

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

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

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Проектирование асинхронного двигателя привода насосного агрегата
УДК <u>621.313,333.001.6:621.671</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7301	Поторокин Ю.В.		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Технология производства»

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

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г.	д.т.н.		

Томск – 2016 г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа 144 с., 15 рисунков, 15 таблиц, 24. источника, 3 приложения, 6 л. графического материала.

Ключевые слова: двигатель асинхронный, короткозамкнутый ротор, статор, двухслойная обмотка статора, изоляция, рабочие характеристики.

Объектом проектирования является асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

В процессе работы спроектирован асинхронный двигатель, а именно: рассчитаны главные размеры, выбраны обмотки статора и ротора, обмоточные провода, изоляция, рассчитаны рабочие характеристики, произведен механический расчет вала и тепловой расчет двигателя. Также разработан технологический процесс общей сборки, рассчитана себестоимость спроектированного двигателя, оценена безопасность и экологичность проекта.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2003 и представлена на бумаге формата А4.

Оглавление

Введение	7
Электромагнитный расчет	9
1.1 Исходные данные	9
1.2 Выбор главных размеров	9
1.3 Расчет обмотки статора	11
1.4 Расчет зубцовой зоны статора	15
1.5 Расчёт ротора	19
1.6 Расчёт магнитной цепи	24
1.7 Параметры рабочего режима	28
1.8 Расчёт потерь	35
1.9 Расчёт рабочих характеристик	38
1.10 Расчёт пусковых характеристик	43
Механический расчет	52
2.1 Расчет вала на жесткость	52
2.2 Расчет вала на прочность	55
2.3 Выбор подшипников	57
Тепловой и вентиляционный расчет	59
Технологическая часть	64
4.1 Введение	64
4.2 Анализ исходных данных	66
4.3 Размерный анализ	74
4.4 Выбор сборочного оборудования и оснастки	78
4.5 Нормирование сборочных работ	80
4.6 Заключение	85
Социальная ответственность	88
5.1 Анализ опасных и вредных факторов	88
5.2 Производственная санитария	89
5.3 Освещение	93
5.4 Электробезопасность	99
5.5 Техника безопасности	100
5.6 Пожарная безопасность	101
5.7 Охрана окружающей среды	104
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	107

	6.1 Смета затрат на проектирование	107
	6.2 Определение материальных расходов	112
	6.3 Затраты на силовую электроэнергию	115
	6.4 Оценка конкурентоспособности создаваемого продукта	117
7	Специальная часть	121
	Заключение	131
	Список использованных источников	133
	Приложение А Схема обмотки статора	135
	Приложение Б Схема сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	136
	Приложение В Комплект документов на технологический процесс общей сборки двигателя	137
	Графический материал	
	Сборочный чертеж асинхронного двигателя	
	Схема обмотки статора	
	Характеристики	
	Схема сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	
	Специальная часть	
	Станина	

Введение

В настоящее время на всех нефтяных, газовых и конденсатных месторождениях ОАО «Томскгазпром», а именно, на кустовых площадках, установках подготовки нефти, газокomppressorных станциях применяется дренажная система. Применение этой системы в технологическом процессе производства или в аварийных ситуациях, исключает попадания в почву нефтепродуктов, глубинных соленых вод, различных кислот и щелочей. Дренажная система включает в себя дренажные емкости разных объемов с уровнемерами, трубопроводы с задвижками и манометрами и насосное оборудование.

Целью моего проекта является, проектирование асинхронного двигателя для привода насосного агрегата дренажной системы. Агрегат насосный полупогружной НВ, предназначен для перекачивания из подземных дренажных емкостей смеси воды и темных нефтепродуктов, температурой от -15°C до $+80^{\circ}\text{C}$, плотностью до 1000 кг/м^3 , с твердыми включениями, максимальная объемная концентрация которых 1,5 %. Агрегаты выпускаются в общепромышленном исполнении с уплотнением вала армированной манжетой, а так же в исполнении для взрывоопасных и пожароопасных производств с торцевым уплотнением.

Обозначение агрегата: НВ-Е-50/50-3,5-В-55-У2 где,

НВ - тип насоса- центробежный, полупогружной, вертикальный;

Е - конструктивное исполнение для взрывоопасных производств;

50 - подача, $\text{м}^3/\text{ч}$;

50 - напор, м;

3,5 - глубина погружения, м;

В - материал проточной части, чугун марки СЧ 20, ГОСТ 1412-85;

55 - уплотнение вала торцевым уплотнением;

У - климатическое исполнение;

2 - категория размещения при эксплуатации.

Требования к электродвигателю из паспорта насосного агрегата:

- синхронная частота вращения – 1500 об/мин;
- КПД – не менее 43 %;
- потребляемая мощность – не менее 13,9 кВт и не более 20 кВт;
- частота питающей сети – 50 Гц;
- напряжение – 220/380 В;
- монтажное исполнение вертикальное, на открытом воздухе;
- диаметр фланца по крепежным отверстиям – 300 мм.

Исходя из этих требований, необходимо спроектировать асинхронный двигатель со следующими техническими данными:

- номинальная мощность – 18,5 кВт;
- номинальное напряжение – 220 В;
- схема соединения обмоток статора – треугольник / звезда;
- высота оси вращения – 160 мм;
- частота вращения – 1500 об/мин;
- короткозамкнутый ротор;
- степень защиты IP 54;
- класс изоляции F;
- монтажное исполнение IM 3081.

Задавшись этими данными проведем электромагнитный расчёт, в котором нужно выбрать главные размеры машины, рассчитать обмотки статора и ротора, определить размеры зубцовых зон, а так же произвести расчет магнитной цепи машины, рассчитать потери, рабочие и пусковых характеристики. Разработать технологический процесс общей сборки машины, рассчитать затраты на проект.

1. Электромагнитный расчет

1.1. Исходные данные

Номинальная мощность $P_2=18500$ Вт

Номинальное напряжение $U=220/380$ В

Номинальная частота $f_1=50$ Гц

Число фаз $m_1=3$

Число пар полюсов $p=2$

Высота оси вращения $h=160$ мм

Степень защиты IP54

Система охлаждения IC0141

Способ монтажа IM3081

1.2. Выбор основных размеров статора

1.2.1 Внешний диаметр статора предварительно для $h = 160$ мм

$$D_a=0,272 \text{ м.}$$

1.2.2 Внутренний диаметр статора

$$D = K_D \cdot D_a = 0,64 \cdot 0,272 = 0,174 \text{ м,}$$

где K_D –коэффициент, характеризующий отношение внутренних и внешних диаметров сердечников статора, выбираем $K_D=0.64$.

1.2.3 Полюсное деление

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,174}{4} = 0,1367 \text{ м.}$$

1.2.4 Расчетная мощность

$$P' = P_2 \cdot \frac{k_E}{\eta \cdot \cos \phi} = 18500 \cdot \frac{0,98}{0,9 \cdot 0,895} = 22507,8 \text{ Вт}$$

где P_2 – мощность на валу двигателя, Вт; k_E – отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению, $k_E=0,98$; η и $\cos \phi$ – примерное значение КПД и коэффициент мощности [1, с.165, рис.6-9.а] $\eta=0,9$ и $\cos \phi=0,895$

1.2.5 Электромагнитные нагрузки (предварительно) при высоте оси вращения $h=160$ мм, $2p=4$, $D_a=0,272$ м

$$A = (32 - 33) \cdot 10^3 \text{ А/м}; \quad B_\delta = (0,76 - 0,77) \text{ Тл}$$

$$A = 30,8 \cdot 10^3 \text{ А/м}; \quad B_\delta = 0,796 \text{ Тл}$$

1.2.6 Обмоточный коэффициент (предварительно)

для двухслойной обмотки при $2p=4$ учитывает уменьшение ЭДС фазы, уложенной в пазы обмотки ЭМ по сравнению с расчетной ЭДС обмотки с тем же числом витков, но имеющий диаметральный шаг и сосредоточенной в одной катушке $\kappa_{o\delta 1} = (0,91 - 0,92)$

$$\kappa_{o\delta 1} = 0,915$$

1.2.7 Расчетная длина магнитопровода

$$l_\delta = \frac{P'}{k_B \cdot D^2 \cdot \Omega \cdot \kappa_{o\delta 1} A B_\delta} = \frac{22507,8}{1,11 \cdot 0,174^2 \cdot 10^{-6} \cdot 157 \cdot 0,915 \cdot 30,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,796} = 0,19 \text{ м}$$

где Ω – синхронная угловая скорость двигателя

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

коэффициент формы поля для синусоидального поля, принимаем, что поле синусоидально, а влияние уплощения учтем при расчете магнитного

напряжения отдельных участков магнитной цепи $k_e = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} = 1,11$

1.2.8 Критерий правильности выбора главных размеров D и l_δ

$$\lambda = \frac{\ell_\delta}{\tau} = \frac{190}{136,7} = 1,391$$

Полученное значение находится в допустимом пределе.

1.2.9 Конструктивная длина сердечника статора

$$\ell_1 = \ell_{cm1} = \ell_\delta = 0,19 \text{ м}$$

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

1.3. Расчёт обмотки статора

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

1.3.1 Зубцовое деление статора t_{Z1}

Максимальное значение $t_{Z1max}=0,011 \text{ м}$

Минимальное значение $t_{Z1min}=0,013 \text{ м}$

1.3.2 Число пазов статора

$$Z_{1min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{Z1max}} = \frac{\pi \cdot 0,174}{0,013} = 42$$

$$Z_{1max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{Z1min}} = \frac{\pi \cdot 0,174}{0,011} = 49$$

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

Принимаем $Z_1=48$

1.3.3 Число пазов на полюс и фазу

$$q = \frac{Z_1}{2 p \cdot m} = \frac{48}{4 \cdot 3} = 4$$

1.3.4 Зубцовое деление статора (окончательно)

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{2 p \cdot q \cdot m} = \frac{\pi \cdot 0,174}{4 \cdot 4 \cdot 3} = 0,0114 \text{ м}$$

1.3.5. Число эффективных проводников в пазу (при, условии, что параллельные ветви отсутствуют $a=1$)

$$u_n' = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{ном} \cdot Z_1} = \frac{\pi \cdot 174 \cdot 10^{-3} \cdot 30,8 \cdot 10^3}{34,8 \cdot 48} = 10,5$$

где $I_{ном}$ – номинальный фазный ток

$$I_{ном} = \frac{P_2}{m \cdot U_{ном} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{18500}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,895} = 34,8 \text{ А}$$

1.3.6 Число эффективных проводников в пазу

$$u_n = a \cdot u'_n = 1 \cdot 10 = 10$$

Принимаем число параллельных ветвей: $a=1$.

В двухслойных обмотках желательно чтобы число U_n было кратно двум

1.3.7 Окончательное число витков в фазе

$$w_1 = \frac{u_n \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = \frac{10 \cdot 48}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 80$$

1.3.8 Окончательное значение линейной нагрузки

$$A = \frac{2 \cdot I_{ном} \cdot w_1 \cdot m}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 34,8 \cdot 80 \cdot 3}{\pi \cdot 174 \cdot 10^{-3}} = 30,56 \cdot 10^3 \quad A/м$$

Полученное значение находится в допустимом пределе.

1.3.9 Магнитный поток

$$\Phi = \frac{k_E \cdot U_1}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{об1} \cdot f_1} = \frac{0,98 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 80 \cdot 0,925 \cdot 50} = 13,12 \cdot 10^{-3} \quad Вб,$$

где обмоточный коэффициент для двухслойной обмотки

$$k_{об1} = k_{p1} k_y = 0,958 \cdot 0,966 = 0,925$$

коэффициент распределения, учитывающий уменьшение ЭДС

распределенной по пазам обмотки по сравнению с сосредоточенной для

первой гармоники

$$k_p = \frac{\sin \frac{\pi}{2m} \cdot \nu}{q \cdot \sin \frac{\pi}{2mq} \cdot \nu} = \frac{0,5 \cdot 1}{4 \sin \frac{\pi}{6 \cdot 4} \cdot 1} = 0,958$$

коэффициент укорочения, учитывающий уменьшения ЭДС витка, вызванное укорочением шага

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

укорочение шага

$$\beta_1 = \frac{y}{\tau} = \frac{2}{3} \cdot \frac{q+1}{q} = \frac{2}{3} \cdot \frac{4+1}{4} = 0,833$$

область наиболее распространенных значений, $\beta = (0,79 - 0,83)$ при которых достигается значительное уменьшение гармоник ($\nu = 5 \quad \nu = 7$)

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

1.3.10 Индукцию в воздушном зазоре примем (окончательно)

$$B_\delta = \Phi \cdot \rho / D \cdot l_\delta = \frac{13,12 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{174 \cdot 10^{-3} \cdot 190 \cdot 10^{-3}} = 0,794 \text{ Тл}$$

полученное значение B_δ выходит за пределы рекомендуемой области не более чем на 5 %, это вполне допустимо

Сечение эффективного проводника определяется, исходя из тока одной параллельной ветви и допустимой плотности тока в обмотке. С точки зрения повышения использования активных материалов плотность тока должна быть выбрана как можно большей, но при этом возрастают потери в меди обмотки. Увеличение потерь сказывается, во-первых, на повышении температуры обмотки, и, во-вторых, на КПД двигателя. В асинхронных двигателях общего назначения при принятой в них системе косвенного охлаждения влияние плотности тока на нагрев обмотки более существенно, чем на КПД. Нагрев пазовой части обмотки зависит от произведения линейной нагрузки на плотность тока. Поэтому выбор допустимой плотности тока производят с учётом линейной нагрузки.

1.3.11 Плотность тока

$$J_1 = \frac{A \cdot J}{A} = \frac{182 \cdot 10^9}{30,56 \cdot 10^3} = 5,96 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$$

где произведение линейной нагрузки на плотность тока

$$A \cdot J = 182 \cdot 10^9 \quad A^2/m^3$$

1.3.12 Сечение эффективного проводника (предварительно)

$$q_{эф} = \frac{I_{ном}}{a \cdot J_1} = \frac{34,8}{1,596 \cdot 10^6} = 5,842 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Сечение элементарного проводника

$$q_{эл} = \frac{q_{эф}}{n_{эл}} = \frac{5,842 \cdot 10^{-6}}{4} = 1,461 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2$$

принимаем число элементарных проводников $n_{эл} = 4$,

для насыпных обмоток могут быть использованы обмоточные провода диаметром не более 1,8 мм. Однако, в современных двигателях для повышения надёжности обмотки и упрощения её укладки в пазы используют провода меньшего диаметра. При ручной укладке диаметр провода не должен превышать 1,7 мм, при механизированной укладке не более 1,5 мм. Если расчетное сечение эффективного проводника в машинах со насыпной обмоткой выше значений, соответствующих указанным диаметрам, то эффективный проводник разделяется на несколько элементарных $n_{эл}$.

Выбираем провод ПЭТВ: $d_{эл} = 1,4 \text{ мм}$, $d_{из} = 1,485 \text{ мм}$, $q_{эл} = 1,539 \text{ мм}^2$.

1.3.13 Плотность тока (окончательно)

$$J_1 = \frac{I_1}{a \cdot q_{эл} \cdot n_{эл}} = \frac{34,8}{4 \cdot 1,539 \cdot 10^{-6} \cdot 4} = 5,651 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2}$$

1.4. Расчёт размеров зубцовой зоны статора

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

мощности, исполнения машины и от марки электротехнической стали сердечника.

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

Выбираем трапециидальный паз

1.4.1 Ширина зубца

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{B_{z1} \cdot l_{cm} \cdot k_c} = \frac{0,794 \cdot 11,39 \cdot 10^{-3}}{1,888 \cdot 0,97} = 4,93 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

где B_{z1} – индукция в зубцах статора, $B_{z1} = (1,7-1,9) \text{ Тл}$,

принимаем $B_{z1} = 1,888 \text{ Тл}$;

k_c – коэффициент заполнения пакета сталью магнитопроводов при $h = 160 \text{ мм}$, $U_{1n} = 220 \text{ В}$, со способом изолировки листов – оксидирование для стали 2013 $k_c = 0,97$

1.4.2 Высота ярма статора

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot l_{cm1} \cdot k_{c1}} = \frac{13,12 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,276 \cdot 190 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97} = 27,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

где B_a – индукция в ярме статора, $B_a = (1,4-1,6) \text{ Тл}$

принимаем $B_a = 1,3 \text{ Тл}$

1.4.3 Ширина шлица паза

принимают равной $b_{ш} = d_{ш} + (1,5 - 2) \text{ мм}$, при $h = 160 \text{ мм}$, $2p = 4$

$$b_{u1}=3,5\text{мм}$$

Высота шлица паза должна быть достаточной для обеспечения механической прочности кромок зубцов удерживающих в уплотненном состоянии проводники паза после заклиновки пазов при $h=160$ мм, $h_{u1}=0,7$ мм.

1.4.4 Высота паза

$$h_{n1} = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{(272 - 174) \cdot 10^{-3}}{2} - 27,9 \cdot 10^{-3} = 21,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.4.5. Максимальная ширина паза

$$b_{12} = \frac{\pi \cdot (D + 2h_{n1})}{Z_1} - b_{z1} = \frac{\pi \cdot (174 + 2 \cdot 21,1) \cdot 10^{-3}}{48} - 4,9 \cdot 10^{-3} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.4.6. Минимальная ширина паза

$$\begin{aligned} b_{11} &= \frac{\pi \cdot (D + 2h_{u1} - b_{u1}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \\ &= \frac{\pi \cdot (174 + 2 \cdot 0,7 - 3,5) \cdot 10^{-3} - 48 \cdot 4,9 \cdot 10^{-3}}{48 - \pi} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{aligned}$$

1.4.7 Высота паза, предназначенная для укладки обмотки

$$h_{11} = h_{n1} - \left(h_{u1} + \frac{b_{11} - b_{u1}}{2} \right) = 21,1 \cdot 10^{-3} - \left(0,5 + \frac{7 - 3,5}{2} \right) \cdot 10^{-3} = 18,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Размеры паза в свету с учётом припуска на сборку:

$$b'_{12} = b_{11} - \Delta b_n = 9,2 - 0,2 = 9 \text{ мм}$$

$$b'_{11} = b_{21} - \Delta b_n = 7 - 0,2 = 6,8 \text{ мм}$$

$$h'_{11} = h_{11} - \Delta h_n = 18,8 - 0,2 = 18,6 \text{ мм}$$

Где припуски по ширине и по высоте паза $\Delta b_{n1} = \Delta h_{n1} = 0,2 \text{ мм}$

Паз статора с указанием основных размеров изображён на рисунке 1.1

1.4.9 Площадь поперечного сечения корпусной изоляции в пазу $S_{уз} = b_{уз} \cdot (2h_{n1} + b_{11} + b_{21}) = 0,37 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 21,1 + 9,2 + 7) \cdot 10^{-3} = 21,534 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, где $b_{уз}$ – односторонняя толщина изоляции в пазу, $b_{уз} = 0,37 \text{ мм}$, для двухслойной обмотки при высоте оси вращения $h = 160 \text{ мм}$, марка изоляционного материала пленкостеклопласт-изофлекс с числом слоев один. Площадь поперечного сечения межслойной изоляции $S_{мс} = 2,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$

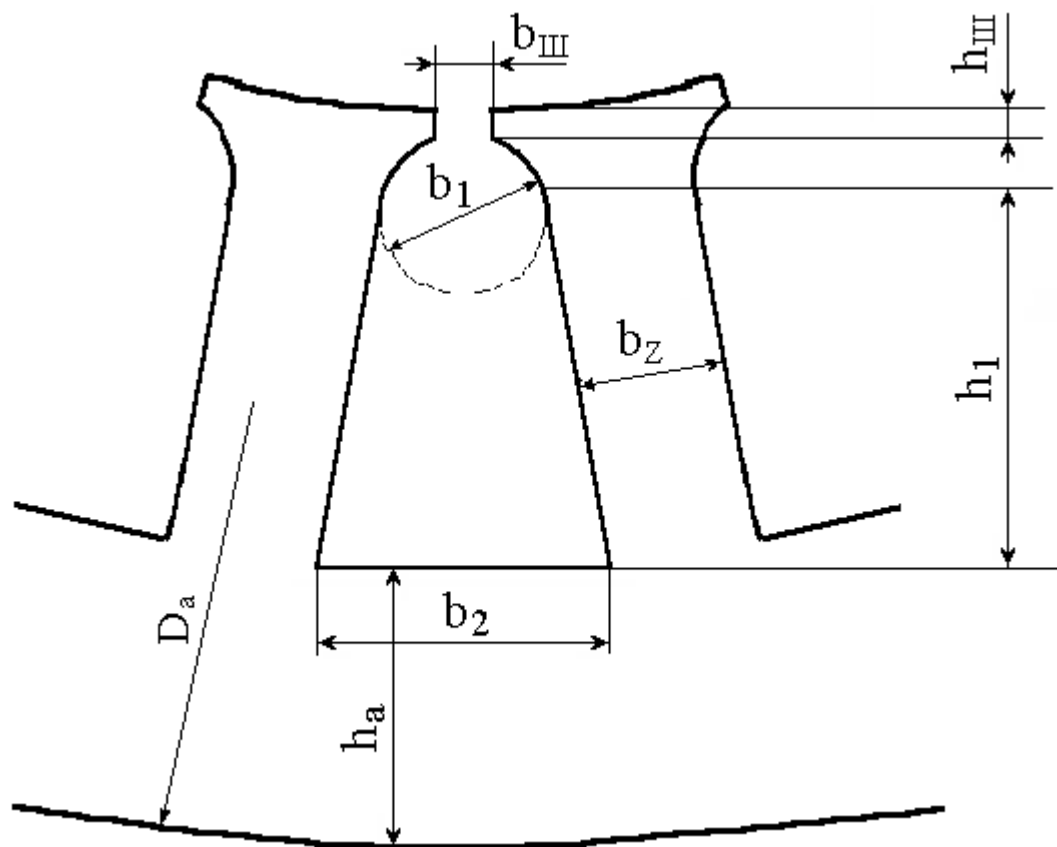


Рисунок 1.1. Паз статора с основными размерами

1.4.10 Площадь поперечного сечения паза для размещения проводников

$$S'_n = \frac{b'_{11} + b'_{21}}{2} \cdot h'_{11} - S_{из} - S_{мс} = \frac{(9+6,8) \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 18,6 \cdot 10^{-3} - 21,54 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-6} = 121,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

1.4.11 Коэффициент заполнения паза

$$K_z = \frac{d_{из}^2 \cdot U_n \cdot n_{эл}}{S'_n} = \frac{(1,485 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10 \cdot 4}{121,1 \cdot 10^{-6}} = 0,72$$

В современном электромашиностроении плотность укладки обмотки стремятся выполнить такой, чтобы K_z был в пределах (0,7 - 0,74) при ручной укладки обмоток и (0,7-0,72) при механизированной. Полученное значение коэффициента заполнения паза находится в рекомендуемом пределе.

1.5. Расчёт ротора

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

В современных асинхронных двигателях зазор выбирают, исходя из минимума суммарных потерь

$$\delta = (0,25 + D) \cdot 10^{-3} = (0,25 + 174) \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.5.2 Число пазов ротора

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

В результате взаимодействия токов и полей высших гармоник возникают электромагнитные моменты, которые при неблагоприятном соотношении Z_1 и Z_2 могут существенно ухудшать механическую характеристику двигателя, так как момент на валу машины является суммой моментов, обусловленных всеми взаимодействующими гармониками.

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

при $2p=4$ и $Z_1=48$ принимаем $Z_2=40$.

1.5.3 Внешний диаметр ротора

$$D_2 = D - 2 \cdot \delta = 0,174 - 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,173 \text{ м}$$

Конструктивную длину сердечника ротора берём равной длине сердечника статора

$$\ell_2 = \ell_1 = 0,19 \text{ м}$$

1.5.4 Зубцовое деление ротора

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{\pi \cdot 0,173}{40} = 0,0136 \text{ м}$$

1.5.5. Внутренний диаметр ротора

$$D_j = D_B = k_B \cdot D_a = 0,23 \cdot 0,272 = 0,06 \text{ м}$$

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

где при $h=160 \text{ мм}$, $k_B=0,23$.

1.5.6 Ток в стержне ротора

$$I_2 = k_i \cdot I_1 \cdot \frac{2 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{obl}}{Z_2 \cdot k_{ck}} = 0,92 \cdot 34,8 \cdot \frac{2 \cdot 3 \cdot 80 \cdot 0,925}{40 \cdot 0,99} = 353,88 \text{ А},$$

где коэффициент, учитывающий влияние тока намагничивания и сопротивления обмоток на соотношение I_1/I_2 , его приблизительное значение может быть рассчитано в зависимости от номинального $\cos\varphi$, которым задавались в начале расчета, при $\cos\varphi=0,9$

$$k_i = 0,2 + 0,8 \cdot \cos\varphi = 0,92;$$

коэффициент скоса пазов

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

$$\gamma_{ck} = \beta_{ck} \cdot \frac{2p}{Z_2} = 0,839 \cdot \frac{4}{40} 0,084;$$

$$\beta_{ck} = \frac{b_{ck}}{t_2} = \frac{0,0114}{0,0136} = 0,839;$$

$$b_{ck}=0,0114 \text{ м.}$$

1.5.7 Площадь поперечного сечения стержня

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = \frac{353,88}{3,07 \cdot 10^6} = 115,272 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

где J_2 – плотность тока в стержне ротора машин закрытого обдуваемого исполнения при заливке пазов алюминием $J_2=(2,5-3,5) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$.
Принимаем $J_2=3,07 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$

1.5.8. Паз ротора

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

Ширина шлица $b_{u2}=1,5 \text{ мм}$, высота шлица $h_{u2}=0,5 \text{ мм}$.

1.5.9 Ширина зубца ротора

$$b_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot l_{\delta}}{B_{z2} \cdot k_c \cdot l_{cm1}} = \frac{0,794 \cdot 13,6 \cdot 10^{-3}}{1,57 \cdot 0,97} = 7,03 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

где индукцию в зубцах ротора принимаем $B_{z2}=1,57 \text{ Тл}$

5.10 Максимальная ширина паза

$$b_{21} = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2h_{u2}) - Z_2 \cdot b_{z2}}{Z_2 + \pi} = \frac{\pi \cdot (0,173 - 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}) - 40 \cdot 7,03 \cdot 10^{-3}}{40 + \pi} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.5.11 Минимальная ширина паза

$$b_{22} = \sqrt{\frac{b_{21}^2 \cdot \left(\frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - q_c \cdot 4}{\frac{Z_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \sqrt{\frac{(6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \left(\frac{40}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - 115,272 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{\frac{40}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.5.12 Полная высота паза ротора

$$h_{n2} = h_{u2} + h'_{u2} + \frac{b_{21}}{2} + \frac{b_{22}}{2} + h_{12} = \left(0,5 + 0,5 + \frac{6}{2} + \frac{2,2}{2} + 24,18\right) \cdot 10^{-3} = 29,08 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

где $h_{12} = (b_{12} - b_{22}) \cdot \frac{Z_2}{2 \cdot \pi} = (6 - 2,2) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{40}{2 \cdot \pi} = 24,18 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$

Паз ротора изображён на рисунке 1.2.

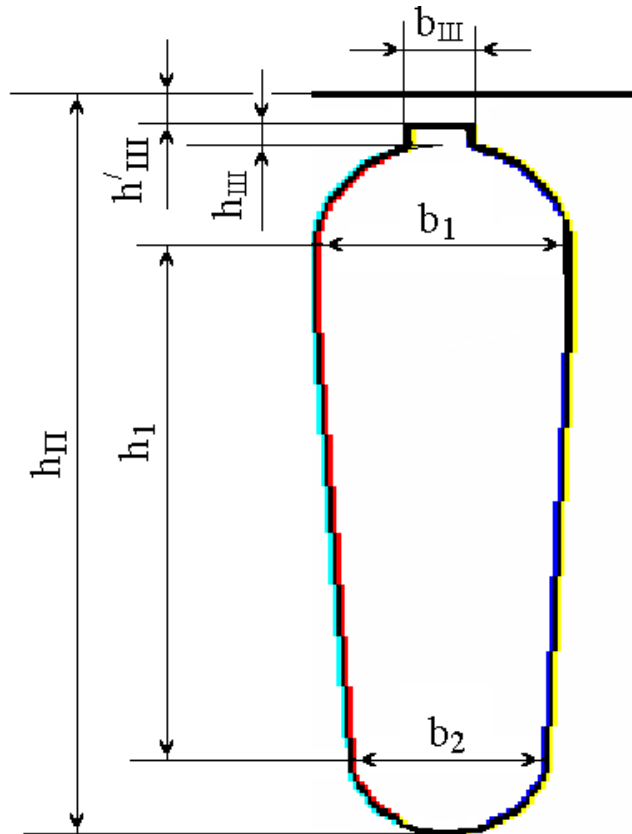


Рисунок 1.2. Паз ротора с основными размерами.

1.5.13 Сечение стержня (окончательно)

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (b_{21}^2 + b_{22}^2) + \frac{1}{2} \cdot (b_{21} + b_{22}) \cdot h_{12} = \frac{\pi}{8} \cdot (6^2 + 2,2^2) \cdot 10^{-6} + \frac{1}{2} \times \\ \times (6 + 2,2) \cdot 10^{-3} \cdot 24,18 \cdot 10^{-3} = 115,272 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

1.5.14 Плотность тока в стержне (окончательно)

$$J_2 = \frac{I_2}{q_c} = \frac{353,88}{115,272 \cdot 10^{-6}} = 3,07 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

1.5.15 Ток в кольце

$$I_{кл} = \frac{I_2}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2}} = \frac{353,88}{2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot 2}{40}} = 1131,09 \text{ A}$$

1.5.16 Плотность тока в кольце

$$J_{кл} = 0,85 \cdot J_2 = 0,85 \cdot 3,07 \cdot 10^6 = 2,609 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{м}^2}.$$

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

1.5.17 Сечение короткозамкнутого кольца

$$q_{кл} = \frac{I_{кл}}{J_{кл}} = \frac{1131,09}{2,609 \cdot 10^6} = 433,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

1.5.18 Высота короткозамкнутого кольца

$$b_{кл} = 1,2 \cdot h_{n2} = 1,2 \cdot 29,08 \cdot 10^{-3} = 34,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.5.19 Длина короткозамкнутого кольца

$$a_{кл} = \frac{q_{кл}}{b_{кл}} = \frac{433,5 \cdot 10^{-6}}{34,9 \cdot 10^{-3}} = 12,42 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.5.20 Средний диаметр короткозамкнутого кольца

$$D_{кл.ср} = D_2 - b_{кл} = (173 - 34,9) \cdot 10^{-3} = 138,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.6. Расчёт магнитной цепи

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

1.6.1 Индукция в зубцах статора (окончательно)

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{b_{z1} \cdot k_c \cdot l_{cm1}} = \frac{0,794 \cdot 11,39 \cdot 10^{-3}}{4,934 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97} = 1,888 \text{ Тл}$$

1.6.2. Индукция в зубцах ротора (окончательно)

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot l_{\delta}}{b_{z2} \cdot k_c \cdot l_{cm2}} = \frac{0,794 \cdot 13,59 \cdot 10^{-3}}{7,04 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97} = 1,58 \text{ Тл}$$

1.6.3 Индукция в ярме статора (окончательно)

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a \cdot \ell_{cm1} \cdot k_c} = \frac{13,12 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 27,89 \cdot 10^{-3} \cdot 190 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97} = 1,3 \text{ Тл}$$

1.6.4 Расчётная высота ярма ротора

$$h_j = \frac{D_2 - D_j}{2} - h_{n2} = \frac{(173 - 60) \cdot 10^{-3}}{2} - 29,08 \cdot 10^{-3} = 27,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

При посадке сердечника непосредственно на вал в двигателях с $2p=4$ необходимо учитывать, что часть магнитных линий потока замыкается через вал.

1.6.5 Индукция в ярме ротора

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h_j \cdot \ell_{cm2} \cdot k_c} = \frac{13,12 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 27,5 \cdot 10^{-3} \cdot 190 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97} = 1,294 \text{ Тл}$$

В связи с тем, что поверхности статора и ротора ограничивающие воздушный зазор, не гладкие, а имеют различные неравномерности: пазы, углубления для размещения бандажей и др. Магнитное сопротивление участков такого зазора в поперечном сечении машины различно, поэтому распределение индукции по площади воздушного зазора неравномерно. Наибольшая неравномерность возникает из-за наличия зубцов на статоре и роторе. Над коронками зубцов магнитные линии потока сгущаются, а над прорезями пазов плотность линии уменьшается. В кривой индукции в воздушном зазоре появляются провалы. Магнитное сопротивление и

магнитное напряжение воздушного зазора при неравномерной индукции возрастают.

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

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma \cdot \delta} = \frac{11,39}{11,39 - 4,083 \cdot 0,5} = 1,218$$

$$\gamma = \frac{\left(b_{u1}/\delta\right)^2}{5 + b_{u1}/\delta} = \frac{\left(3,5/0,5\right)^2}{5 + 3,5/0,5} = 4,083$$

$$k_{\delta} = k_{\delta 1} = 1,218 = 1,218$$

1.6.6 Магнитное напряжение воздушного зазора

$$F_{\delta} = \frac{2}{\mu} \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot 10^6 = 1,59 \cdot 10^6 \cdot 0,794 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,218 = 768,647 \text{ A}$$

1.6.7 Магнитное напряжение зубцовых зон статора

$$F_{z1} = 2 \cdot h_{z1} \cdot H_{z1} = 2 \cdot 21,11 \cdot 10^{-3} \cdot 2000 = 84,447 \text{ A} ,$$

где напряженность в зубцах статора АД для стали марки 2013 при индукции $B_{z1}=1,888 \text{ Тл}$; $H_{z1}=2000 \text{ А/м}$.

1.6.8 Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора

$$F_{z2} = 2 \cdot h_{z2} \cdot H_{z2} = 2 \cdot 28,86 \cdot 10^{-3} \cdot 820 = 47,332 \text{ А}$$

$$h_{z2} = h_{n2} - 0,1 \cdot b_2 = 29,08 - 0,1 \cdot 2,2 = 28,86 \text{ мм}$$

где напряжённость магнитного поля для стали 2013 при индукции $B_{z2}=1,58 \text{ Тл}$, $H_{z2}=820 \text{ А/м}$.

1.6.9 Коэффициент насыщения зубцовой зоны

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} = 1 + \frac{84,447 + 47,332}{768,647} = 1,171$$

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

1.6.10 Длина магнитной линии ярма статора

$$L_a = \frac{\pi \cdot (D_a - h_a)}{2p} = \frac{\pi \cdot (272 - 27,89) \cdot 10^{-3}}{4} = 191,72 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.6.11 Длина магнитной линии ярма ротора

$$L_j = \pi \cdot \frac{D_j + h_j}{2p} = 3,14 \cdot \frac{(60 + 27,5) \cdot 10^{-3}}{4} = 68,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.6.12 Магнитное напряжение ярма статора

$$F_a = L_a \cdot H_a = 191,72 \cdot 10^{-3} \cdot 304 = 58,284 \text{ А}$$

где напряжённость магнитного поля ярма статора для стали 2013 при индукции $B_a=1,3 \text{ Тл}$, $H_a=304 \text{ А/м}$. [1, с.460, табл.П.16];

1.6.13 Магнитное напряжение ярма статора

$$F_j = L_j \cdot H_j = 68,6 \cdot 10^{-3} \cdot 317 = 21,745 \text{ А}$$

где напряжённость магнитного поля ярма ротора для стали 2013 при индукции $B_j=1,294 \text{ Тл}$, $H_j=317 \text{ А/м}$.

1.6.14 Магнитное напряжение на пару полюсов

$$F_y = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 768,647 + 84,446 + 47,332 + 58,284 + 21,745 = 980,455 \text{ А}$$

1.6.15 Коэффициент насыщения магнитной цепи

$$k_\mu = \frac{F_y}{F_\delta} = \frac{980,455}{768,647} = 1,276$$

1.6.16 Намагничивающий ток

$$I_\mu = \frac{p \cdot F_y}{0,9 \cdot m \cdot W_1 \cdot k_{об1}} = \frac{2 \cdot 980,455}{0,9 \cdot 3 \cdot 80 \cdot 0,925} = 9,815 \text{ А}$$

1.6.17 Относительное значение намагничивающего тока

$$I_\mu^* = \frac{I_\mu}{I_{ном}} = \frac{9,815}{34,8} = 0,282$$

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

1.7. Параметры рабочего режима

Параметрами асинхронной машины называют активные и индуктивные сопротивления обмоток статора x_1, r_1 , ротора x_2, r_2 , сопротивление взаимной индуктивности x_{12} и расчётное сопротивление r_{12} , введением

которого учитывают влияние потерь в стали статора на характеристики двигателя.

Известные из общей теории электрических машин схемы замещения фазы асинхронной машины, основанные на приведении процессов во вращающейся машине к неподвижной. Физические процессы в асинхронной машине более наглядно отражает схема, изображённая на рис. 1.3а

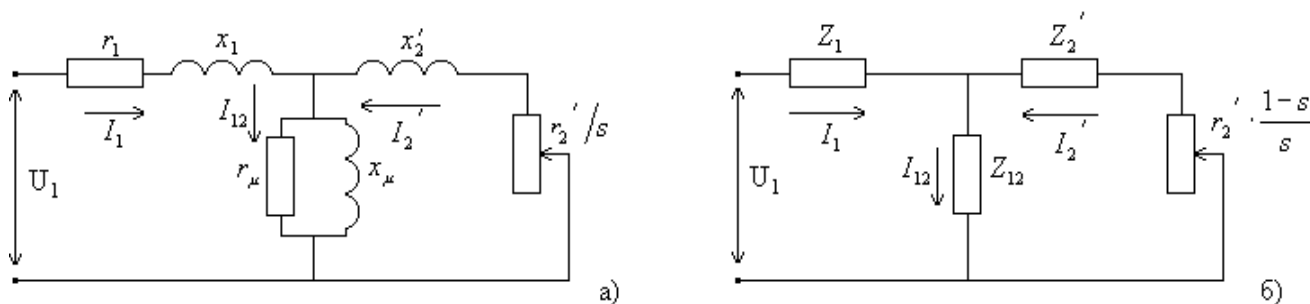


Рис.1.3 Схемы замещения фазы обмотки приведённой асинхронной машины.

Но для расчёта оказалось удобнее преобразовать её в схему показанную на рис. 1.3 б.

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

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

1.7.1 Средняя ширина катушки

$$b_{km} = \frac{\pi \cdot (D + h_{n1})}{2p} = \frac{\pi \cdot (174 + 21,11) \cdot 10^{-3}}{4} = 153,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.7.2 Длина лобовой части

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

$$\ell_{\text{л}} = K_{\text{л}} \cdot b_{km} + 2B = 1,3 \cdot 153,2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,01 = 219,21 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

где коэффициент при наличии изоляции в лобовых частях $K_{\text{л}}=1,3$.

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

1.7.3 Вылет лобовых частей обмотки

$$\ell_{\text{ввл}} = K_{\text{ввл}} \cdot b_{km} + B = 0,4 \cdot 153,2 + 10 = 71,3 \text{ мм},$$

где коэффициент $K_{\text{ввл}}=0,4$.

1.7.4 Средняя длина витка обмотки

$$\ell_{cp1} = 2 \cdot (\ell_{n1} + \ell_{\text{л}}) = 2 \cdot (190 + 219,2) \cdot 10^{-3} = 818,42 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

где длина пазовой части; $\ell_n = \ell_1 = 0,19 \text{ м}$.

1.7.5 Длина проводников фазы обмотки

$$L_1 = \ell_{cp1} \cdot W_1 = 818,42 \cdot 10^{-3} \cdot 80 = 65,474 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

1.7.6 Активное сопротивление фазы обмотки статора

$$r_1 = \rho_{75Cu} \cdot \frac{L_1}{q_{эл} \cdot n_{эл} \cdot a} = \frac{10^{-6}}{47} \cdot \frac{65,474 \cdot 10^{-3}}{1,539 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 1} = 0,2262 \text{ Ом}$$

где ρ_{75Cu} – удельное сопротивление материала обмотки для данного класса нагревостойкости изоляции расчётная температура 75^0C , для меди $\rho_{75Cu} = 10^{-6} / 47 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

1.7.7 Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки статора

$$r_1^* = r_1 \cdot \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 0,2262 \cdot \frac{34,8}{220} = 0,03578$$

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

1.7.8 Сопротивление стержня

$$r_c = \rho_{75} \cdot \frac{32}{19} \cdot \frac{\ell_2}{q_c} = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{190 \cdot 10^{-3}}{115,272 \cdot 10^{-6}} = 129,118 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$$

где ρ_{75} – удельное сопротивление материала обмотки для данного класса нагревостойкости В изоляции расчётная температура 75^0C , для алюминиевого сплава АК10 ;

$$\rho_{75} = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{32}{19} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

1.7.9 Сопротивление участка замыкающего кольца, заключённого между двумя соседними стержнями

$$r_{\kappa} = \rho_{75} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\kappa}}{Z_2 \cdot q_{\kappa}} = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{32}{19} \cdot \frac{\pi \cdot 138,1 \cdot 10^{-6}}{40 \cdot 433,453 \cdot 10^{-6}} = 1,9602 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$$

1.7.10 Активное сопротивление фазы обмотки ротора

$$r_2 = r_c + \frac{2 \cdot r_{\kappa}}{\Delta^2} = 129,118 \cdot 10^{-6} + \frac{2 \cdot 1,9602 \cdot 10^{-6}}{(0,313)^2} = 169,169 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$$

1.7.11 Приводим r_2 к числу витков обмотки статора

$$r_2' = r_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (W_1 \cdot \kappa_{об1})^2}{Z_2 \cdot (\kappa_{СК})^2} = 169,169 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (80 \cdot 0,925)^2}{40 \cdot 0,99^2} = 0,27801 \text{ Ом}$$

1.7.12 Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки ротора

$$r_2^{*'} = r_2' \cdot \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 0,27801 \cdot \frac{34,8}{220} = 0,04398$$

1.7.13 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора

$$\lambda_{n1} = \frac{h_2}{3 \cdot b_{11}} \cdot k_{\beta} + \left(0,785 - \frac{b_{u'1}}{2 \cdot b_{11}} + \frac{h_{u'1}}{b_{u'1}} \right) \cdot \kappa'_{\beta} = \frac{18,78}{3 \cdot 7} \cdot 0,8748 + \left(0,785 - \frac{3,5}{2 \cdot 7} + \frac{0,5}{3,5} \right) \cdot 0,906 = 1,474$$

,

где κ_{β} и κ'_{β} – коэффициенты учитывающие укорочение шага обмотки.

$$k'_{\beta} = 0,25 \cdot (1 + 3 \cdot \beta) = 0,8748 \quad \kappa_{\beta} = 0,25 \cdot (1 + 3 \cdot k'_{\beta}) = 0,906$$

1.7.14 Коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния обмотки статора

$$\begin{aligned} \lambda_{\cdot n1} &= 0,34 \cdot \frac{q}{\ell_{\delta}} \cdot (\ell_{\cdot n1} - 0,64 \cdot \beta_1 \cdot \tau) = \\ &= 0,34 \cdot \frac{4}{190 \cdot 10^{-3}} \cdot (219,21 \cdot 10^{-3} - 0,64 \cdot 0,83 \cdot 136,7 \cdot 10^{-3}) = 1,0476 \end{aligned}$$

1.7.15 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки статора

$$\lambda_{\partial 1} = \frac{t_1}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi = \frac{11,39}{12 \cdot 0,5 \cdot 1,218} \cdot 1,187 = 1,8489$$

$$\begin{aligned} \xi &= 2 \cdot \kappa'_{ск} \cdot k_{\beta} - k_{\partial 1}^2 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 \cdot (\beta_{ск}^2 + 1) = \\ &= 2 \cdot 1,8 \cdot 0,906 - 0,925^2 \cdot \left(\frac{13,59}{11,39}\right)^2 \cdot (0,839^2 + 1) = 1,187 \end{aligned}$$

где $\kappa'_{ск}=1,8$ при $t_1/t_2=1.193$

Суммарный коэффициент магнитной проводимости статора

$$\Sigma \lambda_1 = \lambda_{n1} + \lambda_{\lambda 1} + \lambda_{\partial 1} = 1,474 + 1,0476 + 1,8489 = 4,371$$

1.7.16 Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора

$$x_1 = 15,8 \cdot \frac{f}{100} \cdot \left(\frac{W_1}{100}\right)^2 \cdot \frac{\ell_{\delta}}{p \cdot q} \cdot (\lambda_{n1} + \lambda_{\lambda 1} + \lambda_{\partial 1}) = 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{80}{100}\right)^2 \cdot \frac{190 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 4} \cdot (4,371) = 0,525 \text{ (Ом)}$$

1.7.17 Относительное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки статора

$$x_1^* = x_1 \cdot \frac{I_1}{U_1} = 0,525 \cdot \frac{34,8}{220} = 0,08302$$

Относительные значения индуктивных сопротивлений рассеяния обмотки статора находятся в пределах $x_1^* = (0,08 - 0,14)$

1.7.18 Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки ротора

$$\lambda_{n2} = \left[\frac{h_0}{3 \cdot b_{12}} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot b_{12}^2}{8 \cdot q_c} \right)^2 + 0.66 - \frac{b_{u'2}}{2 \cdot b_{12}} \right] \cdot k_{д} + \frac{h_{u2}}{b_{u'2}} + 1,12 \cdot \frac{h'_{u2} \cdot 10^6}{I_2}$$

$$= \left(\frac{25,06}{3 \cdot 6} \cdot \left(1 - \frac{\pi \cdot 6^2}{8 \cdot 115,272} \right)^2 + 0.66 \right) \cdot 1 + \frac{0,5}{1,5} + 1,12 \cdot \frac{0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6}{353,884} = 2,888$$

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

$$\lambda_{л2} = \frac{2.3 \cdot D_{\kappa}}{Z_2 \cdot \ell_{\delta} \cdot \Delta^2} \cdot \lg \frac{4.7 \cdot D_{\kappa}}{2 \cdot a_{\kappa} + b_{\kappa}} = \frac{2.3 \cdot 0,1381}{40 \cdot 0,19 \cdot 0,313^2} \cdot \lg \frac{4.7 \cdot 0,1381}{2 \cdot 0,012 + 0,035} = 0,4424$$

1.7.20 Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния обмотки ротора

$$\lambda_{\partial 2} = \frac{t_2}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta}} \cdot \xi = \frac{13,59}{12 \cdot 0.5 \cdot 1.2184} \cdot 1,0049 = 1,8677$$

где ξ – коэффициент

$$\xi = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot p}{Z_2} \right)^2 - \frac{\Delta_Z}{1 - (p/Z_2)^2} = 1 + \frac{1}{5} \cdot \left(\frac{\pi \cdot 2}{40} \right)^2 - \frac{0}{1 - (2/40)^2} = 1,0049$$

при закрытых пазах $\Delta_Z \approx 0$

1.7.21 Коэффициент магнитной проводимости скоса ротора

$$\lambda_{ск2} = \frac{t_2 \cdot (\beta_{ск})^2}{12 \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot k_{\mu}} = \frac{13,59 \cdot (0.839)^2}{12 \cdot 0.5 \cdot 1.2184 \cdot 1.2756} = 1,0257$$

Суммарный коэффициент магнитной проводимости обмотки ротора

$$\Sigma \lambda_2 = \lambda_{n2} + \lambda_{л2} + \lambda_{\partial 2} + \lambda_{ск2} = 2,8888 + 0,4424 + 1,8677 + 1,0257 = 6,2246$$

1.7.22 Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора

$$x_2 = 7.9 \cdot f_1 \cdot \ell_8 \cdot 10^{-6} \cdot (\lambda_{\Pi 2} + \lambda_{Л2} + \lambda_{Д2}) = \\ 7.9 \cdot 50 \cdot 0,19 \cdot 10^{-6} \cdot (6,2246) = 467,159 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$$

1.7.23 Приводим x_2 к числу витков обмотки статора

$$x_2' = x_2 \cdot \frac{4 \cdot m \cdot (W_1 \cdot \kappa_{обл})^2}{Z_2} = 467,159 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (80 \cdot 0.925)^2}{40} = 0,7677 \text{ Ом}$$

1.7.24 Относительное значение x_2

$$x_2^{*'} = x_2' \cdot \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 0,7677 \cdot \frac{34,8}{220} = 0,1214$$

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

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

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

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

1.8. Расчёт потерь

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

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

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

1.8.1 Масса стали зубцов статора

$$m_{z1} = h_{z1} \cdot b_{z1} \cdot Z_1 \cdot \ell_{cm1} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = \\ = 21,11 \cdot 10^{-3} \cdot 4,9345 \cdot 10^{-3} \cdot 48 \cdot 190 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97 \cdot 7800 = 7,2 \text{ кг}$$

где удельная масса стали $\gamma_c = 7800 \text{ кг/м}^3$.

1.8.2 Масса стали ярма статора

$$m_a = \pi \cdot (D_a - h_a) \cdot h_a \cdot \ell_{cm1} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = \\ = \pi \cdot (272 - 27,89) \cdot 10^{-3} \cdot 27,89 \cdot 10^{-3} \cdot 190 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97 \cdot 7800 = 30,75 \text{ кг}$$

1.8.3 Основные потери в стали

$$P_{cm.осн} = p_{1.0\%} \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^\beta \cdot (\kappa_{да} \cdot B_a^2 \cdot m_a + \kappa_{дз} \cdot B_z^2 \cdot m_{z1}) = \\ = 2,6 \cdot \left(\frac{50}{50} \right)^{1.5} \cdot (1,6 \cdot 1,276^2 \cdot 30,75 + 1,8 \cdot 1,888^2 \cdot 7,2) = 328,161 \text{ Вт}$$

где - удельные потери в стали для стали 2013 $p_{1.0\%} = 2,6 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$;

- показатель степени для стали 2013 $\beta = 1.5$;

-коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали неравномерности распределения потока по сечениям участков магнитопровода и технологических факторов $\kappa_{да} = 1.6$ и $\kappa_{дз} = 1.8$.

Добавочные потери в стали, возникающие при холостом ходе, подразделяются на поверхностные (потери в поверхностном слое

коронки зубцов статора и ротора от пульсаций индукции в воздушном зазоре) и пульсационные (от пульсации индукции в зубцах).

1.8.4 Амплитуда пульсации индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора

$$B_{02} = \beta_{02} \cdot \kappa_{\delta} \cdot B_{\delta} = 0,36 \cdot 1,2184 \cdot 0,794 = 0,348 \text{ Тл},$$

где коэффициент, зависящий от отношения ширины шлица пазов статора к воздушному зазору при $b_{\text{шл1}}/\delta=3,5/0,5=7$, $\beta_{02}=0,36$.

1.8.5 Удельные поверхностные потери

$$\begin{aligned} p_{\text{нов2}} &= 0,5 \cdot \kappa_{02} \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{10000} \right)^{1,5} \cdot (B_{02} \cdot t_1 \cdot 10^3)^2 = \\ &= 0,5 \cdot 1,7 \cdot \left(\frac{48 \cdot 1500}{10000} \right)^{1,5} \cdot (0,348 \cdot 11,39)^2 = 258,023 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \end{aligned}$$

1.8.6 Полные поверхностные потери ротора

$$\begin{aligned} P_{\text{нов2}} &= p_{\text{нов2}} \cdot (t_2 - b_{\text{ц2}}) \cdot Z_2 \cdot \ell_{\text{см2}} = \\ &= 258,023 \cdot (13,59 - 0,3) \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 0,19 = 23,703 \text{ Вт} \end{aligned}$$

1.8.7 Масса зубцов стали ротора

$$\begin{aligned} m_{z2} &= h_{z2} \cdot b_{z2} \cdot Z_2 \cdot \ell_{\text{см2}} \cdot \kappa_c \cdot \gamma_c = \\ &= 28,86 \cdot 10^{-3} \cdot 7,035 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 190 \cdot 10^{-3} \cdot 0,97 \cdot 7800 = 11,675 \text{ кг} \end{aligned}$$

1.8.8 Амплитуда пульсаций индукции в среднем сечении зубцов ротора

$$B_{\text{нул 2}} = \frac{\gamma_1 \cdot \delta}{2 \cdot t_2} \cdot B_{z2} = \frac{4,083 \cdot 0,5}{2 \cdot 13,59} \cdot 1,58 = 0,1187 \text{ Тл}$$

1.8.9 Пульсационные потери в зубцах ротора

$$P_{\text{нул 2}} = 0,11 \cdot \left(\frac{Z_1 \cdot n}{1000} \cdot B_{\text{нул 2}} \right)^2 \cdot m_{z2} = 0,11 \cdot \left(\frac{48 \cdot 1500}{1000} \cdot 0,1187 \right)^2 \cdot 11,675 = 93,814 \text{ Вт}$$

Поверхностные и пульсационные потери в статоре двигателя с короткозамкнутым ротором обычно очень малы, так как в пазах таких

роторов ширина шлица ротора небольшая и пульсации индукции в воздушном зазоре над головками зубцов статора незначительны. Поэтому расчёт этих потерь в статоре двигателя не производится.

1.8.10 Сумма добавочных потерь

$$P_{ст.доб} = P_{пов2} + P_{пуль2} = 23,703 + 93,814 = 117,517 \text{ Вт}$$

1.8.11 Полные потери в стали

$$P_{ст} = P_{ст.осн} + P_{ст.доб} = 328,161 + 117,517 = 445,677 \text{ Вт}$$

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

$$P_{мех} = K_T \cdot \left(\frac{n}{10} \right)^2 \cdot D_a^4 = 0,9464 \cdot \left(\frac{1500}{10} \right)^2 \cdot 0,272^4 = 116,556 \text{ Вт}$$

где коэффициент $K_T = 1,3 \cdot (1 - D_a) = 1,3 \cdot (1 - 0,272) = 0,9464$

1.8.13 Добавочные потери при номинальном режиме

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

$$P_{доб} = 0.005 \cdot \frac{P_2}{\eta} = 0.005 \cdot \frac{18,5 \cdot 10^3}{0.9} = 102,778 \text{ Вт}$$

1.8.14 Электрические потери при холостом ходе в обмотке статора

$$P_{эл,х} = m \cdot I_\mu^2 \cdot r_l = 3 \cdot (9,815)^2 \cdot 0,2262 = 65,388 \text{ Вт}$$

1.8.15 Активная составляющая тока холостого хода

$$I_{x,x,a} = \frac{P_{cm} + P_{Mex} + P_{элx,x}}{m \cdot U_{1H}} = \frac{445,677 + 116,556 + 65,388}{3 \cdot 220} = 0,9509 \text{ A}$$

1.8.16 Ток холостого хода двигателя

$$I_{x,x} = \sqrt{I_{x,x,a}^2 + I_{\mu}^2} = \sqrt{(0,951)^2 + (9,815)^2} = 9,8614 \text{ A}$$

1.8.17 Коэффициент мощности при холостом ходе

$$\cos \varphi_{x,x} = \frac{I_{x,x,a}}{I_{x,x}} = \frac{0,951}{9,861} = 0,0964$$

1.9 Расчёт рабочих характеристик

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

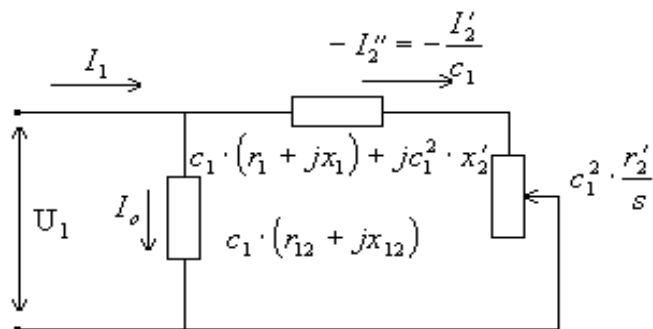


Рис1.4. Преобразованная Г-образная схема замещения приведённой асинхронной машины.

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

1.9.1 Расчётное сопротивление r_{12}

$$r_{12} = \frac{P_{ст.осн}}{m \cdot I_{\mu}^2} = \frac{328,161}{3 \cdot (9,815)^2} = 1,1354 \text{ Ом}$$

1.9.2 Сопротивление взаимной индукции обмоток статора и ротор

$$x_{12} = \frac{U_{1H}}{I_{\mu}} - x_1 = \frac{220}{9,815} - 0,525 = 21,889 \text{ Ом}$$

1.9.3 Коэффициент c_1

$$c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_{12}} = 1 + \frac{0,525}{21,889} = 1,02398$$

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

Для расчёта рабочих характеристик выбираем аналитический метод. Расчёт характеристик проводим, задаваясь значениями скольжений в диапазоне $s=(0.005 \div 0.05)$.

Номинальное скольжение предварительно принимаем равным $s_H=r_2^{*'}=0.044$. Для построения характеристик достаточно рассчитать значения требуемых величин для пяти-шести различных скольжений, выбранных в указанном диапазоне примерно через равные интервалы.

1.9.4 Ток синхронного холостого хода

$$I_{oa} = \frac{P_{ст.осн} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3 \cdot U_1} = \frac{328,161 + 65,388}{3 \cdot 220} = 0,596 \text{ A}$$

$$I_{op} = I_{\mu} = 9,815 \text{ A}$$

$$I_o = \sqrt{I_{oa}^2 + I_{op}^2} = \sqrt{(0,596)^2 + (9,815)^2} = 9,8335 \text{ A}$$

1.9.5 Постоянные коэффициенты

$$a' = c_1^2 = 1,04853$$

$$b' = 0$$

$$a = c_1 \cdot r_1 = 0,23166$$

$$b = c_1 (x_1 + c_1 \cdot x_2') = 1,34245$$

Результаты расчёта сведены в табл.1.1

Таблица 1.1

N п/п	Расчётная формула	Ед- ца.	Скольжение						
			0,005	0,01	0,015	0,02	0,0	0,044268	0,05
1	$a \cdot r'_2/s$		58,301	29,151	19,434	14,575	9,717	6,585	5,830
2	$b' \cdot r'_2/s$	Ом	0	0	0	0	0	0	0
3	$R = a + a' \cdot r'_2/s$	Ом	58,533	29,382	19,665	14,807	9,949	6,817	6,062
4	$X = b + b' \cdot r'_2/s$	Ом	1,3425	1,3425	1,3425	1,3425	1,3425	1,3425	1,3425
5	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	Ом	58,548	29,413	19,711	14,867	10,038	6,9477	6,208
6	$I''_2 = U_{н1}/Z$	А	3,757	7,479	11,161	14,797	21,915	31,6654	35,434
7	$\cos \varphi'_2 = R/Z$	–	0,9997	0,9989	0,9977	0,9959	0,991	0,98115	0,9763
8	$\sin \varphi'_2 = X/Z$	–	0,023	0,046	0,068	0,09	0,134	0,193	0,216
9	$I_{1a} = I_{oa} + I''_2 \cdot \cos \varphi'_2$	А	4,353	8,068	11,732	15,333	22,315	31,665	35,192
10	$I_{1p} = I_{op} + I''_2 \cdot \sin \varphi'_2$	А	9,902	10,157	10,576	11,151	12,746	15,934	17,477
11	$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$	А	10,816	12,971	15,795	18,959	25,698	35,448	39,293
12	$I'_2 = c_1 \cdot I''_2$	А	3,848	7,659	11,429	15,152	22,441	32,425	36,284
13	$P_1 = 3 \cdot U_{1'} \cdot I_{1a}$	Вт	2872,89	5324,99	7742,79	10119,8	14727,6	20898,86	23226,95
14	$P_{\text{э1}} = 3 \cdot I_1'^2 \cdot r_1$	Вт	79,4	114,2	169,32	243,96	448,22	852,83	1047,88
15	$P_{\text{э2}} = 3 \cdot I_2'^2 \cdot r_2'$	Вт	12,35	48,93	108,94	191,48	420,01	876,88	1098,04
16	$P_{\text{доб}} = P_{\text{доб.н}} \cdot (I_1/I_{1н})^2$	Вт	9,929	14,281	21,174	30,508	56,051	106,649	131,041
17	$\Sigma P = P_{\text{см}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{э1}} + P_{\text{э2}} + P_{\text{доб}}$	Вт	663,91	739,63	861,66	1028,19	1486,5	2398,6	2839,2
18	$P_2 = P_1 - \Sigma P$	кВт	2,209	4,585	6,881	9,092	13,241	18,5	20,388
19	$\eta = 1 - \Sigma P/P_1$	–	0,7689	0,8611	0,887	0,8984	0,8991	0,8852	0,8778
20	$\cos \varphi = I_{1a}/I_1$	–	0,4024	0,622	0,7428	0,8087	0,8683	0,8933	0,8956

По результатам расчётов строятся рабочие характеристики, которые представлены на рисунке 1.5. После построения зависимости $s=f(P_2)$ уточняем значение номинального скольжения $s_H=0.044268$

Номинальные данные спроектированного двигателя: $P_{2H}=18,5$ кВт,
 $I_{H1}=35,448$ $\eta=0.885$ $U_{H1}=220$ В, $\cos\varphi=0.8933$

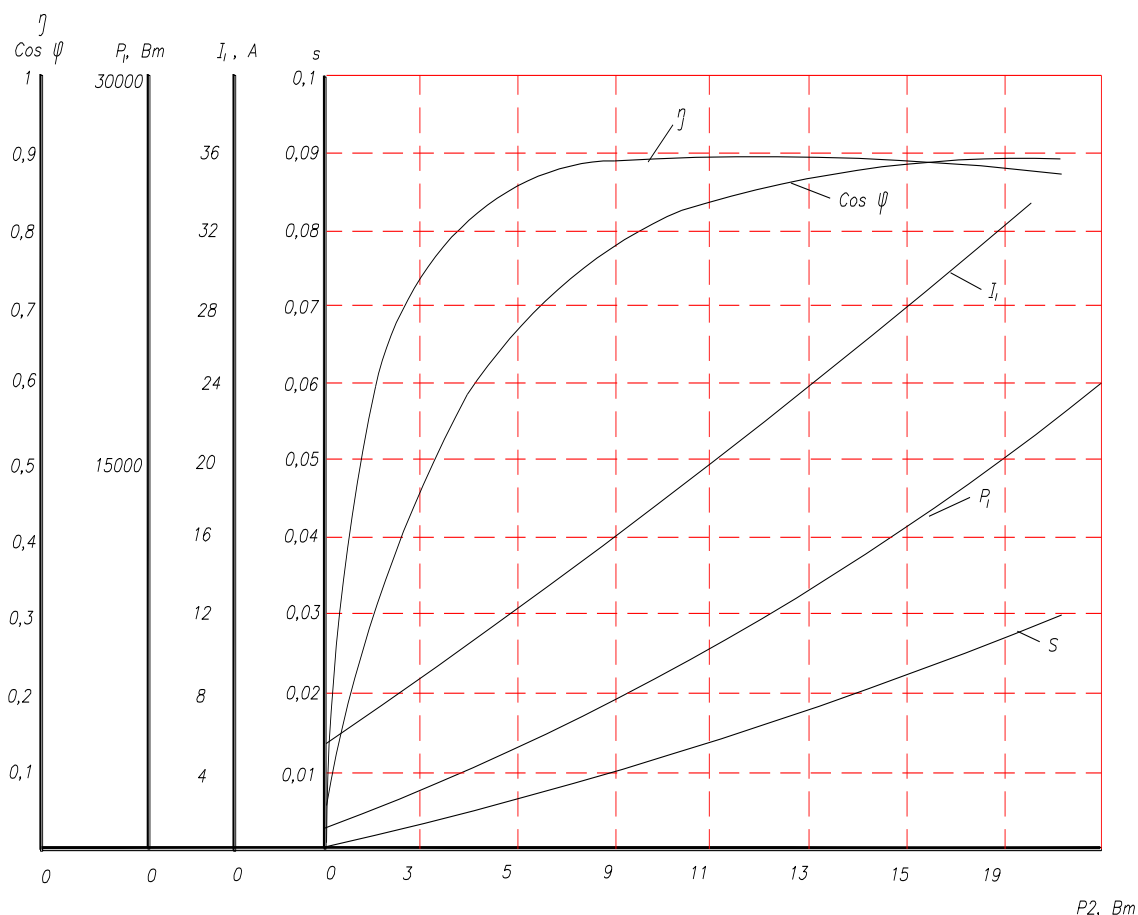


Рис1.5. Рабочие характеристики

1.10. Расчёт пусковых характеристик

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

Расчёт для $S=1$.

1.10.1 Активное сопротивление обмотки ротора с учётом влияния эффекта вытеснения тока ($v_{расч}=75^{\circ}\text{C}$; $\rho_{75} = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{32}{19} \text{ Ом}\cdot\text{м}$)

$$h_c = h_{n2} - h'_{u2} - h_{u2} = 29,08 - 0,3 - 0,5 = 28,28 \text{ мм}$$

$$\xi = 65,15 \cdot h_c \cdot \sqrt{s} = 65,15 \cdot 28,28 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{1} = 1,843;$$

для $\xi = 1,843$ $\varphi = 0,7$;

для $\xi = 1,843$ $\varphi' = k_d = 0,8$;

глубина проникновения тока:

$$h_r = \frac{h_c}{1 + \varphi} = \frac{28,28}{1 + 0,7} = 16,64 \text{ мм}$$

площадь сечения q_r :

$$q_r = \frac{\pi b_{12}^2}{8} + \frac{b_{12} + b_r}{2} \left(h_r - \frac{b_{12}}{2} \right) = \frac{\pi \cdot 6^2}{8} + \frac{6 + 3,86}{2} \left(16,64 - \frac{6}{2} \right) = 81,39 \text{ мм}^2,$$

где:

$$b_r = b_{12} - \frac{b_{12} - b_{22}}{h_{12}} \left(h_r - \frac{b_{12}}{2} \right) = 6 - \frac{6 - 2,2}{24,18} \left(16,64 - \frac{6}{2} \right) = 3,8606 \text{ мм};$$

коэффициент k_r :

$$k_r = q_c / q_r = 115,272 / 81,39 = 1,416;$$

коэффициент общего увеличения сопротивления фазы ротора под влиянием эффекта вытеснения тока:

$$K_R = 1 + \frac{r_c}{r_2} (k_r - 1) = 1 + \frac{129,118 \cdot 10^{-6}}{169,169 \cdot 10^{-6}} (1,419 - 1) = 1,318;$$

приведённое активное сопротивление ротора с учётом влияния эффекта вытеснения тока:

$$r'_{2\xi} = K_R r'_2 = 1,318 \cdot 0,278 = 0,3664 \text{ Ом}$$

1.10.2 Коэффициент изменения индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора от действия эффекта вытеснения тока:

$$K_x = \frac{\lambda_{n2\xi} + \lambda_{n2} + \lambda_{\partial 2}}{\Sigma \lambda_2} = \frac{2,5676 + 0,44235 + 1,8677 + 1,0257}{6,2246} = 0,948;$$

где $\lambda_{n2\xi}$ – коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния с учетом эффекта вытеснения тока:

$$\lambda_{n2\xi} = \lambda_{n2} - \Delta \lambda_{n2\xi} = 2,8888 - 0,3212 = 2,5676,$$

где

$$\begin{aligned} \Delta \lambda_{n2\xi} &= \left(\frac{h_{12}}{3 \cdot b_{21}} \left(1 - \frac{\pi \cdot b_{21}^2}{8 \cdot q_c} \right) + 0,66 - \frac{b_{u2}}{2 \cdot b_{21}} \right) \cdot (1 - k_D) = \\ &= \left(\frac{25,06}{3 \cdot 6} \left(1 - \frac{\pi \cdot 6^2}{8 \cdot 115,272} \right) + 0,66 - \frac{1,5}{2 \cdot 6} \right) \cdot (1 - 0,8) = 0,3212 \end{aligned}$$

1.10.3 Индуктивное сопротивление обмотки ротора с учетом влияния эффекта вытеснения тока

$$x'_{2\xi} = x'_2 \cdot K_x = 0,7677 \cdot 0,948 = 0,728$$

1.10.4 Пусковые параметры

$$x_{12\Pi} = k_\mu \cdot x_{12} = 1,27556 \cdot 21,8888 = 27,9205$$

$$c_{1\Pi} = 1 + \frac{x_1}{x_{12\Pi}} = 1 + \frac{0,52487}{27,9205} = 1,0188$$

1.10.5 Расчёт тока с учётом влияния эффекта вытеснения тока:

$$R_n = r_1 + r'_{2\xi} \cdot c_{1\Pi} / s = 0,2262 + 0,36635 \cdot 1,0188 / 1 = 0,59947 \text{ Ом},$$

$$X_n = x_1 + x'_{2\xi} \cdot c_{1\Pi} = 0,52487 + 0,72812 \cdot 1,0188 = 1,2666 \text{ Ом}$$

Ток в обмотке ротора:

$$I_2' = \frac{U_{H1}}{\sqrt{R_n^2 + X_n^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,59947^2 + 1,2666^2}} = 156,99 \text{ A}$$

$$I_{1\Pi} = I_2' \cdot \frac{\sqrt{R_n^2 + (X_n + x_{12\Pi})^2}}{c_{1\Pi} \cdot x_{12\Pi}} = 156,99 \cdot \frac{\sqrt{0,59947^2 + (1,2666 + 27,92)^2}}{27,92 \cdot 1,0188} = 161,118 \text{ A}$$

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

Подробный расчёт для S=1.

1.10.6 Индуктивные сопротивления обмоток.

Принимаем $k_n=1.35, 1.3, 1.25, 1.2, 1.15, 1.1, 1.05$;

Средняя МДС обмотки, отнесённая к одному пазу обмотки статора

$$F_{n.cp} = 0.7 \cdot \frac{I_{1\Pi} \cdot k_{nac} \cdot u_{n1}}{a} \left(k_{\beta}' + k_{y1} \cdot k_{o\delta 1} \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \right) =$$

$$= 0.7 \cdot \frac{161,118 \cdot 1,35 \cdot 10}{1} \left(0,8747 + 0,9658 \cdot 0,925 \cdot \frac{48}{40} \right) = 2963,92 \text{ A}$$

коэффициент C_N :

$$C_N = 0.64 + 2.5 \sqrt{\frac{\delta}{t_{Z1} + t_{Z2}}} = 0.64 + 2.5 \sqrt{\frac{0,5}{11,39 + 13,59}} = 0,9937,$$

фиктивная индукция потока рассеяния в воздушном зазоре:

$$B_{\Phi\delta} = \frac{F_{n.cp} \cdot 10^{-6}}{1.6 \cdot \delta \cdot C_N} = \frac{2963,92 \cdot 10^{-6}}{1.6 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9937} = 3,7283 \text{ Тл},$$

для $B_{\Phi\delta} = 3,7283 \text{ Тл}$ находим $\chi_{\delta} = 0,56$.

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки статора с учётом влияния насыщения:

$$c_1 = (t_1 - b_{III}) (1 - \chi_\delta) = (11,39 - 3,5) (1 - 0,56) = 3,4708 \text{ мм}.$$

Уменьшение коэффициента проводимости рассеяния паза статора:

$$\Delta\lambda_{n1nac} = \frac{h_{u1} + 0,58h_k}{b_{u1}} \frac{c_1}{c_1 + 1,5b_{u1}} = \frac{0,7 + 0,58 \cdot 1,63}{3,5} \frac{3,4708}{3,4708 + 1,5 \cdot 3,5} = 0,1871$$

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза статора с учетом насыщения:

$$\lambda_{n1nac} = \lambda_{n1} - \Delta\lambda_{n1nac} = 1,4744 - 0,1871 = 1,2874.$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния статора с учетом насыщения:

$$\lambda_{\partial 1nac} = \lambda_{\partial 1} \cdot \chi_\delta = 1,8489 \cdot 0,56 = 1,0354$$

$$\Sigma\lambda_{1nac} = \lambda_{n1nac} + \lambda_{\partial 1nac} + \lambda_{л1} = 1,2874 + 1,0354 + 1,0476 = 3,3704$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора с учетом насыщения:

$$x_{1nac} = x_1 \cdot \frac{\Sigma\lambda_{1nac}}{\Sigma\lambda_1} = 0,52487 \cdot \frac{3,74945}{4,37097} = 0,40472 \text{ Ом}$$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния обмотки ротора с учетом насыщения и вытеснения тока:

$$\Delta\lambda_{n2нас} = \frac{h_{u2}}{b_{u2}} \frac{c_2}{c_2 + b_{u2}} = \frac{0,5}{1,5} \cdot \frac{5,3185}{5,3185 + 1,5} = 0,416,$$

где c_2 [1, с.220]:

$$c_2 = (t_2 - b_{u2})(1 - \chi_\delta) = (13,59 - 1,5)(1 - 0,56) = 5,3185 \text{ мм.}$$

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния паза ротора с учетом насыщения:

$$\lambda_{n2\xi нас} = \lambda_{n2\xi} - \Delta\lambda_{n2нас} = 2,5676 - 0,416 = 2,1516$$

Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния статора с учетом насыщения:

$$\lambda_{\partial 2 нас} = \lambda_{\partial 2} \cdot \chi_\delta = 1,86775 \cdot 0,56 = 1,04594.$$

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

$$x'_{2\xi нас} = x'_2 \frac{\Sigma\lambda_{2\xi нас}}{\Sigma\lambda_2} = 0,7677 \frac{4,6656}{6,2246} = 0,57545 \text{ Ом}$$

$$\Sigma\lambda_{2\xi нас} = \lambda_{n2\xi нас} + \lambda_{\partial 2 нас} + \lambda_{л2} + \lambda_{ск} = 2,1516 + 1,04594 + 0,44235 + 1,0257 = 4,6656$$

коэффициент $C_{1п.нас}$ [1, с.222]:

$$C_{1п.нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12n}} = 1 + \frac{0,40472}{27,9205} = 1.0145$$

1.10.7 Расчет токов и моментов.

Сопротивления:

$$R_{п.нас} = r_1 + c_{1п.нас} \frac{r'_{2\xi}}{s} = 0,22623 + 1,0145 \frac{0,36635}{1} = 0,59789 \text{ Ом}$$

$$X_{п.нас} = X_{1нас} + c_{1п.нас} x'_{2\xi нас} = 0,4047 + 1,0145 \cdot 0,57545 = 0,9885 \text{ Ом}.$$

Токи:

$$I'_{2n} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_{п.нас}^2 + X_{п.нас}^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,5979^2 + 0,9885^2}} = 190,434 \text{ А}$$

$$\begin{aligned} I_{1n} &= I'_{2n} \frac{\sqrt{R_{п.нас}^2 + (X_{п.нас} + x_{12n})^2}}{c_{1п.нас} \cdot x_{12n}} = \\ &= 190,434 \cdot \frac{\sqrt{0,5979^2 + (0,9885 + 27,9205)^2}}{1.0145 \cdot 27,9205} = 194,4 \text{ А}. \end{aligned}$$

Кратность пускового тока с учётом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения:

$$I_{П*} = \frac{I_{1нас}}{I_{ном}} = \frac{194,4}{35,447} = 5,484$$

Кратность пускового момента с учётом влияния эффекта вытеснения тока и насыщения:

$$M'_n = \left(\frac{I'_{2n}}{I'_{2H}} \right)^2 K_R \frac{S_{НОМ}}{S} = \left(\frac{190,434}{32,4247} \right)^2 \cdot 1,3177 \cdot \frac{0,044268}{1} = 2,012$$

1.10.8. Критическое скольжение:

$$S_{кр} = \frac{r'_2}{x'_{2\xi n нас} + \frac{x_{1нас}}{C_{1n.нас}}} = 0.26$$

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

Таблица 1.2. Расчёт пусковых характеристик с учётом эффекта вытеснения тока и насыщения от полей рассеяния.

№	Расчётная формула	Ед	Скольжение S					
			1	0.8	0.5	0.26	0.2	0,1
1	$\xi = 65.15 h_c \sqrt{s}$	—	1.843	1.648	1.303	0.94	0.824	0.583
2	$\varphi(\xi)$	—	0.7	0.48	0.2	0.08	0.05	0.02
3	$k_r = q_c / q_r$	—	1.416	1.274	1.104	1.038	1.022	1.006
4	$K_R = 1 + \frac{r'_c}{r'_2} (k_r - 1)$	—	1.318	1.209	1.08	1.029	1.017	1.005
5	$r'_{2\xi} = K_R r'_2$	Ом	0.3663	0.3362	0.3002	0.286	0.2826	0.2794
6	$k_d = \varphi'(\xi)$	—	0.8	0.85	0.93	0.97	0.98	0.985
7	$K_x = \Sigma \lambda_{2\xi} / \Sigma \lambda_2$	—	0.948	0.961	0.982	0.992	0.995	0.996
8	$x'_{2\xi} = x'_2 K_x$	Ом	0.728	0.738	0.754	0.762	0.764	0.765

9	$x'_{2\varphi_{нас}} = x'_2 \frac{\sum \lambda_{2\varphi_{нас}}}{\sum \lambda_2}$	Ом	0.5755	0.5931	0.6274	0.6517	0.6771	0.7205
10	$x_{1нас} = x_1 \frac{\sum \lambda_{1нас}}{\sum \lambda_1}$	--	0.4047	0.4123	0.4303	0.446	0.4674	0.501
11	$c_{1п.нас} = 1 + \frac{x_{1нас}}{x_{12п}}$	—	1.0145	1.01477	1.0154	1.01597	1.01674	1.0179
12	$R_{п.нас} = r_1 + c_{1п.нас} \frac{r'_{2\varphi}}{s}$	Ом	0.5979	0.6527	0.8358	1.3438	1.663	3.0699
13	$X_{п.нас} = X_{1нас} + c_{1п.нас} x'_{2\varphi_{нас}}$	Ом	0.9885	1.0142	1.0673	1.1081	1.1559	1.2345
14	$I'_{2нас} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{R_{п.нас}^2 + X_{п.нас}^2}}$	А	190.434	182.41	162.28	126.312	108.628	66.488
15	$I_{1нас} = I'_{2нас} \frac{\sqrt{R_{п.нас}^2 + (X_{п.нас} - X_{12п})^2}}{c_{1п.нас} \cdot X_{12п}}$	А	194.4	186.335	166.001	129.398	111.444	68.581
16	$I_{п*} = \frac{I_{1п.нас}}{I_{1ном}}$	—	5.484	5.2566	4.683	3.6504	3.1439	1.9347
17	$M'_{п} = \left(\frac{I'_{2п.нас}}{I'_{2ном}} \right)^2 K_R \frac{S_{ном}}{S}$	—	2.0121	2.118	2.3945	2.6579	2.5254	1.8703

Жирным шрифтом выделены значения для номинального режима

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

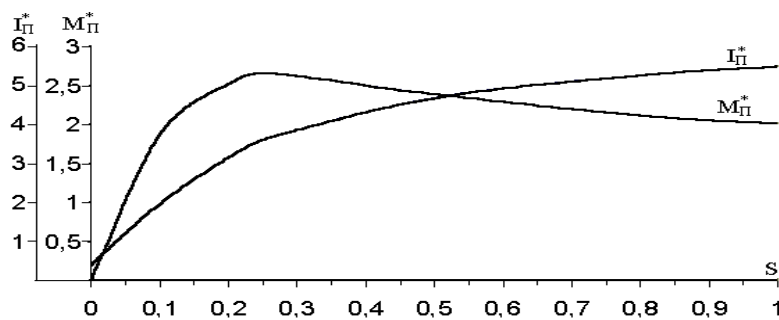


Рисунок 1.6. Пусковые характеристики

2. Механический расчет

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

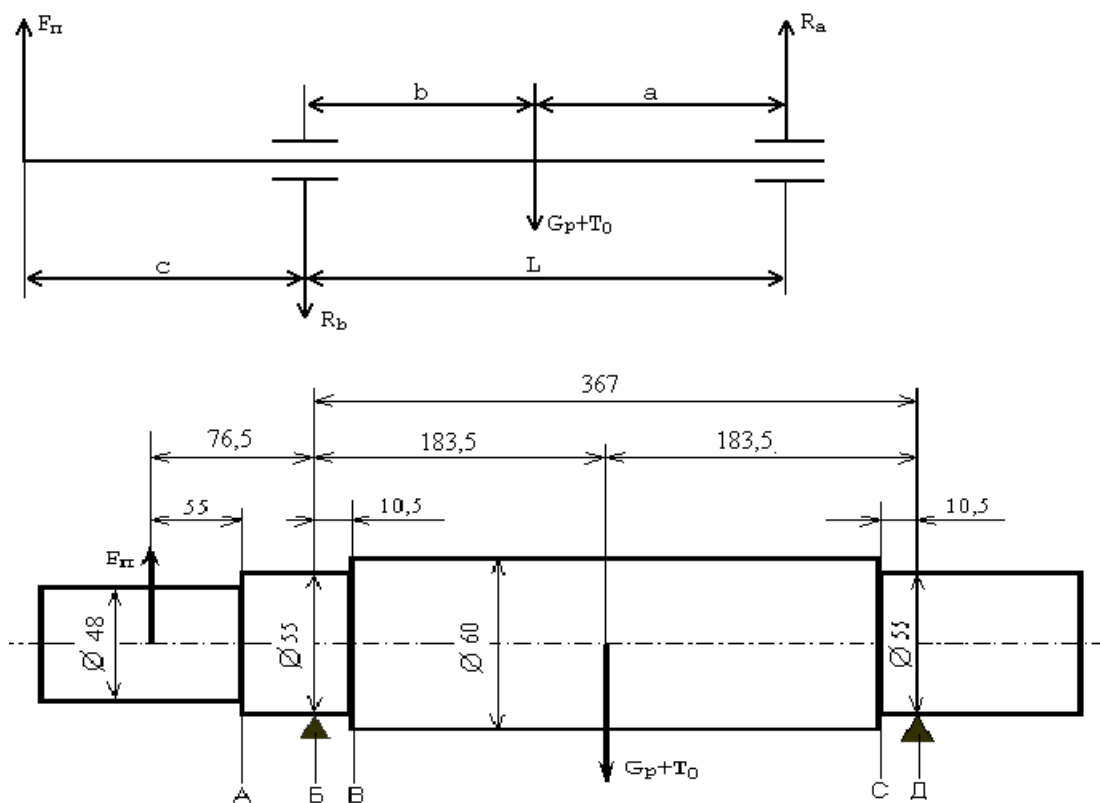


Рисунок 2.1 Конструкция и основные размеры вала для механического расчёта.

$$a = 183,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad b = 183,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad c = 76,5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$x = y = 10,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad l = 367 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$\Phi_1 = 60 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad \Phi_2 = 55 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad \Phi_3 = 48 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

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

2.1. Расчёт на жёсткость.

2.1.1 Определим приближённое значение силы тяжести:

$$m_p = 6500 \cdot D_2^2 \cdot l_2 = 6500 \cdot 0.173^2 \cdot 0.19 = 36,962 \text{ кг},$$

2.1.2 Определим момент инерции участка вала:

$$J = \frac{\pi \cdot d_2^4}{64} = \frac{\pi \cdot 55 \cdot 10^{-3}}{64} = 4,492 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2,$$

2.1.3 Приближённое значение силы тяжести:

$$G_p = 9.81 \cdot m_p = 9.81 \cdot 36,962 = 362,6 \text{ Н},$$

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

Для асинхронного двигателя с $h < 160 \text{ мм}$ с достаточным приближением можно принять коэффициенты:

$$S_a = S_b = (a^3 - x^3) / J = (0,1835^3 - 0,0105^3) / 4,492 \cdot 10^{-7} = 1,375 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$$

$$S_0 = (a^2 - x^2) / J = (0,1835^2 - 0,0105^2) / 4,492 \cdot 10^{-7} = 7,472 \cdot 10^4 \text{ м}^{-2}$$

2.1.4 Прогиб вала под действием силы тяжести:

$$\begin{aligned} f_T &= \frac{G_p}{3 \cdot l^2 \cdot E} \cdot (a^2 \cdot S_b + b^2 \cdot S_a) = \\ &= \frac{362,6}{3 \cdot 0,367^2 \cdot 2,06 \cdot 10^{11}} \cdot 2 \cdot (0,1835^2 \cdot 1,375 \cdot 10^4) = 4,035 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \end{aligned}$$

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

2.1.4 Определим номинальный вращающий момент:

$$M_2 = 9.55 \cdot \frac{P_2}{n} = 9.55 \cdot \frac{18500}{1500} = 123,239 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

2.1.5 Реакция передачи :

$$F_{II} = \frac{k_n}{r} \cdot M_{ном} = \frac{0.3}{80 \cdot 10^{-3}} \cdot 123,239 = 462,146 \text{ Н},$$

где $k_n = 0.3$ коэффициент при передаче упругой кулачковой муфтой.

Радиус упругой муфты $r = 80 \cdot 10^{-3}$

2.1.6 Прогиб вала посредине сердечника ротора от реакции передачи:

$$\begin{aligned} f_{II} &= \frac{F_{II} \cdot c}{3 \cdot E \cdot l^2} \cdot ((1.5 \cdot l \cdot S_0 - S_b) \cdot a + b \cdot S_a) = \\ &= \frac{462.146 \cdot 0.0765}{3 \cdot 2.06 \cdot 10^{11} \cdot 0.367^2} \cdot ((1.5 \cdot 0.367 \cdot 7.472 \cdot 10^4 - 1.375 \cdot 10^4) \cdot \\ &0.1835 + 0.1835 \cdot 1.375 \cdot 10^4) = 3.206 \cdot 10^{-6} \text{ м} \end{aligned}$$

2.1.7 Начальный эксцентриситет ротора:

$$e_0 = 0.1 \cdot \delta + f_T + f_{II} = 0.1 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} + 4.035 \cdot 10^{-6} + 3.206 \cdot 10^{-6} = 5.724 \cdot 10^{-5}$$

2.1.8 Начальная сила одностороннего магнитного притяжения:

$$T_0 = 2.94 \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \frac{e_0}{\delta} \cdot 10^5 = 2.94 \cdot 0.173 \cdot 0.19 \cdot \frac{5.724 \cdot 10^{-5}}{5 \cdot 10^{-4}} \cdot 10^5 = 1.106 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

2.1.9 Прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения:

$$f_0 = f_T \cdot \frac{T_0}{G_p} = 4.035 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1.106 \cdot 10^3}{362.6} = 1.231 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

2.1.10 Установившийся прогиб вала под действием начальной силы магнитного притяжения:

$$f_M = \frac{f_0}{1 - f_0/e_0} = \frac{1,231 \cdot 10^{-5}}{1 - 1,231 \cdot 10^{-5}/5,724 \cdot 10^{-5}} = 1,568 \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

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

$$f = f_T + f_{II} + f_M = 4.035 \cdot 10^{-6} + 3.206 \cdot 10^{-6} + 15,68 \cdot 10^{-6} = 22,92 \cdot 10^{-6} \text{ м,}$$

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

$$x = \frac{f}{\delta} \cdot 100\% = \frac{22,92 \cdot 10^{-6}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \cdot 100\% = 4,5\%$$

2.1.13 Определение критической частоты вращения вала.

$$n_{кр} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - f_0/e_0}{f_T + f_{ук}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{1,231 \cdot 10^{-5}}{5,724 \cdot 10^{-5}}}{4,035 \cdot 10^{-6}}} = 1,323 \cdot 10^4 \text{ об /мин,}$$

Полученное значение должно удовлетворять неравенству: $n_{кр} > 1.3 \cdot n$;

Проверим это условие $13230 > 1950$. Условие выполняется.

2.2. Расчёт на прочность.

2.2.1 Изгибающий момент в сечении А:

$$M_{uA} = k \cdot F_{II} \cdot Z_1 = 2 \cdot 462,146 \cdot 0,055 = 50,836 \text{ Н·м}$$

где k - коэффициент перегрузки, k = 2 .

2.2.2 Момент сопротивления при изгибе

$$W_A = 0.1 \cdot d_1^3 = 0.1 \cdot 0.048^3 = 1.106 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

2.2.3 Напряжение изгиба

$$\sigma = \frac{1}{W_A} \sqrt{M_{uA}^2 + (k \cdot \alpha \cdot M_{ном})^2} = \frac{1}{1,106 \cdot 10^{-5}} \sqrt{50,836^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 123,239)^2} = 1,841 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

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

2.2.4 Изгибающий момент в сечении В:

$$M_{uB} = k \cdot F_{\Pi} \cdot c \cdot \left(1 - \frac{y_1}{l}\right) + (G_P + T) \cdot \frac{a \cdot y_1}{l} = \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$= 2 \cdot 462,146 \cdot 0,0765 \left(1 - \frac{0,0105}{0,367}\right) + (362,6 + 1409) \cdot \frac{0,1835 \cdot 0,0105}{0,367} = 77,989$$

где T – нагрузка от установившегося магнитного напряжения

$$T = \frac{T_0}{1 - m} = \frac{1,106 \cdot 10^3}{1 - 0,215} = 1,409 \cdot 10^3$$

2.2.5 Момент сопротивления при изгибе

$$W_B = 0,1 \cdot d_2^3 = 0,1 \cdot 0,055^3 = 1,664 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

2.2.6 Напряжение изгиба

$$\sigma = \frac{1}{W_B} \sqrt{M_{иВ}^2 + (k \cdot \alpha \cdot M_{ном})^2} = \frac{1}{1,664 \cdot 10^{-5}} \sqrt{77,989^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 123,239)^2} = 1,274 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

2.2.7 Изгибающий момент в сечении С:

$$M_{uC} = (k \cdot F_{\Pi} \cdot c + (G_P + T) \cdot b) \cdot \frac{x_1}{l} = \text{Н}\cdot\text{м}$$

$$= (2 \cdot 462,146 \cdot 0,0765 + (362,6 + 1409) \cdot 0,1835) \cdot \frac{0,0105}{0,367} = 11,326$$

2.2.8 Момент сопротивления при изгибе

$$W_C = 0,1 \cdot d_2^3 = 0,1 \cdot 0,055^3 = 1,664 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

2.2.9 Напряжение изгиба

$$\sigma = \frac{1}{W_C} \sqrt{M_{иС}^2 + (k \cdot \alpha \cdot M_{ном})^2} = \frac{1}{1,664 \cdot 10^{-5}} \sqrt{11,326^2 + (2 \cdot 0,8 \cdot 123,239)^2} = 1,187 \cdot 10^7 \text{ Па}$$

Наиболее нагруженным сечением является сечение А, для которого $\sigma_{\text{прА}} = 1,841 \cdot 10^7 < 0,7 \cdot 36 \cdot 10^7$ Па, где предел текучести для стали 45 $36 \cdot 10^7$ Па.

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

2.3 Выбор подшипников.

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

Данные для расчёта: $G_P = 362,6$ Н; $T_0 = 1106$ Н; $F_n = 462,146$ Н;

2.3.1 Наибольшая радиальная нагрузка на подшипник расположенный ближе к выходному концу вала:

$$R_a = F_{II} \cdot \frac{c}{l} + (G_P + T_0) \cdot \frac{b}{l} = 462,146 \cdot \frac{76,5}{367} + (362,6 + 1106) \cdot \frac{183,5}{367} = 830,793 \text{ Н,}$$

2.3.2 Принимаем при нагрузке с умеренными толчками ($k_n = 1,5$ - коэффициент учитывающий характер нагрузки двигателя). Для однорядных радиальных шарикоподшипников динамическая приведённая нагрузка на один подшипник:

$$Q_A = k_n \cdot R_a = 1,5 \cdot 830,793 = 1246 \text{ Н,}$$

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

2.3.3 Необходимая динамическая грузоподъёмность шарикоподшипника:

$$C = \frac{Q_A}{25,6} \cdot \sqrt[3]{L_D \cdot n} = \frac{1246}{25,6} \cdot \sqrt[3]{18000 \cdot 1500} = 14604 \text{ Н,}$$

Выбираем шарикоподшипник лёгкой серии 211, $C = 33400$ Н.

2.3.4 Радиальная нагрузка для опоры В:

Наибольшая радиальная нагрузка на другой подшипник:

$$R_b = F_{II} \cdot \frac{c+l}{l} + (G_p + T_0) \cdot \frac{a}{l} = 462,146 \cdot \frac{76.5 + 367}{367} + (362,6 + 1106) \cdot \frac{183.5}{367} = 1293 \text{ Н}$$

Для однорядных радиальных подшипников динамическая приведённая нагрузка на один подшипник:

$$Q_B = k_n \cdot R_B = 1,5 \cdot 1293 = 1939 \text{ Н},$$

Необходимая динамическая грузоподъёмность шарикоподшипника:

$$C_B = \frac{Q_B}{25.6} \cdot \sqrt[3]{L_D \cdot n} = \frac{1939}{25.6} \cdot \sqrt[3]{18000 \cdot 1500} = 22730 \text{ Н},$$

Выбираем шарикоподшипник лёгкой серии 211, С = 33400 Н.

В данном разделе дипломного проекта был произведен механический расчет вала на прогиб и на прочность: вследствие чего были определены величины прогибов на основных участках вала и критическая частота вращения магнитопровода ротора. Исходя из воспринимаемых валом нагрузок, его размеров, намеченных предварительно, и допустимых напряжений, выбран материал вала Ст.45, который удовлетворяет предъявляемым требованиям, так же выбраны подшипники серии 211.

3. Тепловой и вентиляционный расчет.

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

Расчёт нагрева проводят, используя значения потерь, полученных для номинального режима, но потери в изолированных обмотках статора несколько увеличивают по сравнению с расчётными, предполагая, что обмотки могут быть нагреты до предельно допустимой для принятого класса изоляции температуры при классе нагревостойкости изоляции В – до плюс 120°C . При этом коэффициент увеличения потерь k_p по сравнению с полученными для расчётной температуры составит $k_p = \rho_{120}/\rho_{75} = 1.15$.

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

$$P'_{\text{эл.1}} = k_p \cdot P_{\text{эл}} \cdot \frac{2 \cdot l_{\delta}}{l_{\text{ср1}}} = 1.15 \cdot 852,831 \cdot \frac{2 \cdot 0.19}{0.8184} = 455,371 \text{ Вт}$$

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

$$\Delta t_{\text{ноел}} = K \cdot \frac{P'_{\text{эл.1}} + P_{\text{ст.осн}}}{\pi \cdot D \cdot l_{\delta} \cdot \alpha_1} = 0,2 \cdot \frac{455,371 + 328,161}{3,14 \cdot 0,174 \cdot 0,19 \cdot 105} = 14,37^{\circ}\text{C},$$

где α_1 - коэффициент теплоотдачи с поверхности, $\alpha_1 = 105 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

K – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передаётся через станину непосредственно в окружающую среду, $K = 0,2$.

3.2. Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статор:

$$\Delta v_{uz.n1} = \frac{P'_{э.н.1}}{Z_1 \cdot \Pi_{n1} \cdot l_\delta} \cdot \left(\frac{b_{uz}}{\lambda'_{э.кв}} + \frac{b_1 + b_2}{16 \cdot \lambda'_{э.кв}} \right) =$$

$$= \frac{455,371}{48 \cdot 0,0582 \cdot 0,19} \cdot \left(\frac{0,37 \cdot 10^{-3}}{0,16} + \frac{(9,2 + 7) \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 1,4} \right) = 2,596$$

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

$$\Pi_{n1} = 2 \cdot h_n + b_1 + b_2 = 2 \cdot 0,0211 + 9,2 \cdot 10^{-3} + 7 \cdot 10^{-3} = 0,0582 \text{ м},$$

где $\lambda_{э.кв}$ - средняя эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции;

для классов нагревостойкости В, F и Н $\lambda_{э.кв} = 0,16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$,

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

$$\lambda'_{э.кв} = 1,4 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Найдём электрические потери в обмотке статора в лобовой части:

$$P'_{э.я.1} = k_p \cdot P_{э1} \cdot \frac{2 \cdot l_{л1}}{l_{ср1}} = 1,15 \cdot 852,831 \cdot \frac{2 \cdot 0,2192}{0,8184} = 525,384 \text{ Вт}$$

3.3. Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей :

$$\Delta v_{uz.я1} = \frac{P'_{э.я.1}}{2 \cdot Z_1 \cdot \Pi_{n1} \cdot l_{я1}} \cdot \left(\frac{h_n}{12 \cdot \lambda'_{э.кв}} \right) =$$

$$= \frac{525,384}{2 \cdot 48 \cdot 0,0585 \cdot 0,2192} \cdot \left(\frac{0,0211}{12 \cdot 1,4} \right) = 0,539^\circ \text{C}$$

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

$$\Delta v_{нов.я1} = \frac{K \cdot P'_{э.я1}}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot l_{б.л} \cdot \alpha_1} = \frac{0,2 \cdot 525,384}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,174 \cdot 0,0713 \cdot 105} = 12,839^\circ\text{C}$$

Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя:

$$\Delta v'_1 = \frac{(\Delta v_{пов.1} + \Delta v_{из.н1}) \cdot 2 \cdot l_\delta + (\Delta v_{из.я1} + \Delta v_{пов.я1}) \cdot 2 \cdot l_{я1}}{l_{cp1}}$$

$$\Delta v'_1 = \frac{(14,37 + 2,596) \cdot 2 \cdot 0,19 + (0,539 + 12,839) \cdot 2 \cdot 0,2192}{0,8184} = 15,044 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$\Delta v_B = \frac{P'_B}{s_{кор} \cdot \alpha_B} = \frac{1926,325}{1,136 \cdot 20} = 84,812 \text{ } ^\circ\text{C},$$

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

$$P' = P + (1,15 - 1) \cdot (P_{э1} + P_{э2}) = 2398,6 + (1,15 - 1) \cdot (852,831 + 876,881) = 2658,05 \text{ Вт}$$

$$P'_B = P' - (1 - K) \cdot (P_{э1} + P_{ст.осн}) - 0,9 \cdot P_{мех} =$$

$$= 2658,05 - (1 - 0,2) \cdot (455,371 + 328,161) - 0,9 \cdot 116,555 = 1926,325 \text{ Вт}$$

$s_{кор}$ - эквивалентная поверхность охлаждения корпуса:

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

$$= (3,14 \cdot 0,272 + 8 \cdot 0,32) \cdot (0,19 + 2 \cdot 0,0713) = 1,136 \text{ м}^2$$

где Π_p - условный периметр поперечного сечения рёбер корпуса двигателя ,

$$\Pi_p = 0,32 \text{ м}$$

α_B — коэффициент подогрева воздуха, учитывающий теплоотдающую способность поверхности корпуса и интенсивность перемешивания воздуха внутри маши, $\alpha_B = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

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

$$\Delta v_1 = \Delta v'_1 + \Delta v_B = 15,044 + 84,812 = 99,856 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3.7 Требуемый для охлаждения расход воздуха:

$$\theta_B = \frac{k_m \cdot \sum P'_B}{1100 \cdot \Delta \nu_B} = \frac{5,05 \cdot 1926,32}{1100 \cdot 84,812} = 0,1043,$$

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

$$k_m = m' \cdot \sqrt{\frac{n}{100} \cdot D_a} = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{1500}{100} \cdot 0,272} = 5,05,$$

где $m' = 2,5$, для двигателей с $2 \cdot p = 4$ при $h = 160$ мм.

3.8 Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором:

$$\theta'_B = 0,6 \cdot D_a^3 \cdot \frac{n}{100} = 0,6 \cdot 0,272^3 \cdot \frac{1500}{100} = 0,1811 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Расход воздуха θ'_B должен быть больше требуемого для охлаждения машины θ_B .

$\theta'_B > \theta_B$ тепловой расчёт произведён правильно.

Нагрев двигателя находится в допустимых пределах. Вентилятор обеспечивает необходимый расход воздуха. Спроектированный двигатель отвечает поставленным в техническом задании требованиям.

4. Технологический процесс общей сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

4.1 Введение

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

Производство электрических машин в последние годы характеризуется значительным повышением механизации и автоматизации технологических процессов. Основные промышленные серии машин производятся на специализированных предприятиях с широким использованием автоматических установок и линий. Различными проектно-технологическими институтами были разработаны типовые технологические процессы и специальное технологическое оборудование, что позволяет резко сократить время технологической подготовки производства и трудоемкость выпускаемых изделий. Освоен ряд новых материалов, позволяющих механизировать технологические процессы. В настоящее время перед технологами стоят задачи не только улучшения технологии и технологического оборудования, позволяющих совершенствовать конструкцию машин, а также повышение эффективности производства и получения наиболее экономичных изделий.

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

Необходимо выполнить следующие задачи:

- Провести оценку технологичности конструкции двигателя;
- Составить схему сборки и разработать маршрутную технологию сборки двигателя;
- Выбрать оборудование, оснастку и подъемно-транспортные средства для изготовления обмотки ротора;
- Провести нормирование сборочных работ;
- Определить потребное количество оборудования, исходя из годовой программы выпуска двигателей 4 500 штук.

4.2 Анализ исходных данных для проектирования технологического процесса сборки

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.

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.

При программе выпуска 4 500 штук в год выбираем подвижную сборку.

ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Каждая электрическая машина, изготовленная предприятием должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к ней стандартами или техническими условиями.

Для машин общего назначения переменного и постоянного тока с номинальной мощностью свыше 50 Вт общие технические требования устанавливаются ГОСТ 183-74. Требования, предъявляемые к машинам специального назначения, изложены в других стандартах. Допуски на установочные и соединительные размеры и способы проверки их указаны в ГОСТ 8592-79.

Для определения соответствия требованиям стандарта производится контроль и испытание собранной электрической машины. Виды и программа

испытаний электрических машин общего назначения предусмотрены ГОСТ 183-74, а. общие методы испытаний по этой программе указаны в ГОСТ 11828-75.

Согласно ГОСТ испытания делятся на приемочные, приемо-сдаточные, периодические и типовые. Программа при каждом виде испытаний определяется тем же ГОСТ.

Приемочные испытания должны проводиться на опытном образце электрической машины. Результаты приемочных испытаний являются основанием для принятия решения о начале производства машин

Приемо-сдаточным испытаниям подвергается каждая электрическая машина при ее изготовлении. Положительные результаты испытания являются основанием для приемки машины и передачи ее потребителю.

Периодические испытания следует проводить по программе и в сроки, устанавливаемые в стандартах или технических условиях на отдельные виды машин. Периодические испытания должны выполняться по полной программе. Результаты периодических испытаний являются основанием для дальнейшего выпуска данной серии машин.

Приемо-сдаточным испытаниям следует подвергать каждую электрическую машину по следующей программе: измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками; измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии: испытание изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками на электрическую прочность: испытание междувитковой изоляции обмоток на электрическую прочность.

У асинхронных машин определяют ток и потери холостого тока; ток и потери короткого замыкания. Рассмотрим установленные ГОСТ 11828-75 методы испытания, общие для всех типов машин.

Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками. Измерение сопротивления изоляции обмоток производят в

практически холодном состоянии машины, в нагретом состоянии (при температуре обмоток, близкой к температуре режима работы) и до и после испытания изоляции обмоток на электрическую прочность. Для измерения сопротивления изоляции используют мегаомметры на 500 В для электрических машин с номинальным напряжением до 500 В включительно и мегаомметры на 1000 В для электрических машин с номинальным напряжением свыше 500 В. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками выполняют поочередно для каждой независимой электрической цепи при соединении всех остальных цепей с корпусом машины.

Измерение сопротивления обмоток при постоянном токе в практически холодном состоянии. Обмотки рассчитывают в практически холодном состоянии, если их температура отличается от температуры окружающей среды не более чем на $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Измерение может производиться одним из следующих способов:

вольтметра и амперметра; одинарного или двойного моста; омметра логометрической системы. При измерении сопротивлений меньших 1 Ом применение одинарного моста не допускается. Во избежание нагрева обмоток измерительный ток должен быть не более 15—20 % номинального тока данной обмотки, а длительность его протекания — не более 1 мин. Приборы следует подбирать так, чтобы класс точности был не ниже 0.5, а измеряемые значения находились в пределах 20—95 % шкалы. Отсчеты рекомендуется производить одновременно.

Испытание машин при повышенной частоте вращения. Испытание следует проводить либо в режиме генератора путем повышения частоты вращения приводного двигателя, либо в режиме двигателя, причем для бесколлекторных машин переменного тока — путем повышения частоты питания. После испытания проводится тщательный осмотр вращающихся частей.

Испытание изоляции обмоток на электрическую прочность относительно корпуса машины и между обмотками и на электрическую прочность междувитковой изоляции. Испытание проводят при синусоидальном напряжении частотой 50 Гц. Испытательное напряжение устанавливается ГОСТ 183-74 в зависимости от типа, мощности и номинального напряжения машины.

Технологичность конструкции изделия

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.

Достоинством данного электродвигателя является:

- 1) В конструкции двигателя применяются унифицированные детали и изделия, что обеспечивает их взаимозаменяемость;
- 2) Простота конструкции самого двигателя и его, сборочных единиц и деталей;

Недостатком данного двигателя является:

- 1) Сложность механической обработки станины.

4.3 Размерный анализ конструкции электрической машины

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..

Расчет ведем методом полной взаимозаменяемости

Исходные данные: параметры замыкающего звена $X_2 = 0_{-1,0}^{+1,0}$ мм, $ES_{X1} = 1,0$ мм, $EI_{X1} = 1,0$ мм, $T_{X1} = ES_{X1} - EI_{X1} = 1,0 - (-1,0) = 2$ мм.

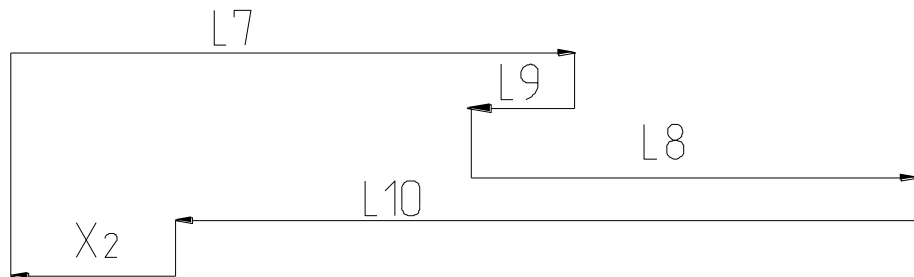
Основные уравнения размерной цепи

$$X_1 = L_7 + L_8 - L_{10} - L_9$$

Здесь X_1 – замыкающее звено, остальные составляющие звенья: L_7 , L_8 – уменьшающее, L_{10} , L_9 – увеличивающее.

Дополнительные данные: глубина запрессовки $L_{10}=80$ мм (, допуск $T_{L_{10}}=0,7$ мм, основные отклонения: $ES_{L_{10}}=0$,

$$EI_{L_{10}} = -0,35 \text{ мм } ES_{L_{10}}=0,351 \text{ мм}$$



$$X_2 = L_7 + L_8 - L_{10} - L_9$$

номинальные размеры остальных составляющих звеньев из сборочного чертежа с учётом масштаба изображения:

$$L_7=36 \text{ мм}, L_8=54 \text{ мм}, L_{10}=80 \text{ мм}, L_9=10 \text{ мм},$$

Решать размерную цепь будем способом с использованием регулировочного звена. В качестве регулировочного выбираем наибольшее составляющее звено $L_8 = 54$ мм.

Подставим полученные размеры в уравнение в номиналах и проверим правильность измерений

$$X_2 = L_7 + L_8 - L_{10} - L_9 = 36 + 54 - 80 - 10 = 0 \text{ мм}$$

Номинальное значение замыкающего звена обеспечивается.

Определим средний размер составляющего звена по формуле (3) с учётом, что $m=2$, $n=2$, $q=1$

m - число увеличивающих звеньев, n - число уменьшающих звеньев

$$A_{cp} = \frac{L_7 + L_8 + L_{10} + L_9}{m + n - q} = \frac{36 + 54 + 80 + 10}{2 + 2 - 1} = 36 \text{ мм}.$$

q – число составляющих звеньев, для которых допуски известны. Это могут быть стандартные изделия (например, подшипники), для которых допуски можно найти в справочниках, или унифицированные, для которых допуск можно взять из чертежа.

Определим средний допуск для среднего составляющего звена по формуле

$$T_{cp} = \frac{T_x - T_{L10}}{m + n - q} = \frac{2 - 0,7}{2 + 2 - 1} = 0,26 \text{ мм.}$$

Точность размера $A_{cp}=36$ мм при допуске $T_{cp}=0,36$ мм соответствует 13 квалитету. По 13 квалитету назначим допуски из для всех составляющих звеньев, кроме L10, и для удобства занесём всю информацию по составляющим звеньям в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Составляющее звено	Номинальный размер (мм)	Вид звена	Категория размера	Допуск предварительно (мм)	Допуск откорректированный (мм)
L7	36	уменьш.	ступ	0,39	0,39
L8	54	уменьш.	ступ	0,46	0,64
L9	10	увелич.	ступ	0,27	0,27
L10	80	увелич.	ступ	0,7	0,7

Определим расчётное значение допуска замыкающего звена в зависимости от назначенных допусков составляющих звеньев

$$T_{X1} = T_{L7} + T_{L8} + T_{L9} + T_{L10} = 0,39 + 0,46 + 0,27 + 0,7 = 1,82$$

Расчетный допуск замыкающего звена меньше исходного. Поэтому меняем допуск регулировочного составляющее звено L8 мм в сторону

увеличения. Но подходящего стандартного значения допуска в нет. Поэтому устанавливаем для L8 не стандартный допуск $T_{L8} = 0,36$ мм, что для одного звена допускается, и повторяем расчёт.

$$TX1 = T_{L7} + T_{L8} + T_{L9} + T_{L10} = 0,39 + 0,64 + 0,27 + 0,7 = 2$$

Полученное значение расчётного допуска замыкающего звена равно исходному значению. Запишем размеры составляющих звеньев с установленными допусками, учитывая категорию размеров: $L7 = 36 \pm 0,195$, $L8 = 54 \pm 0,62$, $L9 = 10 \pm 0,135$, $L10 = 80 \pm 0,35$.

Необходимо проверить обеспечат ли установленные предельные отклонения составляющих звеньев заданные предельные отклонения замыкающего звена.

Для этого определим средние отклонения размеров составляющих звеньев: $E_{cp L7} = 0$, $E_{cp L8} = 0$, $E_{cp L9} = 0$, $E_{cp L10} = 0$.

Запишем для размерной цепи уравнение в средних отклонениях и, решив его, определим расчетное значение среднего отклонения размера замыкающего звена $E_{cp Xp}$.

$$E_{cp X1} = E_{cp L7} + E_{cp L8} - E_{cp L9} - E_{cp L10} = 0 + 0 - 0 - 0 = 0$$

Определим расчётные верхнее и нижнее предельные отклонения размера замыкающего звена:

Верхнее предельное отклонение операционного размера

$$ES_{Xp} = E_{cp Xp} + \frac{T_{Xp}}{2} = 0 + \frac{2}{2} = 1$$

Нижнее предельное отклонение операционного размера

$$EI_{Xp} = E_{cp Xp} - \frac{T_{Xp}}{2} = 0 - \frac{2}{2} = -1$$

Расчётные значения предельных отклонений размера замыкающего звена соответствуют исходным данным.

Проверим полученные результаты. Определим максимальное и минимальное значение замыкающего звена, используя полученные допуски увеличивающих и уменьшающих звеньев:

$$X1^{max} = L7^{max} + L8^{max} - (L10^{min} + L9^{min}) = 54,195 + 36,31 - (79,65 + 9,865) = +1$$

$$X1^{min} = L7^{min} + L8^{min} - (L10^{max} + L9^{max}) = 53,805 + 35,69 - (10,135 + 80,035) = -1$$

Расчет сделан правильно.

4.4 Выбор сборочного оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств

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

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

Приспособления, применяемые при сборке, по степени специализации разделяют на универсальные и специальные; по степени автоматизации - на ручные, механизированные, полуавтоматические и автоматические; по типу

привода - на механические, пневматические, гидравлические и пневмогидравлические; по назначению - на установочно-зажимные, для точной и быстрой фиксации сопрягаемых деталей, для предварительного деформирования упругих элементов, для захвата, подъема и перемещения деталей и сборочных единиц. По виду выполняемых работ их разделяют на приспособления для запрессовки, клепки, развальцовки, свинчивания, гибки, пайки и др.

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

Выбор 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 механизированная линия.

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

4.5 Нормирование сборочных работ

Технически обоснованной нормой времени называют регламентированное время выполнения технологической операции в

определенных организационно-технических условиях, наиболее благоприятных для данного производства.

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

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

Штучное время равно

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

где T_o основное(технологическое) время ;

T_v - вспомогательное время;

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

$$T_{об} = 0,05 T_{он}$$

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

$$T_n = 0,03 T_{он}$$

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

$$T_{он} = T_o + T_v .$$

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

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

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 $T_{шт.к}$.

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/n,$$

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, приспособлений и инструментов, снятие и сдачу инструментов и приспособлений после выполненной работы и сдачу собранных изделий. $T_{пз}$ определяют по нормативам.

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

$$n=N*k/12\text{мес}=4\,500*1,03/12=386$$

$N=4\,500$ шт/год-годовая программа выпуска.

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

Для операции- сборка:

Штучное время равно

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{об} + T_{п} = 31,0 + 0,106 + 0,321 = 31,84 \text{ мин,}$$

где T_o основное(технологическое) время ;

T_v - вспомогательное время;

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

$$T_{об} = 0,05 \quad T_{оп} = 0,05 * 31,412 = 0,321 \text{ мин.}$$

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

$$T_{п} = 0,03 \quad T_{оп} = 0,03 * 31,412 = 0,192 \text{ мин.}$$

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

$$T_{оп} = T_o + T_v = 31,0 + 0,106 = 31,412 \text{ мин.}$$

$$T_{пз} = 0,02 * 31,412 = 0,128 \text{ мин.}$$

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/n = 31,84 + 0,128/386 = 31,84 \text{ мин.}$$

Результаты в таблицу 4.2

Таблица 4.2

Переход	№ опер	T_o	T_v	$T_{оп}$	$T_{об}$	$T_{п}$	$T_{шт}$	$T_{пз}$	$T_{шт.к}$
Собрать двигатель в сборе Верстак	5	31,0	0,10	31,4	0,321	0,192	31,84	0,128	31,84
Контрольная	10	6,3	0,10	6,4	0,321	0,192	6,925	0,128	6,925

Испытания двигателя	20	21,2	0,15	22,01	0,34	0,204	22,1	0,136	22,19
Испытатель ный стенд									5

Определение потребного количества оборудования

Для определения количества оборудования необходимо знать объем выпуска изделий – 4 500, нормы времени (табл. 1), а эффективный годовой фонд времени работы одного станка при 40 – часовой рабочей неделе с двумя выходными можно рассчитать по формуле

$$F_d = ((365 - 104 - 12) * 8 - 6) * 2 * 0.96 = 3814 \text{ часов, где}$$

$F_d=104$ – 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, учитывающий время пребывания станков в ремонте;
количество смен работы оборудования, $Z=2$.

$T_{шт-к}$ – сумма штучно – калькуляционного времени для одного станка;

$N=4\,500$ – годовая программа выпуска изделий.

Расчётное число каждого из видов сборочного оборудования равно:

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

- Для верстака

$$C_{pv} = (6,925 * 4\,500) / (60 * 3814) = 0,847 \text{ ,принимаем: } C_{pv}=1;$$

- Для испытательного стенда

$$C_{rp} = (7,34 * 4\,500) / (60 * 3814) = 0,898 \text{ ,принимаем: } C_{rp}=1;$$

- Для верстака

$$C_{pc} = (0,298 * 4\,500) / (60 * 3814) = 0,036 \text{ ,принимаем: } C_{pc}=1.$$

Таким образом коэффициент загрузки

$$K_3 = (C_p / C_{np}) * 100$$

- Для верстака

$$K_{3в} = (0,847 / 1) * 100 = 84,7 \%$$

- Для испытательного стенда

$$K_{3в} = (0,898 / 1) * 100 = 89,8 \%$$

- Для верстака

$$K_{3в} = (0,036 / 1) * 100 = 3,6 \%$$

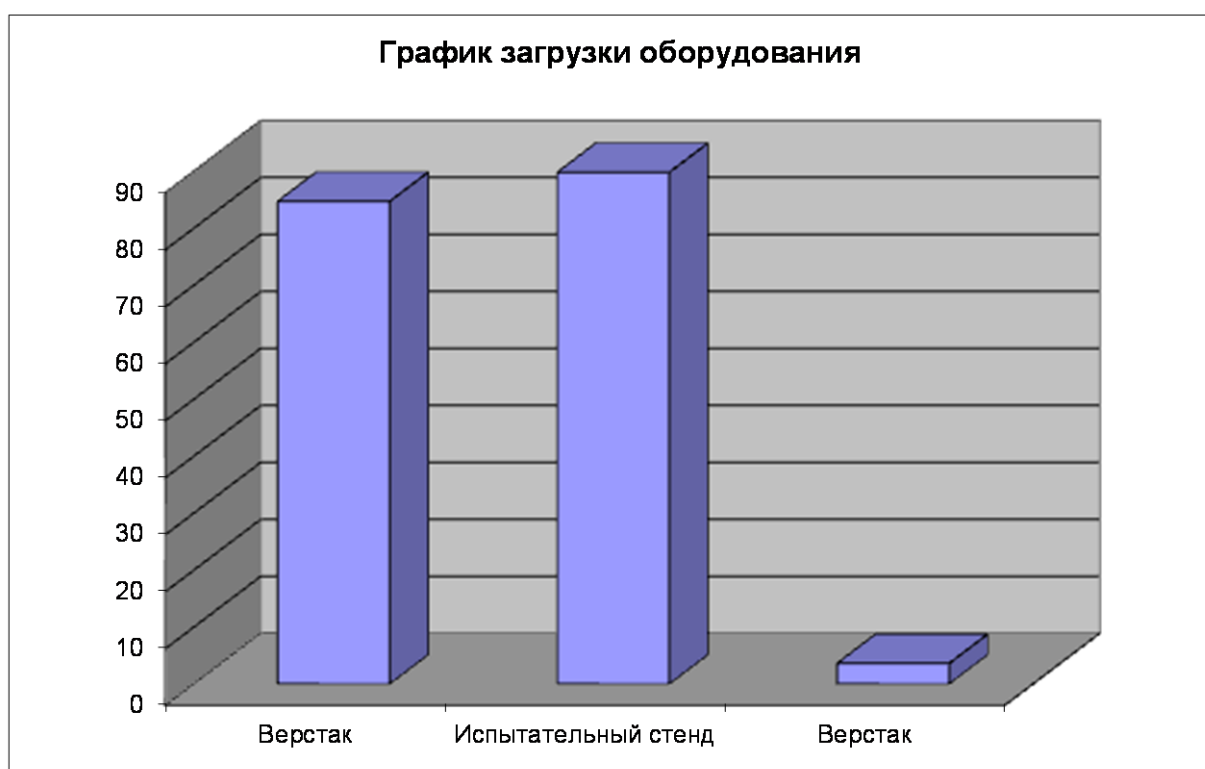


Рисунок 4.1

4.6 Заключение

При выполнении первого раздела работы, во-первых, изучили конструкцию машины и ее составных частей, основное назначение составных частей машины, технические требования к сборке машины и ее узлов по данным чертежей и технических условий или стандартов,

требования к испытаниям и приемке составных частей машины и машины в целом.

Во-вторых, оценили технологичность конструкции электрической машины - как сборочной единицы.

В-третьих, зная исходные данные, выбрали организационную форму сборочного процесса.

При выполнении второго раздела работы провели изыскание наиболее рационального метода достижения требуемой точности машины, изучили взаимосвязи ее сборочных единиц, разработали последовательности их комплектации.

После изучения сборочных чертежей и точностного анализа конструкции разбили изделие на сборочные единицы - составные части. Это основная работа при проектировании технологического процесса сборки.

В четвёртом разделе, на основе составленного маршрутного технологической процесса сборки подобрали для каждой операции оборудование и оснащение и подъемно-транспортные средства, обеспечивающие функционирование процесса сборки и обосновали сделанный выбор, руководствуясь содержанием операций, особенностями конструкции изделия, объемом производства и справочными данными.

Провели нормирование сборочных работ.

5. Социальная ответственность

В данном разделе мы рассмотрим безопасность и экологичность технологического процесса общей сборки асинхронного двигателя. 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.

На данном участке выполняются следующие виды работ: работа с ручным инструментом, настройка работы оборудования, работа с транспортными приспособлениями.

Для осуществления технологического процесса общей сборки асинхронного двигателя применяется следующее оборудование: радиально-сверлильный станок мод 2М55, токарно-винторезный станок мод.16К20, токарно-карусельный станок мод. 1512Ф3, кран укосина, продольно-фрезерный станок мод.6605, гидравлические приспособления, верстак цеховой, сверла различного диаметра, резцы, метчики и т.д.

5.1. Анализ опасных и вредных факторов

При общей сборке 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.

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
- Образование вредных веществ
- Недостаточная освещенность рабочей зоны

5.2. Производственная санитария

Под производственной санитарией понимается система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов.

Для создания приемлемых условий труда необходимо учесть ряд моментов. Во-первых, необходимо чтобы микроклимат в помещении соответствовал установленным нормам. Во-вторых, необходимо следить за уровнем шума в помещении.

Немаловажным фактором обеспечения требуемых условий труда является наличие правильно спроектированного освещения.

Основное назначение освещения на производстве – создание наилучших условий для работы зрительного аппарата человека. На участке общей сборки освещение искусственное, которое обеспечивается электрическими источниками света.

5.2.1 Шум и вибрация

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

Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, технические и физиологические нарушения, снижает работоспособность и создаёт

предпосылки для общих профессиональных заболеваний и производственного травматизма.

При длительном воздействии шума на организм человека происходят такие явления как снижение остроты зрения и слуха, повышение кровяного давления, снижение внимания.

Продолжительный шум может стать причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем. С целью проверки соответствия уровня шума требованиям санитарных норм производят его измерение. На основании замеров производится разработка мероприятий по борьбе с шумом. Для оценки шума используют частотный спектр измеренного уровня звукового давления, выраженного в децибелах в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром.

Сильно продолжительный шум может быть причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем. Измерение шума проводят с целью оценки его на рабочих местах или рабочих зонах для сопоставления с требованиями санитарных норм, а также для оценки шумовых характеристик машин и оборудования, с целью разработки мероприятий по борьбе с шумом.

Для оценки шума используют частотный спектр измеренного уровня звукового давления, выраженного в децибелах в активных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром. Большое влияние на умственную работу оказывают звуковые раздражители. Они затрудняют сосредоточение внимания, оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье человека, изменяют нервные процессы, вызывают утомляемость, затрудняют прием и восприятие информации. Согласно 2.2. 4/2.1.8.562-96 установлены нормы шума на рабочих местах.

В таблице 5.1 приведены уровни звукового давления, измеренные в восьми октановых полосах со среднегеометрическими частотами для постоянных рабочих мест в производственных помещениях.

Таблица 5.1 – Уровни звукового давления

Уровни звукового давления, Дб, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами.							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
95	87	82	78	75	73	71	69

Необходимые условия для снижения шума:

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

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

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

Колебания с частотой 16 - 20 Гц ощущаются как звук и вибрация. В производственных условиях ощущаются в основном 35 - 250 Гц. Вибрация характеризуется: частотой колебания, амплитудой смещения, колебательной скоростью, колебательным ускорением. Вибрация может быть общей или локальной. Локальная - при работе с ручным инструментом. Общая вибрация - поражается

сердечно-сосудистая система, вестибулярный аппарат. Опасные вибрация на частоте 6 - 9 Гц.

Для помещений, предназначенных для установки слесарно-обрабатывающего оборудования, исключение возможной вибрации достигается путем увеличения массы фундамента рабочей площадки, устранение жестких связей между фундаментом оборудования и рабочей площадкой, облицовкой листов покрытия пола вибродемпфирующими материалами.

5.2.2 Микроклимат

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

Эти требования устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны помещения, нормируемые следующими параметрами: температура, оптимальная влажность, скорость движения воздушного потока.

Оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны регламентированы ГОСТ 12.1.005.

Значения перечисленных параметров непосредственно к проектируемому участку с категорией по тяжести 2 б. приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Параметр.	Сезон года.			
	Холодный.		Тёплый.	
	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
Температура, °С.	17-19	15-22	19-21	16-27
Влажность, %.	60-40	15-75	60-40	15-75
Скорость воздуха, м/с	0,2	0,2-0,4	0,2	0,2-0,5

5.2.3 Психофизиологические факторы

Утомление - это процесс понижения работоспособности, временный упадок сил. Существуют признаки хронического утомления: ощущение утомления до начала работы, повышенная раздражительность, снижение интереса к работе и окружающим, снижение аппетита, потеря веса, нарушение сна, бессонница, предрасположенность к простудным заболеваниям. В целях борьбы с переутомлением необходима нормализация режима труда и отдыха желательно увеличение свободного времени за счет увеличения разнообразия работы за рабочий день.

5.2.4 Образование вредных веществ

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

Таблица 5.3. Допустимые концентраций вредных веществ

Вещества	ПДК, мг/м	Класс опасности	Агрегатное состояние
СО	20	4	Газ
Пыль	6	4	Аэрозоль
Вредные пары	6	4	Аэрозоль

Периодический контроль содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ осуществляется силами заводской лаборатории или санитарно-гигиенической станции. С учётом предельно - допустимых концентраций вредных веществ, эти участки оснащаются вытяжной вентиляцией.

5.3 Освещение

Другой не мало важной задачей на производстве, является создание наилучших условий для видения. Эту задачу можно решить только осветительной системой. В этих нормах рекомендуется освещённость участков, содержащих нужное оборудование, должна быть не менее 200 лк.

Освещение должно быть таким, чтобы не давать глазам ощущения напряжения. При плохом освещении оператор быстро устает, работает медленнее, возникает опасность ошибочных действий. Кроме того, плохое освещение может привести к некоторым профессиональным заболеваниям. Должны обеспечиваться следующие условия:

- равномерность и устойчивость освещенности;
- мягкие тени;
- защита глаз от прямых попаданий солнечных лучей.

В светлое время дня необходимый уровень освещенности обеспечивается естественным путем (через оконные проемы). В вечерние время применяется искусственное освещение (лампы накаливания, люминесцентные лампы и др.). Предпочтительнее использовать люминесцентные лампы, так как их освещение приближено к естественному.

Освещенность рабочей поверхности должна быть достаточно высокой и вместе с тем равномерной.

5.3.1. Расчет искусственного освещения

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

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

5.3.2. Выбор источников света

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

Лампы накаливания применяются там, где проводятся грубые работы, или осуществляется общий надзор за эксплуатацией оборудования. Кроме того, предпочтение лампам накаливания отдается во взрыво - и

пожароопасных помещениях, в сырых помещениях, в помещениях с химически активной средой.

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

5.3.4. Выбор системы освещения

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

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

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

5.3.5. Выбор коэффициента запаса

Полученная из [СНиП 23-05-95] величина освещённости корректируется с учетом коэффициента запаса, так как со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп освещённость снижается

Таблица 5.4. Значение коэффициента запаса

Характеристика объекта	Люминесцентные лампы	Лампы накаливания
Помещения с большим выделением пыли	2.0	1.7

Помещения со средним выделением пыли	1.8	1.5
Помещения с малым выделением пыли	1.5	1.3

5.3.6. Выбор осветительных приборов

5.3.6.1 Виды 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 2х40 Вт
- Плафоны потолочные для общего освещения закрытых, сухих помещений:
 - Л71Б03 - мощность лампы 10х30 Вт
 - Л71Б84-мощность лампы 8х40 Вт

5.3.7. Размещение осветительных приборов

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

- ❖ обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослеплённости и необходимой направленности света на рабочие места
- ❖ наиболее экономичное создание нормированной освещённости

Как показали исследования, в зависимости от типа светильников существует расстояние между светильниками:

$$\lambda = \frac{L}{h},$$

Где L - расстояние между светильниками;

h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью.

Расстояние от стен помещения до крайних светильников рекомендуется брать $L/3$

Выбираем люминесцентный светильник с защищённой решёткой:

тип ОДО, $\lambda = 1.4$. размеры помещения $A=13$ м, $B=9$ м,

$$h = 4 - 0,5 - 0,8 = 2,7 \text{ м}$$

$$L = 1,2 \cdot 2,7 = 3,24 \text{ м};$$

$$L/3 = 1 \text{ м.}$$

Размещаем светильники в три ряда. В каждом ряду можно установить 6 светильников типа ОДО мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 50 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рис. 1). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $n = 36$.

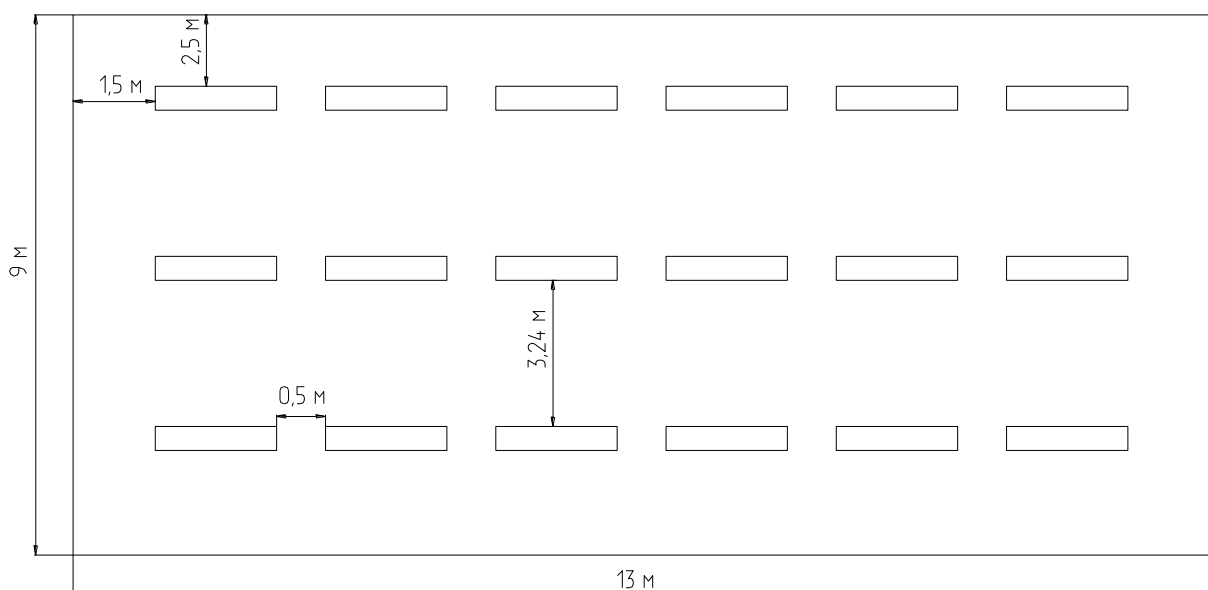


Рис.5.1. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

5.3.8. Расчет осветительной установки

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

Величина светового потока лампы:

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

Где:

E - минимальная освещённость, лк;

k - коэффициент запаса;

S - площадь помещения, м²;

N - число ламп освещения;

λ - 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.

Рассчитаем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{117}{2.5 \cdot (13 + 9)} = 2$$

коэффициент использования светового потока составит: $\eta = 0,6$.

коэффициенты отражения:

$\rho_{\text{п.}} = 70\%$ - состояние потока

$p_0 = 70\%$ - состояние стен

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 $Z = 0.9$ $E = 200$ лк - минимальная нормативная освещённость, принимается по СНиП 23-05-95.

$h_c = 0.5$ - для ламп типа ОДО

$$F = \frac{200 \cdot 1.5 \cdot 117 \cdot 1.1}{36 \cdot 0.6} = 1787,5 \text{ лк.}$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛДЦ 40 Вт с потоком 2200

Лм. Делаем проверку выполнения условия:

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

$$\text{Получаем } -10\% \leq -1,56\% \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$P = 36 \cdot 40 = 1440 \text{ Вт}$$

5.4. Электробезопасность

Согласно ПУЭ цех, в котором производится механическая обработка станины, относится к помещению с повышенной опасностью поражения людей электрическим током, т.к. имеется токопроводящий железобетонный пол.

Категория помещения по опасности поражения электрическим током III. Необходимо применять определенный комплекс защитных мер, обеспечивающих достаточную электробезопасность.

Во избежание поражения рабочего электрическим током согласно ПУЭ все токоведущие части на участке изолированы и закрыты. Конструкция станков предусматривает заземление, сопротивление которого не должно

превышать 4 Ом (установки до 1000 В) по ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление».

Для снижения опасности поражения электрическим током, рабочие носят обувь на резиновой подошве, на рабочих местах предусмотрены резиновые защитные коврики.

Оборудование на участке общей сборки (станки, механизированный ручной инструмент), представляет для человека большую потенциальную опасность, так как в процессе эксплуатации или при проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением.

Применение только одних организационных и технических мероприятий по предупреждению поражения электрическим током не может в полной мере обеспечить необходимую электробезопасность при эксплуатации электроустановок. Наряду с выполнением предписанных ПТЭ и ПТБ потребителей организационных защитных мер используются технические средства защиты, к которым относят: электрическую изоляцию токоведущих частей, защитное заземление, зануление ГОСТ 12.1.038-82, выравнивание потенциалов, защитное отключение, электрическое разделение сети, малое напряжение, двойную изоляцию. Использование этих средств в различных сочетаниях позволяет обеспечить защиту людей от прикосновения к токоведущим частям, от опасности перехода напряжения на металлические нетокведущие части.

5.5. Техника безопасности

Для устранения опасных факторов на участке общей сборки на предприятии следующие меры техники безопасности для технологического процесса общей сборки электродвигателя.

Наиболее вероятную опасность при работе на станках составляет втягивание одежды во вращающиеся части станков в случае отсутствия защитного

ограждения. В связи с этим на участке общей сборки запрещается работать на неисправном оборудовании, со снятым ограждением, производить ремонт и настройку станка при его работе. Одежда должна быть подобрана по размеру и застегнута так, чтобы не было свободно развивающихся концов. Волосы должны быть убраны под головной убор. Запрещается также снимать и надевать одежду возле работающего станка.

Также рабочий на участке может пострадать в случае загромождения своего рабочего места. Поэтому готовую продукцию рабочий должен складировать в определенном месте и таким образом, чтобы не было возможных падений элементов и нагромождений проходов.

В процессе работы на токарных и сверлильных станках образуется стружка, которая отлетает и может служить причиной травмирования.

Общие требования:

К самостоятельной работе на участке обработки вала допускаются лица прошедшие аттестацию в квалификационной комиссии и инструктаж по охране труда на рабочем месте и имеющие группу допуска не ниже 3.

Первичный инструктаж рабочий получает на рабочем месте до начала производственной деятельности.

Рабочий должен работать в спецодежде.

Необходимо соблюдать:

- Правила внутреннего распорядка;
- Правила личной гигиены (работать в спецодежде);
- Курить только в специально отведенных местах;
- Производственную и технологическую дисциплину, при работе быть внимательным.

При получении травмы или недомогании нужно немедленно обратиться в здравпункт и сообщить мастеру или начальнику цеха.

5.6.Пожарная безопасность

Участок общей сборки согласно НПБ 105-03 [21] относится к категории «Д», т.е. это производство, в котором обрабатываются негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

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

Содержание зданий и помещений на объединении:

на входных дверях участка общей сборки должны быть вывешены категории взрывопожароопасности (А, Б, В, Г, Д, Е); 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; ранение в цехах сырья, полуфабрикатов, горючих жидкостей разрешается только не более суточной, сменной потребности; использовать ГЖ (ГСМ жидкость) и ЛВЖ (легковоспламеняющаяся жидкость) для мойки деталей и узлов запрещается; для использованных обтирочных материалов на участке должны быть установлены металлические ящики с крышкой. По окончании смены они должны очищаться; сварочные работы, и другие огневые работы на участке общей сборки 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 участка проведения механических

работ. В карманах не должны храниться промасленная ветошь. Спец. одежда должна своевременно стираться.

На территории участка общей сборки запрещается:

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

Каждый работающий на объединении должен знать:

- при обнаружении пожара или загорания вызвать пожарную помощь и принять меры 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;

- надо и уметь пользоваться первичными средствами пожаротушения;

На участке общей сборки используются средства пожаротушения, такие как:

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

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

План эвакуации представлен на рисунке 2.

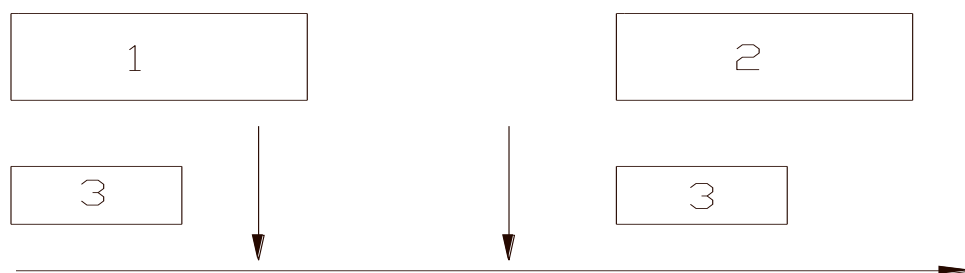


Рисунок 5.2 - План эвакуации

1 и 2 – станки 3 – места складирования

5.7. Охрана окружающей среды

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

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

В качестве дополнительных средств защиты применяют аппараты и системы для очистки газовых выбросов, сточных вод от примесей, глушителей шума, виброизоляторы технологического оборудования. Важную роль в защите окружающей среды отводится мероприятиям по рациональному размещению источников загрязнения: оптимальное расположение промышленных предприятий с учетом местности; установление санитарно-защитных норм вокруг промышленных предприятий.

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

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

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце смены они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им

присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

В разделе безопасности жизнедеятельности был проведён анализ опасных и вредных факторов, пожарная безопасность, производственная санитария, произведен расчет освещения цеха, в котором производится общая сборка двигателя.

Рассмотрены разделы микроклимата, техника безопасности рабочего в различных ситуациях, пожарная безопасность и охрана окружающей среды.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

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

В данной выпускной квалификационной работе проектируется асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, конструкция которого имеет ряд отличий от общепромышленных асинхронных двигателей, но представляет собой собранный и установленный в определенном порядке набор таких деталей как статор, ротор, подшипниковые щиты, подшипники и т.д.

Основные технические характеристики двигателя:

- номинальная мощность нагрузки – 18,5 кВт;
- номинальное напряжение – 220/380 В;
- частота вращения – 1500 об/мин

6.1 Смета затрат на проектирование

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

Распределение работы между работниками, проектирующими сводим, в таблицу 6.1

Для определения трудоемкости выполнения проекта составим перечень основных этапов и видов работ, которые должны быть выполнены:

Таблица 6.1 - Этапы разработки проекта.

№ Работ	Наименование работ	Количество исполнителей	Разряд оплаты	Кол дне й
1	Разработка технического задания	Руководитель	15	1
	Определение объема работ	Инженер	10	1
2	Подбор литературы	Руководитель	15	1
3	Подготовка оборудования	Руководитель	15	1
		Инженер	10	1
4	Сбор исходных данных на предприятии	Инженер	10	10
5	Обзор теории	Инженер	10	1
6	Электромагнитный расчет	Инженер	10	8
7	Расчет технологической части	Инженер	10	2
8	Выводы и предложения по проделанной работе	Инженер	10	1
9	Финансовый менеджмент	Инженер	10	3
10	Выполнение графической части	Инженер	10	2
11	Оформление отчета и обработка результатов на ПК	Инженер	10	3
12	Сдача проекта	Инженер	10	3

Руководитель - 3 дня.

Инженер - 35 дней.

6.1.1 Смета затрат на подготовку проекта

Суммарные издержки на проектирование определяем по выражению:

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

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

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

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

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

$I_{\text{пр}}$ - прочие издержки;

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

Издержки на заработную плату

Таблица 6.2 – Единая тарифная сетка с учетом занимаемой должности

Должность	Оклад	Доплата	Коэффициент за отпуск	Районный коэффициент	Итоговая зарплата за месяц	Средняя зарплата за один день, руб.	Количество дней работы над проектом	ФЗП
Научный руководитель, 15р	23300	2200	1,1	1,3	33319	1586,6	3	5168,4
Инженер 10р	14500	1800	1,1	1,3	20732	987,3	35	34555,5
Итого					54054	2573,9	35	39723,9

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

Или

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X$$

Где

3 – оклад;

Д – доплата за интенсивность труда

k_1 - коэффициент за отпуск (1,1);

k_2 - районный коэффициент (1,3);

21 – количество рабочих дней в месяце;

Расчет заработной платы для научного руководителя 15 разряда

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

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 + Д) \cdot k_2}{21} \cdot X = \frac{(23300 \cdot 1,1 + 2200) \cdot 1,3}{21} \cdot 3 = 5168,4 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы для инженера 10 разряда

$$I_{з.пл.} = \frac{(3 \cdot k_1 \cdot k_2)}{21} \cdot X = \frac{(14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3)}{21} \cdot 35 = 34555,5 \text{ руб.}$$

Тогда

$$I_{з.пл. \Sigma} = \sum I_{з.пл.} = 5168,4 + 34555,5 = 39723,9 \text{ руб.}$$

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.

$$Ис_{ОЦ} = 0,3 \cdot I_{з.пл. \Sigma} = 0,3 \cdot 39723,9 = 11917,2 \text{ (руб)}$$

6.1.3 Материальные затраты на канцелярские товары.

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

$$I_{\text{мат}} = 950 \text{ руб.}$$

6.1.4 Амортизация вычислительной техники.

Основной объем работ по разработке проекта был выполнен на персональном компьютере первоначальной стоимостью 25 тысяч рублей.

Произведём расчёт амортизации стоимости ПК

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{и}}}{T_{\text{кал}}} \cdot \Phi_{\text{кт}} \cdot H_{\text{ф}} = \frac{30}{365} \cdot 28700 \cdot \frac{1}{8} = 294,9 \text{ руб.}$$

где $T_{\text{и}}$ - количество отработанных дней на

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

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

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

6.1.5 Прочие неучтенные затраты.

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

$$\begin{aligned} I_{\text{пр}} &= 0,1 \cdot (I_{\text{з.пл}} + I_{\text{соц}} + I_{\text{мат}} + I_{\text{ам}}) = \\ &= 0,1 \cdot (39723,9 + 11917,2 + 950 + 294,9) = 5288,6 \text{ руб.} \end{aligned}$$

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.

$$I_{\text{накл}} = 2 \cdot I_{\text{з.пл.}\Sigma} = 2 \cdot 39723,9 = 79447,8 \text{ руб.}$$

6.1.7 Себестоимость проекта

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

$$= 39723,9 + 11917,2 + 950 + 294,9 + 5288,6 + 79447,8 = 137622,4 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Смета затрат на подготовку проекта

№ п/п	Наименование	Обозначение	Сумма, руб.
1	Заработная плата	$I_{\text{з.пл.}\Sigma}$	39723,9
2	Социальные отчисления	$I_{\text{соц}}$	11917,2
3	Материальные затраты	$I_{\text{мат}}$	950
4	Амортизационные отчисления	$I_{\text{ам}}$	294,9
5	Прочие издержки	$I_{\text{пр}}$	5288,6
6	Накладные расходы	$I_{\text{накл}}$	79447,8
7	Себестоимость проекта	$\sum I_{\text{проекта}}$	137622,4

6.2. Определение материальных расходов

Материальные затраты - это затраты, связанные с приобретением и заготовлением материалов для изготовления единицы продукции. Представим перечень материалов, необходимых для изготовления одного образца (см. таблицу 5.4). Стоимость основных материалов представляет собой произведение нормы расхода каждого материала на его цену и рассчитывается по формуле:

$$M_{осн} = P \cdot Ц_m$$

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

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	1вар	2в ар
1. Черные металлы						60,0	63,
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,
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,
Подшипник 76-180205	448,0	2	2	896	896		
4. Кабельные изделия						25,0	22,
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,
Стеклолакоткань ЛСК	244,8	1.5552	1.5264	380.713	373.6627		

Продолжение таблицы 6.4

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,

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

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

Где $K_{\text{тзр}} = 1,14$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы

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

6.3 Затраты на силовую электроэнергию

Затраты на силовую электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\Theta = \frac{\sum N \cdot t_{\text{ум}} \cdot k_3 \cdot k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{зд}} \cdot k_{\text{ис}} \cdot C_{\text{э}}}{k_{\text{но}}}, \text{ руб / ум, где}$$

N – установленная мощность электродвигателей, кВт;

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

K_{op} - коэффициент, учитывающий одновременность работы электродвигателей; 0,8

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

$K_{пс}$ - коэффициент отражающий потери электроэнергии в сети; 1,05

$C_{э}$ - цена 1кВт часа электроэнергии; 4,2руб.

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

1 вариант технологии

$$\Theta = \frac{8,5 \cdot 1,75 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1,05 \cdot 4,2}{0,88} = 33 \text{ руб} / \text{шт}$$

2 вариант технологии

$$\Theta = \frac{8,5 \cdot 1,6 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1,05 \cdot 4,2}{0,88} = 30,1 \text{ руб} / \text{шт}$$

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	1,75	1,6	33	30,1
2	Фрезеровать	7,5	0,7	0,6	11,6	9,9
3	Штамповать	7,5	0,3	0,3	4,9	4,9
4	Точить	5,5	0,6	0,5	7,3	6,1
5	Сверлить	10,0	1,5	1,3	33,2	28,8
6	Прессовочная	7,5	0,2	0,1	3,3	1,6
7	Шлифовать	5,5	0,2	0,1	2,4	1,2
Всего			5,25	4,5	95,7	82,6

Уменьшив во втором варианте время работы станков, за счет изменения конструкции двигателя на 0,75 час/шт или на 14,3% ,удалось сократить расходы на электроэнергию в предлагаемом варианте на 13,6руб./шт. или же на 16% по сравнению с базовым вариантом.

6.4 Оценка конкурентоспособности создаваемого продукта

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

На российском рынке существует несколько заводов изготовителей аналогичной продукции. Значительную часть рынка занимают зарубежные производители. По сравнению с продукцией отечественных заводов двигатели ОАО «ПРОМИНВЕСТ» при приблизительно равных ценах имеет лучшее качество и соответственно больший срок службы, что подтверждается тестовыми испытаниями. Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать вывод, что у ОАО«ПРОМИНВЕСТ» есть довольно перспективная маркетинговая возможность сбыта продукции высокого качества по низким ценам. После реализации продукции, согласно договору о купле продаже продукции, предоставляется сервисное обслуживание, консультации специалистов по возникающим вопросам при монтаже и эксплуатации двигателя. Завод-изготовитель предоставляет следующие гарантии после реализации продукции:

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

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

Результаты анализа сведем в таблицу 6.6

Таблица 6.6– Оценка факторов конкурентоспособности изделия

Факторы конкурентоспособности изделия	Российские предприятия		Зарубежные предприятия	
	ОАО «ПРОМИН ВЕСТ»	ОАО «Сибмотор»,	«Белорусмотор»,	«Панасоник»,
Изделие	АД КЗ ротором			
1.Качество	4	4	4	4
2.Технико-экономические показатели	4	4	3	4
3.Престиж торговой марки	4	5	4	4
4. Упаковка	5	4	4	3
5.Уровень послепродажного обслуживания	5	5	5	3
6.Гарантия	2 года (5)	2 года (5)	1 года (4)	1 года(4)
7.Уникальность	4	4	4	4
8.Надежность	5	5	4	4
9.Защищенность	5	5	5	5
Цена				
1.Продажная	4	4	5	5

Продолжение таблицы 6.6

2.Процент скидки	(5) До 10%	(4) До 8%	(3) До 6%	(4) До 8%
3.Сроки платежа	(4) До 1 мес.	(4) До 1 мес.	(4) До 1 мес.	(4)До 1 мес.
Каналы сбыта				
1.Форма сбыта:				
1.1. прямая	4	4	3	3
1.2. через торговых представителей	4	4	4	4
1.3 оптовые посредники	4	4	3	4
2.Система транспортировки	(5) Авто-, ж/д.,авиа	(5) Авто-, ж/д.,авиа	(5) Авто-, ж/д.,авиа	(5) Авто-, ж/д.,авиа
Продвижение изделия на рынках				
1.Реклама:				
1.1.для потребителей	5	5	3	4
1.2. для торговых посредников	5	4	4	4
2.Индивидуальная продажа:	4	4	3	3
2.1.способы стимулирования потребителей				
2.2. показ образцов товаров	5	4	4	4
3.Телевизионный маркетинг	4	3	4	4

Продолжение таблицы 6.6

4. Продажа товаров через средства массовой информации	4	3	3	4
ИТОГО	98	93	86	87

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

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

7.Специальная часть

Использование нерегулируемых двигателей в приводах насосных установок предполагает постоянство частоты вращения и, как следствие, постоянный напор. Но, как известно извлечение нефти в течение суток сильно меняется и в какой-то промежуток времени в 2-3 раза ниже. Вследствие этого происходит использование электроэнергии вхолостую.

Рассмотрим причины завышения энергопотребления насосными установками:

а) Нерациональное повышение напора

В этом случае насосные установки работают с повышенным напором либо из-за повышения гидравлического сопротивления системы трубопроводов, либо из-за увеличения давления в конечном пункте.

Увеличение гидравлического сопротивления имеет ряд объективных и субъективных причин, и в основном определяется конструкцией и качеством эксплуатации трубопроводов. Кроме того, необходимость обеспечения требуемого расхода жидкости, нередко приводит к использованию завышенного по мощности оборудования, а соответствие расхода обеспечивается дросселированием трубопровода. Этот способ регулирования направлен на решение технических задач и не учитывает энергетических затрат на транспортировку жидкости. Изменение гидравлического сопротивления трубопровода изменяет крутизну его $H-Q$ характеристики и приводит к работе двигателя насоса с нерациональным к.п.д. (рис7.1.)

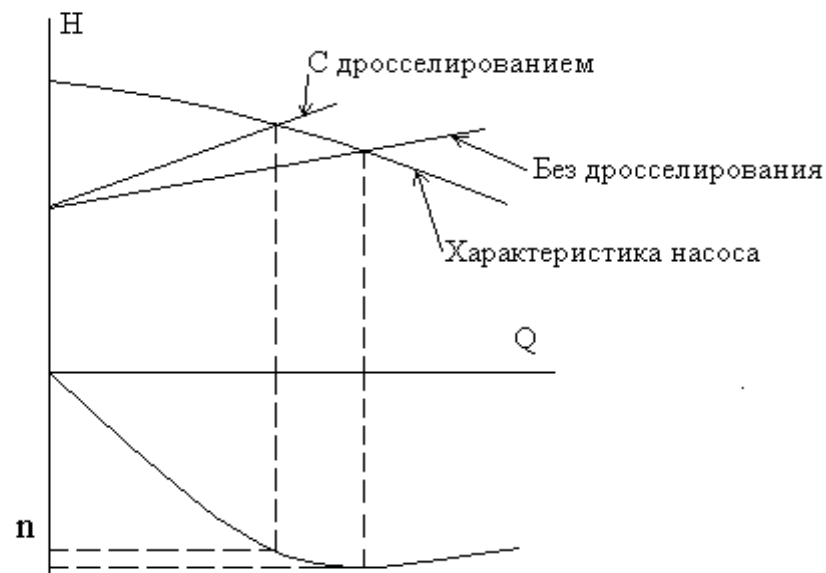


Рисунок 7.1 Q-H характеристика насоса

б) Повышение статической составляющей напора

В ряде насосных установок возникает увеличение статической составляющей напора вследствие колебания уровня в приемном резервуаре. При изменении статической составляющей напора H-Q-характеристика трубопровода перемещается параллельно самой себе (рис.7.2), также обеспечивая нерациональную работу двигателя насоса.

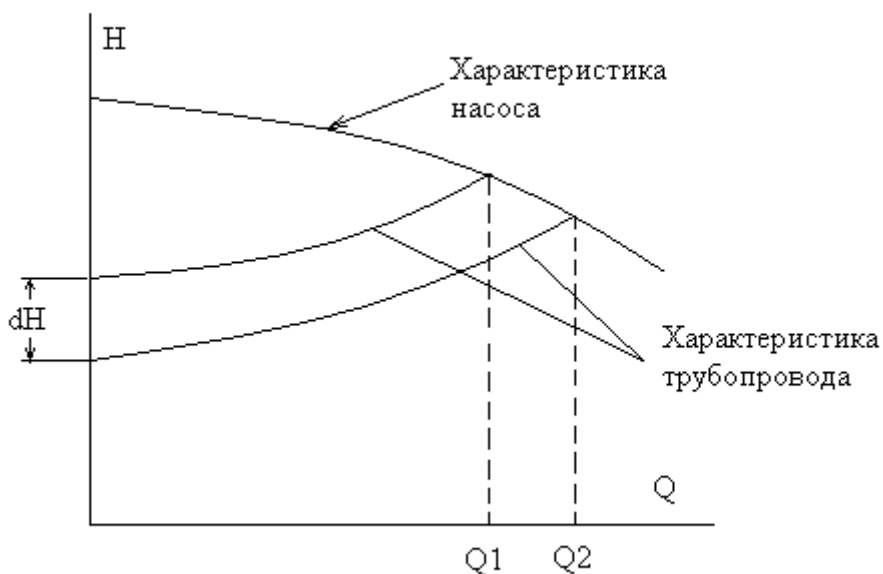


Рисунок 7.2 Н-Q- характеристика насоса при изменении статической составляющей напора

Увеличение потребления мощности насосными установками связано также с непроизводительными расходами (утечками). Как показывают наблюдения они могут достигать до 20-25% общего расхода и требуют до 25% завышения энергопотребления.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод о необходимости применения регулируемого привода насоса. Это позволит, во-первых, снизить расход электроэнергии; во-вторых, уменьшить потери воды, связанные с утечками; и, в-третьих, увеличить долговечность трубопровода.

Существует два метода регулирования скорости вращения асинхронного двигателя: изменением частоты вращения n_1 магнитного поля или величины скольжения s . Изменение частоты вращения поля n_1 осуществляют двумя способами: изменением частоты f_1 тока, который подаем на обмотку статора, или изменением числа пар полюсов машины. Изменить скольжение s , при заданном моменте нагрузки $M=M_n$, можно путём изменения питающего

напряжения U_1 , или подключение обмотки ротора к другому источнику энергии, с изменяющейся частотой f_2 . (в двигателях двойного питания или в асинхронных каскадах).

Частотный способ регулирования скорости вращения вала машины, позволяет применять наиболее надежные и дешевые асинхронные двигатели с короткозамкнутой обмоткой.

Зависимость момента максимального от напряжения и частоты выражается формулой

$$M_{\max} = \pm \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot p}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot [\pm R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}]}$$

или пренебрегая значением R_1 и выразив $X_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot L_{\lambda 1}$, $X_2 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot L_{\gamma 2}'$, получим для двигателя:

$$M_{\max} = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot p}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (X_1 + X_2')} = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot p}{8 \cdot \pi^2 \cdot f_1^2 \cdot (L_{\gamma 1} + L_{\gamma 2}')^2} = \frac{c \cdot U_1^2}{f_1^2}$$

Из этого следует, что при изменении частоты f_1 , одновременно с изменением скоростью вращения, меняется и максимальный момент. Для устойчивой работы двигателя, необходимо обеспечить перегрузочную способность $\frac{M_{\max}}{M_{ном}} = K_m$. Следовательно, при частотном регулировании,

должно обеспечиваться условие:

$$\frac{M_{\max 1}}{M_{н1}} = \frac{M_{\max 2}}{M_{н2}} = const$$

где $M_{н1}$ $M_{н2}$ – нагрузочный момент.

Из этого выражения получаем закон частотного регулирования, сформулированный академиком М. П. Костенко:

$$\frac{U_{11}}{U_{12}} = \frac{f_{11}}{f_{12}} \cdot \sqrt{\frac{M_{i1}}{M_{i2}}},$$

при постоянном нагрузочном моменте уравнение принимает вид:

$$\frac{U_{11}}{f_{11}} = \frac{U_{12}}{f_{12}} = const$$

Если требуется поддерживать режим постоянной мощности электродвигателя, то частота вращения приблизительно пропорциональна f_1 , получим условие

$$M_{н1} \cdot f_{11} = M_{н2} \cdot f_{12}$$

или

$$\frac{U_{11}}{U_{12}} = \sqrt{\frac{f_{11}}{f_{12}}}$$

Однако, введённые соотношения являются неточными, так как не учитывают активного сопротивления обмотки статора R_1 . Влияние этого сопротивления, можно установить по упрощённой круговой диаграмме, диаметр которой, при условии $\frac{U}{f} = const$, остаётся неизменным. В этом случае при номинальной частоте линия моментов ОТ образует с диаметром окружности угол $\gamma_{ном}$, тангенс которого:

$$\gamma_{ном} = \arctg \frac{R_1}{(X_1 + X_2)} = \arctg \frac{R_1}{2 \cdot \pi \cdot f_{ном} \cdot (L_{\gamma 1} + L_{\gamma 2})}$$

В двигательном режиме, максимальный момент сильно уменьшается при снижении частоты, из-за падения напряжения в активном сопротивлении статора, что приводит к снижению ЭДС и потока магнитного.

В разделе 1 (электромагнитный расчет) спроектирован четырех полюсный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Двигатель выполнен с литой КЗ обмоткой ротора. Материал обмотки ротора – алюминий с удельной электропроводимостью 12,7 Ом/мкм, при температуре 20 °С. За счет уменьшения активного сопротивления обмотки ротора, позволило повысить КПД двигателя. Для возможности работы при низких частотах, что приводит к ухудшению условий охлаждения и может

привести к перегреву обмоток, двигатель выполнен с независимой вентиляцией.

При перегрузках в работе, желательно увеличить отношение $\frac{U}{f}$ по сравнению с номинальным режимом, т.е., при частотах 2...5 Гц приблизительно в два раза и более. Это можно объяснить тем, что в нормальном режиме работы, электрические потери $\Delta P_{эл}$ больше, чем $(\Delta P_m + \Delta P_{мех})$, а при перегрузке, они возрастают еще в большей степени. По этому, в данном случае, целесообразно увеличивать магнитный поток, чтобы, уменьшить ток I_1 , а следовательно, и потери $\Delta P_{эл}$. Однако, при этом увеличиваются магнитные потери ΔP_m и намагничивающий ток. При малых частотах, когда потери $(\Delta P_m + \Delta P_{мех})$ сравнительно малы, можно допустить более значительное изменение напряжения, чем при номинальной частоте.

Результат расчета приведен в таблице 7.1

Таблица 7.1 Результат исследования частотного регулирования

f_1	$U_{нф}$	M_n	K_m	η	$\cos\varphi$	s_n	$s_{кр}$	n_2
Гц	В	Н·м	о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	об/мин
50	220	271,4	3,455	0,827	0,819	0,084	0,576	1500
45	198	271,4	3,455	0,825	0,821	0,212	1,453	1350
40	176	271,4	3,455	0,821	0,825	0,308	2,111	1200
35	154	271,4	3,455	0,816	0,827	0,376	2,577	1050
30	132	271,4	3,455	0,809	0,831	0,482	3,304	900
25	110	271,4	3,455	0,799	0,836	0,570	3,907	750
20	88	271,4	3,455	0,782	0,844	0,663	4,544	600
15	66	271,4	3,455	0,751	0,858	0,752	5,154	450
10	44	271,4	3,455	0,687	0,884	0,834	5,716	300
5	22	271,4	3,455	0,504	0,927	0,930	6,374	150

Расчеты были выполнены с учетом лишь одной гармоники магнитного поля. В качестве нижнего предела частоты выбираем частоту 5 Гц. На рисунках приводятся зависимости $U_{нф}$, M_n , K_m , $\cos\varphi$, s_n , $s_{кр}$, от f_1

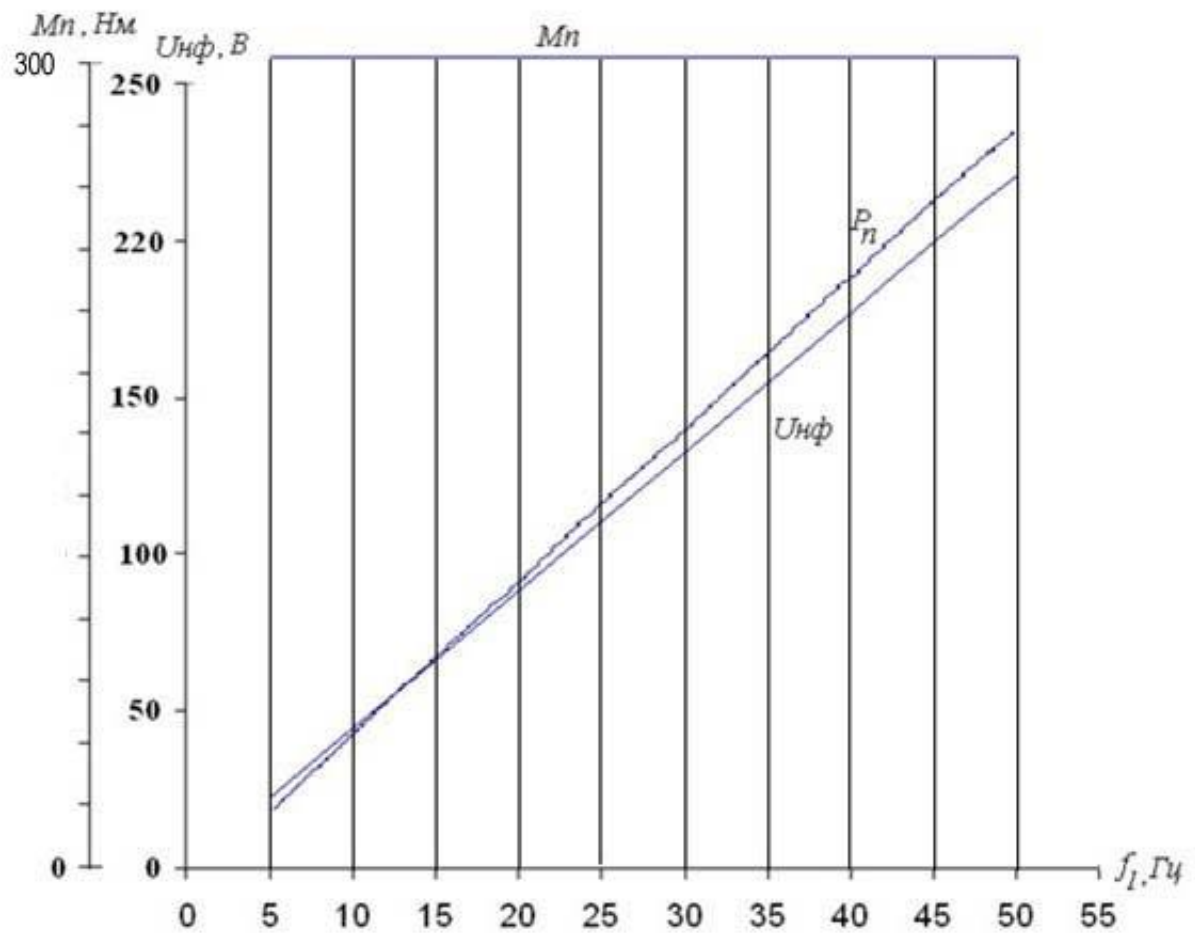


Рисунок 7.3 - Зависимость напряжения и мощности от частоты, при постоянстве момента на валу

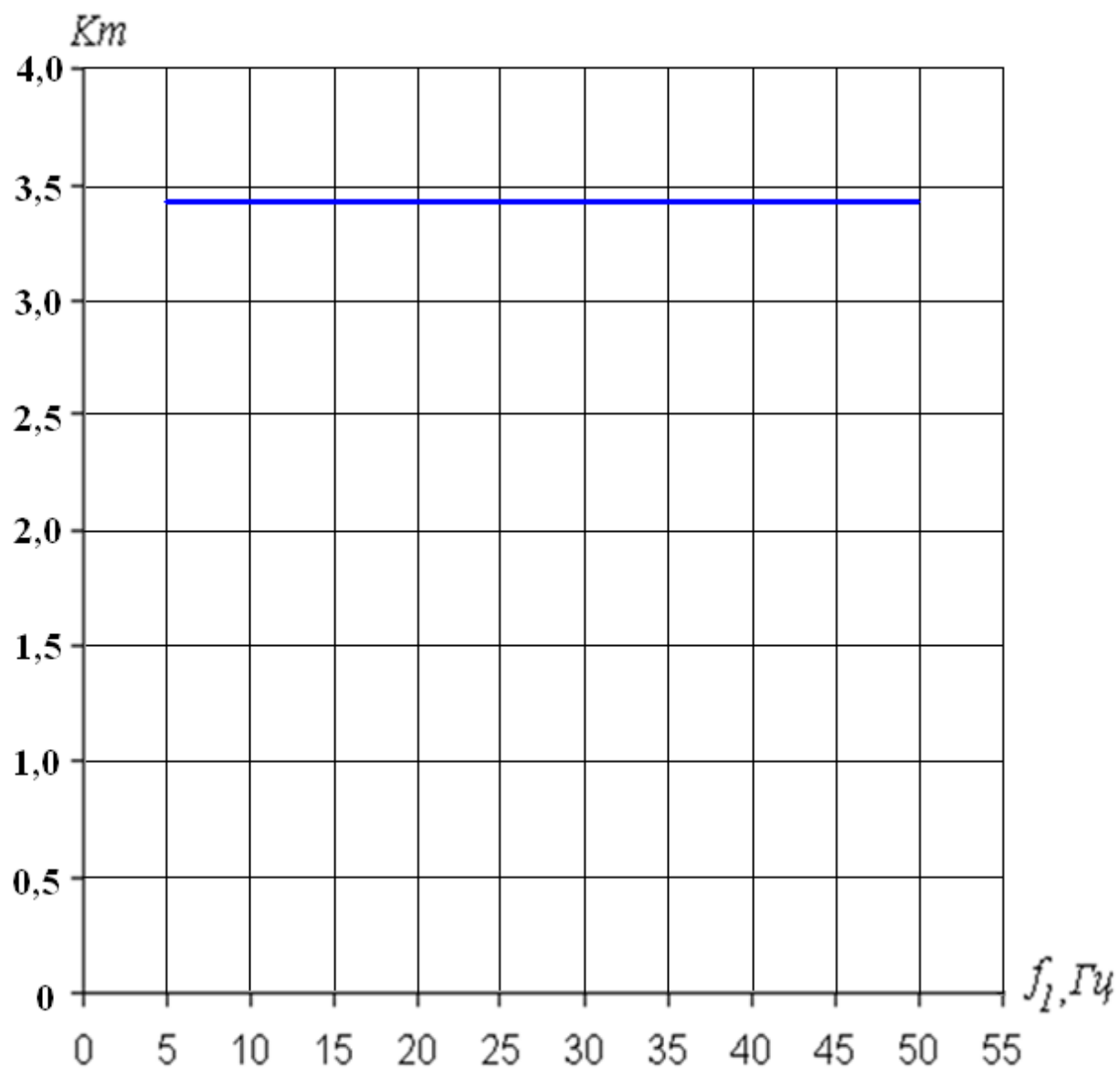


Рисунок 7.4 - Зависимость перегрузочной способности двигателя от частоты, при постоянстве момента на валу

$\eta, \cos\phi$ o.e.

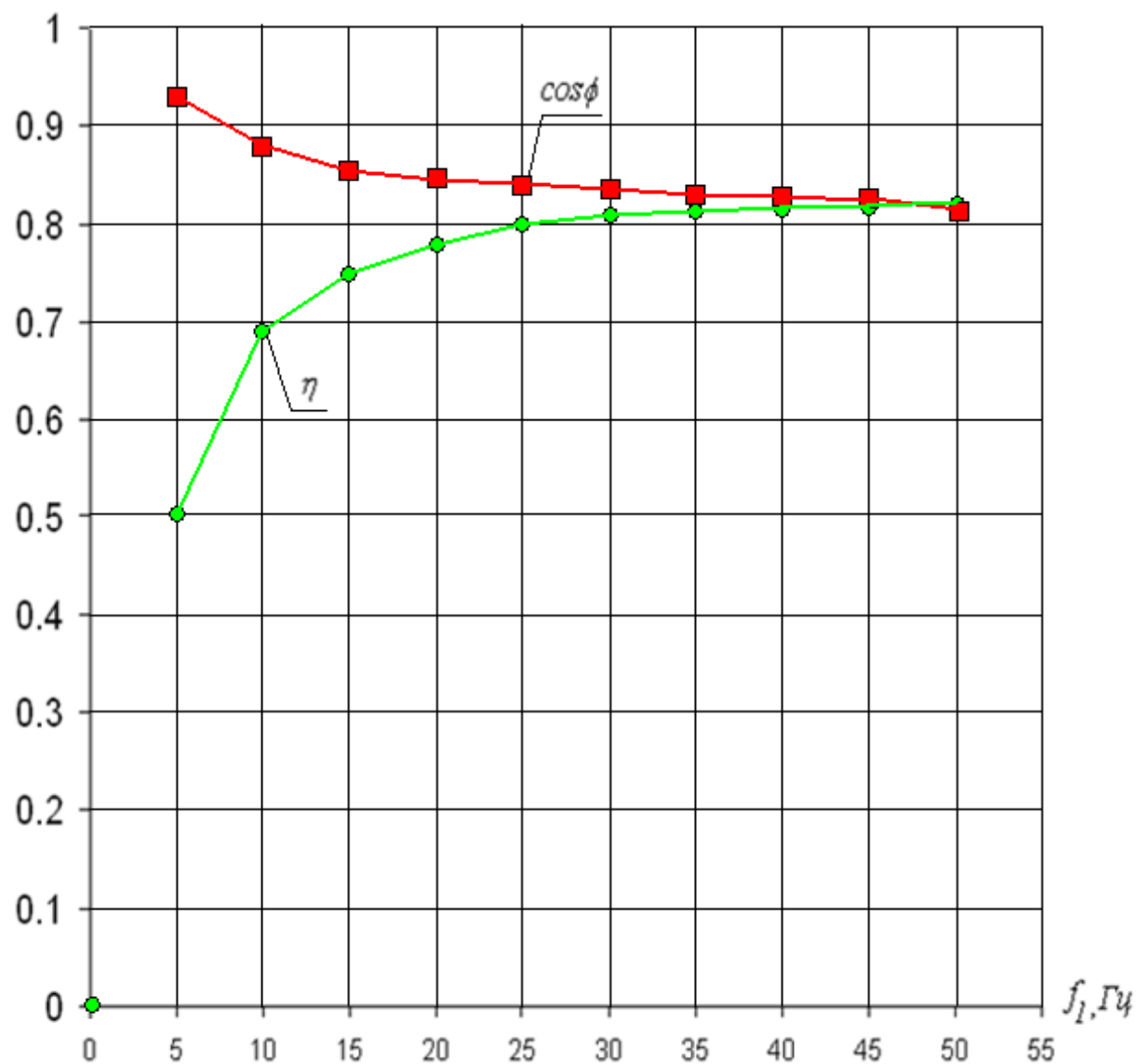


Рисунок 7.5 - Зависимость η и $\cos\phi$ от частоты,
при постоянстве момента на валу

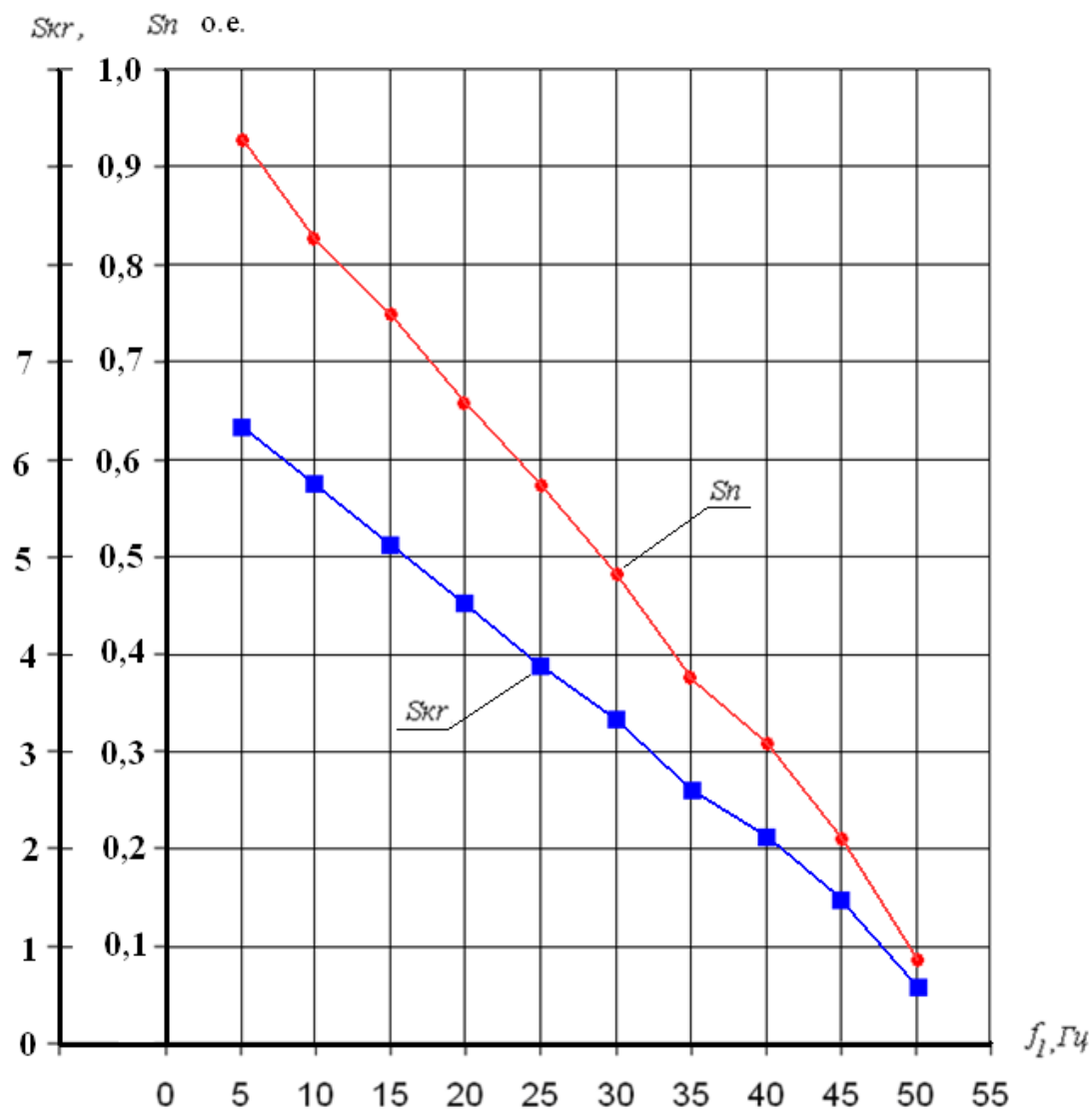


Рисунок 7.6-Зависимость номинального и критического скольжения от частоты, при постоянстве момента на валу

Проводя анализ произведенных исследований, можно сделать вывод, что устойчивая работа двигателя, при постоянстве момента на валу, обеспечивается в диапазоне частот, от 5 до 50 Гц.

Заключение

В данном проекте был спроектирован асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. В электромагнитном расчете были получены значения электромагнитных нагрузок A и индукции B_δ , которые входят в ряд рекомендуемых значений. От этих величин зависят не только размеры машины, но и ее характеристики. Так как двигатель имеет малую мощность, то будем укладывать в пазы трехфазную, двухслойную обмотку. При заданном числе полюсов ($2p=4$), она будет состоять из четырёх катушечных групп. Количество пазов статора выбрано из стандартного ряда и равно $Z_1=48$, т.к. обмотка имеет целое число пазов на полюс и фазу ($q=4$).

Плотность тока в обмотке статора незначительна, что характерно для маломощных двигателей. Для обмотки статора выбираем стандартный эмалированный провод диаметром $d_{из}=1,48\text{мм}$, что позволяет применить механизированную укладку, коэффициент заполнения паза для этого соответствует. В расчете зубцовой зоны статора применена конфигурация, у которой зубцы имеют по всей высоте постоянное поперечное сечение, т.е. исключает появление в зубцах участков с высокой индукцией и суммарное магнитное напряжение будет ниже, чем у зубцов с другой конфигурацией. Таким же образом были выбраны пазы ротора грушевидной формы.

Воздушный зазор выбран небольшим, что привело к уменьшению магнитодвижущей силы и тока намагничивания. Так же уменьшатся суммарные потери, благодаря чему в рабочих характеристиках, повысились значения $\cos \varphi$ и КПД. Количество пазов ротора, выбрано исходя из рекомендаций, которые основаны на изучении влияния соотношения числа зубцов статора и ротора на кривую момента, а также шумы и вибрации. Пазы ротора выполнены со скосом.

В рассчитанных пусковых характеристиках, кратность пускового тока получилась в допустимых пределах, которые установлены ГОСТ 19523 - 74, а пусковой момент достаточным. Кратность его не превысила заданное

значение, установленное стандартом. Можно задавать пусковой момент, путем изменения плотности тока в обмотке ротора или индукции в зубцах ротора.

Тепловой расчет показал, что двигатель имеется запас по температуре нагрева обмотки статора, а вентилятор обеспечивает расход воздуха почти с двукратным запасом.

В механическом расчете определен общий прогиб вала от действия силы тяжести ротора и силой, обусловленной соединением муфтой. По критической частоте вращения, вал имеет огромные запасы.

В специальной части был произведен анализ частотного регулирования асинхронного двигателя, из которого можно сделать вывод, что двигатель устойчиво работает при изменении частоты, сохраняя свои механические характеристики. Это особенно актуально для энергетических систем с ограниченными мощностями, т.к. этот способ позволяет снизить энергозатраты и не навредить технологическому процессу производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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. Амиров Ю.Д. Технологичность конструкции изделия. Справочник.-М.: Машиностроение,1990. 768 с.
4. Белов С.В. Охрана окружающей среды. –М.: Высшая школа. 1991.с.
5. Горбачев А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Учебное пособие: Москва 2007. 256с.
6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение,1985.- 656 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2/Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение,1985.- 656 с.
8. ГОСТ 12. 0. 003 - 74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
9. ГОСТ 12. 1. 003 - 83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
10. ГОСТ 12. 1.004 - 91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
11. ГОСТ 12. 1.005 - 88 (с изм. №1 от 2000г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).

12. ГОСТ 12. 1. 012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
13. ГОСТ 12. 1. 030 - 81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
14. ГОСТ 12. 2. 003 - 91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
15. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
16. СНиП 2. 04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
17. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
18. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
19. СН 2.2.4/2.1.8.562 - 96. Шум па рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
20. СН 2.2.4/2.1.8.556 - 96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий
21. НПБ 105-2003 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности
22. Правила устройства электроустановок. ПУЭ
23. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. М.: Машиностроение 1974.-Ч.1. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, долбежные и фрезерные станки. – 416 с.
24. Планирование на предприятии: Учебное пособие для вузов / А. И. Ильин. — 2-е изд., перераб. Минск: Новое знание, 2001.— 634 с.: ил.

Приложение А
(обязательное)
Схема обмотки статора

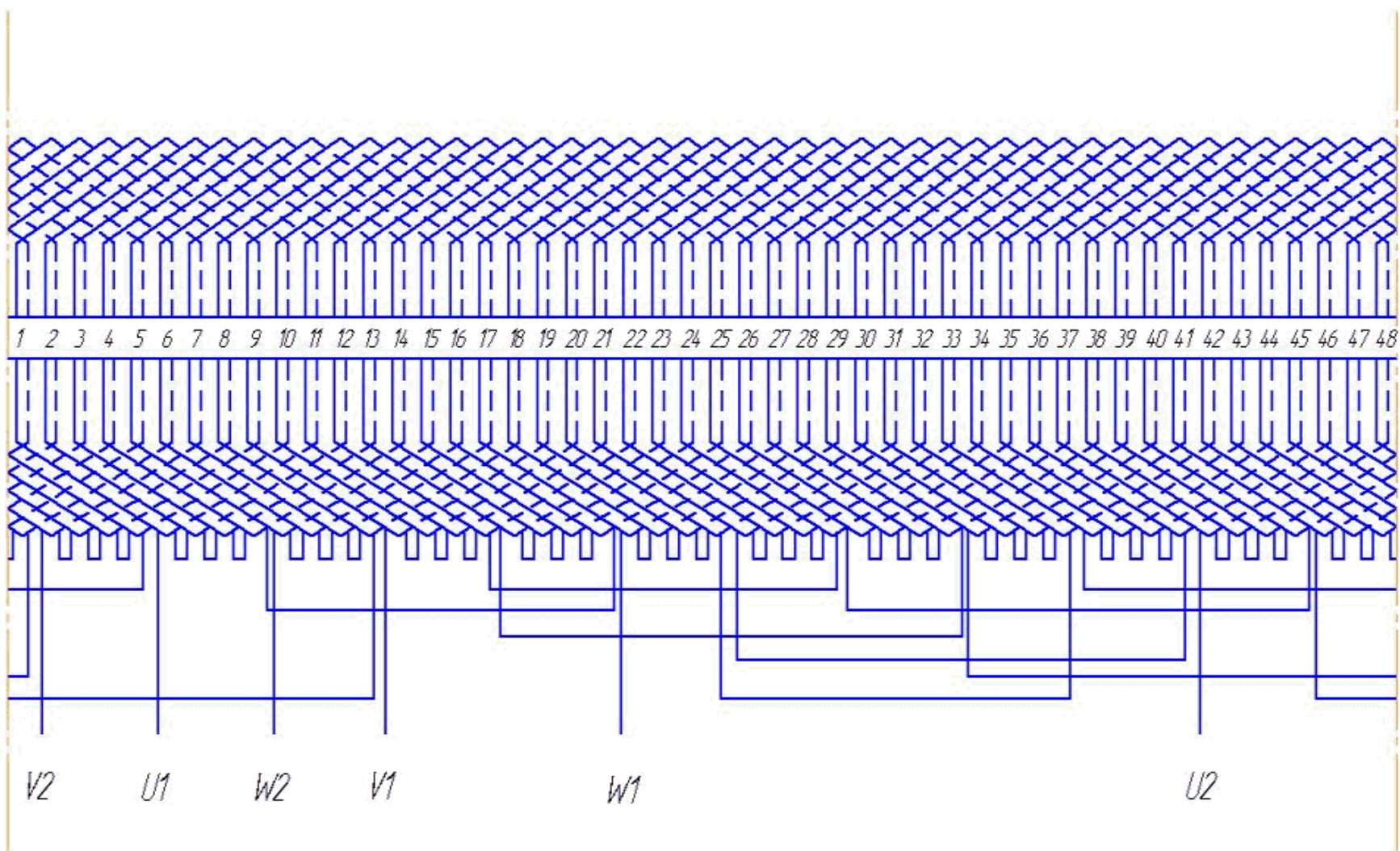


Рисунок А1. Схема обмотки статора
 $Z = 48, 2p = 4, m = 3, y = 1-11, 2-12, 3-13, q = 3, a = 1.$

Дубл.			
Взам.			
Подп.			

АД					ФЮРА.525143.001			1
	ЭЛТИ	ФЮРА.525143.001						
	АД							

Комплект документов
на технологический процесс
сборки двигателя

ТЛ		1
----	--	---

[illegible]

АД										ФЮРА.525143.001								1				
Разраб.										ЭЛТИ		ФЮРА.525143.001										
Проверил																						
Н.Контр.										АД												
Гл.Метро л.																						
М0 1																						
М0 2	Код		Е В	МД	ЕН	Н.расх	КИ М	Код загот.	Профиль и размеры			КД	МЗ									
												1										
А	Цех	Уч .	РМ	Опер .	Код. наименование операции				Обозначение документа													
Б	Код. наименование оборудования							СМ	Проф.	Р	УТ	К Р	КОИ Д	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з.	Тшт.				
03																						
А0 4	5 Сборочная																					
Б05	Верстак слесарный																					
06	Костюм МИ ГОСТ 27575-87; Ботинки кожаные Мун ГОСТ 28507-90; Фартук Б ГОСТ 12.4.029-76																					
О0 7	1. Расконсервировать обработанные поверхности деталей																					
Т08	Кисть КФК8-1 ГОСТ 10597-87																					
М0 9	Емкость																					
10																						

A1 1										
12										
B13	Устройство для запрессовки статоров									
O1 4	1. Запрессовать статор в станину									
T15	Пресс НП-115									
16										
МК										2

Дубл.																
Взам.																
Подп.																
АД									ФЮРА.525143.001						2	
									ФЮРА.525143.001							
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код. наименование операции			Обозначение документа								
Б	Код. наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з.	Тшт.
К/М	Наименование детали. сб. единицы или материала					Обозначение. код					ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.Расх.	

A0 1	
B02	Верстак цеховой
03	Костюм МИ ГОСТ 27575-87; Ботинки кожаные М ун ГОСТ 28507-90; Фартук Б ГОСТ 12.4.029-7
04	
O0 5	1. Установить прокладки на станину, совместив отверстия в прокладках и станине.
06	Для электродвигателей с тремя выводными концами
07	
O0 8	2. Вывести выводные концы через отверстия статора и прокладок следующим образом: С4, С5, С6 вывести в
09	левое отверстие; С1, С2, С3 вывести в правое отверстие (если смотреть со стороны выводных концов статора в направлении
10	оси статора.
011	3. Установить скомплектованную коробку выводов поз.5 на статор поз.3 шуцером справа (если смотреть вдоль оси статора
12	со стороны выводных концов).
013	4. Привернуть коробку выводов поз.5 винтами с шайбами
T14	Пневмосверлилка.
15	
0 16	5. Установить клеммную колодку на корпус
T17	Ключ
МК	
	3

[illegible]

09	обозначения.												
T10	Пневмосверлилка.												
11													
O1 2	9. На каждый контактный болт наживить по одной гайке												
T13	Ключ												
14													
15													
16													
17													
МК													4

Дубл.																
Взам.																
Подп.																
АД									ФЮРА.525143.001						2	
									ФЮРА.525143.001							
А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код. наименование операции			Обозначение документа								
Б	Код. наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	К Р	КОИ Д	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з	Тшт.

К/ М	Наименование детали. сб. единицы или материала	Обозначение. код	ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.Рас х.
А0 1							
Б02	Верстак						
03	Костюм МИ ГОСТ 27575-87; Ботинки кожаные М ун ГОСТ 28507-90; Фартук Б ГОСТ 12.4.029-7						
04							
05							
06							
О0 7	1. Напрессовать подшипники поз.						
Т08	Пресс пневматический						
09							
О1 0	2. Надеть крышку подшипника поз.						
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
МК							5

Дубл.															
Взам.															
Подп.															
АД									ФЮРА.525143.001				2		
									ФЮРА.525143.001						
А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код. наименование операции			Обозначение документа							
Б	Код. наименование оборудования				СМ	Проф.	Р	УТ	К Р	КОИ Д	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з	Тшт.
К/ М	Наименование детали. сб. единицы или материала				Обозначение. код				ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.Рас х.		
А0 1															
Б02	Верстак														
03	Костюм МИ ГОСТ 27575-87; Ботинки кожаные М ун ГОСТ 28507-90; Фартук Б ГОСТ 12.4.029-7														
04															
00 5	1. Протереть поверхность ротора чистой салфеткой														
06															
00 7	2. Ввести ротор поз. в статор совместив крепёжные отверстия щита и статора.														
08															

О0 9	3. Закрепить щит подшипниковый тремя винтами с шайбами		
Т10	ключ.		
11			
О1 2	4. Установить пластину		
13			
О1 4	5. Установить вентилятор поз. и отогнуть пластину		
15			
О1 6	6. Установить кожух поз.		
17			
МК			6

Дубл.																			
Взам.																			
Подп.																			
АД										ФЮРА.525143.001			2						
										ФЮРА.525143.001									
А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код. наименование операции				Обозначение документа										
		.		.															

Б	Код. наименование оборудования	СМ	Проф.	Р	УТ	К Р	КОИ Д	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з	Тшт.
К/ М	Наименование детали. сб. единицы или материала	Обозначение. Код						ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.Рас х.
А0 1	10 Контрольная											
Б02	Верстак											
03	Халат МИ 12.4.131 – 83; Перчатки трикотажные Ми ГОСТ 5007 – 75; Тапочки Мп ГОСТ 28507 – 90											
Т04	Диэлектрический коврик ГОСТ 4997-75											
05												
О0 6	1. Неплоскостность опорных поверхностей лап не более 0.15мм -10%											
Т07	Плита 1-1630-400 ГОСТ 10905-75, Щуп в наборе ГОСТ 882-75											
08												
О0 9	2. Радиальное биение свободного конца вала относительно оси вращения не более 0.05мм – 10%											
Т10	Штатив ШМ-ПН-8 ГОСТ-10197-70, Индикатор И402 кл.О ГОСТ-577-68											
11												
О1 2	3. Радиальное биение замка и торцевое биение переднего щита относительно оси вращения не более 0.1мм-10%											
Т13	Приспособление ТП-3812											
14												
О1 5	4. Непараллельность оси вращения относительно опорных плоскостей лап не более 0.15 на длине 100мм-10%											
16												

17										
МК										7

Дубл.															
Взам.															
Подп.															
АД										ФЮРА.525143.001					2
										ФЮРА.525143.001					
А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код. наименование операции			Обозначение документа							
Б	Код. наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	К Р	КОИ Д	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з Тшт.
К/ М	Наименование детали. сб. единицы или материала					Обозначение. Код					ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.Рас х.
01															
Б02	5. Проверить высоту центра h160-0.5-10%														
Т03	Шаблон 160-0,5 ТИ-7429														
04															
О0 5	6. Проверить установочно-присоединительные размеры -10%														
Т06	Шаблон ТИ-6529														

О0 7	6.1. Проверить смещение отверстий в лапах не более 0.6мм
T08	Приспособление ТП-4884, Шаблон ТИ-9103
09	
О1 0	6.2. Проверить расстояние между осями отверстий в лапах.
T11	Шаблон ТИ-8020
12	
О1 3	6.3. Проверить 4 отв. Ø12 Н14 ^(+0,43)
T14	Пробка ПР-1214
15	
О1 6	6.4 Проверить I ₃₁ (70±2)
T17	Шаблон ТП-4884-10
МК	8

Дубл.														
Взам.														
Подп.														
АД										ФЮРА.525143.001			2	

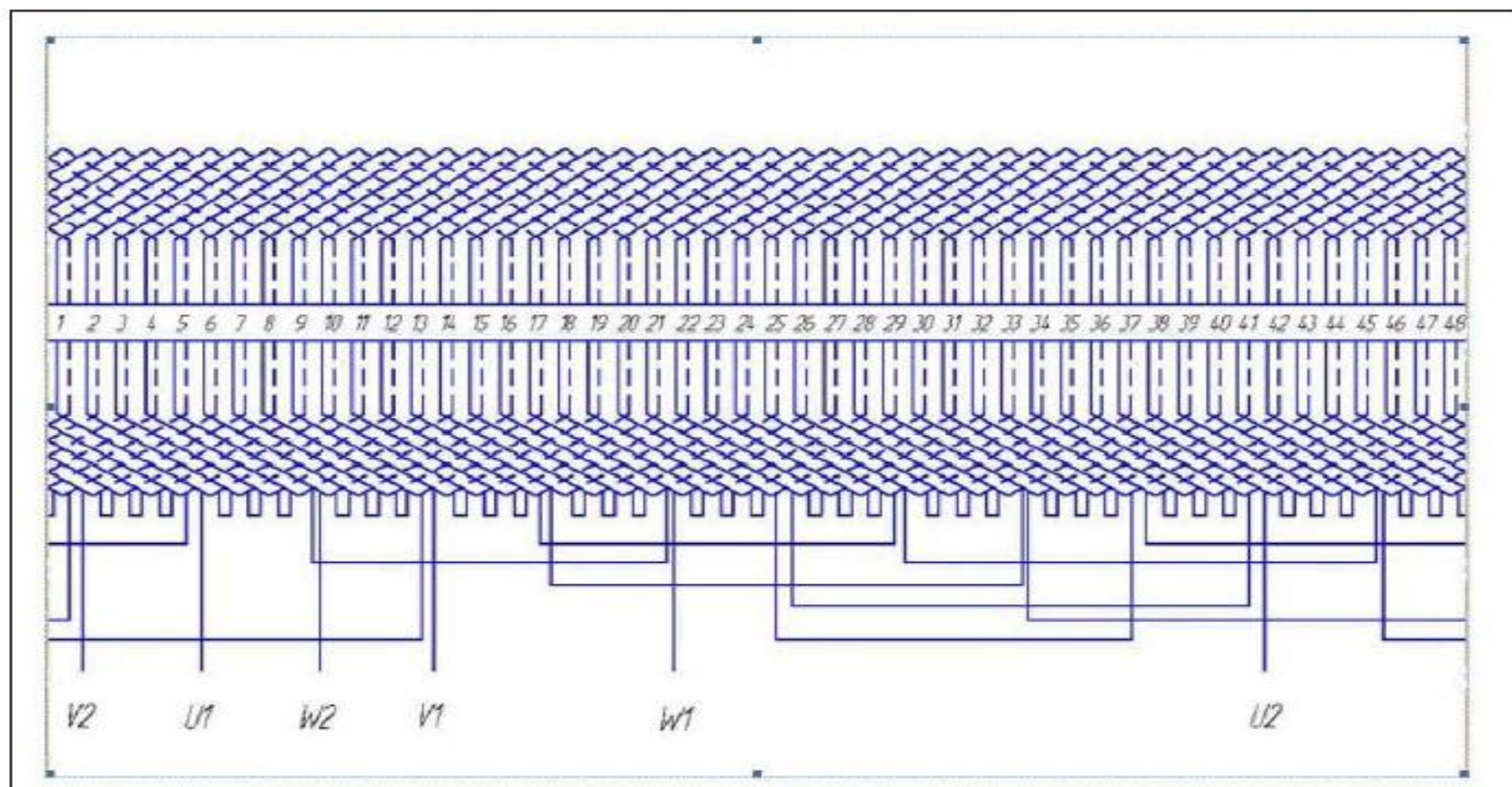
										ФЮРА.525143.001							
A	Цех	Уч	РМ	Опер	Код. наименование операции			Обозначение документа									
Б	Код. наименование оборудования						СМ	Проф.	Р	УТ	К	КОИ	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з	Тшт.
К/ М	Наименование детали. сб. единицы или материала						Обозначение. код					ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.Рас х.	
A0 1	35 Испытания																
B02	Испытательная станция																
T03	Халат МИ 12.4.131 – 83; Перчатки трикотажные Ми ГОСТ 5007 – 75; Тапочки Мп ГОСТ 28507 – 90																
04	Диэлектрический коврик ГОСТ 4997 – 75																
05																	
O0 6	1. Проверить качество сборки электродвигателей-100%																
T07	Испытательный стенд ТС-1690, приспособление ТВ-10879, внешний осмотр																
08																	
O0 9	2. Испытать по программе приёмосдаточных испытаний по ГОСТ 183-74-100%																
10																	
O1 1	3. Проверить эл. АД на вибрацию. Допустимая эффективная вибрационная скорость 1.8мм/с - 1																
T12	Приспособление ТП – 5383																
13																	

О1	4. Результаты испытаний занести в специальный журнал									
4										
15										
16										
17										
МК										9

Дубл.																
Взам.																
Подп.																
АД										ФЮРА.525143.001					2	
										ФЮРА.525143.001						
А	Цех	Уч	РМ	Опер	Код. наименование операции			Обозначение документа								
Б	Код. наименование оборудования					СМ	Проф.	Р	УТ	К Р	КОИ Д	ЕН	ОП	Кшт.	Тп.з	Тшт.
К/ М	Наименование детали. сб. единицы или материала					Обозначение. код					ОПП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.Рас х.	
А0 1	40 Сборочная															
О0 2																

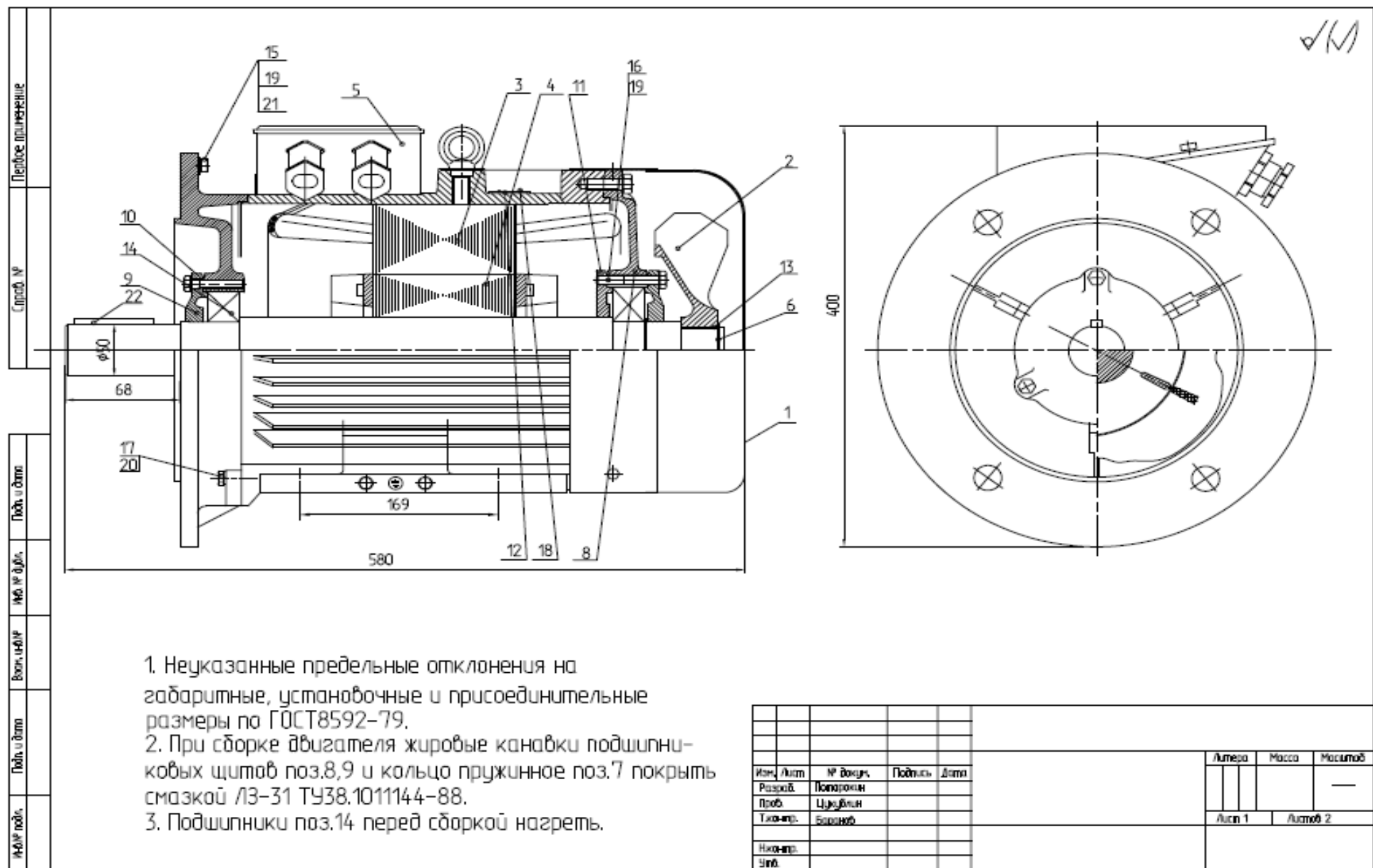
O0 3	1. На контактные болты надеть перемычки и навернуть по гайке		
O0 4	2. Нарезать резиновое уплотнение в размер		
O0 5	3. Уложить уплотнение в паз крышки коробки выводов.		
O0 6	4. Установить крышку на коробку выводов и закрепить её винтами		
O0 7	5. Вложить в штуцер кольцо уплотнительное		
08			
A0 9	45	Контрольная ОТК	
10			
O1 1	1. Проверить качество сборки эл. двигателей – 100%		
12			
13			
14			
15			
16			
17			
МК			10

Изм. №	Подп. и дата	Взам. инв. №	Изм. №	Подп. и дата	Склад №	Первое наименование



ФЮРА.200000.002			
Обмотка			
Изм. №	Лист	№ Взам. инв.	Подпись
Разработ.	Потомкин		
Проб.	Цукорбин		
Тех. инж.			
Нач. инж.			
Инж.			
Листа		Листов 1	

Формат А3



Первое приложение

Сред. №

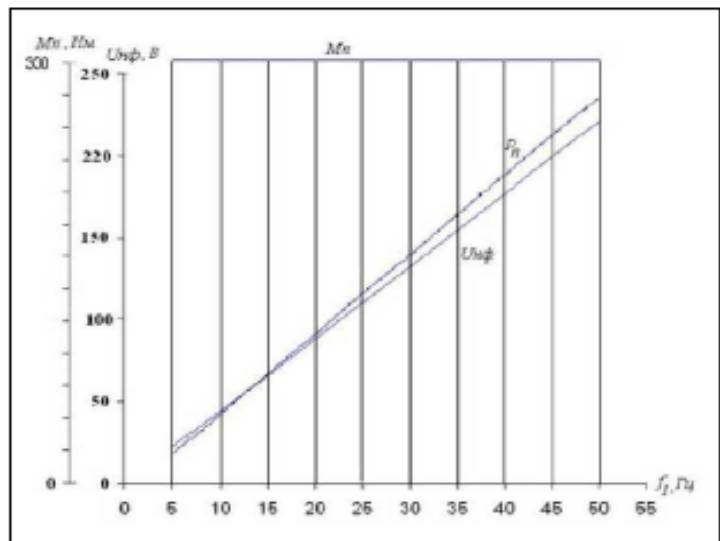
Подп. и дата

№ док. и д. док.

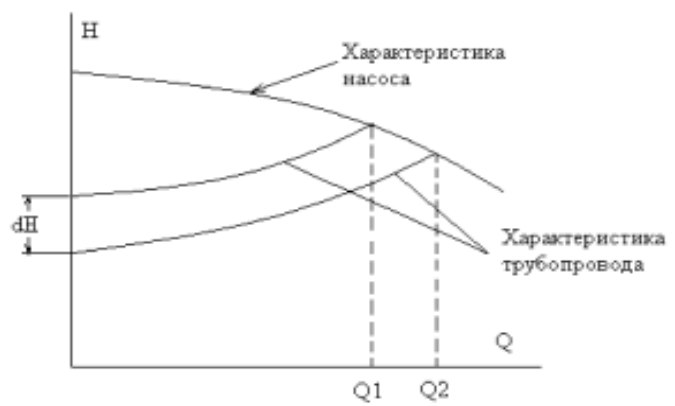
Воск. и док.

Подп. и дата

№ док. и док.



Характеристика насоса.



Характеристика насоса при изменении статической составляющей

ФЮРА.2000000.003				
Изм. Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Спец. часть
Разраб.	Потеркин			Литера
Проб.	Циркулин			Масса
Тех.пр.				Масштаб
Норм.пр.				—
Упр.				Лист
				Листов 1

ИД № подл.

Подл. и дата

Воск. и д/н

ИД № д/н

Подл. и дата

Спроб. №

Первое приложение

ИД № подл.

Подл. и дата

Воск. и д/н

ИД № д/н

Подл. и дата

Спроб. №

Первое приложение

Статор

Поз. 1

Болт заземл.

1

Шпиг. зазм.

Поз. 1

Шпайб.

3

Вент.

3

Шпиг. подш.

Поз. 1

Шпайб.

6

Вент.

6

Вентилятор

Поз. 1

Пластина

Поз. 1

Вент.

4

Шпигур

Поз. 1

Вент.

4

Кожух

Поз. 1

Вент.

3

Шпайб. пруж.

3

Табличка фирм.

Поз. 12

Двигател.

2

Шпонка

1

Двигатель

Балансировать

Ротор СБ

Поз. 1

Коробка выводов

Поз. 5

1

Прокладка

Поз. 1

Крышка згр. вкл.

Поз. 1

График загрузки оборудования

Оборудование	Загрузка (%)
Верстак	85
Испытательный стенд	85
Верстак	10

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разработ.		Поправки		
Проб.		Циркули		
Тех.пр.		Борисов		
Нач.пр.				
Шиф.				

ФЮРА.100000.001

Схема сборки

Листа

Масса

Масштаб

Лист 1

Листов 2

Формат А3

Первое приложение

Справ. №

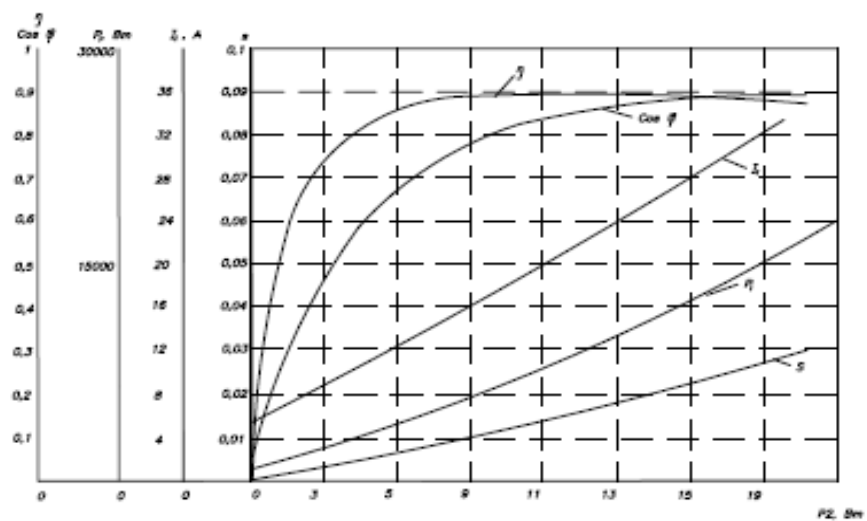
Подп. и дата

Имя, № д.р./г.

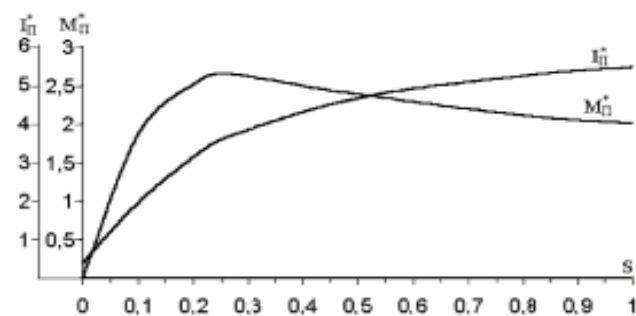
Возраст, год/мес

Подп. и дата

Имя, № подл.



Рабочие характеристики асинхронного двигателя.



Пусковые характеристики асинхронного двигателя.

					ФЮРА.2000000.001			
					Характеристики			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Потомкин				Лист 1			
Проф.	Цукорбин							
Тех.нар.					Лист 1			
Исполн.					Лист 1			
Упр.								