сердечника ротора выбирается на 0,005 м больше сердечника железа статора:

$$l_2 = l_1 + 0,005 = 0,1 \text{ м.} \quad (1.32)$$

Согласно рекомендациям, [1], выбираем обмотку ротора однослойную шаблонную насыпную. Основным элементом насыпной обмотки является катушка. Катушка предварительно наматывается на шаблон и затем через шлиц закладывается (всыпается) в полузакрытый предварительно изолированный паз сердечника. В каждый паз укладывается одна из двух сторон катушки ротора. После закладки всех проводников пазовая изоляция подгибается и вставляется клин, который предохраняет обмотку от выпадания из паза.

Для нормальной работы синхронного двигателя необходимо, чтобы фазная обмотка ротора имела столько же фаз и столько же полюсов, сколько их имеет обмотка статора, т. е. $m_2 = m_1$ и $p_2 = p_1$.

Число пазов ротора Z_2 должно отличаться от числа пазов статора. При расчете задаются обычно числом пазов на полюс и фазу ротора $q_2 = q_1 \pm K$. В большинстве случаев $K = 1$ [1,с. 368]. Принимаем $q_2 = q_1 - K = 2$, (т.к. при $q_2 = q_1 + K = 4$ получим число пазов ротора $Z_2 = 72$, для двигателя $D_1 = 0,16$ м ширина паза для обмотки ротора будет отрицательна).

Число пазов ротора:

$$Z_2 = 2 \cdot p \cdot m_2 \cdot q_2 = 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 = 36. \quad (1.33)$$

Зубцовое деление ротора:

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{\pi \cdot 0,1595}{36} = 0,0139 \text{ м.} \quad (1.34)$$

Число последовательно соединенных витков в фазе обмотки ротора:

$$w_2 = \frac{E_2 \cdot w_1}{E_1} = \frac{230 \cdot 207}{220} = 216, \quad (1.35)$$

где $E_2 = 230$, предварительно задаемся ЭДС фазы ротора (150-250) В.

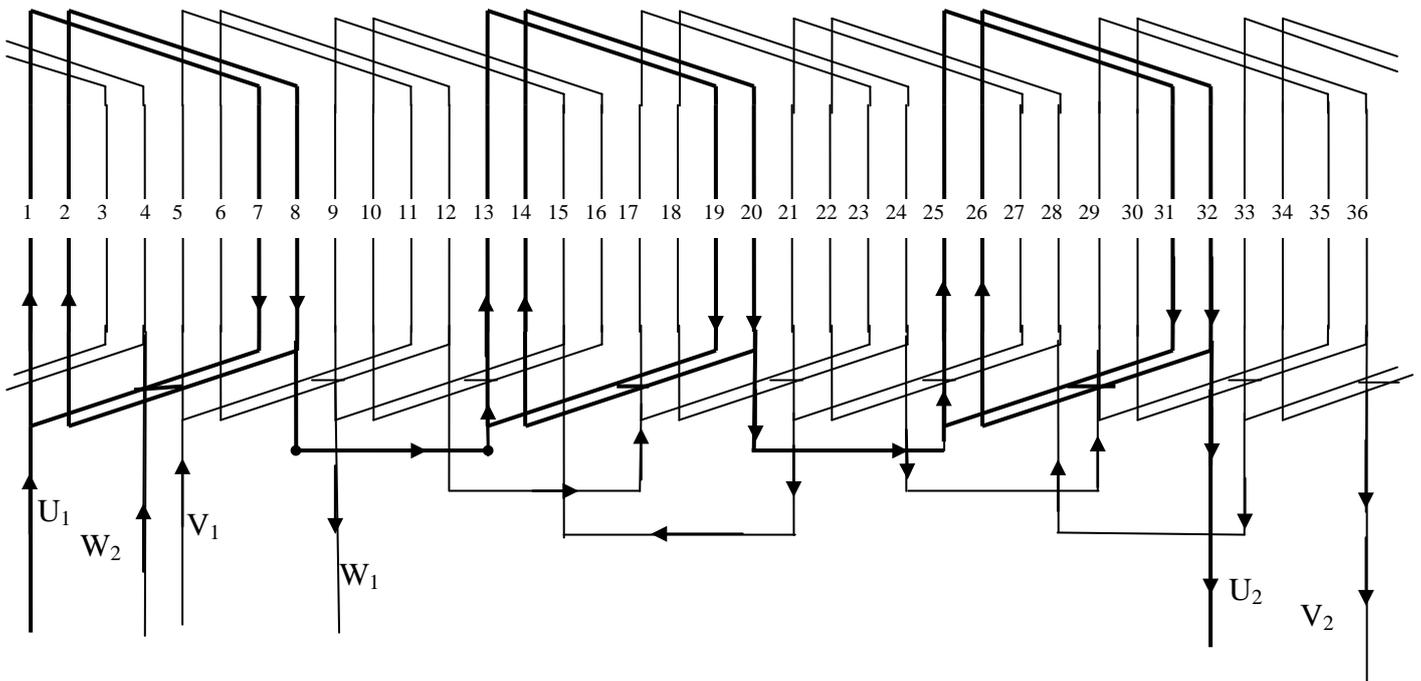


Рис.1.4 Схема трехфазной однослойной обмотки ротора $Z_2=36$, $2p=6$,
 $q_2=2, a=1, \tau=6$

Коэффициент распределения обмотки ротора:

$$k_{p2} = \frac{\sin \frac{\pi}{2 \cdot m_2}}{q_2 \cdot \sin \frac{\pi}{2 \cdot m_2 \cdot q_2}} = \frac{\sin \frac{\pi}{2 \cdot 3}}{2 \cdot \sin \frac{\pi}{2 \cdot 2 \cdot 3}} = 0,966 \quad (1.36)$$

Обмоточный коэффициент обмотки ротора:

$$k_{o\delta 2} = k_{y2} \cdot k_{p2} = 1 \cdot 0,966 = 0,966 \quad (1.37)$$

Коэффициент приведения тока обмотки ротора к обмотке статора:

$$v_1 = \frac{m_2 \cdot w_2 \cdot k_{o\delta 2}}{m_1 \cdot w_1 \cdot k_{o\delta 1}} = \frac{3 \cdot 207 \cdot 0,966}{3 \cdot 216 \cdot 0,966} = 0,95 \quad (1.38)$$

Предварительное значение тока в обмотке ротора:

$$I_2 = k_i \cdot I_1 \cdot v_i = 0,856 \cdot 11 \cdot 0,95 = 8,97 \text{ а}, \quad (1.39)$$

где $k_i=0,856$ – коэффициент, учитывающий влияние тока намагничивания.

Напряжение на кольцах ротора при соединении фаз обмотки ротора в звезду:

$$U_{\kappa} = \sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \frac{w_1}{w_2} = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot \frac{216}{207} = 397,6 \text{ В}. \quad (1.40)$$

Число эффективных проводников в пазу ротора:

$$U_{n2} = \frac{w_2 \cdot 2 \cdot a_2 \cdot m_2}{Z_2} = \frac{216 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1}{36} = 36. \quad (1.41)$$

Допустимая плотность тока в обмотке ротора, [1, с.370]: $J_2=6,5 \cdot 10^6 \text{ а/м}^2$.

Предварительное значение сечения эффективного проводника обмотки ротора:

$$q_{\text{эф}2} = \frac{I_2}{a \cdot J_2} = \frac{8,97}{1 \cdot 6,5 \cdot 10^6} = 1,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2, \quad (1.42)$$

Число элементарных проводников в одном эффективном принимаем:
 $n_{\text{эл}2}=1$.

Предварительное сечение элементарного проводника:

$$q_{\text{эл}2} = \frac{q_{\text{эф}2}}{n_{\text{эл}2}} = \frac{1,38 \cdot 10^{-6}}{1} = 1,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (1.43)$$

Для обмотки ротора из приложения 30, [3, с. 461], из стандартного ряда проводов выбираем провод ближайший к полученному значению сечения элементарного проводника:

$$d_{\text{эл}2} = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad q_{\text{эл}2} = 1,368 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2; \quad d_{\text{ИЗ}2} = 1,405 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Схема обмотки ротора представлена на рисунке 1.4.

Уточняем сечение эффективного проводника:

$$q_{\text{эф}2} = q_{\text{эл}2} \cdot n_{\text{эл}2} = 1,368 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 1,368 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (1.44)$$

Уточняем плотность тока:

$$J_2 = \frac{I_2}{a_2 \cdot q_{\text{эф}2}} = \frac{8,97}{1 \cdot 1,368 \cdot 10^{-6}} = 6,55 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2. \quad (1.45)$$

1.3.1 Расчет размеров зубцовой зоны ротора

Задаемся размерами паза ротора:

- высота паза ротора: $h_{n2}=0,031 \text{ м};$
- ширина паза ротора в верхней части: $b_{21}=6,1 \cdot 10^{-3} \text{ м};$
- ширина паза ротора в нижней части: $b_{22}=1,6 \cdot 10^{-3} \text{ м};$

- ширина шлица паза ротора: $b_{u2}=3 \cdot 10^{-3}$ м;
- высота шлица паза: $h_{u2}=1 \cdot 10^{-3}$ м.

Принимаем электротехническую сталь марки 2013 с коэффициентом заполнения сталью: $k_c=0,97$

Ширина зубца ротора в верхней части:

$$b_{z21} = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_{u2} - b_{21})}{Z_2} - b_{21} =$$

$$= \frac{\pi \cdot (0,1595 - 2 \cdot 0,001 - 6,1 \cdot 10^{-3})}{36} - 6,1 \cdot 10^{-3} = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.46)$$

Ширина зубца ротора в нижней части:

$$b_{z22} = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2 \cdot h_{n2} - b_{22})}{Z_2} - b_{22} =$$

$$= \frac{\pi \cdot (0,1595 - 2 \cdot 0,031 - 1,6 \cdot 10^{-3})}{36} - 1,6 \cdot 10^{-3} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (1.47)$$

Внутренний диаметр сердечника ротора:

$$D_j = 0,23 \cdot 0,23 = 0,0529 \text{ м.} \quad (1.48)$$

Высота ярма ротора:

$$h_{j2} = \frac{D_2 - D_j}{2} - h_{n2} = \frac{0,1595 - 0,0529}{2} - 0,0224 = 0,0309 \text{ м,} \quad (1.49)$$

Всыпная обмотка ротора укладывается в полузакрытые пазы, рисунок 1.5.

Расстояние между центрами паза ротора:

$$h_{21} = h_{n2} - (h_{\phi 2} + \frac{b_{21}}{2} - \frac{b_{22}}{2}) = 0,0309 - (0,001 + \frac{0,0016}{2} + \frac{0,0061}{2}) = 0,0261 \text{ м,} \quad (1.50)$$

Припуски на шихтовку и сборку сердечника согласно табл.9.14[1,с360] принимаем: $\Delta b_{\Pi 2} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м, $\Delta h_{\Pi 2} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ м,

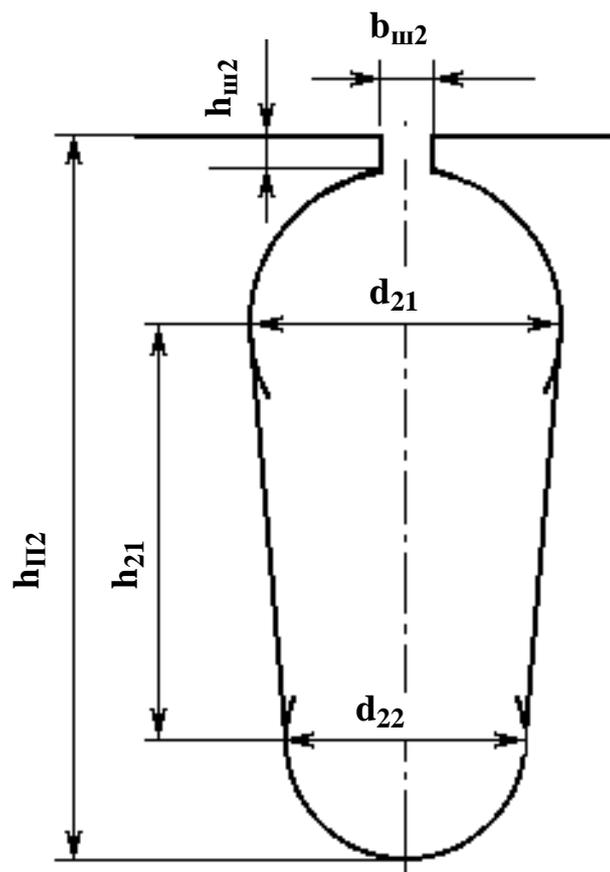
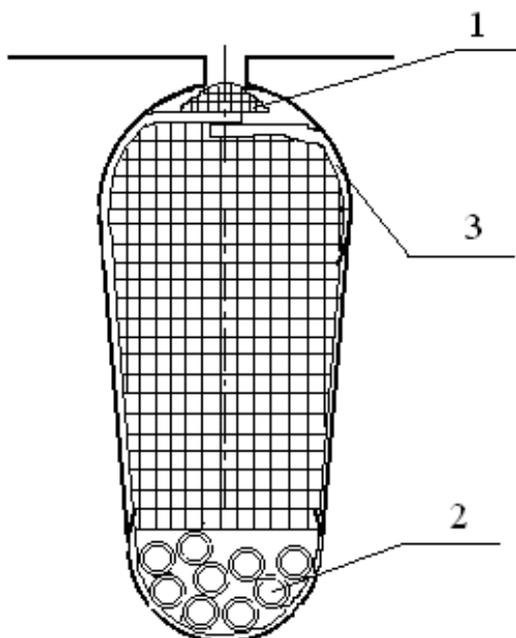


Рис. 1.5 Паз ротора



Позиция	Наименование	Материал
1	Клин пазовый	Стеклотекстолит СТЭФ-1
3	Коробка пазовая	Стеклоткань ЛСК-155/180
2	Обмоточный провод	ПЭТ-200-2

Рис. 1.6 Паз ротора с заполнением

Размеры паза в свету:

$$b'_{21} = b_{21} - \Delta b_{II2} = 0,0061 - 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,006 \text{ м},$$

$$b'_{22} = b_{22} - \Delta b_{II2} = 0,0016 - 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,0015 \text{ м},$$

$$h'_{21} = h_{21} - \Delta h_{II2} = 0,0261 - 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,026 \text{ м}.$$

Площадь корпусной изоляции в пазу ротора:

$$S_{уз2} = \left[2 \cdot \left(h_{n2} - \frac{b'_{21} + b'_{22}}{2} \right) + \frac{\pi \cdot b'_{22}}{2} \right] \cdot b_{уз} =$$

$$= \left[2 \cdot \left(0,0309 - \frac{0,006 + 0,0015}{2} \right) + \frac{\pi \cdot 0,026}{2} \right] \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} = 1,416 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2. \quad (1.51)$$

Площадь прокладок:

$$S_{np} = 0 \quad (1.52)$$

Свободная площадь поперечного сечения паза для размещения проводников обмотки:

$$S'_{n2} = \frac{\pi \cdot b'^2_{21}}{8} + \frac{b'_{21} + b'_{22}}{2} \cdot h'_{21} - S_{уз2} - S_{np} = \frac{\pi \cdot (0,006)^2}{8} +$$

$$+ \frac{0,006 + 0,0015}{2} \cdot 0,026 - 1,416 \cdot 10^{-5} - 0 = 9,747 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2. \quad (1.53)$$

Коэффициент заполнения свободной площади паза ротора обмоткой:

$$k_3 = \frac{d_{уз2}^2 \cdot u_{n2} \cdot n_{эл2}}{S'_{n2}} = \frac{0,0014^2 \cdot 36 \cdot 1}{9,747 \cdot 10^{-5}} = 0,729. \quad (1.54)$$

Коэффициент заполнения паза входит в область допустимых пределов $k_3=0,72-0,74$ для двигателей $2p=6$.

1.4 Расчет магнитной цепи

Электромагнитное поле электрической машины образуется за счет МДС обмоток статора и ротора, расположенных в пазах магнитопроводов. Неравномерность распределения проводников обмотки по объему машины, нелинейность магнитной характеристики и сложность конфигурации магнитопроводов,

а также наличие воздушного промежутка между статором и ротором делают точный расчет поля в машине практически невозможным. Поэтому при проектировании машины пользуются рядом упрощающих допущений. Поле в машине подразделяют на главное поле и поле рассеяния. Магнитные линии главного поля замыкаются по магнитопроводам статора и ротора и пересекают воздушный зазор. Элементы магнитопроводов и зазоры, по которым проходит главный поток каждой пары полюсов, называют магнитной цепью.

Цель расчета магнитной цепи – определение МДС обмотки статора, способной создать в зазоре машины магнитный поток Φ_δ для наведения в обмотке статора заданного напряжения машины.

Магнитную цепь двигателя можно рассматривать как состоящую из пяти однородных участков, соединенных последовательно: воздушный зазор, зубцы статора, зубцы ротора, спинка статора и спинка ротора. Ход расчета заключается в определении для каждого участка его размеров и площади поперечного сечения, магнитной индукции, напряженности поля, расчетной средней длины магнитной силовой линии, магнитного напряжения участка. Затем рассчитывается суммарная МДС участков цепи и намагничивающий ток двигателя.

Индукция в зубцах статора:

$$B_{z1} = \frac{B_\delta \cdot t_1 \cdot l_\delta}{b_{z1} \cdot l_1 \cdot k_c} = \frac{0,8976 \cdot 0,0093 \cdot 0,1}{0,0052 \cdot 0,1 \cdot 0,97} = 1,657 \text{ Тл.} \quad (1.55)$$

Индукция в ярме статора:

$$B_{j1} = \frac{\Phi_\delta}{2 \cdot h_{j1} \cdot l_1 \cdot k_c} = \frac{0,0048}{2 \cdot 0,0254 \cdot 0,1 \cdot 0,97} = 0,97 \text{ Тл.} \quad (1.56)$$

Индукция в верхней части зубца ротора:

$$B_{z21} = \frac{B_\delta \cdot t_2 \cdot l_2}{b_{z21} \cdot l_2 \cdot k_c} = \frac{0,8976 \cdot 0,0139 \cdot 0,1}{0,0071 \cdot 0,1 \cdot 0,97} = 1,8142 \text{ Тл.} \quad (1.57)$$

Индукция в нижней части зубца ротора:

$$B_{z22} = \frac{B_\delta \cdot t_2 \cdot l_2}{b_{z22} \cdot l_2 \cdot k_c} = \frac{0,8976 \cdot 0,0139 \cdot 0,1}{0,0068 \cdot 0,1 \cdot 0,96} = 1,891 \text{ Тл.} \quad (1.58)$$

Индукция в средней части зубца ротора:

$$B_{z2cp} = \frac{B_{z21} + B_{z22}}{2} = \frac{1,891 + 1,811}{2} = 1,85 \text{ Тл.} \quad (1.59)$$

Индукция в ярме ротора:

$$B_{j2} = \frac{\Phi_{\delta}}{2 \cdot h_{j2} \cdot l_2 \cdot k_c} = \frac{0,0048}{2 \cdot 0,0254 \cdot 0,1 \cdot 0,97} = 0,97 \text{ Тл.} \quad (1.60)$$

Коэффициент воздушного зазора для зубцов статора:

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma_1 \cdot \delta} = \frac{0,0093}{0,0093 - 10,316 \cdot 0,00025} = 1,3832. \quad (1.61)$$

$$\text{где } \gamma_1 = \frac{\left(\frac{b_{u1}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{u1}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{0,0035}{0,00025}\right)^2}{5 + \frac{0,0035}{0,00025}} = 10,316. \quad (1.62)$$

Коэффициент воздушного зазора для зубцов ротора:

$$k_{\delta 2} = \frac{t_2}{t_2 - \gamma_2 \cdot \delta} = \frac{0,014}{0,014 - 2,846 \cdot 0,55 \cdot 10^{-3}} = 1,127. \quad (1.63)$$

$$\text{где } \gamma_2 = \frac{\left(\frac{b_{u2}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{u2}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{0,0015}{0,00025}\right)^2}{5 + \frac{0,0015}{0,00025}} = 3,273. \quad (1.64)$$

Коэффициент воздушного зазора, учитывающий зубчатость статора и ротора:

$$k_{\delta} = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} = 1,3832 \cdot 1,0625 = 1,47. \quad (1.65)$$

Магнитное напряжение воздушного зазора:

$$\begin{aligned} F_{\delta} &= 1,59 \cdot 10^6 \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} = \\ &= 1,59 \cdot 10^6 \cdot 0,8976 \cdot 0,00025 \cdot 1,47 = 524,38 \text{ А.} \end{aligned} \quad (1.66)$$

Магнитное напряжение зубцовой зоны статора:

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1} = 2 \cdot 0,0185 \cdot 1020 = 37,74 \text{ а.} \quad (1.67)$$

Напряженность магнитного поля в зубцах статора: для $B_{z1} = 1,657$ Тл, по рисунку П-1.10[1, с.701], принимаем $H_{z1} = 1020$ а/м.

Высота зубца статора:

$$h_{z1} = h_{n1} = 0,0185 \text{ м.} \quad (1.68)$$

Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора:

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2} = 2 \cdot 0,0307 \cdot 1776 = 109 \text{ а.} \quad (1.69)$$

Напряженность магнитного поля в зубцах ротора: для $B_{z21}=1,814$ Тл, по рисунку П-1.10 [1,с.701], принимаем $H_{z21}= 1570$ а/м, для $B_{z22}=1,891$ Тл, принимаем $H_{z22}= 2010$ а/м, для $B_{z22}=1,85$ Тл, принимаем $H_{z2cp}= 1770$ а/м,

$$H_{z2} = \frac{H_{z21} + H_{z22} + 4 \cdot H_{z2cp}}{6} = \frac{1570 + 2010 + 4 \cdot 1770}{6} = 1776 \text{ а/м.} \quad (1.70)$$

Высота зубца ротора:

$$h_{z2} = h_{n2} - 0,1 \cdot b_{22} = 0,0309 - 0,1 \cdot 0,0016 = 0,0307 \text{ м.} \quad (1.71)$$

Коэффициент насыщения зубцовой зоны статора и ротора:

$$k_Z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_{\delta}} = 1 + \frac{37,74 + 109}{524,375} = 1,28. \quad (1.72)$$

Длина средней магнитной линии ярма статора:

$$L_{j1} = \frac{\pi \cdot (D_a - h_{j1})}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot (0,23 - 0,017)}{2 \cdot 3} = 0,112 \text{ м.} \quad (1.73)$$

Магнитные напряжения ярма статора:

$$F_{j1} = L_{j1} \cdot H_{j1} = 0,112 \cdot 520 = 58,1 \text{ а.} \quad (1.74)$$

Напряженность магнитного поля в ярме статора: для $B_{j1}=0,97$ Тл принимаем: $H_{j1} = 168$ а/м, по таблице П-1.9 [1,с.700].

Длина средней магнитной линии ярма ротора:

$$L_{j2} = \frac{\pi \cdot (D_j - h_{j2})}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot (0,0529 - 0,022)}{2 \cdot 3} = 0,0394 \text{ м.} \quad (1.75)$$

Магнитные напряжения ярма ротора:

$$F_{j2} = L_{j2} \cdot H_{j2} = 0,0394 \cdot 168 = 6,62 \text{ а,} \quad (1.76)$$

Напряженность магнитного поля в ярме ротора: для $B_{j2}=0,744$ принимаем: $H_{j2} = 173,55$ а/м по таблице П-1.9 [1,с.700].

Суммарное магнитное напряжение магнитной цепи машины на пару полюсов:

$$\begin{aligned} F_{\Sigma} &= F_{\delta} + F_{z1} + F_{z2} + F_{j1} + F_{j2} = \\ &= 524,375 + 37,74 + 109 + 58,13 + 6,62 = 723,4 \text{ А.} \end{aligned} \quad (1.77)$$

Коэффициент насыщения магнитной цепи:

$$k_{\mu} = \frac{F_{\Sigma}}{F_{\delta}} = \frac{723,4}{524,375} = 1,38. \quad (1.78)$$

Намагничивающий ток:

$$I_{\mu} = \frac{p \cdot F_{\Sigma}}{0,9 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot k_{об1}} = \frac{3 \cdot 723,4}{0,9 \cdot 3 \cdot 270 \cdot 0,96} = 4,045 \text{ а.} \quad (1.79)$$

Относительное значение намагничивающего тока:

$$I_{\mu*} = \frac{I_{\mu}}{I_{1н}} = \frac{4,045}{10,998} = 0,368 \text{ о.е.} \quad (1.80)$$

Рекомендуемые пределы 0,2-0,4, но необходимо учесть, что в двигателях номинальной мощностью менее 2÷3 кВт значение $I_{\mu*}$ может достигать 0,2÷0,18, несмотря на правильно выбранные размеры и малое насыщение магнитопровода. Подобное увеличение $I_{\mu*}$ возможно и в двигателях с $2p > 4$ согласно с.396 [1], что касается нашего случая. Значит габариты двигателя выбраны верно и двигатель будет иметь допустимые КПД, $\cos\varphi$.

1.5 Параметры рабочего режима

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

1.5.1 Активные сопротивления обмоток

Активное сопротивление обмоток зависит в общем случае от длины проводников обмотки и площади поперечного сечения проводников.

Длина лобовой части катушки статора:

$$l_{л1} = k_{л1} \cdot b_{КТ1} + 2 \cdot B_1 = 1,4 \cdot 0,0935 + 2 \cdot 0,01 = 0,151 \text{ м}, \quad (1.81)$$

где $B_1 = 0,01$ м – длина вылета прямолинейной части катушки из паза от торца сердечника до начала отгиба лобовой части [1,с399], $k_{л1}=1,4$ - по табл. 9.23 [1,с399].

Средняя длина витка катушки статора:

$$l_{ср1} = 2 \cdot (l_1 + l_{л1}) = 2 \cdot (0,1 + 0,151) = 0,5 \text{ м}. \quad (1.82)$$

Средняя ширина катушки:

$$b_{КТ1} = \frac{\pi \cdot (D_1 + h_{н1})}{2 \cdot p} \cdot \beta_1 = \frac{\pi \cdot (0,16 + 0,019)}{2 \cdot 3} \cdot 1 = 0,0935 \text{ м}. \quad (1.83)$$

Относительное укорочение шага для диаметральных обмоток принимаем: $\beta_1 = 1$, [1с.399].

Вылет лобовой части катушки статора:

$$l_{ВЫЛ1} = k_{ВЫЛ1} \cdot b_{КТ1} + B_1 = 0,5 \cdot 0,0935 + 0,01 = 0,057 \text{ м}, \quad (1.84)$$

где $k_{ВЫЛ1}=0,5$, по табл. 9.23 [1,с399].

Длина проводника катушки статора:

$$L_1 = l_{ср1} \cdot w_1 = 0,5 \cdot 270 = 103,9 \text{ м}. \quad (1.85)$$

Активное сопротивление катушки статора:

$$r_1 = \rho_{75} \frac{L_1}{q_{\text{эф1}} \cdot a} = \frac{10^{-6}}{47} \cdot \frac{103,851}{1,767 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 1,25 \text{ Ом}. \quad (1.86)$$

Согласно рекомендациям [1] для класса изоляции Н при расчетной температуре $v = 75$ °С удельное сопротивление меди: $\rho_{115} = 10^{-6} / 47$ Ом·м.

Относительное значение активного сопротивления:

$$r_{1*} = r_1 \frac{I_{1Н}}{U_{1Н}} = 1,25 \cdot \frac{10,998}{220} = 0,0625 \text{ о.е.} \quad (1.87)$$

Длина лобовой части катушки ротора:

$$l_{Л2} = k_{Л2} \cdot b_{КТ2} + B_2 = 0,5 \cdot 0,067 + 0,01 = 0,044 \text{ м}, \quad (1.88)$$

где $B_2 = 0,01$ м – длина вылета прямолинейной части катушки из паза от торца сердечника до начала отгиба лобовой части [1,с399].

$$k_{Л2} = 1,4 \text{ по табл. 9.23 [1,с399]}. \quad (1.89)$$

$$S = 0,0035 \text{ м – расстояние между медью соседних стержней} \quad (1.90)$$

Средняя длина витка катушки ротора:

$$l_{ср2} = 2 \cdot (l_2 + l_{Л2}) = 2 \cdot (0,1 + 0,114) = 0,43 \text{ м}. \quad (1.91)$$

Средняя ширина катушки ротора:

$$b_{КТ2} = \frac{\pi \cdot (D_2 - h_{i2})}{2 \cdot p} \cdot \beta_2 = \frac{\pi \cdot (0,1595 - 0,0309)}{2 \cdot 3} \cdot 1 = 0,067 \text{ м}. \quad (1.92)$$

Согласно рекомендациям относительное укорочение шага для диаметральных обмоток принимаем: $\beta_2 = 1$, [1,с.399]. (1.93)

Вылет лобовой части катушки ротора:

$$l_{ВЫЛ2} = k_{ВЫЛ2} \cdot b_{КТ2} + B_2 = 0,5 \cdot 0,067 + 0,01 = 0,044 \text{ м}. \quad (1.94)$$

Длина проводника катушки ротора:

$$L_2 = l_{ср2} \cdot w_2 = 0,43 \cdot 216 = 93 \text{ м}. \quad (1.95)$$

Активное сопротивление катушки ротора:

$$r_2 = \rho_{75} \cdot \frac{L_2}{q_{\text{эф}2} \cdot a_2} = \frac{10^{-6}}{47} \cdot \frac{93}{1,368 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 1,4397 \text{ Ом}. \quad (1.96)$$

Согласно рекомендациям [1] для класса изоляции Н при расчетной температуре $v = 75$ °С удельное сопротивление меди: $\rho_{75} = 10^{-6} / 47$ Ом·м.

Коэффициент приведения сопротивлений обмотки ротора к обмотке статора:

$$v_{12} = \frac{m_1 \cdot (w_1 \cdot k_{об1})^2}{m_2 \cdot (w_2 \cdot k_{об2})^2} = \frac{3 \cdot (270 \cdot 0,96)^2}{3 \cdot (237 \cdot 0,9659)^2} = 0,75. \quad (1.97)$$

Приведенное активное сопротивление катушки ротора к числу витков обмотки статора:

$$r'_2 = \nu_{12} \cdot r_2 = 0,75 \cdot 1,4397 = 1,0793 \text{ Ом.} \quad (1.98)$$

Относительное значение активного сопротивления обмотки ротора:

$$r'_{2*} = r'_2 \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 1,0793 \cdot \frac{10,9985}{220} = 0,054. \quad (1.99)$$

1.5.2 Индуктивные сопротивления обмоток

Индуктивное сопротивление обмоток электрических машин определяется их взаимной индуктивностью и собственной индуктивностью. Индуктивное сопротивление взаимной индукции является характеристикой главного поля машины. Индуктивные сопротивления самоиндукции характеризуют поля рассеяния.

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеивания статора:

$$\lambda_{III} = \frac{h_{13}}{3 \cdot b_{12}} + \left(\frac{3 \cdot h_1}{b_{12} + 2 \cdot b_{III1}} + \frac{h_{III1}}{b_{III1}} \right) = \frac{0,0255}{3 \cdot 6,3 \cdot 10^{-3}} + \left(\frac{3 \cdot 0,0014}{0,0063 + 2 \cdot 0,0035} + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,0035} \right) = 1,808 \quad (1.100)$$

где

$$h_{13} = h_{III1} - 2 \cdot b_{III3} - \frac{b_{12}}{2} - h_{III1} = 0,0301 - 2 \cdot 0,58 \cdot 10^{-3} - \frac{6,3 \cdot 10^{-3}}{2} - 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,0255 \text{ м.} \quad (1.101)$$

Согласно рекомендациям, [1,с.403], принимаем коэффициенты: $k_\beta = k'_\beta = 1$.

Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния катушки статора:

$$\lambda_{\dot{E}1} = 0,34 \cdot \frac{q_1}{l_\delta} \cdot (l_{\dot{e}1} - 0,64 \cdot \beta_1 \cdot \tau_1) = 0,34 \cdot \frac{3}{0,1} \cdot (0,1508 - 0,64 \cdot 1 \cdot 0,0838) = 0,992 \quad (1.102)$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния катушки статора:

$$\lambda_{Д1} = \frac{t_1}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi_1 = \frac{0,0093}{12 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 1,4696} \cdot 0,739 = 1,561, \quad (1.103)$$

где

$$\begin{aligned} \xi_1 &= k'' \cdot q_1^2 + 2 \cdot k'_{\beta} - k_{\sigma\sigma 1}^2 \cdot (1 + \Delta_Z) = \\ &= 0,022 \cdot 3^2 + 2 \cdot 1 - 0,96^2 \cdot (1 + 0,03) = 0,739 \end{aligned} \quad (1.104)$$

Принимаем для (1.103) коэффициенты:

$\Delta_Z = 0,3$, по рис. 9.51,а) [1,с.405], $k'' = 0,022$, по рис. 9.51, в) [1,с.405].

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора:

$$\begin{aligned} x_1 &= 15,8 \cdot \frac{f_1}{100} \cdot \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \cdot \frac{l_{\delta}}{p \cdot q_1} \cdot (\lambda_{И1} + \lambda_{Д1} + \lambda_{Д1}) = \\ &= 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{270}{100} \right)^2 \cdot \frac{0,1}{3 \cdot 3} \cdot (1,561 + 1,8079 + 0,9918) = 1,64 \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (1.105)$$

Относительное значение:

$$x_{1*} = x_1 \cdot \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 1,64 \cdot \frac{10,9985}{220} = 0,082 \text{ о.е.} \quad (1.106)$$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеивания обмотки ротора:

$$\begin{aligned} \lambda_{П2} &= \frac{h_{23}}{3 \cdot b_{21}} \cdot k_{\beta} + \left(0,785 - \frac{b_{III2}}{2 \cdot b_{21}} + 0,3 + \frac{b_{II3}}{b_{21}} + \frac{h_{III2} \cdot 1,12 \cdot 10^6}{b_{III2}} \right) \cdot k'_{\beta} = \\ &= \frac{0,0262}{3 \cdot 6,1 \cdot 10^3} \cdot 1 + \left(0,785 - \frac{3 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 6,1 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,58 \cdot 10^{-3}}{6,1 \cdot 10^{-3}} + 0,3 + \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,12 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 1 = 2,8 \end{aligned} \quad (1.107)$$

где

$$\begin{aligned} h_{23} &= h_{П2} - 2 \cdot b_{II3} - \frac{b_{21}}{2} - h_{III2} - 0,1 \cdot b_{22} = \\ &= 0,0309 - 2 \cdot 0,00025 - \frac{0,0061}{2} - 5 \cdot 0,001 - 0,1 \cdot 0,0016 = 0,0262 \text{ м.} \end{aligned} \quad (1.108)$$

Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки ротора:

$$\begin{aligned}\lambda_{Л2} &= 0,34 \cdot \frac{q_2}{l_2} \cdot (l_{Л2} - 0,64 \cdot \beta_2 \cdot \tau_2) = \\ &= 0,34 \cdot \frac{2}{0,1} \cdot (0,114 - 0,64 \cdot 1 \cdot 0,0835) = 0,41\end{aligned}\quad (1.109)$$

Полюсное деление ротора:

$$\tau_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{2 \cdot p} = \frac{\pi \cdot 0,1595}{2 \cdot 3} = 0,0835 \text{ м.} \quad (1.110)$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки ротора:

$$\begin{aligned}\lambda_{Д2} &= 0,9 \cdot t_2 \cdot (q_2 \cdot k_{об2})^2 \cdot k_{ш2} \cdot \frac{k_{Д2}}{\delta \cdot k_\delta} = \\ &= 0,9 \cdot 0,0139 \cdot (2 \cdot 0,96) \cdot 0,961 \cdot \frac{0,011}{0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 1,325} = 4,922\end{aligned}, \quad (1.111)$$

где

$$k_{ш2} = 1 - \frac{0,033 \cdot b_{ш2}^2}{d \cdot t_2} = 1 - \frac{0,033 \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2}{0,014 \cdot 0,0139 \cdot 10^{-3}} = 0,961. \quad (1.112)$$

Согласно рекомендациям для (1.111) принимаем коэффициент: $k_{Д2} = 0,011$.

Индуктивное сопротивление обмотки ротора:

$$\begin{aligned}x_2 &= 15,8 \cdot \frac{f_1}{100} \cdot \left(\frac{w_2}{100}\right)^2 \cdot \frac{l_\delta}{p \cdot q_2} \cdot (\lambda_{Л2} + \lambda_{Л2} + \lambda_{Д2}) = \\ &= 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{162}{100}\right)^2 \cdot \frac{0,115}{3 \cdot 2} \cdot (2,07 + 3,239 + 0,32) = 2,7489 \text{ Ом.} \quad (1.113)\end{aligned}$$

Приведенное индуктивное сопротивление обмотки ротора к числу витков первичной обмотки:

$$x'_2 = v_{12} \cdot x_2 = 2,7489 \cdot 0,7497 = 2,061 \text{ Ом.} \quad (1.114)$$

Относительное значение:

$$x'_{2*} = x'_2 \cdot \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 2,061 \cdot \frac{10,9985}{220} = 0,103 \text{ о.е.} \quad (1.115)$$

Приведенные к числу витков фазы обмотки статора значения сопротивлений фазы короткозамкнутой обмотки ротора r'_2 , x'_2 рассчитывают умножая r_2 , x_2 на коэффициент приведения. Значения параметров двигателя, выраженные в относительных единицах, [1, с. 411], и они находятся, как правило, в пределах:

$$x_{1*} = 0,08 \div 0,14; \quad x'_{2*} = 0,1 \div 0,16; \quad r_{1*} = r'_{2*} = 0,02 \div 0,03.$$

Как видим относительные реактивные сопротивления ротора и статора находятся в нужных пределах, есть превышение активных сопротивлений статора и ротора но для двигателей небольшой мощности это возможно согласно указаниям стр. 411 [1].

Серийные двигатели тоже не всегда находятся заданных значениях, и имеют большее отклонения от рекомендуемых значений, например у схожего двигателя $r_{1*} = 0,067$ о.е.; $r_{2*} = 0,042$ о.е.

1.6 Расчет потерь

При работе электрической машины 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 подразделяют на потери в стали (основные и добавочные), электрические потери в обмотках, вентиляционные, механические и добавочные потери при нагрузке. Основные потери в стали асинхронных двигателей рассчитывают только в сердечнике статора, так как частота перемагничивания ротора, в режимах, близких к номинальному, очень мала и потери в стали ротора даже при больших индукциях незначительны.

Потери в стали основные:

$$P_{СТ.ОСН} = P_{1.0/5.0} \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^{1,5} \cdot \left(k_{Дj} \cdot B_{j1}^2 \cdot m_{j1} + k_{ДZ} \cdot B_{Z1}^2 \cdot m_{Z1}\right) =$$

$$= 2,5 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{1,5} \cdot \left(8,3733 \cdot 1,4956^2 \cdot 1,6 + 1,8 \cdot 1,6565^2 \cdot 3,93\right) = 12,45 \text{ Вт. (1.120)}$$

Удельные потери для стали 2211, по табл. 9.28 [1,с.412]: $P_{1.0/5.0}=2,5$ Вт/кг, показатель степени $\beta=1,5$.

Коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов, принимаем согласно рекомендациям, [1,с.412]: $k_{Дj} = 1,6$; $k_{ДZ}=1,8$.

Масса стали ярма статора:

$$m_{j1} = \pi \cdot (D_a - h_{j1}) \cdot h_{j1} \cdot l_{СТ1} \cdot k_c \cdot \gamma_c =$$

$$= \pi \cdot (0,23 - 0,0165) \cdot 0,0165 \cdot 0,1 \cdot 0,97 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 8,37 \text{ кг, (1.121)}$$

удельная масса стали, [1,с.413]: $\gamma_c = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

Масса стали зубцов статора:

$$m_{Z1} = h_{Z1} \cdot b_{Z1} \cdot Z_1 \cdot l_1 \cdot k_c \cdot \gamma_c =$$

$$= 0,0185 \cdot 0,0052 \cdot 54 \cdot 0,1 \cdot 0,97 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 3,93 \text{ кг. (1.122)}$$

Амплитуда пульсации индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов статора:

$$B_{01} = \beta_{01} \cdot k_{\delta} \cdot B_{\delta} = 0,3 \cdot 0,97 \cdot 0,8976 = 0,261 \text{ Тл. (1.123)}$$

Согласно рекомендациям по рис. 9-53 [1,с.413] принимаем: $\beta_{01}=\beta_{02}=0,3$

Амплитуда пульсаций индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора:

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot k_{\delta} \cdot B_{\delta} = 0,3 \cdot 0,97 \cdot 0,8976 = 0,261 \text{ Тл. (1.124)}$$

Коэффициенты, учитывающие влияние обработки поверхности головок зубцов статора и ротора принимаем, [1,с.413]: $k_{01(02)}=1,4$

Удельные поверхностные потери ротора:

$$\begin{aligned} \rho_{ПОВ2} &= 0,5 \cdot k_{02} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{10000} \right)^{1,5} \cdot \left(B_{02} \cdot t_1 \cdot 10^3 \right)^2 = \\ &= 0,5 \cdot 1,4 \cdot \left(\frac{54 \cdot 1000}{10000} \right)^{1,5} \cdot \left(0,261 \cdot 0,0093 \cdot 10^3 \right)^2 = 51,931 \text{ Вт/м}^2. \end{aligned}$$

Удельные поверхностные потери статора:

$$\begin{aligned} \rho_{ПОВ1} &= 0,5 \cdot k_{01} \cdot \left(\frac{Z_2 \cdot n}{10000} \right)^{1,5} \cdot \left(B_{01} \cdot t_2 \cdot 10^3 \right)^2 = \\ &= 0,5 \cdot 1,4 \cdot \left(\frac{36 \cdot 1000}{10000} \right)^{1,5} \cdot \left(0,261 \cdot 0,0139 \cdot 10^3 \right)^2 = 41,8 \text{ Вт/м}^2. \end{aligned} \quad (1.125)$$

Полные поверхностные потери ротора:

$$\begin{aligned} P_{ПОВ} &= \rho_{ПОВ1} \cdot (t_2 - b_{Ш2}) \cdot Z_2 \cdot l_{СТ2} = \\ &= 51,931 \cdot (0,0139 - 0,0015) \cdot 36 \cdot 0,1 = 2,32 \text{ Вт} \end{aligned} \quad (1.126)$$

Амплитуда пульсаций индукции зубцах ротора:

$$\begin{aligned} B_{ПУЛ1} &= \frac{\gamma_2 \cdot \delta}{2 \cdot t_1} \cdot B_{Z1} = \frac{2,846 \cdot 0,55 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,0105} \cdot 1,946 = 0,145 \text{ Тл}, \\ B_{ПУЛ2} &= \frac{\gamma_1 \cdot \delta}{2 \cdot t_2} \cdot B_{Z2cp} = \frac{10,3158 \cdot 0,00025}{2 \cdot 0,0139} \cdot 1,8142 = 0,168 \text{ Тл}. \end{aligned} \quad (1.128)$$

Масса стали зубцов ротора:

$$\begin{aligned} m_{Z2} &= h_{Z2} \cdot Z_2 \left(b_{Z2} + \frac{b_{Z21} - b_{Z22}}{2} \right) \cdot l_2 \cdot k_c \cdot \gamma_c = \\ &= 0,0307 \cdot 54 \cdot \left(6,004 \cdot 10^{-3} + \frac{7,6 \cdot 10^{-3} + 4,3 \cdot 10^{-3}}{2} \right) \cdot 0,265 \cdot 0,96 \cdot 7,8 \cdot 10^3 = 20,952 \text{ кг}. \end{aligned} \quad (1.129)$$

Пульсационные потери в зубцах ротора:

$$\begin{aligned} P_{ПУЛ} &= 0,11 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{ПУЛ2} \right)^2 \cdot m_{Z2} = \\ &= 0,11 \cdot \left(\frac{54 \cdot 1000}{1000} \cdot 0,168 \right)^2 \cdot 5,945 = 53,86 \text{ Вт}. \end{aligned} \quad (1.130)$$

Добавочные потери в стали:

$$P_{СТ.ДОБ} = P_{ПОВ} + P_{ПУЛ} = 53,86 + 2,32 = 56,2 \text{ Вт.} \quad (1.131)$$

Общие потери в стали:

$$P_{СТ} = P_{СТ.ОСН} + P_{СТ.ДОБ} = 123,45 + 56,18 = 179,6 \text{ Вт.} \quad (1.132)$$

Механические и вентиляционные потери:

$$P_{МЕХ} = k_T \cdot \left(\frac{n}{10}\right)^2 \cdot D_a^4 = 1,001 \cdot \left(\frac{1000}{10}\right)^2 \cdot 0,23^4 = 28,01 \text{ Вт,} \quad (1.133)$$

где $k_T = 1,3 \cdot (1 - D_a) = 1,3 \cdot (1 - 0,23) = 1,001$.

Потери холостого хода

$$P_{\Sigma o} = P_{СТ} + P_{МЕХ} = 179,6 + 28 = 207,6 \text{ Вт.} \quad (1.134)$$

Добавочные потери при нагрузке:

$$P_{ДОБ.Н} = 0,005 \cdot \frac{P_{2Н}}{\eta} = 0,005 \cdot \frac{5000}{0,84} = 29,8 \text{ Вт.} \quad (1.135)$$

Мы определили добавочные потери в стали (добавочные потери холостого хода) подразделяются на поверхностные (потери в поверхностном слое кромок зубцов статора и ротора от пульсаций индукции в воздушном зазоре) и пульсационные потери в стали зубцов (от пульсации индукции в зубцах).а также были определены механические и вентиляционные потери. Все эти потери нужны для определения тока и коэффициента мощности при холостом ходе.

1.7 Холостой ход двигателя

Электрические потери в статоре при холостом ходе:

$$P_{Э1ХХ} = 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 4,0447^2 \cdot 1,2505 = 61,37 \text{ Вт.} \quad (1.136)$$

Реактивная составляющая тока холостого хода:

$$I_{op} = I_{\mu} = 4,045 \text{ а.} \quad (1.137)$$

Активная составляющая тока холостого хода:

$$I_{oa} = \frac{P_{\Sigma o} + P_{Э1ХХ}}{m_1 \cdot U_{1н}} = \frac{207,6476 + 61,37}{3 \cdot 220} = 0,408 \text{ а.} \quad (1.138)$$

Ток холостого хода двигателя:

$$I_{XX} = \sqrt{I_{oa}^2 + I_{op}^2} = \sqrt{0,408^2 + 4,045^2} = 4,065 \text{ а.} \quad (1.139)$$

Коэффициент мощности при холостом ходе:

$$\cos \varphi_o = \frac{I_{oa}}{I_{XX}} = \frac{0,408}{4,065} = 0,1003. \quad (1.140)$$

В этом разделе мы нашли ток и коэффициент мощности при холостом ходе. Для определения тока холостого хода двигателя принимают, что потери на трение и вентиляцию и потери в стали при холостом ходе такие же, как и при номинальном режиме.

1.8 Расчет рабочих характеристик

Рабочими характеристиками асинхронных двигателей называют зависимости $P_1, I_1, \cos \varphi, \eta, s = f(P_2)$, при $U_n = \text{const } f_n = \text{const}$

Активная и реактивная составляющие:

$$r_{12} = \frac{P_{CT.OCH}}{m_1 \cdot I_{\mu}^2} = \frac{123,45}{3 \cdot 4,04^2} = 2,515 \text{ Ом.} \quad (1.141)$$

$$x_{1.2} = \frac{U_{1H}}{I_{\mu}} - x_1 = \frac{220}{4,04} - 1,64 = 52,75 \text{ Ом.} \quad (1.142)$$

$$C_{1a} = \frac{r_{12} \cdot (r_1 + r_{12}) + x_{12} \cdot (x_1 + x_{12})}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = \frac{2,515 \cdot (1,25 + 2,515) + 52,75 \cdot (1,64 + 52,75)}{2,515^2 + 52,75^2} = 1,032 \quad (1.143)$$

$$C_{1p} = \frac{x_1 \cdot r_{12} - r_1 \cdot x_{12}}{r_{12}^2 + x_{12}^2} = \frac{1,64 \cdot 2,515 - 1,25 \cdot 52,75}{2,515^2 + 52,75^2} = 0,0251. \quad (1.144)$$

Полное значение:

$$C_1 = \sqrt{C_{1a}^2 + C_{1p}^2} = \sqrt{1,032^2 + (0,025)^2} = 1,0325. \quad (1.145)$$

Реактивная составляющая тока синхронного (идеального) холостого хода:

$$I_{op} \approx I_{\mu} = 33,092 \text{ а.} \quad (1.146)$$

Активная составляющая тока синхронного холостого хода:

$$I_{ооа} = \frac{P_{СТ.ОСН} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot \eta_1}{3 \cdot U_{1H}} = \frac{123,4 + 3 \cdot 4,04^2 \cdot 1,25}{3 \cdot 220} = 0,28 \text{ а.} \quad (1.147)$$

Вспомогательные коэффициенты:

$$a' = C_{1a}^2 - C_{1p}^2 = 1,032^2 - 0,025^2 = 1,065; \quad (1.148)$$

$$b' = 2 \cdot C_{1a} \cdot C_{1p} = 2 \cdot 1,032 \cdot (-0,025) = 0,052; \quad (1.149)$$

$$\begin{aligned} a &= C_{1a} \cdot \eta_1 - C_{1p} \cdot x_1 - b' \cdot x'_2 = \\ &= 1,032 \cdot 1,25 - (0,25) \cdot 1,64 - (-0,052) \cdot 2,061 = 1,142; \end{aligned} \quad (1.150)$$

$$\begin{aligned} b &= C_{1a} \cdot x_1 + C_{1p} \cdot \eta_1 + a' \cdot x'_2 = \\ &= 1,032 \cdot 1,64 + (0,025) \cdot 1,25 + 1,065 \cdot 2,061 = 3,918. \end{aligned} \quad (1.151)$$

За номинальное скольжение предварительно принимаем: $s_i = r_{2*} = 0,054$ и рассчитываем рабочие характеристики.

Рабочие характеристики представлены на рисунке 1.7.

Таблица 1.1 Данные для построения рабочих характеристик

	разм.	$s_{x,x'}$									$s_{H'}$	
s	о.е.	0	0.005	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.05	0.06
R	Ом	66.133	15.117	9.518	7.651	6.718	6.158	5.785	5.518	5.318	5.038	4.852
X	Ом	1278	230.98	116.06	77.755	58.602	47.11	39.449	33.976	29.872	24.126	20.296
Z	Ом	1279.7	231.47	116.45	78.13	58.985	47.511	39.87	34.421	30.342	24.647	20.867
Γ^2	A	0.172	0.95	1.889	2.816	3.73	4.631	5.518	6.391	7.251	8.926	10.543
$\cos \phi^2$	о.е.	0.999	0.998	0.997	0.995	0.993	0.992	0.989	0.987	0.985	0.979	0.973
$\sin \phi^2$	о.е.	0.052	0.065	0.082	0.098	0.114	0.13	0.145	0.16	0.175	0.204	0.233
Па	A	0.452	1.228	2.163	3.082	3.986	4.872	5.74	6.589	7.419	9.018	10.534
Пр	A	4.054	4.107	4.199	4.32	4.47	4.645	4.845	5.069	5.316	5.869	6.496
П1	A	4.079	4.287	4.723	5.307	5.988	6.731	7.511	8.313	9.126	10.76	12.376
P1	Вт	298.14	810.77	1427.5	2034.3	2630.4	3215.2	3788.1	4348.6	4896.2	5951.7	6952.4
Γ^2	A	0.177	0.981	1.951	2.907	3.851	4.781	5.697	6.599	7.486	9.216	10.885
Pэ1	Вт	62.408	68.932	83.699	105.67	134.53	169.97	211.65	259.26	312.46	434.3	574.57
Pэ2	Вт	0.102	3.118	12.319	27.367	48.015	74.01	105.09	141	181.46	275.01	383.65
Pдоб	Вт	4.093	4.521	5.489	6.93	8.823	11.147	13.881	17.003	20.492	28.483	37.683
ΣP	Вт	274.25	284.22	309.16	347.61	399.02	462.77	538.27	624.91	722.06	945.45	1203.5
P2	Вт	23.885	526.56	1118.4	1686.7	2231.4	2752.4	3249.8	3723.7	4174.2	5006.2	5748.8
η	о.е.	0.08	0.649	0.783	0.829	0.848	0.856	0.858	0.856	0.853	0.841	0.827
$\cos \phi$	о.е.	0.111	0.287	0.458	0.581	0.666	0.724	0.764	0.793	0.813	0.838	0.851

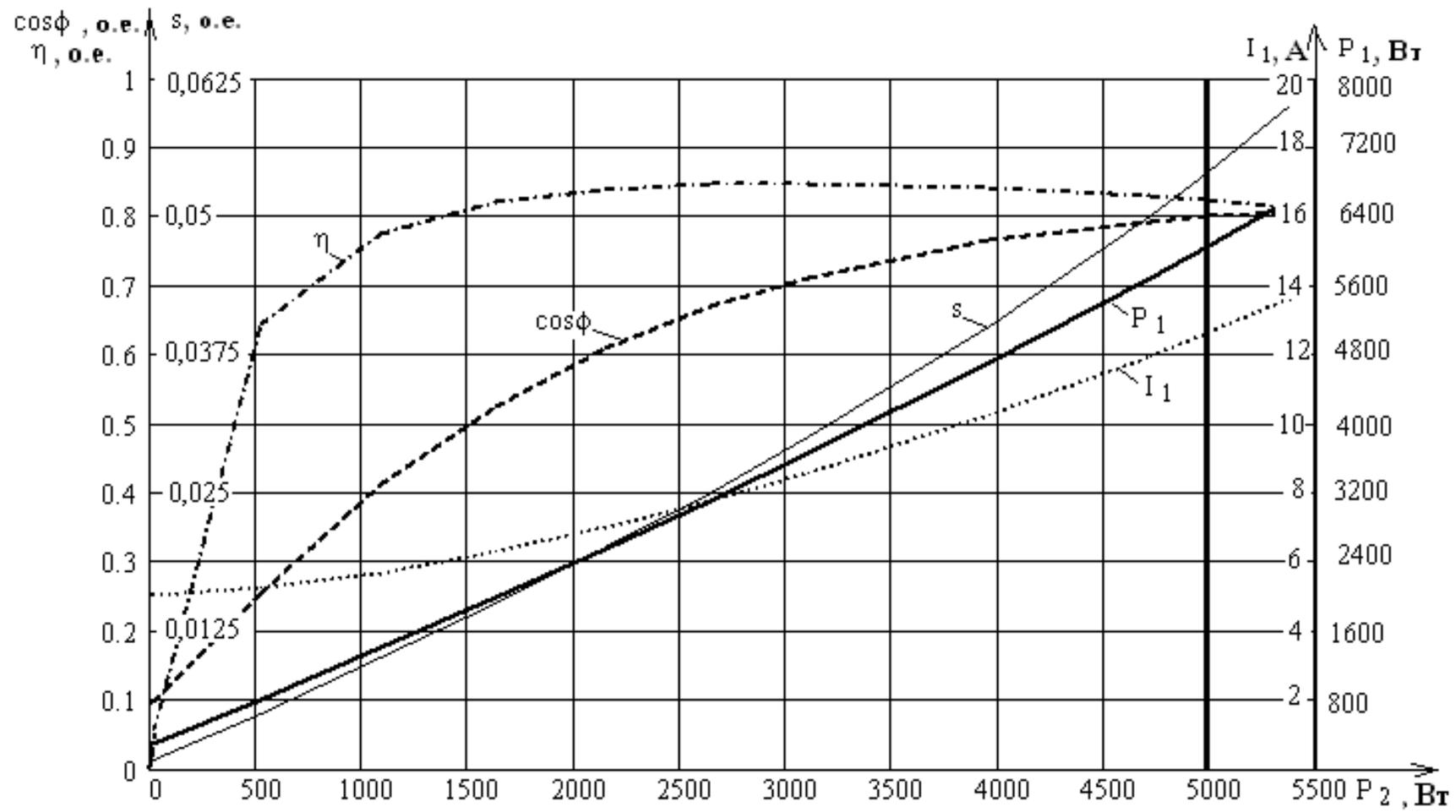


Рисунок 1.7 Рабочие характеристики

После построения рабочих характеристик уточняем значение номинального скольжения $S_n = 0,05$ и определяем основные параметры проектируемого двигателя: $P_2 = 5000 \text{ Вт}$; $\cos \phi = 0,838$; $\eta = 0,841$. Как видим расчетные $\cos \phi$ и η получились выше заданных ($\cos \phi = 0,838$; $\eta = 0,841$), это говорит о том, что мы получили двигатель с хорошими энергетическими показателями.

1.9 Расчет пусковых характеристик

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

Рассчитаем точки характеристик соответствующие скольжениям:

$$S = 1; \quad 0,8; \quad 0,6; \quad 0,4; \quad 0,36; \quad 0,3; \quad 0,2; \quad 0,1.$$

Подробный расчет приведен для скольжения $S = 1$. Данные расчета для других значений скольжения сведены в таблицу 2.

Ток ротора приближенно без учета влияния насыщения $a_n =$:

$$I'_2 = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r'_2}{s}\right)^2 + (x_1 + x'_2)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\sqrt{\left(0,136 + \frac{0,138}{1}\right)^2 + (0,203 + 0,338)^2}} = 50,31 \text{ А.} \quad (1.160)$$

Учет влияния насыщения на параметры:

Принимаем для $S = 1$ коэффициент насыщения:

$k_{НАС} = 1,3$; $I_1 = I'_2$ и приводим расчет для $k_{НАС}$.

Средняя МДС обмотки, отнесенная к одному пазу обмотки статора:

$$F_{ПР.СР} = 0,7 \cdot \frac{k_{НАС} \cdot I_1 \cdot u_{П1}}{a} \cdot \left(k'_{\beta} + k_y \cdot k_{об1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \right) = \quad (1.161)$$

$$= 0,7 \cdot \frac{1,3 \cdot 50,3 \cdot 23}{3} \cdot \left(1 + 1 \cdot 0,96 \cdot \frac{54}{36} \right) = 2569 \text{ А.}$$

Фиктивная индукция потока рассеяния в воздушном зазоре:

$$B_{\Phi\delta} = \frac{F_{ПР.СР}}{1,6 \cdot \delta \cdot C_N} \cdot 10^{-6} = \frac{2569}{1,6 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8994} \cdot 10^{-6} = 7,14 \text{ Тл,} \quad (1.162)$$

где коэффициент:

$$C_N = 0,64 + 0,25 \cdot \sqrt{\frac{\delta}{t_1 + t_2}} = 0,64 + 0,25 \cdot \sqrt{\frac{0,25 \cdot 10^{-3}}{0,0093 + 0,0139}} = 0,8994. \quad (1.163)$$

Уменьшение коэффициента магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора с учетом влияния насыщения:

$$\Delta\lambda_{П1НАС} = \frac{h_{П1} + 0,58 \cdot h'}{b_{П1}} \cdot \frac{C_1}{1,5 \cdot b_{П1} + C_1} = \quad (1.164)$$

$$= \frac{0,001 + 0,58 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{0,0035} \cdot \frac{0,0037}{0,0037 + 1,5 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3}} = 0,079.$$

Значение дополнительного раскрытия паза статора учитывающего уменьшение потока пазового рассеяния из-за насыщения:

$$C_1 = (t_1 - b_{П1}) \cdot (1 - \chi_{\beta}) = (0,0093 - 3,5 \cdot 10^{-3}) \cdot (1 - 0,366) = 0,0037. \quad (1.165)$$

Согласно рекомендациям рис. 9.61 [1,с.432] отношение потока рассеяния при насыщении к потоку рассеяния ненасыщенной машины принимаем: $\chi_{\delta}=0,556$.

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния пазов статора при насыщении:

$$\lambda_{П1НАС} = \lambda_{П1} - \Delta\lambda_{П1НАС} = 1,808 - 0,079 = 1,728. \quad (1.166)$$

Коэффициент проводимости дифференциального рассеяния при насыщении зубцов статора:

$$\lambda_{Д1НАС} = \lambda_{Д1} \cdot \chi_{\delta} = 1,561 \cdot 0,366 = 0,571. \quad (1.167)$$

Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора с учетом влияния насыщения:

$$x_{1НАС} = x_1 \cdot \frac{\sum \lambda_{1НАС}}{\sum \lambda_1} = 1,325 \cdot \frac{2,44}{3,499} = 1,238 \text{ Ом.} \quad (1.168)$$

$$\sum \lambda_{1НАС} = \lambda_{П1НАС} + \lambda_{Д1НАС} + \lambda_{Л1} = 0,6002 + 0,974 + 0,866 = 2,44. \quad (1.169)$$

$$\sum \lambda_1 = \lambda_{П1} + \lambda_{Д1} + \lambda_{Л1} = 0,73 + 1,753 + 0,866 = 3,349. \quad (1.170)$$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния пазов ротора:

$$\begin{aligned} \lambda_{П2Н} &= \lambda_{П2С} + \left(0,3 + \frac{1,12 \cdot h_{П2} \cdot 10^6}{I_2 \cdot v_i} \right) = \\ &= 6,7 + \left(0,3 + \frac{1,12 \cdot 0,5 \cdot 10^6}{70,387 \cdot 6,7} \right) = 3,533 \end{aligned} \quad (1.171)$$

где $v_i = 6,7$ – кратность пускового тока;

$$\begin{aligned} \lambda_{П2С} &= \frac{h_{23}}{3 \cdot b_{21}} \cdot k_{\beta} + \left(0,785 - \frac{b_{П2} - b_{из}}{b_{21}} \right) \cdot k'_{\beta} = \\ &= \frac{0,032}{3 \cdot 7,6 \cdot 10^{-3}} \cdot 1 + \left(0,785 - \frac{3 \cdot 10^{-3} - 5,8 \cdot 10^{-4}}{7,6 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 1 = 2,046 \end{aligned} \quad (1.172)$$

-постоянная составляющая коэффициента магнитной проводимости.

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния пазов ротора при насыщении:

$$\lambda_{П2НАС} = \lambda_{П2Н} = 1,248. \quad (1.173)$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния при насыщении зубцов ротора:

$$\lambda_{Д2НАС} = \lambda_{Д2} \cdot \chi_{\delta} = 4,921 \cdot 0,366 = 1,8. \quad (1.174)$$

Приведенное индуктивное сопротивление обмотки ротора с учетом насыщения:

$$x'_{2НАС} = k_{x2} \cdot \sum \lambda_{2НАС} = 2,01 \cdot 0,425 = 0,877 \text{ Ом.} \quad (1.175)$$

$$\Sigma \lambda_{2HAC} = \frac{\lambda_{П2HAC} + \lambda_{Д2HAC} + \lambda_{Л2}}{\lambda_{П2} + \lambda_{Д2} + \lambda_{Л2}} = \frac{1,2478+1,8001+0,4136}{4,9215+0,4136+2,8008} = 0,425. \quad (1.176)$$

$$k_{x2} = 15,8 \cdot \frac{f}{100} \left(\frac{w_2}{100} \right)^2 \cdot \frac{l_\delta}{p \cdot q_2} \cdot v_{12} = 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{216}{100} \right)^2 \cdot \frac{0,1}{3 \cdot 2} \cdot 1,77 = 2,061. \quad (1.177)$$

Сопротивление взаимной индукции обмоток в пусковом режиме:

$$x_{12П} = x_{12} \cdot \frac{F_{Ц}}{F_\delta} = 52,75 \cdot \frac{723,4}{524,4} = 72,77 \text{ Ом.} \quad (1.178)$$

$$C_{1П.НАС} = 1 + \frac{x_{1HAC}}{x_{12П}} = 1 + \frac{1,238}{72,77} = 1,017. \quad (1.179)$$

Расчет токов и моментов:

$$a_{П} = r_1 + C_{1П.НАС} \cdot \frac{r'_2}{s} = 1,25 + 1,017 \cdot \frac{1,079}{1} = 2,348. \quad (1.180)$$

$$b_{П} = x_{1HAC} + C_{1П.НАС} \cdot x'_{2HAC} = 1,238 + 1,017 \cdot 0,877 = 2,13. \quad (1.181)$$

Приведенный ток в обмотке ротора:

$$I'_2 = \frac{U_{1H}}{\sqrt{a_{П}^2 + b_{П}^2}} = \frac{220}{\sqrt{2,348^2 + 2,13^2}} = 69,4 \text{ а.} \quad (1.182)$$

Ток в обмотке статора:

$$I_1 = I'_2 \cdot \frac{\sqrt{a_{П}^2 + (b_{П} + x_{12П})^2}}{C_{1П.НАС} \cdot x_{12П}} = 69,4 \cdot \frac{\sqrt{2,348^2 + (2,13 + 72,773)^2}}{1,017 + 72,773} = 70,27 \text{ А.} \quad (1.183)$$

Кратность пускового тока:

$$I_{П*} = \frac{I_{П1}}{I_{H1}} = \frac{70,27}{10,76} = 6,53 \text{ о.е.} \quad (1.184)$$

Кратность пускового момента:

$$M_{П*} = \left(\frac{I'_{2П}}{I'_{2H}} \right)^2 \cdot \frac{s_H}{s_{П}} = \left(\frac{69,4}{9,216} \right)^2 \cdot \frac{0,05}{1} = 2,835. \quad (1.185)$$

Полученный в расчёте коэффициент насыщения:

$$k'_{нас} = I_{1нас} / I_1 = 70,27 / 50,31 = 1,39,$$

полученное значение коэффициента насыщения отличается от принятого $k=1.25$ для расчёта на

$$\Delta r_1 = \frac{1,39 - 1,3}{1,3} \cdot 100\% = 6,9 \%$$

полученное отклонение входит в допустимый предел: $10 \div 15 \%$.

Построение пусковых характеристик производим в относительных единицах, поделив значения таблицы на номинальные значения соответствующих величин.

Пусковые характеристики представлены на рисунке 1.8.

Критическое скольжение определяем после расчета всех точек пусковых характеристик (см. таблицу 1.2.) по средним значениям сопротивлений $x_{1НАС}$ и $x'_{2НАС}$, соответствующим скольжениям S по:

$$s_{KP} = \frac{r'_2}{\frac{x_{1НАС}}{C_{1П.НАС}} + x'_{2НАС}} = \frac{1,079}{\frac{1,329}{1,018} + 1,067} = 0,46. \quad (1.186)$$

Таблица 1.2 Данные для построения пусковых характеристик

	разм.											
s		1	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.25	0.1	0.05	0.001
$F_{п.ср}$	А	2569.07	2531.416	2484.137	2423.34	2232.808	2075.948	1842.003	1680.487	891.7009	485.6297	10.3972
B_{δ}	ТЛ	7.1414	7.0367	6.9053	6.7363	6.2066	5.7706	5.1203	4.6713	2.4787	1.3499	0.0289
X_{δ}		0.3658	0.3689	0.3747	0.3832	0.4097	0.4338	0.4728	0.5129	0.803	0.935	0.9991
c_1	м	0.0037	0.0037	0.0036	0.0036	0.0034	0.0033	0.0031	0.0028	1.10E-03	3.78E-04	5.04E-06
$\lambda_{п1нас}$		1.7284	1.7287	1.7291	1.7297	1.7318	1.7337	1.7369	1.7404	1.7734	1.7949	1.8077
$\lambda_{д1нас}$		0.5709	0.5758	0.585	0.5981	0.6395	0.6771	0.738	0.8006	1.2534	1.4595	1.5596
$X_{1нас}$	ОМ	1.2379	1.2398	1.2434	1.2486	1.2649	1.2798	1.3039	1.3287	1.5115	1.5971	1.6395
c_2	м	0.0079	0.0078	0.0078	0.0077	0.0073	0.007	0.0065	0.006	2.40E-03	8.07E-04	1.08E-05
$\lambda_{п2\xiнас}$	А	1.2478	1.2483	1.2491	1.2504	1.2544	1.2584	1.2654	1.2736	1.3946	1.5746	1.8031
$\lambda_{д2нас}$	ВТ	1.8001	1.8155	1.8443	1.8859	2.0162	2.1348	2.3268	2.5241	3.9519	4.6017	4.9173
$X_{п2\xiнас}$	А	0.8768	0.8809	0.8883	0.8992	0.9332	0.9643	1.0147	1.0668	1.4591	1.6693	1.8071
$c_{1п}$		1.017	1.017	1.0171	1.0172	1.0174	1.0176	1.0179	1.0183	1.0208	1.0219	1.0225
$R_{п.нас}$	ОМ	2.3482	2.4702	2.6227	2.8189	3.4467	3.9963	4.9128	5.6467	12.2681	23.3112	1104.915
$X_{п.нас}$	ОМ	2.1296	2.1357	2.1469	2.1632	2.2143	2.261	2.3368	2.415	3.0008	3.303	3.4873
$\Gamma_{2нас}$	А	69.3997	67.3732	64.9089	61.9157	53.7017	47.9139	40.4397	35.8222	17.4191	9.3442	0.1991
$I_{1нас}$	А	70.2704	68.2257	65.7415	62.725	54.4478	48.6176	41.0912	36.4497	17.9997	9.9972	2.9635
I^*		6.5309	6.3409	6.11	5.8297	5.0604	4.5185	3.819	3.3876	1.6729	0.9291	0.2754
M^*		2.8354	2.9691	3.1004	3.224	3.3955	3.3788	3.2092	3.0218	1.7863	1.028	0.0233

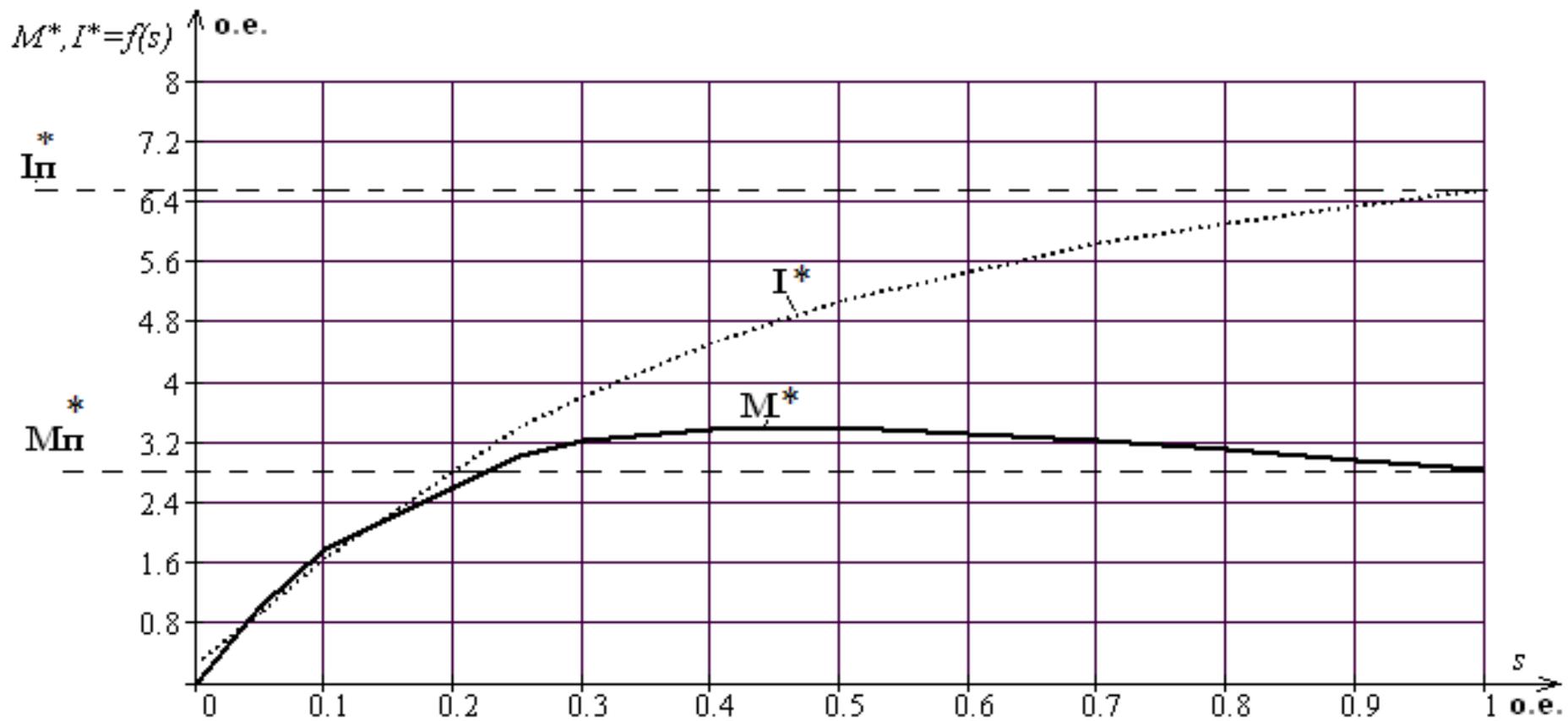


Рисунок 1.8 Пусковые характеристики.

2 Тепловой и вентиляционный расчёт

На первоначальной стадии проектирования достаточно достоверную оценку теплового режима двигателя даёт приближённый метод теплового расчёта, основанный на упрощённом представлении о характере тепловых связей между элементами электрической машины. В нём используются средние значения коэффициентов теплоотдачи с поверхности и теплопроводности изоляции, характерные для определённой конструкции и технологии производства двигателей данного типа.

Тепловой расчёт будем проводить только для статора т.к. обмотка статора считается самой нагретой частью машины. При расчёте используются потери, полученные для номинального режима, но потери в обмотке статора несколько увеличиваются по сравнению с расчётными. Предполагается, что обмотка может быть нагрета до предельно допустимой для принятого класса В изоляции и температуры 80 °С.

Электрические потери в обмотке статора в пазовой части по формуле:

$$P'_{э,п1} = \kappa_p \cdot P_{э1} \cdot \frac{2 \cdot \ell_1}{\ell_{ср1}} = 1,15 \cdot 1434,3 \cdot \frac{2 \cdot 0,1}{0,502} = 199,1 \text{ Вт} , \quad (2.1)$$

где κ_p – коэффициент увеличения потерь [1, с.235]; $\kappa_p=1,15$.

Электрические потери в обмотке статора в лобовой части по формуле:

$$P'_{э,л1} = \kappa_p \cdot P_{э1} \cdot \frac{2 \cdot \ell_{л1}}{\ell_{ср1}} = 1,15 \cdot 434,3 \cdot \frac{2 \cdot 0,151}{0,502} = 300,34 \text{ Вт} . \quad (2.2)$$

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

$$\Delta\theta_{нов1} = K \cdot \frac{P'_{э,п1} + P_{ст.осн}}{\pi \cdot D \cdot \ell_1 \cdot \alpha_1} = 0,19 \cdot \frac{199,1 + 126}{\pi \cdot 0,16 \cdot 0,1 \cdot 90} = 13,55^\circ\text{С} . \quad (2.3)$$

где K – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину непосредственно в окружающую среду по табл.6-30 [1]; при $2p=4$, $K=0,19$; α_1 – коэффициент теплоотдачи с поверхности сердечника статора по рис.6-59а [1]; $\alpha_1=90 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$.

Расчётный периметр поперечного сечения паза статора по формуле:

$$P_{n1} = 2 \cdot h_n + b_1 + b_2 = 2 \cdot 0,0185 + 0,0063 + 0,0042 = 0,0475 \text{ м.} \quad (2.4)$$

Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора по формуле.6.315.[1]:

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{из,л1} &= \frac{P'_{э,л1}}{Z_1 \cdot P_{n1} \cdot \ell_1} \cdot \left(\frac{b_{из1}}{\lambda_{эКВ}} + \frac{b_1 + b_2}{16 \cdot \lambda'_{эКВ}} \right) = \\ &= \frac{199,1}{54 \cdot 0,0475 \cdot 0,1} \cdot \left(\frac{0,0016}{0,16} + \frac{0,0063 + 0,0042}{16 \cdot 1,3} \right) = 1,6^\circ \text{C}, \end{aligned} \quad (2.5)$$

где $\lambda_{эКВ}$ – средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции [1, с.237]; $\lambda_{эКВ} = 0,16 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$; $\lambda'_{эКВ}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности внутренней изоляции катушек всыпной обмотки из эмалированных проводников с учётом не плотности прилегания проводников друг к другу по рис.6-62[1]; при $d/d_{из} = 0,9464$, $\lambda'_{эКВ} = 1,3 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$

Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей:

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{из,л1} &= \frac{P'_{э,л1}}{2 \cdot Z_1 \cdot P_{Л1} \cdot \ell_{л'1}} \cdot \left(\frac{h_{л1}}{12 \cdot \lambda'_{эКВ}} \right) = \\ &= \frac{300,3}{2 \cdot 48 \cdot 0,054 \cdot 0,294} \cdot \left(\frac{0,019}{12 \cdot 1,3} \right) = 0,46^\circ \text{C}, \end{aligned} \quad (2.6)$$

где $P_{Л1}$ – периметр условной поверхности охлаждения лобовой части одной катушки [1, с.237]; $P_{Л1} \approx P_{п1} = 0,0475 \text{ м}$; $b_{из,л1}$ – односторонняя толщина изоляции лобовой части катушки $b_{из,л1} = 0,05$.

Превышение температуры наружной поверхности изоляции лобовых частей обмотки над температурой воздуха внутри машины по формуле:

$$\Delta\theta_{\% \cdot 1} = \frac{K \cdot P'_{э,л1}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot \ell_{обл1} \cdot \alpha_1} = \frac{0,19 \cdot 300,34}{2 \cdot \pi \cdot 0,16 \cdot 0,057 \cdot 90} = 11,12^\circ \text{C}. \quad (2.7)$$

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри машины по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta\theta'_1 &= \frac{(\Delta\theta_{нов1} + \Delta\theta_{из,н1}) \cdot 2 \cdot \ell_1}{\ell_{сп1}} + \frac{(\Delta\theta_{из,л1} + \Delta\theta_{нов,л1}) \cdot 2 \cdot \ell_1}{\ell_{сп1}} = \\ &= \frac{(13,55 + 1,61) \cdot 2 \cdot 0,1}{0,502} + \frac{(11,12 + 0,46) \cdot 2 \cdot 0,151}{0,502} = 13^0\text{C}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Эквивалентная поверхность охлаждения корпуса по формуле:

$$\begin{aligned} S_{кор} &= (\pi \cdot D_a + 8 \cdot \Pi_p) \cdot (\ell_1 + 2 \cdot \ell_{был1}) = \\ &= (\pi \cdot 0,23 + 8 \cdot 0,28) \cdot (0,1 + 2 \cdot 0,057) = 0,6324 \text{ м}^2, \end{aligned} \quad (2.9)$$

где Π_p – условный периметр поперечного сечения рёбер станины по рис.6-63[1]: $\Pi_p=0,28$ м.

Сумма потерь отводимых в воздух внутри двигателя по формуле:

$$\begin{aligned} \sum P'_B &= \sum P' - (1 - K) \cdot (P'_{э,н1} + P_{ст.очн}) - 0,9 \cdot P_{мех} = \\ &= 1052 - (1 - 0,19) \cdot (199,1 + 123,4) - 0,9 \cdot 28 = 765 \text{ Вт}, \end{aligned} \quad (2.10)$$

где по формуле:

$$\sum P = \sum P + (\kappa_p - 1) \cdot (P_{э1} + P_{э2}) = 945 + (1,15 - 1) \cdot (434 + 275) = 1052 \text{ Вт}. \quad (2.11)$$

Превышение температуры воздуха внутри машины над температурой окружающей среды по формуле:

$$\Delta\theta_B = \frac{\sum P'_B}{S_{кор} \cdot \alpha_B} = \frac{765}{0,6324 \cdot 24} = 50,43^0\text{C}, \quad (2.12)$$

где $\alpha_в$ – коэффициент подогрева воздуха [1, с.235 рис.6-59а]; $\alpha_в=24$ Вт/м²·С.

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды по формуле:

$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta'_1 + \Delta\theta_B = 50,43 + 13 = 63,43 < 80^0\text{C}. \quad (2.13)$$

Полученное значение превышения температуры не превышает допустимое превышение температуры для принятого класса изоляции В

Вентиляционный расчёт асинхронного двигателя, так же как и тепловой на первоначальном этапе проектирования, может быть выполнен приближён-

ным методом. Метод заключается в сопоставлении расхода воздуха, необходимого для охлаждения двигателя и расхода, который может быть получен при данной конструкции и размерах двигателя.

Коэффициент, учитывающий изменение условий охлаждения по длине поверхности корпуса, обдуваемого наружным вентилятором по формуле:

$$\kappa_m = m \cdot \sqrt{\frac{n}{100} \cdot D_a} = 3,15 \cdot \sqrt{\frac{1000}{100} \cdot 0,23} = 4,78, \quad (2.14)$$

где κ_m – коэффициент [1, с.240]; для двигателе с $2p = 6$ при $h=132$ м, $m=3,15$.

Требуемый для охлаждения расход воздуха по формуле:

$$Q_B = \frac{\kappa_m \cdot \sum P'_B}{1100 \cdot \Delta\theta_B} = \frac{4,78 \cdot 445}{1100 \cdot 31,97} = 0,0659 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \quad (2.15)$$

Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором:

$$Q'_B = 0,6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n}{100} = 0,6 \cdot 0,23^3 \cdot \frac{1000}{100} = 0,073 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \quad (2.16)$$

$Q'_B > Q_B$ необходимое условие для охлаждения машин выполнено.

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

3 Механический расчет

Асинхронный двигатель выполнен с горизонтальным расположением вала. В этом случае вал несёт на себе всю массу вращающихся частей, через него передаётся вращающий момент машины. При сочленении машины с исполнительным механизмом через ремённую и зубчатую передачу, а также и через муфту на вал действуют дополнительные изгибающие силы. Кроме того, на вал могут действовать силы одностороннего магнитного притяжения, вызванные магнитной несимметрией, усилия, появляющиеся из-за наличия небаланса вращающихся частей, а также усилия, возникающие при появлении крутильных колебаний. Правильно сконструированный вал должен быть достаточно прочным, чтобы выдержать все действующие на него нагрузки без появления остаточных деформаций. Вал также должен иметь достаточную жёсткость, чтобы при работе машины ротор не задевал о статор. Критическая частота вращения вала должна быть значительно больше рабочих частот вращения машины.

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

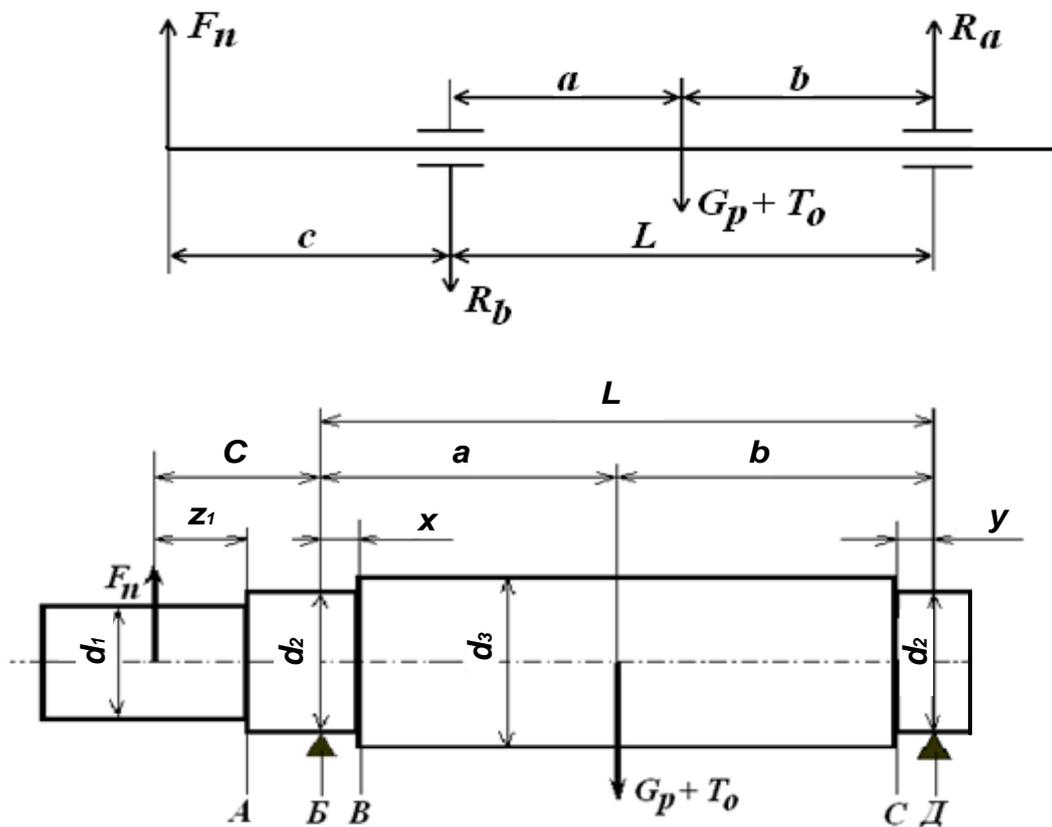


Рисунок 3.1 Конструкция и основные размеры вала

для механического расчёта

$$\begin{aligned} a &= 140 \cdot 10^{-3} \text{ м}, & b &= 140 \cdot 10^{-3} \text{ м}, & c &= 75 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \\ x &= y = 14 \cdot 10^{-3} \text{ м}, & l &= 280 \cdot 10^{-3} \text{ м}, & z_1 &= 37 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \\ d_1 &= 38 \cdot 10^{-3} \text{ м}, & d_2 &= 45 \cdot 10^{-3} \text{ м}, & d_3 &= 53 \cdot 10^{-3} \text{ м}. \end{aligned}$$

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

3.1 Расчёт на жёсткость

Определим приближённое значение силы тяжести:

$$m_p = 64 \cdot D_2^2 \cdot l_2 \cdot 10^{-6} = 64 \cdot 160^2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 163,84 \text{ кг.} \quad (3.1)$$

Определим момент инерции участка вала:

$$J = \pi \cdot \frac{d_2^4}{64} = \pi \cdot \frac{45^4}{64} = 2,013 \cdot 10^5 \text{ мм}^4. \quad (3.2)$$

Приближённое значение силы тяжести:

$$G_p = 9,81 \cdot m_p = 9,81 \cdot 16,685 = 163,84 \text{ Н.} \quad (3.3)$$

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

Для асинхронного двигателя приближением можно принять коэффициенты [1, с.248, табл.8.3]:

$$S_a = S_b = \frac{a^3 - x^3}{J} = \frac{140^3 - 14^3}{2,013 \cdot 10^5} = 13,62; \quad (3.4)$$

$$S_0 = (a^2 - x^2) / J = (140^2 - 14^2) / 2,013 \cdot 10^5 = 0,096. \quad (3.5)$$

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

$$\begin{aligned} f_G &= \frac{G_p}{3 \cdot l^2 \cdot E} \cdot (a^2 \cdot S_b + b^2 \cdot S_a) = \\ &= \frac{163,84}{3 \cdot 280^2 \cdot 2,06 \cdot 10^{11}} \cdot (140^2 \cdot 13,62 + 14^2 \cdot 13,62) = 0,0018 \text{ мм}, \end{aligned} \quad (3.6)$$

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

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

$$M_{ном} = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9,55 \cdot \frac{5000}{1000} = 50,263 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.7)$$

Реакция передачи [1, с.246, ф.8.17]:

$$F_{II} = \frac{k_n}{r} \cdot M_{ном} = \frac{0,3}{100 \cdot 10^{-3}} \cdot 50,26 = 150,79 \text{ Н}, \quad (3.8)$$

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

Радиус упругой муфты $r = 100 \cdot 10^{-3}$.

Прогиб вала посредине сердечника ротора от реакции передачи [1, с.246, ф.8,19]:

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

$$= \frac{150,79 \cdot 75 \cdot ((1,5 \cdot 280 \cdot 0,096 - 13,61) \cdot 140 + 140 \cdot 13,61)}{3 \cdot 2,06 \cdot 10^{11} \cdot 280^2} =$$

$$= 0,0013 \text{ мм}. \quad (3.9)$$

Начальный эксцентриситет ротора [1, с.247, ф.8.20]:

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

$$= 0,15 \cdot 0,25 + 0,0018 + 0,0013 = 0,0406 \text{ мм}. \quad (3.10)$$

Начальная сила одностороннего магнитного притяжения [1, с.247, ф.8.21]:

$$T_0 = 0,1 \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \frac{e_0}{\delta} = 0,1 \cdot 160 \cdot 100 \cdot \frac{0,0406}{0,25} = 260,02 \text{ Н}. \quad (3.11)$$

Прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения [1, с.247, ф.8.22]:

$$f_T = f_G \cdot \frac{T_0}{G_p} = 0,0018 \cdot \frac{260,02}{188,41} = 0,0029 \text{ мм}. \quad (3.12)$$

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

$$f_M = \frac{f_T}{1 - f_T/e_0} = \frac{0,0029}{1 - 0,0029/0,0406} = 0,0031 \text{ мм}. \quad (3.13)$$

Результирующий прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения, реакции передачи и магнитного притяжения:

$$f = f_T + f_{II} + f_M = 0,0013 + 0,0018 + 0,0031 = 0,0062 \text{ мм.} \quad (3.14)$$

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

$$x = \frac{f}{\delta} \cdot 100\% = \frac{0,0062}{0,25} \cdot 100\% = 2,48 \%. \quad (3.15)$$

Определение критической частоты вращения вала

$$n_{кр} = 950 \cdot \sqrt{\frac{1 - f_T/e_0}{f_T - f_C}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{0,0029}{0,0406}}{0,0018 + 0,00015}} = 20713 \text{ об/мин.} \quad (3.16)$$

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

Проверим это условие $20713 > 1,3 \cdot 1000 = 1300$. Из условия видно, что данный вал имеет запас по критической частоте и его можно использовать для этой машины.

3.2 Выбор подшипников

Основным критерием работоспособности подшипника качения является динамическая и статическая грузоподъемность. Для электрических машин с горизонтальным расположением вала осевую нагрузку принимаем равную нулю.

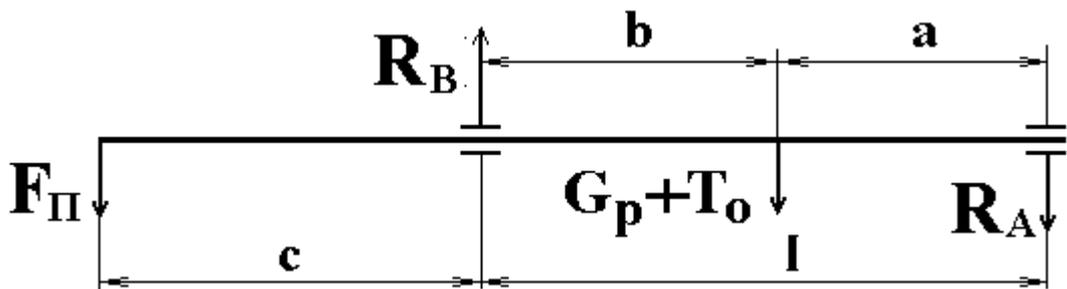


Рисунок 3.2 Радиальные реакции подшипников

Радиальная нагрузка на опору:

$$R_A = F_n \cdot \frac{C}{l} + (G_p + T) \cdot \frac{b}{l} = 150 \cdot \frac{0,075}{0,1} + (163,8 + 260) \cdot \frac{0,14}{0,1} = 227,177 \text{ Н.} \quad (3.17)$$

Приведенная нагрузка:

$$Q_A = k_H \cdot R_A = 1.5 \cdot 227,177 = 340,765 \text{ Н}, \quad (3.31)$$

где K_H - коэффициент, учитывающий характер нагрузки двигателя, при нагрузке со значительными толчками [1, с. 404], $K_H = 1,5$.

Динамическая грузоподъемность шарикоподшипника:

$$C = \frac{Q_A}{25.6} \cdot (L \cdot n)^{1/3} = \frac{340,765}{25.6} \cdot (20000 \cdot 1500)^{1/3} = 4136 \text{ Н}, \quad (3.32)$$

Срок службы (или долговечности) подшипника принимаем $L=20 \cdot 10^3$ ч, [1]

Радиальная нагрузка на опоре В:

$$\begin{aligned} R_B &= F_n \cdot \frac{1+C}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{a}{l} = \\ &= 150 \cdot \frac{1+0.075}{0.1} + (163,8 + 260) \cdot \frac{0.14}{0.1} = 484,177 \text{ Н} \end{aligned} \quad (3.33)$$

Приведенная нагрузка:

$$Q_B = k_H \cdot R_B = 1.5 \cdot 484,177 = 726,265 \text{ Н}, \quad (3.34)$$

Динамическая грузоподъемность:

$$C_B = \frac{Q_B}{25.6} \cdot (L \cdot n)^{1/3} = \frac{726,265}{25.6} \cdot (20000 \cdot 1500)^{1/3} = 8815 \text{ Н}, \quad (3.35)$$

Принимаем шарикоподшипник радиальный однорядный закрытого типа 180209, у которого динамическая грузоподъемность $C = 33200$ Н.

В разделе механического расчета был определен суммарный прогиб вала от действия силы тяжести ротора и поперечной силы, обусловленной соединением. Полученный прогиб вала составляет 2,48%, что не превышает 10% от воздушного зазора. По критической частоте вращения и напряжениям в опасных сечениях, он имеет запасы. Условие прочности выполняется, а значит вал можно использовать в данной электрической машине.

4 Специальная часть

Основные требования при пуске АД это обеспечение достаточно большого пускового момента, а пусковые токи при этом должны быть малы. Иногда к этим требованиям добавляют и другие, обусловленные особенностями конкретных приводов, в которых используют двигатели: необходимость плавного пуска, максимального пускового момента и пр. поэтому для этого в цепь ротора добавляют пуска – тормозные и регулировочные резисторы

Пуско – тормозные и регулировочные резисторы в крановых электроприводах используются при параметрических методах регулирования. Получение механических характеристик, обеспечивающих заданные показатели регулирования и требуемые пуско – тормозные диаграммы переходных режимов, достигается введением активных сопротивлений в цепи обмоток ротора двигателей.

При расчете и выборе резисторов для главных цепей электроприводов одновременно должны решаться две задачи:

- Обеспечение необходимых механических характеристик, реализующих требуемый уровень ускорения.
- Обеспечение соответствия теплового режима резисторов режиму работы двигателя.

Для выполнения первого условия определяются значения ступеней сопротивления, соответствующие получению необходимых абсолютных значений пусковых моментов электродвигателя. Для выполнения второго условия необходимо определить соответствующую рассеиваемую мощность резистора в целом (выбрать режим продолжительности включения при этой мощности и установить необходимую нагрузку отдельных ступеней резисторов).

Целью специальной части является – расчет пусковых добавочных сопротивлений, выбор типового комплекта – ящика сопротивлений, для пуска кранового АД с фазным ротором и разработка пусковой схемы для данного двигателя.

Этот же ящик сопротивлений, при необходимости, может быть использован и для параметрического регулирования скорости двигателя. При этом расчет ступеней резисторов значительно упрощается и выполняется по таблицам разбивки сопротивлений, рекомендуемым заводами – изготовителями серийного электрооборудования применительно к типовым схемам.

Сопротивления в цепи ротора асинхронных двигателей включаются по симметричным и несимметричным схемам. Симметричное включение сопротивлений применяется в системах с панелями управления, а несимметричное – с кулачковыми контроллерами для уменьшения числа используемых при переключениях контактов. Несимметричное включение подразумевает неравные сопротивления в каждой фазе, которые порождают в них несимметричные токи и провалы моментов, и как следствие этого неустойчивое регулирование частоты вращения. Это делается для уменьшения стоимости ящика резисторов и системы управления. Для крановых двигателей средней и большой мощности наиболее целесообразно использовать симметричное включение сопротивлений в цепи обмоток ротора, так как это обеспечит наиболее плавный пуск, а цена типового комплекта электропривода по сравнению с ценой двигателя не играет роли. При расчете пусковых сопротивлений, включенных по симметричной схеме, предварительно для заданного режима работы строят диаграмму пускового режима. Условиями пуска являются колебание пускового момента между максимальным M_2 и минимальным M_1 значениями.

4.1 Построение пусковой диаграммы и расчет сопротивлений ступеней

Исходные данные к расчету пускового реостата

$$n_H = n(1 - s_H) = 1000(1 - 0,05) = 950 \text{ об/мин} \quad s_H = 0,05 \text{ о.е.}$$

$$n_c = 1000 \text{ об/мин} \quad P_H = 5000 \text{ Вт}$$

$$M_{кр}/M_H = 3,3 \text{ о.е.} \quad r_{2нагр} = 1,0793 \text{ Ом}$$

$$I_{2H} = 8,97 \text{ А}$$

Расчет и построение механических характеристик проводим для пяти пусковых ступеней. Количество пусковых ступеней выбираем исходя из технико-экономических соображений: чем больше число ступеней, тем плавнее пуск, не смотря на удорожание ящика пусковых резисторов.

Для проектируемого двигателя наиболее оптимальным числом пусковых ступеней является $m=5$, т. к. меньшее число ступеней не дает возможности плавного пуска до номинального режима.

Определяем номинальный момент двигателя:

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H} = 9550 \cdot \frac{5000}{950} = 50,26, \text{кН} * \text{м} \quad (4.1)$$

Определяем критический момент двигателя:

$$M_{кр} = \frac{M_{кр}}{M_H} \cdot M_H = 3,3 \cdot 50,26 = 166, \text{кН} * \text{м}. \quad (4.2)$$

Принимаем наибольший пусковой момент двигателя:

$$M_1 = 0,95 \cdot M_{кр} = 0,95 \cdot 166 = 158, \text{кН} * \text{м}. \quad (4.3)$$

Определяем момент переключения:

$$M_2^* = \frac{M_1}{M_H} \cdot m \sqrt{\frac{M_1}{M_H} \cdot s_H} = \frac{158}{50,26} \cdot 5 \sqrt{\frac{158}{50,26} \cdot 0,05} = 2,16, \text{о.е.} \quad (4.4)$$

$$M_2 = M_2^* \cdot M_H = 2,16 \cdot 50,24 = 108,8, \text{кН} * \text{м}. \quad (4.5)$$

Расчет сопротивлений ступеней пускового резистора для асинхронного двигателя с фазным ротором по приближенному способу основан на прямолинейности механических характеристик.

Естественная механическая характеристика – зависимость $n=f(M)$ при отсутствии добавочных сопротивлений в цепи ротора. Она проходит через две характерные точки:

- $M=0$; $n=n_c$ – точка синхронной частоты вращения;
- $M=M_H$; $n=n_H$ – точка номинального момента и частоты вращения.

Формула для такой характеристики имеет вид:

$$M = M_H \frac{s}{s_H}. \quad (4.6)$$

Искусственные характеристики получаются при введении добавочных активных резисторов в цепь обмотки ротора. Искусственные характеристики также являются прямолинейными и проходят тем круче, чем больше сопротивление добавочного резистора.

Наклон естественной механической характеристики прямо пропорционален активному сопротивлению ротора, т.е. длина участка 1-2 пропорциональна $r_{2нагр}$ (см. рисунок 4.1). Рассчитаем коэффициент пропорциональности:

$$m_R = r_{2нагр}/L_{1-2} = 1,0793/155 = 0.007 \text{ Ом/мм}. \quad (5.7)$$

Наклон искусственных механических характеристик также прямо пропорционален добавочным пусковым сопротивлениям. Определяем добавочные пусковые сопротивления для каждой ступени отдельно, умножая полученный ранее коэффициент пропорциональности m_R на длины соответствующих участков (доли сопротивлений ступеней):

$$R_{п1} = m_R \cdot L_{7-6} = 0.007 \cdot 310 = 2,17 \text{ Ом}; \quad (5.8)$$

$$R_{п2} = m_R \cdot L_{6-5} = 0.007 \cdot 215 = 1,5 \text{ Ом}; \quad (5.9)$$

$$R_{п3} = m_R \cdot L_{5-4} = 0.007 \cdot 150 = 1,05 \text{ Ом}; \quad (5.10)$$

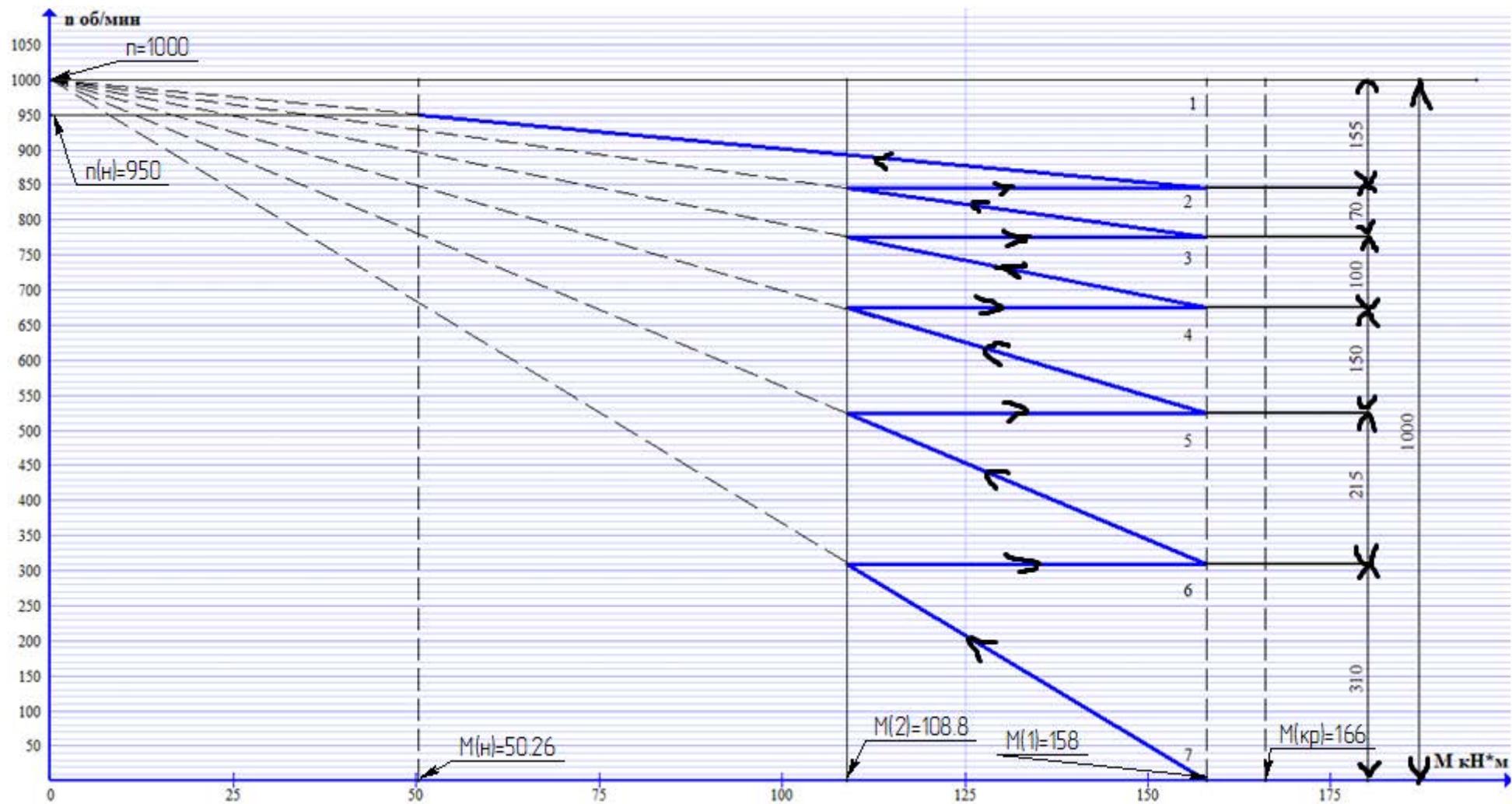


Рисунок 4.1. Пусковая диаграмма асинхронного двигателя с фазным ротором.

$$R_{п4} = m_R \cdot L_{4-3} = 0.007 \cdot 100 = 0,7 \text{ Ом}; \quad (5.11)$$

$$R_{п5} = m_R \cdot L_{3-2} = 0.007 \cdot 70 = 0,49 \text{ Ом}; \quad (5.12)$$

$$\begin{aligned} \Sigma R_{п} &= R_{п1} + R_{п2} + R_{п3} + R_{п4} + R_{п5} = \\ &= 2,17 + 1,5 + 1,05 + 0,7 + 0,49 = 5,91 \text{ Ом}. \end{aligned} \quad (5.13)$$

4.2 Выбор типового ящика резисторов

В соответствии с рассчитанными пусковыми сопротивлениями, обеспечением соответствия теплового режима резисторов режиму работы двигателя и номинальным током ротора $I_{2н}=8,97 \text{ А}$. выбираем ящик пусковых резисторов ББУ2 по конструкторскому документу ИФРЮ.434.332.004-13[4].

Блоки резисторов крановые Бб предназначены для пуска, регулирования скорости и торможения крановых электродвигателей постоянного и переменного тока. Блоки классифицируются по климатическому исполнению и категории размещения.

Структура условного обозначения Бб [*][**]:

Б – блоки резисторов серии Б;

б – максимальное число резисторных элементов в блоке;

[*][**] – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150[3].

4.3 Особенности конструкции блока Бб

Блок представляет собой конструкцию открытого исполнения и состоит из каркаса, резистора (резисторный элемент на керамическом изоляторе), внешних контактных зажимов (рисунок 4.2). Резисторный элемент выполнен из фехральной проволоки. Преимуществом данного материала является то, что он допускает весьма высокие рабочие температуры ($350-400^{\circ}\text{C}$ для прерывисто – продолжительного, кратковременного и повторно – кратковременного режима работы). Внутренние электрические соединения выполнены из неизолированных

медных проводников. Изоляция в блоке обеспечивается фарфоровыми цилиндрическими изоляторами. При работе блока резисторов ток через коммутационные выводы протекает по резисторным элементам, выделяемое тепло рассеивается потоками воздуха. К каждому выводу рекомендуется присоединять не более двух проводов (кабелей), оконцованных наконечниками. Блоки должны устанавливаться на горизонтальных поверхностях и надежно крепиться болтами.

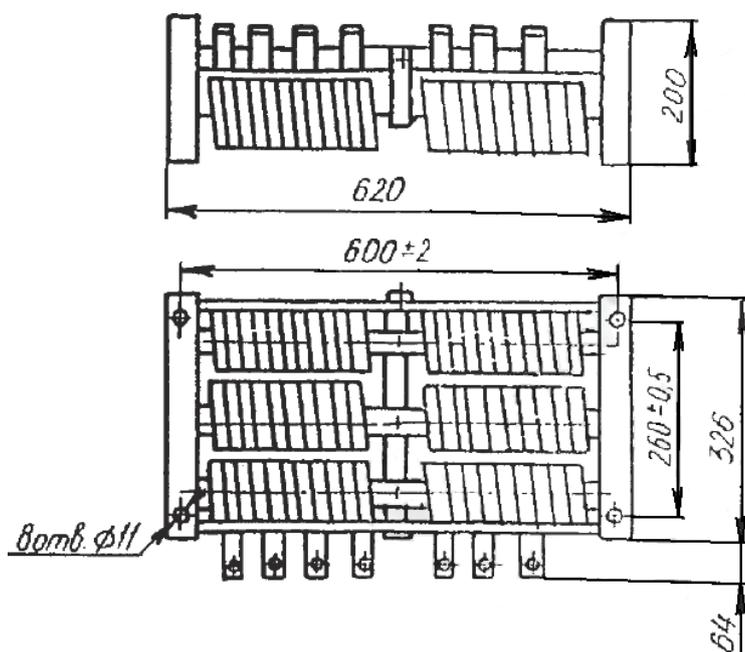


Рисунок 4.2 Общий вид, габаритные и установочные размеры блоков и схема размещения резисторов в блоке

4.4 Условия эксплуатации

Условия эксплуатации крановых блоков резисторов предусматривают их расположение под навесом или внутри закрытого помещения. А в случае работы ящика сопротивлений на открытом воздухе должен быть использован специальный защитный кожух, предназначенный для защиты устройства от воздействия различных климатических факторов

- окружающая среда невзрывоопасная, не пожароопасная, не содержащая газов и паров, разрушающих металл и изоляцию, не содержащая токопроводящей пыли;
- группа механического исполнения М3 ГОСТ 17516.1-90 без многократных ударов;
- степень защиты IP00 по ГОСТ 14255-69;
- эксплуатация и обслуживание блоков должны производиться в соответствии с «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей»;
- блоки по способу защиты человека от поражения электрическим током относятся к классу 0 по ГОСТ 12.2.007.0-75;
- вероятность возникновения пожара от блока не более 10^{-6} в год.

4.5 Технические данные

Номинальное напряжение:

постоянного тока	до 440 В;
переменного тока частотой до 60 Гц	до 660В.
Номинальный режим работы	продолжительный
Режим работы	продолжительный,
кратковременный, повторно – кратковременный	
Масса, не более	19 кг.

Электрическая схема представлена на рисунке 4.3.

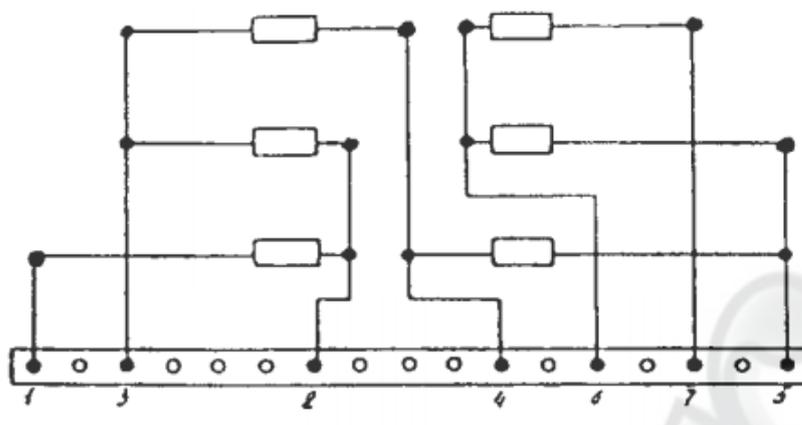


Рисунок 4.3 Электрическая схема блока БУ2 – ИФРЮ.434.332.004-13

В таблице 4.1 представлены технические данные блока БУ2

Таблица 4.1 Технические данные блока БУ2

Тип блока	Сопротивление (Ом)	Масса (кг)	Длительный ток (А)
ИФРЮ.434.332.004-13	6,42	19	27,5

Данный ящик резисторов будет использоваться только для пуска асинхронного двигателя с фазным ротором.

Для пуска кранового асинхронного двигателя понадобится шесть ящиков резисторов. Принципиальная электрическая схема пуска представлена на рисунке 4.4. Соединение внешних контактных зажимов и присоединение к обмоткам ротора производить согласно рисунку 4.5.

При подборе ящика резисторов фактические значения ступеней сопротивлений несколько отличаются от расчетных. Однако суммарное значение всего добавочного сопротивления в соответствии со схемой (рисунок 4.5) составляет 6,42 Ом, что на 9 % больше чем рассчитанные сопротивления по механическим характеристикам. При этом следует

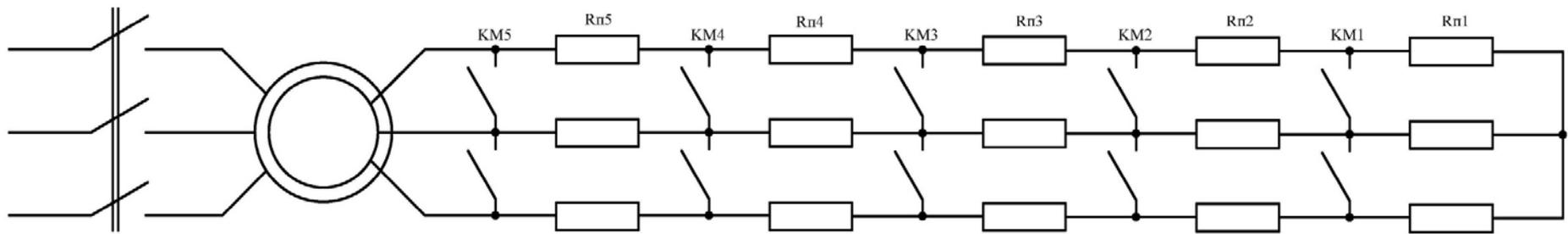


Рисунок 4.4. Принципиальная электрическая схема пуска асинхронного двигателя с помощью резисторов в цепи ротора.

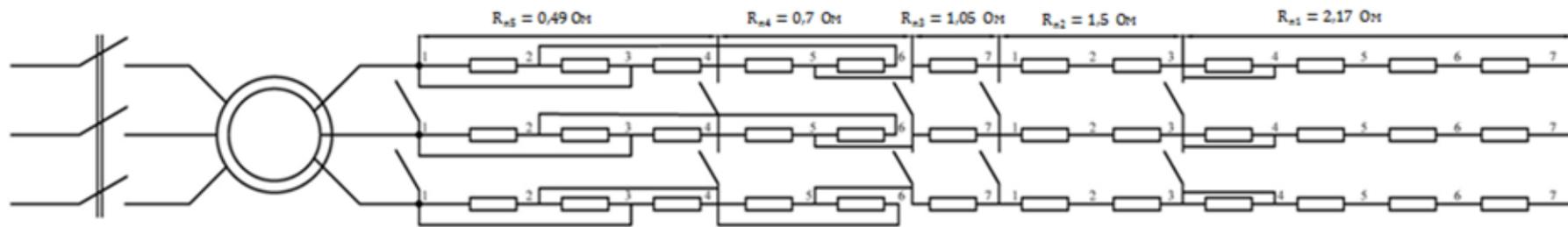


Рисунок 4.5. Монтажная схема соединений ящиков резисторов БУ2

учитывать, что производственный допуск на суммарное сопротивление резистора составляет $\pm 10\%$ его расчетного значения, а производственный допуск на отдельные ступени составляет до $\pm 15\%$.

Таким образом в специальной части произвели расчет добавочных сопротивлений для регулирования плавного пуска двигателя МТФ 112-6, мощностью 5кВ, выбран подходящий по параметрам ящик резисторов, также для наглядности построена пусковая диаграмма с 5 ступенями пуска, учитывая технико-экономические показатели.

5 Технологическая часть

Электротехническая индустрия считается материальной основой электрификации страны, автоматизации и механизации производственных процессов. Машиностроение, поставляющее новейшую технику всем отраслям народного хозяйства, характеризует технический прогресс страны. Увеличение качества, технического уровня, надежности, долговечности технических продуктов – принципиальный фактор роста интенсивности производства. Эффективность производства, его технический прогресс, качество производимой продукции почти во всем зависят от опережающего развития нового оборудования, машин, станков и аппаратов, от внедрения методов технико-экономического анализа, обеспечивающего решение технических вопросов и экономическую эффективность технологических и конструкторских разработок[2].

Создание электрических машин в последнее время характеризуется значимым увеличением механизации и автоматизации технологических процессов. Основные промышленные серии машин выполняются на специальных предприятиях с широким внедрением автоматических установок и линий. Различными проектно-технологическими институтами были разработаны типовые технологические процессы и особое технологическое оборудование, что позволяет быстро уменьшить время технологической подготовки производства и трудоемкость выпускаемых изделий. Освоен ряд новых материалов, позволяющих механизировать технологические процессы. В настоящее время перед технологами стоят задачи не только улучшения технологии и технологического оборудования, позволяющих совершенствовать конструкцию машин, а также повышение эффективности производства и получения наиболее экономичных изделий[4].

Задачей данной части работы является проектирование технологического процесса сборки асинхронного двигателя с фазным ротором.

Необходимо выполнить следующие задачи:

- Провести оценку технологичности конструкции двигателя;
- Составить схему сборки и разработать маршрутную технологию сборки двигателя;
- Выбрать оборудование, оснастку и подъемно-транспортные средства для его изготовления;
- Провести нормирование сборочных работ;
- Определить потребное количество оборудования, исходя из годовой программы выпуска двигателей 5000штук.

5.1 Оценка технологичности конструкции

Конструктор, придавая конструкции изделия в процессе ее разработки необходимые свойства, выражающие полезность изделия, придает ей и такие конструктивные свойства, которые определяют уровень затрат ресурсов на создание, изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия.

Совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ, представляет собой технологичность конструкции изделия (ТКИ).

ТКИ выражает не функциональные свойства изделия, а его конструктивные особенности. Конструкцию изделия характеризуют в общем случае состав и взаимное расположение его составных частей, схема устройства изделия в целом, форма и расположение поверхностей деталей и соединений, их состояние, размеры, материалы и информационная

выразительность. Поэтому для изделия следует применять термин «технологичность конструкции изделия».

Общие технологические требования к конструкции сборочной единицы. На технологичность конструкции сборочной единицы влияют разнообразные факторы, важнейшими из которых являются следующие:

- конструктивно-технологические свойства сборочной единицы и входящих в нее элементов;
- свойства средств технологического оснащения сборочных работ и производственные условия сборки.

Для обеспечения технологичности конструкции сборочной единицы в процессе конструирования изделия должны быть выполнены следующие условия:

- полная взаимозаменяемость деталей и узлов сборочной единицы, т. е. конструктивное оформление деталей и узлов, исключающее подгоночные работы в процессе установки;
- обеспечение удобного подхода при использовании монтажно-сборочных инструментов и приспособлений;
- обеспечение возможности применения прогрессивных средств технологического оснащения (сборочных автоматов, роботов, других средств автоматизации и механизации сборочных работ);
- обеспечение применения дифференцированных схем сборки за счет рационального членения изделия на агрегаты, секции, узлы и детали.

Соблюдение этих условий позволяет широко применять средства автоматизации и механизации сборочных работ и прогрессивные способы организации сборки.

Геометрические формы элементов конструкции сборочной единицы должны быть, по возможности, простыми. Сложные геометрические формы усложняют процесс сборки, так как требуют использования специализированного или специального нестандартного технологического

оборудования, инструмента и приспособлений для сборочных работ и контроля качества сборки.

Важным фактором повышения технологичности конструкции изделия является преемственность элементов конструкции. Использование во вновь создаваемой конструкции отдельных составных частей ранее созданных изделий, уже освоенных в производстве и проверенных в эксплуатации, существенно снижает трудоемкость изготовления и затраты на подготовку производства, сокращает сроки освоения в производстве и эксплуатации изделия.

Эффективными методами повышения технологичности конструкции сборочной единицы являются типизация и унификация конструктивных компоновок, узлов и деталей в пределах однотипных групп объектов производства. Унификация и стандартизация элементов сборочных единиц должны ограничивать применение типоразмеров таких конструктивных элементов, как болты, заклепки, штифты, пружины, резьбы, модули зубчатых колес, диаметры отверстий и т. п.

Общее число деталей в сборочной единице должно быть минимальным, так как введение в конструкцию контуров разъемов (стыков) требует дополнительных трудовых и материальных затрат на их реализацию в производстве изделия.

Достоинства данного электродвигателя с фазным ротором:

- 1) В конструкции двигателя применяются унифицированные детали и изделия, что обеспечивает их взаимозаменяемость с другими высотами оси вращения;
- 2) Конструкция двигателя позволяет расчленить её на самостоятельные узлы с целью обеспечения возможности их параллельной сборки,
- 3) Из стандартных составных частей в двигателе только метизы (болты, винты, шайбы, заклёпки) и подшипники.
- 4) В конструкции двигателя исключена необходимость проведения промежуточной разборки и повторной сборки его составных частей.

- 5) Конструкция двигателя позволяет выполнить общую сборку по методу полной взаимозаменяемости.
- 6) Конструкция двигателя обеспечивает свободный доступ сборочных инструментов к соответствующим местам соединения деталей.
- 7) В конструкции двигателя есть базовая деталь (станина), являющаяся основой для установки остальных составных частей. Для обеспечения устойчивости и необходимой точности установки станина наибольшая по габаритам деталь, не деформирующаяся под действием сборочных усилий, имеет развитые базовые опорные поверхности и позволяет проводить сборку в основном без изменения её положения.

Недостатки:

- 1) Сложная механическая обработка станины;
- 2) Сложность замены щёток и щёткодержателей при их износе и ремонте;

Сборка электрических машин является заключительным технологическим процессом, при котором комплектные узлы и отдельные детали соединяются в готовое изделие. От правильно выбранного технологического процесса и качественного выполнения всех операций зависят энергетические и эксплуатационные показатели электрической машины: КПД, уровень вибрации и шума, надежность и долговечность.

Технологический процесс сборки складывается из ряда операций, заключающихся в соединении сопрягаемых деталей в узлы, а узлов в машину, отвечающую требованиям чертежей и технических условий.

Технологию сборки можно разделить на сборку узлов и общую сборку. Узлом называют часть машины, состоящую из нескольких деталей, которые можно собрать самостоятельно, отдельно от других элементов машины. Детали электрической машины при соединении их в узлы должны сохранять определенное положение в пределах заданной точности. В одних случаях при сборке должен быть выдержан зазор, обеспечивающий взаимное

перемещение деталей, в других — необходимый натяг, обеспечивающий прочность их соединения.

В зависимости от вида производства применяют пять основных способов сборки: 1) при полной взаимозаменяемости деталей. 2) с сортировкой деталей по группам (способ группового подбора); 3) с подбором деталей (неполная взаимозаменяемость); 4) с применением компенсаторов; 5) с индивидуальной пригонкой детали по месту.

Электрические машины весьма разнообразны по конструкции, назначению, массе и другим показателям. Производство электрических машин осуществляется от единичных экземпляров до нескольких сотен тысяч. При их сборке практически находят применение все указанные способы.

В поточно-массовом производстве при сборке машин из готовых узлов в основном используется способ полной взаимозаменяемости. Статор, ротор, подшипниковые щиты взаимозаменяемы. Однако отдельные узлы собирают по способу индивидуальной пригонки по месту. Например, при сборке сердечника статора и корпуса для достижения необходимой соосности внутреннего диаметра сердечника и замков корпуса механическую обработку замков производят на базе внутреннего диаметра сердечника. Таким же методом получают соосность наружного диаметра сердечника ротора и шеек вала под посадку подшипника.

В крупных электрических машинах при сборке обмотки и сердечника используют способы подбора деталей и компенсаторов. Для того чтобы катушки плотно сидели в пазу, перед забивкой клина устанавливают столько прокладок под клин, сколько необходимо, чтобы заполнить все оставшееся пространство между клином и катушкой. При скреплении лобовых частей катушек между ними устанавливают столько прокладок, сколько необходимо, чтобы заполнить весь промежуток между катушками.

Основными организационными формами сборки являются стационарная и подвижная. При стационарной сборке машина полностью

собирается на одном рабочем месте. Все детали и узлы, требуемые для сборки, поступают на рабочее место. Стационарная сборка применяется в единичном и серийном производстве и производится концентрированным или дифференцированным способом. При концентрированном способе сборочный процесс не расчленяется на операции и сборка электрической машины от начала до конца производится одним рабочим или одной бригадой. При дифференцированной сборке сборочный процесс расчленяется на операции. Выполнение каждой операции производится рабочим или бригадой[3].

При подвижной сборке машина перемещается от одного рабочего места к другому. Рабочие места оснащены необходимым сборочным инструментом и приспособлениями, на каждом из них выполняется одна и та же операция. Подвижная форма сборки применяется в крупносерийном и массовом производстве и производится только дифференцированным способом. Такая форма сборки является более прогрессивной, так как позволяет специализировать сборщиков на определенных операциях, в результате чего повышается производительность труда. В процессе производства объект сборки должен последовательно переходить от одного рабочего места к другому по потоку. Под этим понятием подразумевается движение собираемого изделия, обычно осуществляемое конвейерами. Непрерывность процесса при поточной сборке достигается благодаря равенству или кратности времени выполнения операций на всех рабочих местах линии сборки, т. е. длительность любой сборочной операции на линии сборки должна быть равна или кратна ритму сборки изделия.

5.2 Размерный анализ конструкции электродвигателя методом полной взаимозаменяемости

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 целей.

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.

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..

Расчёты размерных цепей могут производиться двумя методами:

- Метод максимума – минимума, при котором учитываются только предельные отклонения составляющих звеньев;
- Вероятностный метод, при котором учитываются законы рассеяния отдельных деталей и случайный характер их сочетания на сборке.

Метод максимума – минимума применяется при малом числе составляющих звеньев размерной цепи т.к. при увеличении числа составляющих звеньев приходится увеличивать точность их изготовления.

Вероятностный метод базируется на применении законов

распределения размеров деталей в партии. Наиболее часто в теории размерных цепей применяется нормальный закон распределения (закон Гаусса). Принято считать, что нормальный закон характеризует распределение линейных размеров при грубой обработке (9 – 10 кв.) и в крупносерийном, а также в массовом производстве при обработке на автоматических станках в условиях отлаженного производства.

В данной части дипломного проекта рассчитаем прямую задачу для замыкающих звеньев: X_1 – осевой зазор между вентилятором и щитом подшипниковым и X_2 – между лобовой частью обмотки и траверсой щёткодержательного аппарата (рис.5.1). В прямой задаче следует установить допуски и предельные отклонения всех составляющих звеньев по параметрам замыкающего звена с использованием регулировочного звена.

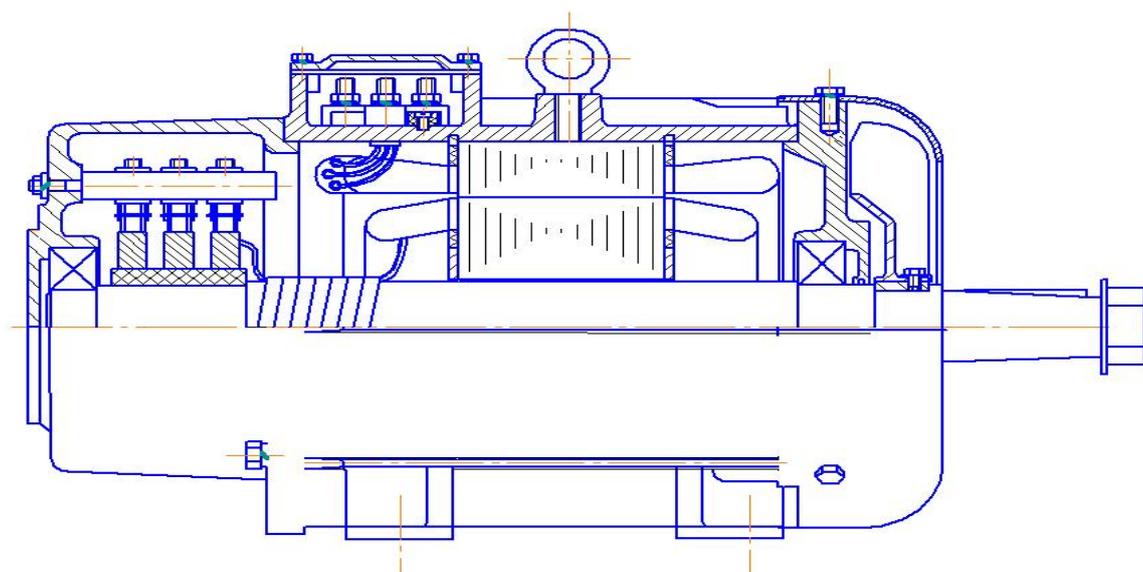


Рис. 5.1 К расчёту размерных цепей

Расчет ведем методом полной взаимозаменяемости.

Исходные данные:

$X_1=4\pm 1$ мм – замыкающее звено первой размерной цепи;

$X_2=18\pm 1$ мм – замыкающее звено второй размерной цепи.

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

1) Для замыкающего звена X1 начертим схему размерных цепей (рис. 5.2).

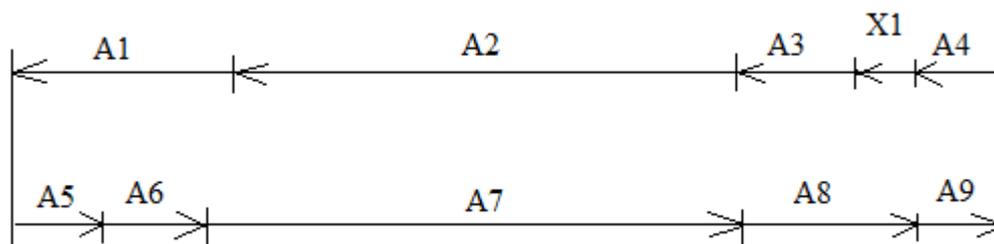


Рис. 5.2 Схемы размерных цепей для замыкающего звена X1

A5, A6, A7, A8, A9 – увеличивающие звенья;

A1, A2, A3, A4 – уменьшающие звенья.

Уравнение первой размерной цепи:

$$\begin{aligned} X1 &= A5 + A6 + A7 + A8 + A9 - A1 - A2 - A3 - A4 = \\ &= 28 + 70 + 260 + 36 - 114 - 242 - 24 - 36 = 4 \text{ мм}; \end{aligned} \quad (5.1)$$

Средний размер составляющих звеньев первой размерной цепи:

$$\begin{aligned} A_{cp} &= (A1 + A2 + A3 + A5 + A4 + A6 + A7 + A8 + A9) / 9 = \\ &= (114 + 242 + 24 + 36 + 28 + 70 + 260 + 36 + 26) / 9 = 92,9 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (5.2)$$

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

Величина среднего допуски первой размерной цепи: $IT_{cp1} = 2/9 = 0,22 \text{ мм}$.

Используя средний размер составляющих звеньев и величину среднего допуски найдем квалитет для каждого звена (табл. 1.8 [2]) и составим таблицу 1, заполняя её результатами расчётов, допусков и отклонений для первой размерной цепи. Допуск на размер составляющих звеньев находится в пределах 11-го квалитета.

Звено A7 назначим регулирующим звеном.

Допуск на регулирующее звено A7 равен:

$$\begin{aligned} IT_{A7} &= IT_{X1} - (IT_{A1} + IT_{A2} + IT_{A3} + IT_{A4} + IT_{A5} + IT_{A6} + IT_{A8} + IT_{A9}) = \\ &= 2 - (0,22 + 0,32 + 0,13 + 0,16 + 0,13 + 0,19 + 0,16 + 0,13) = 0,56 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (5.3)$$

Среднее отклонение равно:

$$\begin{aligned} \Delta A7 &= -\Delta A5 - \Delta A6 - \Delta A8 - \Delta A9 + \Delta A1 + \Delta A2 + \Delta A3 + \Delta A4 + \Delta X1 = \\ &= -0,065 - 0,095 + 0,16 - 0 + 0,065 + 0 + 0 - 0,065 + 0 = -0,16 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (5.4)$$

Таблица 5.1 Размеры, допуски и отклонения первой размерной цепи

Звено	Пред. размер	Допуск	Среднее откл.	Средний размер
X1	4±1	2	0	4
A1	114±0,11	0,22	0	114
A2	242±0,16	0,32	0	242
A3	24 _{-0,13}	0,13	-0,065	23,935
A4	36±0,08	0,16	0	36
A5	28 ^{+0,13}	0,26	0,065	28,065
A6	70 ^{+0,19}	0,19	0,095	70,095
A7	260 ^{+0,12} _{-0,44}	0,56	-0,16	259,84
A8	36±0,08	0,16	0	36
A9	26 _{-0,13}	0,13	-0,065	25,935

Номинальный размер:

$$A7^{\max} = A7 + \Delta A7 + IT A7 / 2 = 260 - 0,16 + 0,56 / 2 = 260,12 \text{ мм};$$

$$A7^{\min} = A7 + \Delta A7 - IT A7 / 2 = 260 + 0,16 - 0,56 / 2 = 259,56 \text{ мм}. \quad (5.5)$$

Предельный размер составляющего звена A10 = 260^{+0,12}_{-0,44} мм.

Произведём проверку цепи X1:

$$X1^{\max} = (A5^{\max} + A6^{\max} + A7^{\max} + A8^{\max} + A9^{\max}) - (A1^{\min} + A2^{\min} + A3^{\min} + A4^{\min}) = \\ = (28,13 + 70,19 + 260,12 + 36,08 + 26) - (113,89 + 241,84 + 23,87 + 35,92) = 5 \text{ мм}.$$

$$X1^{\min} = (A5^{\min} + A6^{\min} + A7^{\min} + A8^{\min} + A9^{\min}) - (A1^{\max} + A2^{\max} + A3^{\max} + A4^{\max}) = \\ = (28 + 70 + 259,56 + 35,92 + 25,87) - (114,11 + 242,16 + 24 + 36,08) = 4 \text{ мм}. \quad (5.6)$$

Расчетное значение замыкающего звена удовлетворяет заданному допуску звена X1 = 4±1 мм.

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

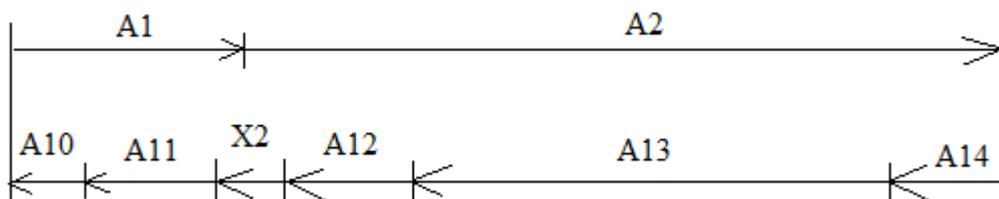


Рис.5.3 Схемы размерных цепей для замыкающего звена X2

Уравнение второй размерной цепи:

$$X2 = A1 + A2 - A10 - A11 - A12 - A13 - A14 = 114 + 242 - 19 - 90 - 67 - 100 - 62 = 18 \text{ мм};$$

Средний размер составляющих звеньев второй размерной цепи:

$$A_{\text{cp}} = (A1 + A2 + A10 + A11 + A12 + A13 + A14) / 7 = \\ = (114 + 242 + 19 + 90 + 67 + 100 + 62) / 7 = 120,9 \text{ мм}.$$

Допуск на замыкающее звено второй размерной цепи: $IT_{X2} = 1 - (-1) = 2 \text{ мм}.$

Величина среднего допуска второй размерной цепи: $IT_{\text{cp}2} = 2 / 7 = 0,28 \text{ мм}.$

Допуск на размер составляющих звеньев находится в пределах 11-го качества. Назначим данный допуск оставшимся звеньям этой цепи и так же составим таблицу 2 с учётом размеров, допусков и отклонений.

Таблица 5.2 Размеры, допуски и отклонения второй размерной цепи

Звено	Пред. размер	Допуск	Среднее откл.	Средний размер
X2	18±1	2	0	4
A1	114±0,11	0,22	0	114
A2	242±0,16	0,32	0	318
A10	19 _{-0,13}	0,13	-0,065	18,935
A11	90±0,11	0,22	0	90
A12	67 ^{+0,19}	0,19	0,095	67,095
A13	100 ^{0,25}	0,25	0,125	176,125
A14	62 ^{+0,18} _{-0,49}	0,67	-0,155	61,845

A1, A2– увеличивающие звенья;

A10, A11, A12, A13, A14 – уменьшающие звенья.

Назначим регулирующим звеном A14.

Допуск на регулирующее звено A14 равен:

$$\begin{aligned} IT_{A14} &= IT_{X2} - (IT_{A1} + IT_{A2} + IT_{A3} + IT_{A6} + IT_{A7} + IT_{A11}) \\ &= 2 - (0,22 + 0,32 + 0,13 + 0,22 + 0,19 + 0,25) = 0,67 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Среднее отклонение равно:

$$\begin{aligned} \Delta A_{14} &= \Delta A_1 + \Delta A_2 - \Delta A_{10} - \Delta A_{11} - \Delta A_{12} - \Delta A_{13} - \Delta X_2 = \\ &= 0 + 0 + 0,065 + 0 - 0,095 - 0,125 - 0 = -0,155 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Номинальный размер:

$$A_{14}^{\max} = A_{14} + \Delta A_{14} + IT_{A14}/2 = 62 - 0,155 + 0,67/2 = 62,18 \text{ мм};$$

$$A_{14}^{\min} = A_{14} + \Delta A_{14} - IT_{A14}/2 = 62 + 0,155 - 0,67/2 = 61,51 \text{ мм.}$$

Предельный размер составляющего звена A1 = $62^{+0,18}_{-0,49}$ мм.

Произведём проверку:

$$\begin{aligned} X_2^{\max} &= (A_1^{\max} + A_2^{\max}) - (A_{10}^{\min} + A_{11}^{\min} + A_{12}^{\min} + A_{13}^{\min} + A_{14}^{\min}) = \\ &= (114,11 + 242,16) - (18,87 + 89,89 + 67 + 100 + 61,51) = 19 \text{ мм.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_2^{\min} &= (A_1^{\min} + A_2^{\min}) - (A_{10}^{\max} + A_{11}^{\max} + A_{12}^{\max} + A_{13}^{\max} + A_{14}^{\max}) = \\ &= (113,89 + 241,84) - (19 + 90,11 + 67,19 + 100,25 + 92,18) = 17 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Расчёт соответствует исходному значению $X_2 = 18 \pm 1$ мм.

5.3 Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки

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

1. Сборочная единица не должна быть слишком большой по габаритным размерам и массе или состоять из большого количества деталей и сопряжений. В то же время излишнее «дробление» машины на сборочные

единицы не рационально, так как это усложняет процесс комплектования при сборке, создает дополнительные трудности в организации сборочных работ.

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

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

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

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

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

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

Схема сборки позволяет отразить маршрут сборки изделия, выделить составные части изделия, которые можно собрать отдельно (организовать параллельную сборку составных частей); оценить предварительно трудоёмкость сборки отдельных составных частей; иногда выявить конструктивные неувязки; выявить и сравнить варианты технологического процесса. На базе схемы сборки разрабатывается маршрутная технология, устанавливающая последовательность и содержание операций.

Схема сборки данного проектируемого двигателя показана на рис.5.4.

5.4 Выбор сборочного оборудования и оснастки

Содержание операции определяют тип, основные размеры и технологическую характеристику сборочного оборудования, технологической оснастки (приспособлений, рабочего и измерительного инструмента) и подъемно-транспортных средств. При серийном производстве технологическое оборудование и оснастку применяют универсального, переналаживаемого типа. В массовом производстве преимущественно применяют специальное оборудование и оснастку. Тип, основные размеры и грузоподъемность подъемно-транспортных средств определяют по установленной организационной форме сборки, размерной характеристике изделия и его массе[2].

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

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

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

Выбор оборудования

Для сборки узлов изделия в целом применяют механизированную линию .

Для испытания двигателя на механическую прочность и работу в режимах холостого хода и короткого замыкания используют испытательный стенд.

Для проверки электрической прочности применяется высоковольтная установка 1500×1500 мм.

Выбор инструмента.

Для повышения производительности применяют механизированный инструмент.

Для наворачивания гаек используют электрогайковёрт ИЭ 3113 наибольший диаметр резьбы 15мм

момент затяжки 125н*м, масса 3,8кг, габаритные размеры 363×70×243 мм от сети 220 В.

Для заворачивания винтов используют электровинтовёрт ИЭ 3606, наибольший диаметр резьбы 6мм

момент затяжки 15н*м, , габаритные размеры 320×70×130 мм от сети 220 В.

1 мегаомметр, 2 вольтметра, 2 амперметра.

Амперметр и вольтметр универсальные, магнитоэлектрической системы, с выпрямительными мостами.

1 ваттметр, 1 тахометр.

Выбор подъемно-транспортных средств

Для транспортировки деталей, сборочных единиц и готовых изделий применяется тележка.

Для хранения используется ящик 300×200мм, для подъёма, перемещения, опускания используется кран балка.

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

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

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

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

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

Штучное время равно:

$$T_{шт} = T_0 + T_v + T_{об} + T_{п}, \quad (5.7)$$

где T_0 основное(технологическое) время ;

T_v - вспомогательное время;

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

$$T_{об} = 0,05 T_{оп}$$

$T_{п}$ - время перерывов для удовлетворения естественных надобностей и отдыха рабочего.

$$T_{п} = 0,03 T_{оп}.$$

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

$$T_{оп} = T_0 + T_v .$$

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

При слесарных работах и сборке основное время нормируют по соответствующим нормативам.

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

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

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

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

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/n, \quad (5.8)$$

где $T_{пз}$ - подготовительно заключительное время, n - число изделий в партии.

Подготовительно заключительным называют время, которое затрагивает сборщик на ознакомление с чертежом изделия, подготовку и наладку оборудования, приспособлении и инструментов, снятие и сдачу инструментов и приспособлений после выполненной работы и сдачу собранных изделий. $T_{пз}$ определяют по нормативам.

$$T_{пз} = 0,02 T_{оп} \quad (2\% \text{ от операц. времени}) \quad (5.9)$$

$$n = N * k / 12 \text{ мес} = 5000 * 1,03 / 12 = 429 \quad (5.10)$$

$N = 5000$ шт/год-годовая программа выпуска.

$K = 1,03$ -коэффициент учитывающий брак.

Результаты в таблицу 5.3.

N=5000шт/год-годовая программа выпуска.

K=1,03-коэффициент учитывающий брак.

Результаты в таблицу 5.3

Таблица 5.3 Нормирование работ

Переход	To	Tв	Toп	Toб	Tп	Tшт	Tпз	Tшт.к
(Сборка) Устройство для продувки	0,2	0,01	0,21	0,011	0,006	0,227	0,042	0,227
(Сборка) Установка для нагрева	0,3	0,015	0,315	0,016	0,009	0,34	0,063	0,34
(Сборка) Собрать двигатель в сборе на сборочном верстаке	16,0	0,54	16,54	0,321	0,496	17,863	0,331	17,863
(Контрольная) Верстак	10,58	0,016	11,05	0,014	0,008	11,28	0,005	11,286
(Испытания) Испытания двигателя на испытательном верстаке	10,4	0,43	10,83	0,34	0,325	11,696	0,217	11,697

5.6 Определение необходимого количества оборудования

Для определения количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий – 5000, нормы времени (табл. 5.3), а эффективный годовой фонд времени работы одного станка при 40 – часовой рабочей неделе с двумя выходными можно рассчитать по формуле:

$$F_d = (((365 - 104 - 12) * 8) - 6) * 1 * 0,96 = 1907 \text{ часов, где:} \quad (5.11)$$

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

$P_d = 12$ – количество праздничных дней в году;

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

$K_p=0,98$ – коэффициент, для автоматических линий учитывающий время пребывания станков в ремонте;

количество смен работы оборудования, $Z=1$.

$T_{шт-к}$ – сумма штучно – калькуляционного времени для одного станка; $N=5000$ – годовая программа выпуска изделий.

Расчётное число каждого из видов сборочного оборудования равно:

$$C_p = (T_{штк} * N) / (60 * F_g); \quad (5.12)$$

Автомат для продувки:

$$C_{pв} = (0,227 * 5000) / (60 * 1907) = 0,01, \text{ принимаем: } C_{пpв} = 1;$$

Установка индукционного нагрева:

$$C_{pв} = (0,34 * 5000) / (60 * 1907) = 0,015, \text{ принимаем: } C_{пpв} = 1;$$

Для сборочного верстака:

$$C_p = (17,863 * 5000) / (60 * 1907) = 0,78, \text{ принимаем: } C_{пp} = 1;$$

Для испытательного верстака:

$$C_p = (11,697 * 5000) / (60 * 1907) = 0,51, \text{ принимаем: } C_{пp} = 1;$$

Для верстака контроля:

$$C_{pс} = (11,286 * 12\ 000) / (60 * 1907) = 0,49, \text{ принимаем: } C_{пpс} = 1.$$

Таким образом, коэффициент загрузки:

$$K_3 = (C_p / C_{пp}) * 100\%. \quad (5.13)$$

Автомат для продувки:

$$K_{3в} = (0,01 / 1) * 100\% = 1 \%.$$

Установка индукционного нагрева:

$$K_{3в} = (0,015 / 1) * 100\% = 1,5 \%.$$

Для сборочного верстака:

$$K_{3в} = (0,78 / 1) * 100\% = 78 \%.$$

Для испытательного верстака:

$$K_{ЗВ}=(0,51/1)*100\%=51 \%$$

Для верстака контроля:

$$K_{ЗВ}=(0,49/1)*100\%=49 \%$$

По данным расчёта построим график загрузки оборудования (рис.5.5)

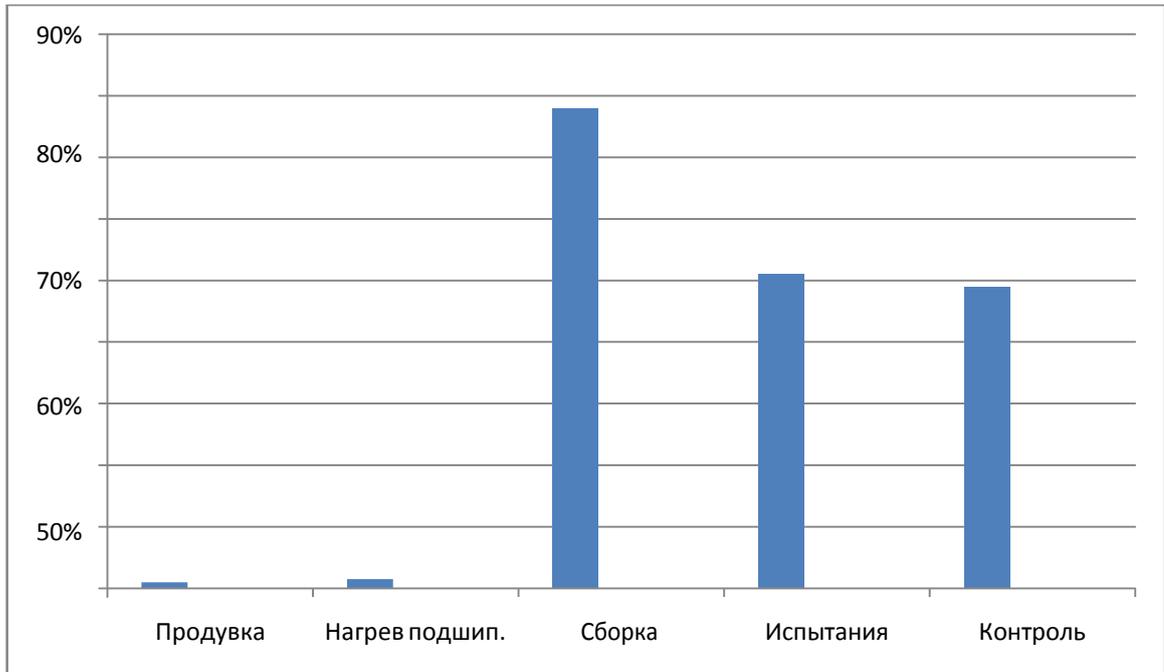


Рис. 5.5-График загрузки оборудования

Проверим, выполняется ли годовая программа выпуска статора. Для этого возьмём самое загруженное оборудование и рассчитаем по формуле:

$$N = \frac{60 \cdot F_d \cdot C_{\Pi}}{T_{шт.к}} = \frac{60 \cdot 1907 \cdot 1}{17,863} = 6405 \frac{\text{шт}}{\text{год}} \quad (5.14)$$

Таким образом 6405 больше 5000. Программа выпуска выполняется.

В результате проведённого технологического процесса сборки двигателя, мы исследовали маршрутную технологию, рассчитали необходимое количество оборудования при заданной программе выпуска $N=5000$ шт/год.

Все операции сборки статора описаны в маршрутной карте:
(приложение А)

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В экономической части выпускной квалификационной работы освещены вопросы технико-экономического обоснования производства асинхронного кранового двигателя.

Достижение цели обеспечивается решением экономических задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения проектирования двигателя;
- определение возможных альтернатив проведения проектирования двигателя, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- проектирования двигателя;

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

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

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

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

- обеспечение равенства и занятости.

Так как рынок сбыта прибывает в постоянном движении, то у каждого предприятия могут возникать проектные риски. Для устранения проектных рисков систематически проводят анализ конкурирующих разработок существующих на рынке сбыта. Под проектными рисками понимается, как правило, предполагаемое ухудшение итоговых показателей эффективности проекта, возникающее под влиянием неопределенности.

Таким образом, реализация проекта идет в условиях неопределенности и рисков и эти две категории взаимосвязаны. Неопределенность в широком смысле это неполнота или неточность информации об условиях реализации проекта, в том числе связанных с ними затратах и результатах.

На данный момент единой классификации проектных рисков предприятия не существует. Однако можно выделить следующие основные виды рисков, присущие практически всем проектам:

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

Маркетинговый риск – это риск недополучения прибыли в результате снижения объема реализации или цены товара. Этот риск является одним из наиболее значимых для большинства инвестиционных проектов. Причиной его возникновения может быть неприятие нового продукта рынком или слишком оптимистическая оценка будущего объема продаж. Ошибки в планировании маркетинговой стратегии возникают главным образом из-за недостаточного изучения потребностей рынка: неправильного позиционирования товара, неверной оценки конкурентоспособности рынка или неправильного ценообразования. Также, к возникновению риска могут привести ошибки в политике продвижения, например, выбор неправильного способа продвижения, недостаточный бюджет продвижения и так далее.

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

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

Оценка рисков производится в процессе планирования проекта и включает качественный и количественный анализ. Если по итогам оценки проект принимается к исполнению, то перед предприятием встает задача управления выявленными рисками. По результатам реализации проекта накапливается статистика, которая позволяет в дальнейшем более точно определять риски и работать с ними. Если же неопределенность проекта чересчур высока, то он может быть отправлен на доработку, после чего снова производится оценка рисков.

Риски и меры по ограничению их последствий сведены в таблицу 6.1.

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 приемлемым ценам. Как правило, оценка показателей конкурентоспособности осуществляется по техническим и экономическим показателям товара. Технические характеристики двигателя:

Таблица 6.1 Риски и меры по ограничению их последствий

Виды рисков	Меры по ограничению последствий рисков
<ol style="list-style-type: none"> 1. Неустойчивость спроса 2. Риск, обусловленный поведением конкурентов 3. Рост налогов 4. Снижение платежеспособности потребителей 5. Инфляция 6. Изменения законодательства 7. Появление альтернативного продукта 8. Непредвиденные обстоятельства(аварии, стихийные бедствия, политическая нестабильность) 9. Небрежность и недобросовестность работников 10. Перевозка грузов 11. Рост цен на ресурсы 12. Нарушение обязательств партнерами 13. Нарушение технологии или освоение новой технологии 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Создание резерва для покрытия непредвиденных расходов 2. Систематическое изучение конъюнктуры рынка 3. Обучение персонала работе на новом технологическом оборудовании 4. Определение мер воздействия к неисполнительным работникам 5. Активные маркетинговые действия 6. Страхование имущества и транспортных перевозок 7. Изучение изменений в российском законодательстве 8. Расширение состава поставщиков

Мощность – 5000 Вт

Номинальная частота вращения $n_n = 950$ об/мин

Номинальное напряжение (линейное) $U_n = 220$ В

Частота питающей сети – 50 Гц

Число пар полюсов – $2p=6$.

6.1 Смета затрат на проектирование

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

Распределение работы между работниками, проектирующими сводим, в таблице 6.2

Таблица 6.2 План разработки выполнения этапов проекта

№ п/п	Перечень выполняемых работ	Исполнители		Разряд	Продолж. (дней)
		Кол-во	Должность		
1	Получение тех. задания на разработку проекта	3	научный руководитель инженер инженер	15 9 10	1
2	Сбор исходных данных	1	инженер	10	4
3	Ознакомление с технической документацией	1	инженер	10	4
4	Электромагнитный расчет двигателя	1	инженер	10	5
5	Расчет и выбор блока добавочных сопротивлений двигателя	1	инженер	10	2
6	Расчет технологической части проекта	1	Инженер	10	2
7	Проверка выполненных расчётов	2	научный руководитель инженер	15 10	1
8	Выполнение чертежей, схем	2	инженер инженер	9 10	3
9	Технико-экономическое обоснование выбора оборудования	1	инженер	10	4
10	Разработка раздела БЖД	1	инженер	10	4
11	Оформление пояснительной записки	1	инженер	10	2
12	Проверка пояснительной записки и чертежей	1	научный руководитель. инженер	15 10	1
Длительность работы, дней: инженер 10р					33
Длительность работы, дней: инженер 9р					4
Длительность работы, дней: научный руководитель 15р					3

6.1.1 Смета затрат на подготовку проекта

Суммарные издержки на проектирование определяем по выражению:

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

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

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

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

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

$I_{\text{пр}}$ - прочие издержки;

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

Издержки на заработную плату

Таблица 6.3 Единая тарифная сетка с учетом занимаемой должности

Должность	Оклад	Доплата	Коэффициент за отпуск	Районный коэффициент	Итоговая зарплата за месяц	Средняя зарплата за 1 день один день, руб.	Количество дней работы над проектом	ФЗП
Научный руководитель, 15р	23300	2200	1,1	1,3	36465	1736	3	5168
Инженер 10р	14500		1,1	1,3	20735	987	33	32586
Инженер, 9р	14500		1,1	1,3	20735	987	4	3948
Итого					68282		40	41702

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

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;

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

Зарплата.

Расчет для научного руководителя 15 разряда:

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + Д) \cdot k_2}{21} \cdot X = \frac{(23300 \cdot 1.1 + 2200) \cdot 1.3}{21} \cdot 3 = 5168 \text{ (руб.)}$$

Расчет для инженера 9 разряда:

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{(14500) \cdot 1.1 \cdot 1.3}{21} \cdot 4 = 3948 \text{ (руб.)}$$

Расчет для инженера 10 разряда:

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{(14500) \cdot 1.1 \cdot 1.3}{21} \cdot 33 = 32587 \text{ (руб.)}$$

Тогда:

$$I_{з.пл\Sigma} = \sum I_{з.пл} = 5168 + 3948 + 32587 = 41702 \text{ (руб.)}$$

6.1.2 Отчисления на социальные нужды

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

$$I_{соц} = 0,3 \cdot I_{з.пл\Sigma} = 0,3 \cdot 41702 = 12510 \text{ (руб.)} \quad (6.3)$$

6.1.3 Материальные затраты на канцелярские товары

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

$$I_{mat} = 1000(\text{руб.}).$$

6.1.4 Амортизация вычислительной техники

Основной объем работ по разработке проекта был выполнен на персональном компьютере первоначальной стоимостью 34 тысячи рублей.

Произведём расчёт амортизации стоимости ПК

$$I_{ам} = \frac{T_u}{T_{кал}} \cdot \Phi_{кт} \cdot H_{\phi} = \frac{30}{365} \cdot 34000 \cdot \frac{1}{5} = 557,38 \text{ (руб.)}, \quad (6.4)$$

где T_u - количество отработанных дней на ПК;

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

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

$$H_{\phi} = \frac{1}{T_{сл}} \text{ - срок полной амортизации.} \quad (6.5)$$

6.1.5 Прочие неучтенные затраты

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

$$\begin{aligned}
 I_{np} &= 0,1 \cdot (I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам}) = \\
 &= 0,1 \cdot (41702 + 12510 + 1000 + 557) = 5577 \text{ (руб.)}.
 \end{aligned}
 \tag{6.6}$$

6.1.6 Накладные расходы

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

$$I_{накл} = 2 \cdot I_{з.пл} = 2 \cdot 41702 = 83404 \text{ (руб.)}. \tag{6.7}$$

6.1.7 Себестоимость проекта

$$\begin{aligned}
 \sum I_{проекта} &= I_{з.пл} + I_{соц} + I_{мат} + I_{ам} + I_{np} + I_{накл} = \\
 &= 41702 + 12510 + 1000 + 557 + 5577 + 83404 = 144750 \text{ (руб.)}.
 \end{aligned}
 \tag{6.8}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 Смета затрат на подготовку проекта

№ п/п	Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
1	Заработная плата	$I_{з.пл}$	41702
2	Социальные отчисления	$I_{соц}$	12510
3	Материальные затраты	$I_{мат}$	1000
4	Амортизационные отчисления	$I_{ам}$	557
5	Прочие издержки	I_{np}	5577
6	Накладные расходы	$I_{накл}$	83404
7	Себестоимость проекта	$\sum I_{проекта}$	144750

6.2.1 Определение материальных расходов

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

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

$$M_{осн} = P \cdot Ц_M, \quad (6.9)$$

где $Ц_M$ – 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 6.4.

Как видно по расчетам из таблицы 6.4 – 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:

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

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

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

Таблица 6.4 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		
Плётка 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,

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

6.2.2 Затраты на силовую электроэнергию

Затраты на силовую электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{\sum N \cdot t_{ум} \cdot k_3 \cdot k_{оп} \cdot k_{30} \cdot k_{н.с} \cdot C_3}{k_{н.д}}, \text{ руб / ум} \quad (6.10)$$

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 $\mathcal{E} = \frac{8,5 \cdot 1,75 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1,05 \cdot 5,4}{0,88} = 42,4$ руб./шт.

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

Таблица 6.5 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.

6.3 Оценка конкурентоспособности создаваемого продукта

Таблица 6.6 Оценка факторов конкурентоспособности изделия

Характеристики	новшество	Конкуренты					
Коэффициент полезного действия (КПД)	5	4	4	5	3	4	5
Коэффициент мощности $\cos \varphi$	5	4	4	3	5	3	3
Номинальный ток статора	4	4	5	4	4	5	4
Номинальный ток ротора	5	5	3	4	4	4	3
Номинальный крутящий момент	3	3	3	5	5	3	5
Общая оценка	4,4	4	3,8	4,2	4,2	3,8	4

В итоге по оценке конкурентоспособности новшества видно, что разработанный двигатель не только не уступает конкурентам, но превосходит по тех показателям. Также затраты на производство обойдутся дешевле что делает наш продукт конкурентоспособным на рынке.

7 Социальная ответственность

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

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

В данном разделе мы рассмотрим вопросы технологического процесса сборки асинхронного тягового 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.

7.1 Анализ опасных и вредных факторов

На рассматриваемом участке при сборке происходит образование пыли и других вредных факторов, согласно заводской лаборатории.

Таблица 7.1 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.

При сборке 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. (возможность падения с высоты различных деталей и предметов, оборудование работающее под давлением выше атмосферного, пневмоинструмент, глазной травматизм, стружка).
- Пожар (наличие открытого огня при проведении сварочных и других работ, короткое замыкание и другие причины)

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

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

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

7.2 Производственная санитария

В результате гигиенических исследований установлено [18], что шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека.

При длительном воздействии шума на организм человека происходят нежелательные явления:

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

Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно сосудистой и нервной систем. Измерение шума проводят с целью оценки его на рабочих местах или рабочих зонах для сопоставления с требованиями санитарных норм, а также для оценки шумовых характеристик машин и оборудования, с целью разработки мероприятий по борьбе с шумом[11]. Для оценки шума используют частотный спектр измеренного уровня звукового давления, выраженного в децибелах в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром.

В цехе на сборочном участке используются вещества, которые оказывают вредное влияние на организм человека. Санитарными нормами установлены предельно - допустимые концентрации вредных примесей в воздухе. Одно из веществ – хромовый ангидрид, его ПДК = 0.01 мг/м^3 , класс опасности – 1; марганец, его ПДК = 0.1 мг/м^3 , класс опасности 2. Также при сборке применяется сварка что влечет за собой образование таких веществ как СО, его ПДК = 20 мг/м^3 , класс опасности 4; Пыль сварочная аэрозоль, её ПДК = 4 мг/м^3 , класс опасности 2. Также образуется пыль, её ПДК = 6.0 мг/м^3 , класс опасности 4. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

7.3 Расчет искусственного освещения

Верно спроектированное и выполненное освещение на предприятиях машиностроительной индустрии, гарантирует возможность нормальной производственной работы.

Задачи расчета искусственного освещения, считается определение количества осветительных приборов, их типа, мощности источников света[9].

7.3.1 Выбор источников света

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

Лампы накаливания используются там, где ведутся грубые работы, либо осуществляется общий надзор за эксплуатацией оборудования. Помимо всего этого, предпочтение лампам накаливания отдается во взрыво - и пожароопасных зданиях, в сырых помещениях, в зданиях с химически интенсивной средой.

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

7.3.2 Выбор системы освещения

Использование на рабочих местах одного местного освещения не допускается. Общее же равномерное освещение используется для тех помещений, где работа производится по всей площади, и нет надобности в наилучшем освещении отдельных участков. Система совокупного локализованного освещения используется в тех случаях, когда в производственном помещении есть участки, на которых ведутся работы с высоким зрительным напряжением.

Система комбинированного освещения используется в помещении, где производятся точные зрительные работы; в случае необходимости определён-

ного, изменяемого в процессе работы направления света, а так же в помещениях с не высокой плотностью распределения рабочих мест.

7.3.3 Выбор осветительных приборов

- люминесцентные лампы - открытые двухламповые светильники типа ОД, ОДОР, ОДО, ШОД, ООД - для нормальных помещений с хорошим отражением стен и потолка; их применение допускается при умеренной влажности и запыленности
- Светильники ПВЛ - являются пылевлагозащищёнными, пригодны для некоторых пожароопасных помещений. Мощность лампы 2x40 Вт и 2x80 Вт

7.3.4 Выбор коэффициента запаса

Полученная из таблиц [10] величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока лампы освещённость снижается

Таблица 7.2 Значение коэффициента запаса

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

Мы имеем помещения со средним выделением пыли $k=1.8$.

7.3.5 Размещение осветительных приборов

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

1. обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослеплённости и необходимой направленности света на рабочие места
2. наиболее экономичное создание нормированной освещённости

Как показали исследования, в зависимости от типа светильников существует наивыгоднейшее расстояние между светильниками: $\lambda = \frac{L}{h}$, где

L - расстояние между светильниками;

h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью.

Для люминесцентных светильников $\lambda = 1 - 1.3$.

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

Выбираем светильник ПВЛ, $\lambda = 1.1$ размеры помещения $a=15$ м, $b=10$ м, ширина между рядами светильников $L_{св.} = \lambda \cdot h = 1.1 \cdot 5 = 5.5$ м предварительно которое потом будет уточнено.

Количество светильников в одном ряду:

По длине:

$$n_{св.дл} = \frac{A - L_{св.}}{L_{св.}} + 1 = \frac{15 - 5,5}{5,5} + 1 = 3. \quad (7.1)$$

По ширине:

$$n_{св.ш} = \frac{B - L_{св.}}{L_{св.}} + 1 = \frac{10 - 5.5}{5.5} + 1 = 2. \quad (7.2)$$

общее число светильников в помещении:

$$n_{св.дл} = n_{св.дл} \cdot n_{св.ш} = 3 \cdot 2 = 6. \quad (7.3)$$

Расстояние между светильниками примем окончательно 4,5м в длину и 6м в ширину см. на рис 7.1

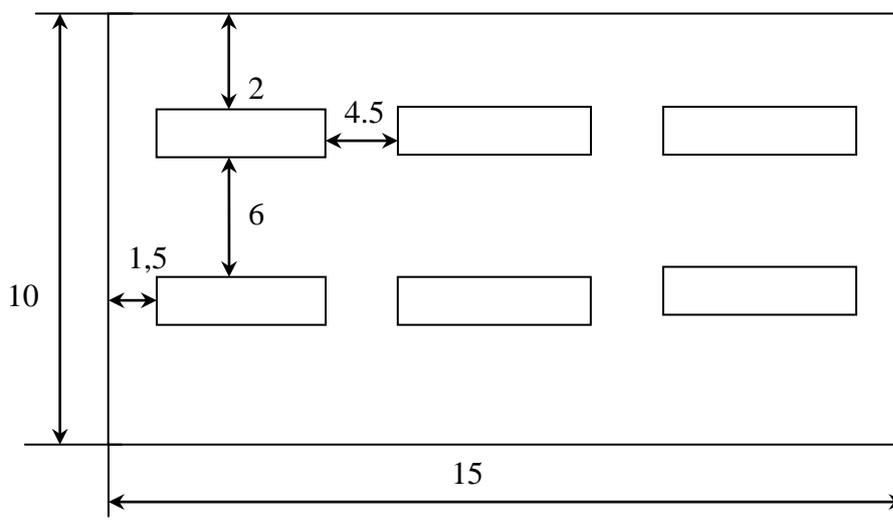


Рис.7.1- План расположения светильников

7.3.6 Расчет осветительной установки

Принципиальной задачей на производстве, считается создание лучших условий для видения. Данную задачу можно решить лишь осветительной системой. В данных нормах рекомендуется освещённость участков, содержащих необходимое оборудование, должна быть более 200 лм [10].

Расчет делается способом коэффициента применения. Применяя данный способ можно найти световой поток лампы, нужный для создания заданной освещенности горизонтальной плоскости с учетом света, отражённого стёклами и потолками. Способ коэффициента использования применяется только при расчете общего равномерного освещения.

Величина светового потока лампы:

$$F = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta}, \text{ где} \quad (7.4)$$

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:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{150}{4 \cdot (15 + 10)} = 1.5. \quad (7.5)$$

коэффициенты отражения:

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

$p_0 = 30\%$ - состояние стен (бетонный с окнами).

Коэффициент неравномерности Z введен в формулу светового потока, потому что освещенность, подсчитанная без этого коэффициента, является не минимальной, как требуют нормы, а средней. Введением коэффициента Z это несоответствие устраняется. Для люминесцентных ламп $Z = 0.9$ $E = 200$ лм - минимальная нормативная освещённость, для разряда зрительных работ средней точности (табл.8.4 [10]).

$\eta = 0.5$ - для ламп типа ПВЛ:

$$F = \frac{200 \cdot 1.8 \cdot 150 \cdot 0.9}{2 \cdot 6 \cdot 0.5} = 8100 \text{ лм.} \quad (7.6)$$

Принимаем в каждом светильнике типа ПВЛ два источника света мощностью по 80 Вт (со световым потоком 4500 лм), которые соответствует отклонениям (-10%, +20%)

7.4 Микроклимат

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

Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96.

1. Санитарные правила устанавливают гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы, периодов года и содержат требования к методам измерения и контроля микроклиматических условий.

2. Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

3. Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

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

Значения перечисленных параметров непосредственно к проектируемому участку приведены в табл. 7.3, 7.4 согласно СанПиН 2.2.4.548-96

Таблице 7.3 Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Параметр	Сезон года	
	Холодный	Тёплый
Температура воздуха, °С	19-21	20-22
Температура поверхностей, °С	18-22	19-23
Относительная влажность, %	60-40	60-40
Скорость движения воздуха, м/с	0,2	0,2

Таблице 7.4 Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Параметр		Сезон года	
		Холодный	Тёплый
Температура воздуха, °С	диапазон ниже оптимальных величин	17-18,9	18-19,9
	диапазон выше оптимальных величин	21,1-23	22,1-27
Температура поверхностей, °С		16-24	17-28
Относительная влажность, %		15-75	15-75
Продолжение таблицы 7.4			
Скорость движения воздуха, м/с	для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	0,1	0,1
	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более	0,3	0,4

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 рабо-

тоспособность 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 7.5 Уровни звукового давления

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами.								Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	99	92	86	83	80	78	76	74	80

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 также опорно-двигательной системы человека. Измерение вибрации производится прибором ВШВ-003, снабженным датчиком вибрации.

Таблица 7.6 Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_L, Y_L, Z_L			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с ²	дБ	м/с*10 ⁻²	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	235	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112

Нормативным документом рассматривающим уровни шума для различных категорий рабочих мест, служебных помещений является ГОСТ 12.1.003-83.

Нормирование теплового инфракрасного излучения. Нормирование теплового излучения в производственных условиях регламентируется в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 12.1.005-88. "Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования в области рабочей зоны" и Санитарных правил и норм СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений".

Нормирование ИК-излучения осуществляется по интенсивности допустимых интегральных потоков излучения с учетом спектрального состава, размера облучаемой площади, защитных свойств спецодежды для продолжительности действия более 50% смены. Интегральная допустимая интенсивность теплового облучения не должна превышать 258 Вт/м² [(2,1 Дж/(см² · мин.))].

Для оценки сочетанного воздействия параметров микроклимата в целях осуществления мероприятий по защите работающих от возможного перегревания рекомендуется использовать интегральный показатель тепловой нагрузки среды.

Тепловая нагрузка среды (ТНС) - сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха, тепловое облучение), выраженное одночисловым показателем в градусах Цельсия. Значения ТНС-индекса не должны выходить за пределы величин, рекомендуемых ниже табл.7.7 согласно СанПиН 2.2.4.548-96

Таблица 7.7 Значения ТНС

Категория работ по уровню энергозатрат (Дж/с)	Ia (до139)	Iб (140...174)	IIa (175...232)	II б (233...290)	Более III (290)
Величина интегрального показателя, °С	22,2... 26,4	21,5... 25,8	20,5... 25,1	19,5...23,9	18,0... 21,8

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.), должны соответствовать значениям, приведенным ниже.

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.

Таблица 7.8 Значения ТНС

Облучаемая поверхность тела, %	50 и более	25...50	Не более 50
Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более	35	70	100

По Санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.4.548-96 температура наружных поверхностей технологического оборудования и ограждений на рабочем месте не должна превышать 45 °С.

7.5 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 124010-75.

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;

Опасным производственным фактором (ОПФ) называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному резкому ухудшению здоровья. Травма — это повреждение тканей организма и нарушение его функций внешним воздействием. Травма является результатом несчастного случая на производстве, под которым понимают случай воздействия опасного производственного фактора на работающего при выполнении им трудовых обязанностей или заданий руководителя работ.

К опасным производственным факторам следует отнести

- электрический ток определенной силы;
- раскаленные тела;
- возможность падения с высоты самого работающего либо различных деталей и предметов;
- оборудование, работающее под давлением выше атмосферного, и т.д;

Основные мероприятия по предотвращению травматизма предусмотрены: в системе нормативно-технической документации по безопасности труда [ПОТ Р М-016-2001]; в организации обучения и обеспечения работающих безопасными средствами защиты; в прогнозировании производственного травматизма; рациональном планировании средств и определении экономической эффективности от запланированных мероприятий.

Все мероприятия по предотвращению производственного травматизма можно разделить на организационные и технические.

Организационные мероприятия, способствующие предотвращению травматизма: качественное проведение инструктажа и обучение, привлечение их к работе по специальности, осуществление постоянного руководства и

надзора за работой, организация рационального режима труда и отдыха, обеспечение рабочих спецодеждой, спецобувью, личными средствами защиты, выполнение правил эксплуатации оборудования.

К техническим способам обеспечения безопасности протекания технических процессов и работы оборудования относятся механизация и автоматизация технологических процессов, дистанционное наблюдение и управление, блокировка и сигнализация, надежность и прочность оборудования, особые средства тех. безопасности (ограждение, заземление, амортизация, герметизация, экранирование и т. п.).

В частности основными мероприятиями для защиты от глазного травматизма считаются установка экранчиков и щитков на станках, ношение корригирующих очков, также приспособление при работах, требующих большой точности, оптимального местного освещения на станках.

Также пневматический зажим для закрепления деталей при обработке их на револьверных станках исключает совершенно ручной труд и делает его безопасным. Делает менее опасным и существенно облегчает труд сборщиков устройство специального приспособления для подвешивания ручного электрифицированного пневматического инструмента, например для подвески электрических гайковертов и дрелей (на радиальное плечо).

Механизация — эффективное средство по предотвращению несчастных случаев, облегчению физического труда.

7.6 Пожарная безопасность

Причинами возникновения пожаров могут быть нарушение технологических процессов и неисправность оборудования, в частности несвоевременный ремонт оборудования, нарушение технологических инструкций, введение в технологию производства материалов без учета их пожароопасных свойств, образование значительных электростатических зарядов. Пожары возможны в результате нарушения правил технической эксплуатации электроустановок, на-

пример перегрузок электрических сетей и коротких замыканий в них, недопустимых сопротивлений в местах соединения и контактов проводников, искрения, применения электрооборудования не соответствующего классу пожарной зоны.

Участок общей сборки асинхронного двигателя согласно НПБ105-03. 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 объединении, не зависимо, от занимаемой должности должен знать и строго соблюдать установленные правила пожарной безопасности не допускать действий могущих привести к пожару или загоранию.

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

7.6.1 Содержание зданий и помещений на объединении

- на входных дверях производственных помещений, складах должны быть вывешены категории взрывопожароопасности.
- все производственные и вспомогательные помещения должны 1 раз в смену очищаться от промышленных отходов и горючих материалов.
- проходы, тамбуры, выхода, коридоры, лестничные клетки не разрешается загромождать.
- все выхода должны открываться по направлению из здания, помещения.
- хранение в цехах сырья, полуфабрикатов, горючих жидкостей разрешается только не более суточной, сменной потребности.
- использовать ГЖ (горючесмазочная жидкость) и ЛВЖ (легковоспламеняющаяся жидкость) для мойки деталей и узлов запрещается.

- для использованных обтирочных материалов должны быть установлены металлические ящики с крышкой. По окончании смены они должны очищаться.
- сварочные работы, и другие огневые работы в складах и производственных помещениях должны производиться только по письменному разрешению и согласовываться с пожарной охраной, с соблюдением всех указанных мероприятий.
- спец. одежду следует хранить в специальных кабинках, изолированных от складских помещений и производственных помещений. В карманах не должны храниться промасленная ветошь. Спец. одежда должна своевременно стираться

7.6.2 На территории объединения и в помещениях запрещается

- загромождать различными предметами и оборудованием, готовой продукцией и заготовками проходы, выхода, коридоры, лестничные проемы и подходы.
- хранить специальную одежду и другие сгораемые материалы на радиаторах, вешать на производственное оборудование, электроприборы.
- курить, пользоваться открытым огнем, не предусмотренным спец. технологией разводить костры.
- производить уборку помещений, оборудования с применением ЛВЖ и ГЖ.
- скапливать на рабочем месте мусор, промасленную ветошь.
- использовать не по назначению противопожарный инвентарь.
- загромождать различными предметами проходы, выхода.
- самовольно подключать в электросеть электронагревательные приборы, пользоваться неисправными, кустарного производства электроприборами.

- оставлять включенными станки, электроприборы без просмотра.
- при работе с огнеопасными жидкостями использовать инструмент могущий вызвать искрообразование.
- соприкосновение промасленной одежды, масел и др. жиров с арматурой кислородных баллонов.
- пользоваться не просушенными ковшами, инструментами при разливе металла пользоваться заливщиком неисправной и необработанной огнезащитным составом спец. одеждой.
- хранить без упаковки и рассыпать уротропин.

7.6.3 Каждый работающий на объединении должен знать

- при обнаружении пожара или загорания вызвать пожарную помощь по телефону и принять меры у ликвидации очага пожара или действовать по указанию старшего начальника или начальника ДПД.
- знать пути эвакуации из помещения.
- знать пожароопасность своего цеха, участка и при обнаружении нарушений противопожарного характера устранить их или сообщить начальнику цеха.
- знать и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения.

На данном участке для тушения очагов пожара применяются:

- Огнетушители типа ОП-5, ОП-2, ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8;
- Стационарная пенная установка;
- Пожарные гидранты с пожарными рукавами.

Огнетушители ОП-5, ОП-2 - порошковые, предназначены для тушения загорания установок под напряжением до 1000В.

Огнетушитель ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 - углекислотные, применяются для тушения электрооборудования под напряжением до 1000 В. и др. предметов.

Стационарная пенная установка - предназначена для тушения загорания различных веществ, за исключением щелочных и щелочноземельных веществ.

Пожарный гидрант – труба, по которой подается вода с разъемом для подключения пожарного рукава. Водой можно тушить очаги пожара за исключением электроустановок под напряжением, ГСМ и химических очагов.

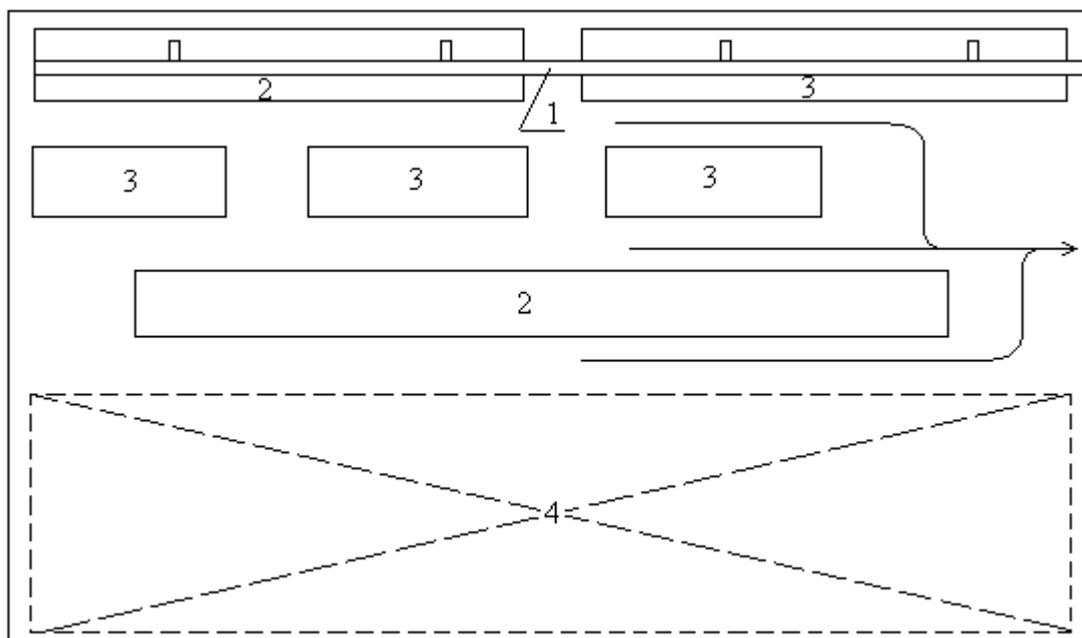


Рис. 7.1 - План эвакуации

1 – монорельс; 2 – верстак для сборки двигателей; 3 – верстак для комплектации роторов; 4 – места складирования деталей и заготовок

7.7 Охрана окружающей среды

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

Важными направлениями следует считать совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем вы-

бросов 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.).

7.8 Чрезвычайная ситуация

Современное высокоразвитое индустриальное общество требует все большего усложнения технологии производства, что неизбежно ведет к росту возможностей возникновения аварий и катастроф. Каждый год на территории России возникают сотни чрезвычайных ситуаций.

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 природной

среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Необходимо предупреждение чрезвычайных ситуаций - комплекс мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально возможное уменьшение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, а также на сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь в случае их возникновения.

Ликвидация чрезвычайных ситуаций - это аварийно-спасательные и другие неотложные работы, проводимые при возникновении чрезвычайных ситуаций и направленные на спасение жизни и сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь, а также на локализацию зон чрезвычайных ситуаций, прекращение действия характерных для них опасных факторов.

Чрезвычайные ситуации классифицируются по следующим основным признакам:

- По сфере возникновения (технологические, природные, экологические, социально-политические и т.д.).
- По ведомственной принадлежности (в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве, на транспорте и т.д.).
- По масштабу возможных последствий (глобальные, региональные, местные).
- По масштабу и уровням привлекаемых для ликвидации последствий сил, средств и органов управления.
- По сложности обстановки и тяжести последствий.
- По характеру лежащих в ее основе явлений и процессов.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в мирное время в результате производственных аварий, катастроф, стихийных бедствий, сопровождаются разрушением зданий, сооружений, инженерных коммуникаций, промышленных и энергетических объектов, гибелью и поражением людей, оборудования, материальных ценностей. Уменьшить потери, спасти пострадавших, восстановить

нормальные условия жизнедеятельности людей, предприятий, учреждений можно только принятием экстренных мер.

На предприятии возможны следующие чрезвычайные ситуации:

- Результат стихийных бедствий и особо опасных инфекций.
- Воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению или коррозии металлов, конструкций, сооружений и снижение их физико-механических показателей.
- Проектно-производственные дефекты сооружений.
- воздействие технологических процессов промышленного производства на материалы сооружений (нагрузки, высокие температуры, скорость, вибрация).
- Нарушение правил эксплуатации сооружений и технических процессов.
- Нарушение правил техники безопасности при ведении работ и технологических процессов.
- Ошибки, связанные с системой отбора руководящих кадров, низким уровнем профессиональной подготовки рабочих и их некомпетентностью и безответственностью.

На устойчивость объекта влияют следующие факторы:

Устойчивость – это способность продолжать работу в чрезвычайной ситуации и выпускать в необходимых размерах нужную продукцию.

Под увеличением устойчивости функционирования организации в ЧС понимается комплекс мер по предупреждению либо ограничению опасности жизни и здоровью персонала и живущего поблизости населения и материального вреда в чрезвычайной ситуации, а также подготовке к проведению спасательных и прочих неотложных работ в зоне ЧС.

Под подготовкой объекта к работе в ЧС понимается заблаговременно проводимые организационные, инженерно-технические и специальные мероприятия их работы с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций.

1. Регион размещения, присущие данной местности опасные стихийные бедствия.

2. Метеорологические особенности региона.

3. Социально-экономическая ситуация.

4. Условия размещения объекта, рельеф местности, характер застройки, насыщенность транспортными коммуникациями, наличие потенциально опасных предприятий радиационного, химического, биологического и взрывоопасного характера.

5. Внутренние условия, влияющие на устойчивость:

- численность работающих, уровень их компетентности и дисциплины;

- размеры и характер объекта, выпускаемая продукция;
- характеристика зданий и сооружений;

- особенности производства, применяемых технологий и материальных веществ;

- потребность в основных видах энергоносителей и воде, наличие своих ТЭЦ (котельных);

- количество и суммарная мощность трансформаторов, газораспределительных станций (пунктов) и системы канализации.

В разделе был проведён анализ вредных и опасных факторов, рассмотрены разделы пожарной безопасности, производственной санитарии, микроклимат и охрана окружающей среды. Произведен расчет освещения цеха. Также были рассмотрены разделы техники безопасности, в которых прописаны действия рабочего в различных чрезвычайных ситуациях.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был спроектирован асинхронный двигатель с фазным ротором МТФ 112-6 с $P_{2н}=5кВ$, $2p=6$.

В начале работы был произведен электромагнитный расчет двигателя. В результате расчета были получены значения электромагнитных нагрузок A и B_{δ} , которые вошли в рекомендуемые пределы. В ходе расчета определены параметры двигателя, а также рассчитаны рабочие и пусковые характеристики. Расчет рабочих характеристик показал, что энергетические показатели ($\cos\phi=0,838$; $\eta=0,841$) на выходе получились на уровне заданных техническими требованиями.

Тепловой расчет электродвигателя показал, что превышения температуры нагрева статора и ротора находятся в допустимых пределах значений для выбранного класса нагревостойкости В .

В механическом расчете был определен суммарный прогиб вала от действия силы тяжести ротора и поперечной силы, обусловленной соединением. Полученный прогиб вала составляет 2,48%, что не превышает 10% от воздушного зазора. По критической частоте вращения и напряжениям в опасных сечениях, он имеет запасы. Условие прочности выполняется, а значит, вал можно использовать в данной электрической машине.

В специальной части произвели расчет добавочных сопротивлений для регулирования плавного пуска двигателя, выбран подходящий по параметрам ящик резисторов, также для наглядности построена пусковая диаграмма с 5 ступенями пуска, учитывая технико-экономические показатели.

В технологической части был проведен анализ конструкции на технологичность, а также произведен расчет размерных цепей методом полной взаимозаменяемостью, расчет норм времени и программы выпуска АД марки МТФ 112-6. Разработана маршрутная технология процесса сборки асинхронного двигателя и выбрано требуемое оборудование. Разработанный технологический процесс удовлетворяет нормам и техническому заданию. Разработ-

ка технологического процесса велась с учетом требований техники безопасности, экономической эффективности и требований предъявленных к качеству изделия.

В экономической части была произведена калькуляция себестоимости, оценена конкурентоспособности. На основе проведенного технико-экономического анализа производство данного типа двигателей при объеме производства 5000 шт./год можно считать достаточно прибыльным.

В разделе социальной ответственности был проведён анализ вредных и опасных факторов, рассмотрены разделы пожарной безопасности, производственной санитарии, микроклимат и охрана окружающей среды. Произведен расчет освещения цеха. Также были рассмотрены разделы техники безопасности, в которых прописаны действия рабочего в различных чрезвычайных ситуациях.

Таким образом, в результате проделанной работы был спроектирован АД марки МТФ 112-6, удовлетворяющий современным требованиям, предъявляемым к асинхронным двигателям и который может быть принят к выпуску на современном производстве.

Список литературы:

1. Проектирование электрических машин: Учеб. пособие для вузов/ И.П. Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клоков и др.; Под ред. И.П. Копылова М.: Энергия, 1980.-496с., ил.
2. Антонов М.В. Технология производства электрических машин. -М: Энергоиздат, 1982. 512 с.
3. Горбачевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Учебное пособие: М. 2007. 256с.
4. Проектирование тяговых электрических машин. /Под ред. М.Д.Находкина . – М.: «ТРАНСПОРТ»,1976.- 624 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2/Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение,1985.- 656 с.
6. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие/ Том. политехн. ун-т. – Томск, 2002. – 100 с.
7. Плахов А.М. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 156 с.
8. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/ Под общ. ред. С.В. Белова. -М.: Высшая школа, 2007. - 616 с.
9. Федосова В.Д Расчет искусственного освещения. Мет. указ. - Томск: ТПУ, 1991. - 16 с
10. Справочная книга по светотехнике / Под ред. А.Ю. Айзенберга -М.: Энергоатомиздат, 1983. - 471 с.
11. Шепеленко Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии: Учебное пособие / Г. И. Шепеленко.— 2-е изд., доп. и перераб.—Ростов-на-Дону: МарТ, 2000.—544 с.—ISBN 5-241-00014-3.
12. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

13. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92).
14. ГОСТ 12.1.005–88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).
15. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
16. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление
17. СНиП 2.04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
18. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – с. 12.
19. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
20. Правила устройства электроустановок. 6-е изд. с изм. и дополн. – СПб, 1999. – 123 с.
21. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
22. ГОСТ 12.1.012-90 - Вибрационная безопасность. Общие требования
23. ГОСТ ИСО 8995-2002 Освещение рабочих мест внутри зданий.
24. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
25. НПБ 105-03 - Нормы пожарной безопасности
26. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. М.: Машиностроение 1974.-Ч.1. Токарные, карусельные, токарноревольверные, алмазно-расточные, сверлильные, долбежные и фрезерные станки. – 416 с.
27. Планирование на предприятии: Учебное пособие для вузов / А. И. Ильин. — 2-е изд., перераб. Минск: Новое знание, 2001.— 634 с.: ил.
28. <http://td-elcom.ru/td/blokirezistorov.html>

29. Гольдберг О.Д. , Гурин Я.С., Свириденко И. С. Проектирование электрических машин: Учебник для вузов/ Под редакцией О. Д. Гольдберга. М. :Высш. Школа 2001.

Дубл.			
Взам.			
Подп.			

			ФЮРА.527500	1
--	--	--	-------------	---

ИНЭО	ФЮРА.527500		

Приложение А
Комплект документов
на технологический процесс
сборки двигателя с фазным ротором

ТЛ		1
----	--	---

Форма	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
А3			ФЮРА.527500.010 СБ	Сборочный чертеж	1	
А4			ФЮРА.520000.010 ПЗ	Пояснительная записка	1	
				<u>Сборочные единицы</u>		
		1.	ФЮРА 684200.001	Статор	1	
		2.	ФЮРА 684200.002	Ротор	1	
		3	ФЮРА.685100.003	Щеткодержатель		
		4.	ФЮРА 684400.004	Колодка клемная	1	
				<u>Детали</u>		
		5.	ФЮРА 712200.005	Щит подшипниковый	1	
		6.	ФЮРА 712200.006	Щит подшипниковый	1	
		7.	ФЮРА 712200.007	Вентилятор	1	
		8.	ФЮРА 735500.008	Кожух	1	
		9.	ФЮРА 735300.009	Крышка	2	
		10.	ФЮРА 758700.010	Шайба стопорная	1	
		11.	ФЮРА 741100.011	Прокладка	1	
		12.	ФЮРА 735300.012	Крышка	1	
		13.	ФЮРА 758700.013	Шайба стопорная	1	
		14.	ФЮРА 758500.014	Гайка	1	

ФЮРА.527500.010 СП					
Изм	Лист	№ документа	Подпись	Дата	
Разраб.	Утабов А Х				
Пров.	Усачева Т В				
Утв.					
Двигатель крановый асинхронный с фазным ротором.			Лит.	Лист	Листов
			т	1	2
			ТПУ Группа	ЭНИН К-7302	

