

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Электрические машины и электромеханика

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой _____

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

« _____ » 20__ г.

(подпись)

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: Проектирование асинхронного двигателя с раздельным ротором.

Выполнил (а) Ермаков А.Е. ЭАТК-14-Д
(Фамилия и инициалы студента) группа

специальность 573071200 - Электроэнергетика

Научный руководитель Шидерова Р.М. К.Т.Н. профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Р.М. « 15 » 03 20__ г.
(подпись)

Рецензент: _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« _____ » 20__ г.
(подпись)

Консультанты:

по экономической части: Макунов А.А. К.Т.Н. профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

А.А. « 24 » мая 20__ г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности: Маманбаева С.Е. Старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

С.Е. « 15 » октября 20__ г.
(подпись)

нормоконтролер: Шидерова Р.М. К.Т.Н. профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Р.М. « 15 » мая 20__ г.
(подпись)

Алматы 2018 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Институт Электроэнергетики и электротехники
Специальность 57071900 - "Электроэнергетика"
Кафедра Электрические машины и электродвижения

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Студент Ермаков Арман Ермакулы
(фамилия, имя, отчество)

Тема работы Проектирование асинхронного двигателя с фазным ротором

утверждена приказом ректора № 155 от «23» 10 2017 г.

Срок сдачи законченной работы «31» 05 2018 г.

Исходные данные, требуемые параметры результатов и исходные данные Номинальная мощность - 55 кВт

число полюсов $2p=4$
Номинальное фазное напряжение 220/380 В
синхронная частота вращения 1500 об/мин
исполнение по способу защиты IP23
изоляция по классу надежности F
частота сети 50 Гц

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломной работе или краткое содержание:

Дипломный проект выполняется на тему
"Асинхронный двигатель с фазным ротором"
В дипломном проекте были выполнены следующие работы:
выполнены расчеты построены рабочие чертежи
термистами исследован вопрос заливки
изоляция обмотки ротора.

Аннотация

Данный дипломный проект выполнен на тему «Проектирование асинхронного двигателя с фазным ротором».

В основной части произведен полный электромагнитный, тепловой, вентиляционный расчет двигателя.

В специальной части исследован вопрос замены изоляции обмотки статора.

В экономической части выполнен расчет сравнений двух видов асинхронных двигателей.

В разделе безопасности жизнедеятельности произведен расчет диаметра каната для подъёмного крана и расчет системы автоматического пожаротушения.

Аңдатпа

Берілген дипломдық жоба «Фазалы роторлы асинхронды қозғалтқышы жобалау» тақырыбында жасалды.

Негізгі бөлімінде қозғалтқыштың толық электромагниттік, жылу және желдету есептеулері жүргізілді.

Арнайы бөлімінде статорлы ораманың оқшаулауын ауыстыру мәселесі зерттелді.

Экономикалық бөлімінде асинхронды қозғалтқыштардың екі түрін салыстыру негізінде есептеулер жүргізілді.

Өмір қауіпсіздігі бөлімінде кранға арналған арқанның мөлшерін есептеу және өрт сөндірудің автоматтандырылған жүйесін есептеу жүргізілді.

Annotation

This graduation project is made on the theme "Design of the asynchronous engine with a phase rotor"

In the main part a complete electromagnetic, thermal, ventilation calculation of the engine is made.

In a special part the question of replacing the insulation of the stator winding has been investigated.

In the economic part, calculations of the comparisons of two types of induction motors have been performed.

In the life safety section, the calculation of the rope dimension for the crane and the calculation of the automatic fire suppression system have been made.

	Введение	9
1	Проектирование асинхронного двигателя с фазным ротором	10
1.1	Задание на проектирование	10
1.2	Определение главных размеров и выбор электромагнитных нагрузок	11
1.3	Определение числа пазов статора и расчет обмотки статора	12
1.4	Расчет размеров пазов статора	16
1.5	Расчет размеров сердечника, числа пазов и обмотки ротора	18
1.6	Расчет размеров пазов ротора	19
1.7	Расчет магнитной цепи	20
1.8	Активные и индуктивные сопротивления обмоток статора и ротора	22
1.9	Потери в стали, механические и добавочные потери	25
1.10	Рабочие характеристики асинхронного двигателя	26
1.11	Тепловой расчет	36
1.12	Расчет вентиляции	39
2	Специальная часть	41
2.1	Замена пазовой полиэтилентерефталатной (ПЭТФ) изоляции обмотки ротора на изоляцию из полиимида алициклического строения (ПИАБ)	41
2.2	Расчет эффективности применения полиимидной изоляции по сравнению с полиэтилентерефталатной изоляцией	42
3	Раздел безопасности жизнедеятельности	44
3.1	Анализ условий работы сотрудников	44
3.2	Расчет диаметра каната для подъемного крана	45
3.3	Пожарная безопасность	47
3.4	Расчет системы автоматического пожаротушения	50
4	Экономический раздел	52
4.1	Расчет затрат асинхронных двигателей	52
4.2	Определяем эффективности капитальных вложений	60
5	Заключение	62
6	Список используемой литературы	63

Введение

Промышленное производство приводится в движение асинхронными двигателями. В настоящее время асинхронные двигатели выпускаются едиными сериями в огромных количествах. Основная серия асинхронных машин 4А включает в себя двигатели от 0,4 до 400 кВт. Выпускаются высоковольтные машины в виде единой серии А4 на мощности свыше 400 кВт. Разработана единая серия асинхронных машин АИ.

При изготовлении серий электрических машин предусматривается максимальная унификация, поэтому большинство деталей одинаковые для машин как с короткозамкнутым, так и с фазным.

Несмотря на то что конструкция асинхронного двигателя отработывалась десятилетиями многими конструкторскими коллективами, продолжаются работы по ее совершенствованию и видоизменению. Проблема экономии материалов заставила искать пути создания безотходной технологии и замены традиционных материалов, применяемых в электромашиностроении.

Асинхронные машины с фазным ротором имеют на роторе обмотку из круглых или прямоугольных проводов, которая выполняется так же, как и обмотка статора.

Отличительной особенностью машин с фазным ротором является наличие на роторе обмотке проводников из круглого или прямоугольного сечения начала которой выведены на контактные кольца. Узел контактных колец вынесен из станины а контактные кольца закрыты кожухом. Узел контактных колец – консольного типа. Контактные кольца, спрессованные пластмассой, насаживаются на вал двигателя, они выполняются чугунными или медными. Выводные концы обмотки ротора подходят к трем кольцам через внутреннее отверстие в вале ротора. Обмотка ротора соединяется в звезду.

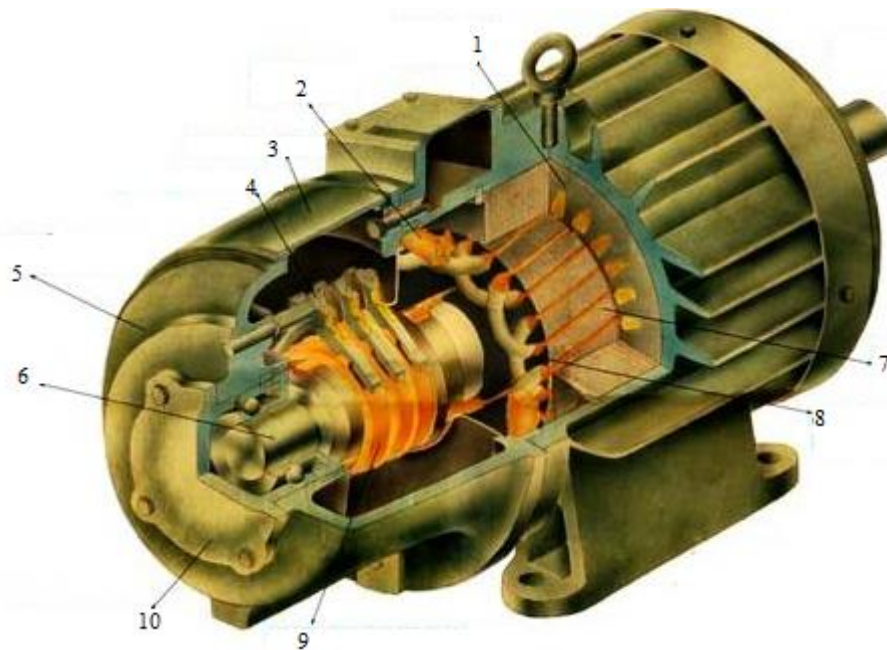
В дипломном проекте проектируется асинхронный двигатель с фазным ротором. Выполнен полный электромагнитный, тепловой, вентиляционный расчет двигателя с мощностью $P_2 = 55$ кВт напряжением 220/380 В и со скоростью вращения $n=1500$ об/мин.

В специальной части исследован вопрос замены изоляции обмотки ротора на более тонкую, в результате которой можно уменьшить потери мощности и увеличить КПД двигателя.

1 Проектирование асинхронного двигателя с фазным ротором

1.1 Задание на проектирование

Техническое задание на проектирование асинхронного двигателя содержит номинальные данные проектируемой машины, указания о режиме её работы, конструктивной форме исполнения, степени защиты от воздействия окружающей среды, системы охлаждения.



1 - сердечник статора; 2 - обмотка статора; 3 – крышка люка, 4 – щеткодержатель; 5 – передний подшипниковый щит; 6 - вал; 7 – сердечник ротора; 8 - обмотка ротора; 9 – контактные кольца; 10 – крышка подшипника.

Рисунок 1.1 – асинхронный двигатель с фазным ротором.

Исходные данные:

Номинальная мощность $P_2 = 55$ кВт;

Число полюсов $2p = 4$;

Номинальное фазное напряжение 220/380 В;

$n=1500$ об/мин – синхронная частота вращения;

Конструктивное исполнение IM1001;

Частота сети $f = 50$ Гц;

Исполнение по способу защиты IP23, Способ охлаждения IC01;

Изоляции по классу нагревостойкости F.

1.2 Определение главных размеров и выбор электромагнитных нагрузок

1 Принимаем $h=225$ мм; находим для оси вращения $D_a=392$ мм= $0,392$ м.

2 Внутренний диаметр статора D находится по формуле:

$$D=K_D \cdot D_a=0,67 \cdot 0,392=0,263 \text{ м}, \quad (1.1)$$

где, коэффициент K_D определяется по таблице 1.1

Таблица 1.1 - Значения коэффициента K_D

2p	2	4	6	8	10-12
K_D	0,52-0,6	0,62-0,68	0,7-0,72	0,72-0,75	0,75-0,77

3 Находим полюсное деление τ , м по формуле:

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,263}{4} = 0,207 \text{ м}. \quad (1.2)$$

4 Расчетную мощность асинхронного двигателя P' , (кВА) определяют по заданной номинальной мощности:

$$P' = m \cdot I \cdot E = P_2 \frac{k_e}{\Pi \cdot \cos \varphi} = 55 \frac{0,98}{0,895 \cdot 0,87} = 69,22 \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad (1.3)$$

где, $K_e=0,98$; $\Pi=0,895$; $\cos \varphi=0,87$;

5 Синхронная угловая скорость вала двигателя Ω , рад/с:

$$\Omega = \frac{2\pi f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с}. \quad (1.4)$$

6 Расчетная длина магнитопровода находится по формуле:

$$l_\delta = \frac{P'}{D^2 \cdot \Omega \cdot k_B \cdot k_{об1} \cdot A \cdot B_\delta} = \frac{69,22 \cdot 10^3}{0,263^2 \cdot 157 \cdot 1,11 \cdot 0,925 \cdot 38,1 \cdot 10^3 \cdot 0,76} = 0,214 \text{ м}, \quad (1.5)$$

где, $k_B=1,11$ - коэффициент формы поля, $k_{об1}=0,925$ -обмоточный коэффициент, электромагнитные нагрузки $A=38,1 \cdot 10^3$ А/м; $B_\delta=0,76$ Тл.

7 Критерий правильности выбора главных размеров находится по формуле:

$$\lambda = \frac{l_\delta}{\tau} = \frac{0,214}{0,207} = 1,03. \quad (1.6)$$

1.3 Определение числа пазов статора и расчет обмотки статора

Выбираем двухслойную петлевую обмотку и трапецеидальную форму пазов статора

7 Предельные значения $t_{z1min}=15$ мм; $t_{z1max}=18$ мм;

$$z_{1min} = \frac{\pi D}{t_{z1max}} = \frac{3,14 \cdot 263}{18} = 45,88, \quad (1.7)$$

$$z_{1max} = \frac{\pi D}{t_{z1min}} = \frac{3,14 \cdot 263}{15} = 55,05. \quad (1.8)$$

Принимаем $m=3$ – число фаз обмотки статора; $q_1=4$ – число пазов на полюс на фазу;

$$z_1 = 2p \cdot m \cdot q = 4 \cdot 3 \cdot 4 = 48. \quad (1.9)$$

8 Зубцовое деление статора t_{z1} находится по формуле:

$$t_{z1} = \frac{\pi D}{z_1} = \frac{3,14 \cdot 263}{48} = 17,2 \text{ мм.} \quad (1.10)$$

9 Номинальный фазный ток обмотки статора $I_{1ном}$ находится по формуле:

$$I_{1ном} = \frac{P_2}{m \cdot U_{1ном} \cdot \Pi \cdot \cos \varphi} = \frac{55 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,895 \cdot 0,87} = 107 \text{ А.} \quad (1.11)$$

10 Число эффективных проводников на паз находится по формуле:

$$U'_n = \frac{\pi D \cdot A}{I_{1ном} \cdot z_1} = \frac{3,14 \cdot 0,263 \cdot 38,1 \cdot 10^3}{107 \cdot 48} = 6,1, \quad (1.12)$$

$$U_n = a \cdot U'_n = 4 \cdot 6,1 = 24,4, \quad (1.13)$$

где, $a=4$ - число параллельных ветвей; принимаем $U_n=24$;

11 Число витков в фазе обмотки статора находится по формуле:

$$w_1 = \frac{U_n \cdot z_1}{2a \cdot m} = \frac{24 \cdot 48}{2 \cdot 4 \cdot 3} = 48. \quad (1.14)$$

12 Обмоточный коэффициент обмотки статора находится по формуле:

$$k_{об1} = k_{p1} \cdot k_{y1} = 0,958 \cdot 0,966 = 0,924. \quad (1.15)$$

13 Магнитный поток находится по формуле:

$$\Phi = \frac{k_e \cdot U_{1ном}}{4 \cdot k_B \cdot w_1 \cdot k_{об1} \cdot f_1} = \frac{0,98 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 48 \cdot 0,924 \cdot 50} = 21,9 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}. \quad (1.16)$$

14 Уточненное значение магнитной индукции в воздушном зазоре находится по формуле:

$$B_\delta = \frac{p \cdot \Phi}{D \cdot l_\delta} = \frac{2 \cdot 21,9 \cdot 10^{-3}}{0,263 \cdot 0,215} = 0,774 \text{ Тл}. \quad (1.17)$$

15 Уточненное значение линейной нагрузки находится по формуле:

$$A = \frac{2 \cdot I_{1ном} \cdot w_1 \cdot m}{\pi D} = \frac{2 \cdot 107 \cdot 48 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,263} = 37,2 \cdot 10^3 \text{ А/м}. \quad (1.18)$$

16 Допустимая плотность тока в обмотке статора $J_1 = 5,8 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$;

17 Сечения эффективного проводника (предварительно) находим по формуле:

$$q_{эф} = \frac{I_{1ном}}{a \cdot J_1} = \frac{107}{4,5,8 \cdot 10^6} = 4,61 \text{ мм}^2. \quad (1.19)$$

18 Выбираем сечение эффективного проводника (окончательно): $n_{эл} = 2$, тогда:

$$q_{эл} = \frac{q_{эф}}{n_{эл}} = \frac{4,61}{2} = 2,305 \text{ мм}^2. \quad (1.20)$$

20 По приложению 1 находим диаметр изолированного $d_{из} = 1,895 \text{ мм}^2$ и неизолированного $d = 1,8 \text{ мм}^2$ провода и выбираем провод марки ПЭТ-155; $q_{эл} = 2,54 \text{ мм}^2$;

$$q_{эф} = q_{эл} \cdot n_{эл} = 2,54 \cdot 2 = 5,08 \text{ мм}^2. \quad (1.21)$$

21 Плотность тока в обмотке статора (уточненное значение):

$$J_1 = \frac{I_{1\text{НОМ}}}{a \cdot q_{\text{эф}}} = \frac{107}{4 \cdot 5,08 \cdot 10^{-6}} = 5,8 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2. \quad (1.22)$$

Приложение 1

Диаметр и площади поперечного сечения круглых медных эмалированных проводов марок ПЭТ – 155

Номинальный диаметр неизолированного провода, мм	Среднее значение диаметра изолированного провода, мм	Площадь поперечного сечения неизолированного провода, мм ²
0,53	0,585	0,221
0,56	0,615	0,246
0,6	0,655	0,283
0,63	0,69	0,312
0,67	0,73	0,353
0,71	0,77	0,396
0,75	0,815	0,422
0,80	0,865	0,503
0,85	0,915	0,567
0,90	0,965	0,636
1,0	1,08	0,785
1,06	1,14	0,883
1,12	1,2	0,985
1,18	1,26	1,094
1,25	1,33	1,227
1,32	1,405	1,368
1,4	1,485	1,539
1,5	1,585	1,767
1,6	1,685	2,011
1,7	1,785	2,27
1,8	1,895	2,54
1,9	1,995	2,83

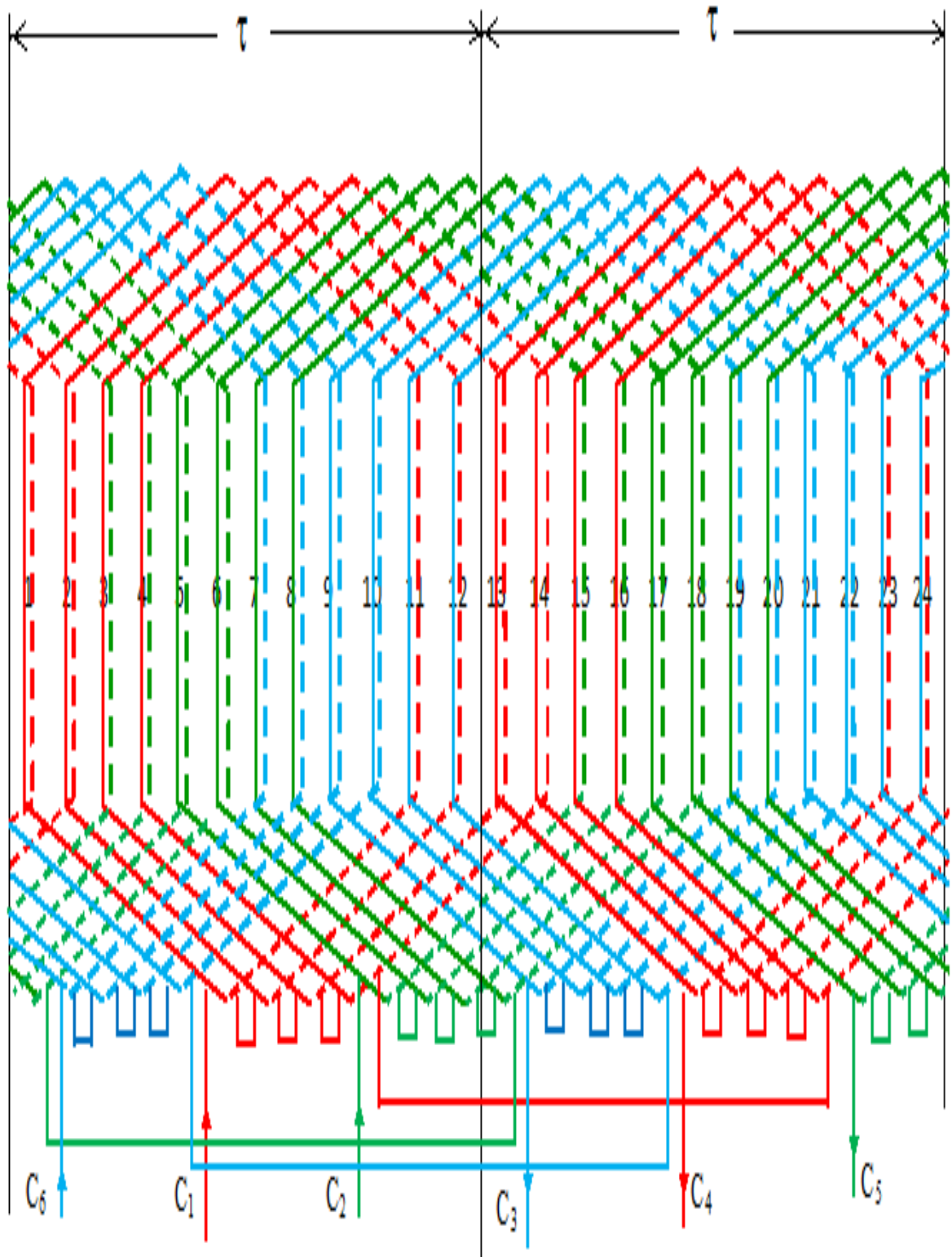


Рис. 1.2 Схема одно- двухслойной обмотки, $Z = 48$, $2p = 4$, $a = 1$, $q = 4$.

1.4 Расчет размеров пазов статора

Расчет размеров трапецидального полужакрытого паза выпннй обмотки статора

22 Находим ширину зубца по рекомендуемому значению индукции в зубцах по формуле:

$$b_{z1min} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z1} \cdot l_{\delta}}{B_{zmax} \cdot l_{ct1} \cdot k_{c1}} = \frac{0,774 \cdot 17,2 \cdot 0,215}{2 \cdot 0,215 \cdot 0,95} = 7,01 \text{ мм}, \quad (1.23)$$

где, $k_c=0,95$ - коэффициент заполнения сталью магнитопровода.

23 Высота ярма статора определяется по формуле:

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot l_{ct1} \cdot k_c} = \frac{21,9 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1,4 \cdot 0,215 \cdot 0,95} = 38,3 \text{ мм}, \quad (1.24)$$

где $B_a=1,4$ Тл; $B_{zmax}=2$ Тл;

24 Высоту зубца находим по формуле:

$$h_{\Pi} = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{392 - 263}{2} - 38,3 = 26,2 \text{ мм}. \quad (1.25)$$

25 Наименьшая ширина паза в штампе находится по формуле:

$$b_n = t_1 - b_{z1min} = 17,6 - 7,01 = 10,6 \text{ мм}. \quad (1.26)$$

26 Наибольшая ширина паза в штампе находится по формуле:

$$b'_n = t_2 - b_{z1min} = 20,6 - 7,01 = 13,6 \text{ мм}. \quad (1.27)$$

27 Ширина шлица быть должна быть такой, чтобы можно было уложить в пазы катушки по одному проводу:

$$b_{\text{ш}} = d_{\text{из}} + 2 \cdot b_{\text{из}} + b_{\text{из}} = 1,895 + 2 \cdot 0,4 + 0,4 = 3,1 \text{ мм}. \quad (1.28)$$

28 Высота клиновой части находится по формуле:

$$h_k = 0,4 \cdot (b_n - b_{\text{ш}}) = 0,4 \cdot (10,6 - 3,1) = 3 \text{ мм}. \quad (1.29)$$

29 Площади поперечного паза в свету определяются с учетом припусков на шихтовку и сборку сердечников:

$$S_{\text{п}} = \left[\left(\frac{b_{\text{н}} + b'_{\text{н}}}{2} \right) - \Delta b_{\text{н}} \right] \cdot (h_{\text{п}} - h_{\text{ш1}} - h_{\text{к}} - \Delta h_{\text{п}}) + \left[\left(\frac{b_{\text{н}} + b_{\text{ш}}}{2} \right) - \Delta b_{\text{н}} \right] = 279,4 \text{ мм}^2, \quad (1.30)$$

где, $\Delta b_{\text{н}} = 0,2 \text{ мм}$; $\Delta h_{\text{п}} = 0,2 \text{ мм}$; $h_{\text{ш1}} = 1,2 \text{ мм}$; по таблице 1.2

Таблица 1.2 - Припуски на шихтовку

Высота оси вращения h, (мм)	Припуски (мм)	
	По ширине паза - $\Delta b_{\text{н}}$	По высоте паза - Δh
50-132	0,1	0,1
160-250	0,2	0,2
280-355	0,3	0,3
400-500	0,4	0,4

30 Площадь поперечного сечения паза находится по формуле:

$$S_{\text{из}} = b_{\text{из}} \left(2h_{\text{п}} + a \cdot (b_{\text{н}} + b'_{\text{н}}) \right) = 0,4(2 \cdot 26,2 + 1,6(10,6 + 13,6)) = 36,45 \text{ мм}^2, \quad (1.31)$$

$$S'_{\text{п}} = S_{\text{п}} - S_{\text{из}} = 279,4 - 36,45 = 242,95 \text{ мм}^2. \quad (1.32)$$

31 Коэффициент заполнения паза находится по формуле:

$$K_3 = \frac{d_{\text{из}}^2 \cdot U_{\text{п}} \cdot n_{\text{эл}}}{S'_{\text{п}}} = \frac{1,895^2 \cdot 24 \cdot 2}{242,95} = 0,71. \quad (1.33)$$

Коэффициент заполнения паза входит в область допустимых пределов $k_3 = 0,70 \dots 0,74$ для механизированной укладки обмотки двигателей $2p \geq 4$

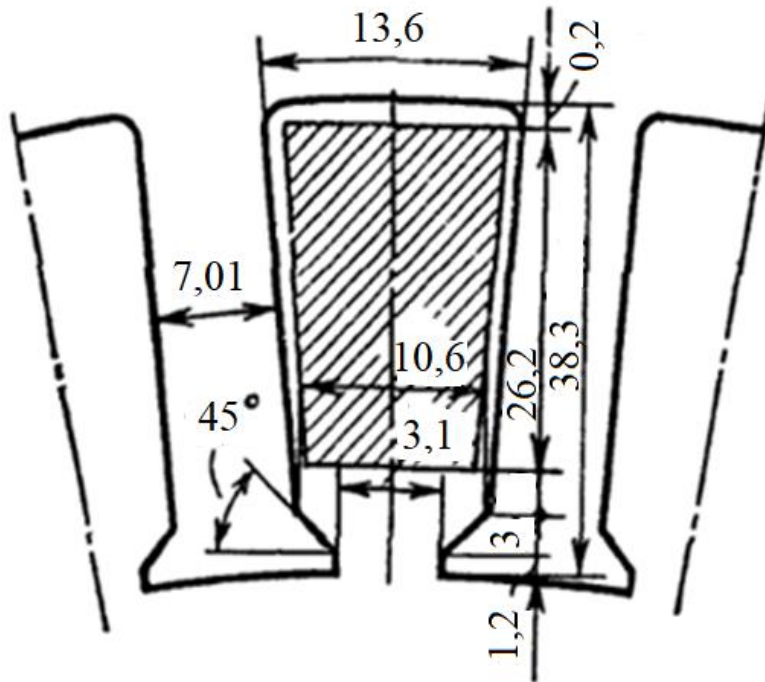


Рисунок 1.3 трапецидальной полузакрытый паз всыпной обмотки статора

1.5 Расчет размеров сердечника, числа пазов и обмотки ротора

32 Внешний диаметр сердечника ротора находится по формуле:

$$D_2 = D - 2\delta = 0,263 - 2 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} = 0,262 \text{ м.} \quad (1.34)$$

33 Число пазов на полюс и фазу ротора $q_2 = 5 \frac{1}{2}$

34 Число пазов ротора находится по формуле:

$$Z_2 = 2p m q_2 = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5,5 = 66. \quad (1.35)$$

При $h > 200$ мм применяется двухслойная жесткая волновая обмотка, которая укладывается в полузакрытые прямоугольные пазы.

Расчет обмотки с жесткими секциями

35 Число витков в обмотки находится по формуле:

$$w_2 = 2p \cdot q_2 = 4 \cdot 5,5 = 22. \quad (1.36)$$

36 Эффективное число проводников волновой обмотки: $U_{n2} = 2$; число параллельных ветвей $a_2 = 1$;

37 Ток обмотки ротора находим по формуле:

$$N=U_n \cdot 5+a_2=2 \cdot 5+1=11 \text{ А.} \quad (1.37)$$

38 Предварительное значение тока в обмотке фазного ротора:

$$I_2=1,1 \cdot I_{1\text{ном}} \cdot \frac{w_1 \cdot k_{о61} \cdot \cos \varphi}{w_2 \cdot k_{о62}}=1,1 \cdot 107 \cdot \frac{48 \cdot 0,924 \cdot 0,87}{22 \cdot 0,956}=216 \text{ А,} \quad (1.38)$$

$$k_{о62}=\frac{0,5}{N \cdot \sin \frac{\pi}{2mN}}=\frac{0,5}{11 \cdot \sin \frac{\pi}{2 \cdot 3 \cdot 11}}=0,956. \quad (1.39)$$

39 Сечение эффективного проводника (предварительно):

$$q_{эф2}=\frac{I_2}{a_2 \cdot J_2}=\frac{216}{5,9 \cdot 10^6}=36,6 \text{ мм}^2. \quad (1.40)$$

40 Принимаем $J_2=5,9 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$; выбираем неизолированный провод $a=2,26 \text{ мм}$, $b=16 \text{ мм}$, $q_{эф2}=36,62 \text{ мм}^2$.

41 Плотность тока в обмотке ротора (уточненное значение) находим по формуле:

$$J_2=\frac{I_2}{q_{эф2} \cdot a_2 \cdot n_{эл2}}=\frac{216}{36,62}=5,9 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2. \quad (1.41)$$

1.6 Расчет размеров пазов ротора

Расчет размеров прямоугольного паза обмотки ротора с жесткими секциями

42 Высота зубца (предварительно) по формуле:

$$h_{n2}=(34-2\rho)+0,025 \cdot D_a=(34-4)+0,025 \cdot 392=39,8 \text{ мм.} \quad (1.42)$$

43 Предварительная ширина зубца ротора в наиболее узком месте находится по формуле:

$$t_{z2}=\frac{\pi D_2}{z_2}=\frac{3,14 \cdot 262}{66}=12,5 \text{ мм,} \quad (1.43)$$

$$b_{z2min} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z2} \cdot l_{\delta}}{B_{z2max} \cdot l_{ст2} \cdot k_c} = \frac{0,774 \cdot 12,5 \cdot 0,215}{2 \cdot 0,22 \cdot 0,95} = 4,52 \text{ мм.} \quad (1.44)$$

44 Предварительная ширина паза в штампе находится по формуле:

$$t_{2min} = \frac{\pi(D_2 - 2h_{z2})}{z_2} = \frac{3,14(262 - 2 \cdot 39,8)}{66} = 8,67 \text{ мм,} \quad (1.45)$$

$$b_n = t_{2min} - b_{z2min} = 8,67 - 4,52 = 4,15 \text{ мм.} \quad (1.46)$$

После этого производится разработка конструкции паза.

45 Определяем окончательно: $h_k = 2,7 \text{ мм}$; $h_{ш} = 1 \text{ мм}$;

$$t_{2max} = \frac{\pi(D_2 - 2h_{ш2} - 2h_{k2})}{z_2} = \frac{3,14(262 - 2 \cdot 2 \cdot 2,7)}{66} = 12,1 \text{ мм,} \quad (1.47)$$

$$b_{z2max} = t_{2max} - b_{п2} = 12,1 - 4,15 = 7,95 \text{ мм.} \quad (1.48)$$

46 Индукция в наиболее узком и широком местах:

$$B_{z2max} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z2} \cdot l_{\delta}}{b_{z2min} \cdot l_{ст2} \cdot k_c} = \frac{0,774 \cdot 12,5 \cdot 0,215}{4,52 \cdot 0,22 \cdot 0,95} = 2,2 \text{ Тл,} \quad (1.49)$$

$$B_{z2min} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z1} \cdot l_{\delta}}{b_{z2max} \cdot l_{ст2} \cdot k_c} = \frac{0,774 \cdot 17,2 \cdot 0,215}{7,95 \cdot 0,22 \cdot 0,95} = 1,72 \text{ Тл.} \quad (1.50)$$

47 Индукция в ярме ротора находится по формуле:

$$h_{a2} = \frac{D_2 - D_{2B} - 2h_{z2}}{2} = \frac{262 - 90,2 - 2 \cdot 39,8}{2} = 46,1 \text{ мм,} \quad (1.51)$$

$$B_{a2} = \frac{\alpha \delta \cdot \tau \cdot l_{\delta} \cdot B_{\sigma}}{2 \cdot h_{a2} \cdot l_{ст2} \cdot k_c} = \frac{1,57 \cdot 0,207 \cdot 0,215 \cdot 0,774}{2 \cdot 46,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,22 \cdot 0,95} = 1,14 \text{ Тл.} \quad (1.52)$$

1.7 Расчет магнитной цепи

48 Магнитное напряжение воздушного зазора на пару полюсов по формуле:

$$F_{\delta} = 1,6 \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} = 1,6 \cdot 10^6 \cdot 0,774 \cdot 1,24 \cdot 10^{-3} \cdot 0,71 = 1090 \text{ А.} \quad (1.53)$$

49 Магнитное напряжение зубцового слоя статора по формуле:

$$L_{z1}=2h_{z1}=2\cdot 26,2=52,4 \text{ мм}, \quad (1.54)$$

где, $H_{z1}=3150 \text{ А/м}$ - при трапецеидальных пазах.

$$F_{z1}=L_{z1}\cdot H_{z1}=52,4\cdot 10^{-3}\cdot 3150=165 \text{ А}, \quad (1.55)$$

$$B'_{z1}=\frac{B_{\delta}t_{z1}l_{\delta}}{B_{z1}l_{\text{ст1}}k_{c1}}=\frac{0,75\cdot 15,05\cdot 10^{-3}\cdot 0,19}{5,9\cdot 10^{-3}\cdot 0,19\cdot 0,92}=2,08 \text{ Тл}. \quad (1.56)$$

50 Магнитное напряжение зубцового слоя ротора по формуле:

$$L_{z2}=2h_{z2}=2\cdot 39,8=79,6 \text{ мм}, \quad (1.57)$$

$$B_{z2\text{cp}}=\frac{B_{z2\text{max}}+B_{z2\text{min}}}{2}=\frac{2,2+1,72}{2}=1,96 \text{ Тл}. \quad (1.58)$$

51 Напряженность поля в сечениях зубца:

$$H_{z2\text{max}}=8920 \text{ А/м};$$

$$H_{z2\text{cp}}=2640 \text{ А/м};$$

$$H_{z2\text{min}}=1220 \text{ А/м};$$

52 Расчетная напряженность поля находится по формуле:

$$H_{z2}=\frac{1}{6}(H_{z2\text{max}}+4H_{z2\text{cp}}+H_{z2\text{min}})=\frac{1}{6}(8920+4\cdot 2640+1220)=3450 \text{ А/м}, \quad (1.59)$$

$$F_{z2}=H_{z2}\cdot L_{z2}=79,6\cdot 10^{-3}\cdot 3450=275 \text{ А}. \quad (1.60)$$

53 Магнитное напряжения ярма статора находим по формуле:

$$F_{a1}=L_{a1}\cdot H_{a1}=0,278\cdot 400=111,2 \text{ А}, \quad (1.61)$$

$$L_{a1}=\pi\frac{(D_a-h_{a1})}{2p}=3,14\frac{0,392-38,3\cdot 10^{-3}}{4}=0,278\text{м}. \quad (1.62)$$

$$H_{a1}=400 \text{ А/м}$$

54 Магнитное напряжения ярма ротора находим по формуле:

$$F_{a2}=L_{a2}\cdot H_{a2}=0,107\cdot 229=24,5 \text{ А}, \quad (1.63)$$

$$L_{a2} = \pi \frac{D_2 - 2h_{z2} - h_{a2}}{2p} = 3,14 \frac{0,262 - 2 \cdot 39,8 \cdot 10^{-3} - 46,1 \cdot 10^{-3}}{4} = 0,107 \text{ м.} \quad (1.64)$$

$$H_{a2} = 229 \text{ А/м}$$

55 Сумма магнитных напряжений всех участков магнитной цепи находим по формуле:

$$F_{\Sigma} = F_{\delta} + F_{z1} + F_{z2} + F_{a1} + F_{a2} = 1090 + 165 + 275 + 111,2 + 24,5 = 1670 \text{ А.} \quad (1.65)$$

56 Коэффициент насыщения магнитной цепи двигателя по формуле:

$$k_{\mu} = \frac{F_{\Sigma}}{F_{\delta}} = \frac{1670}{1090} = 1,53. \quad (1.66)$$

57 Намагничивающий ток находим по формуле:

$$I_{\mu} = \frac{p F_{\Sigma}}{0,9 m_1 w_1 k_{об1}} = \frac{2 \cdot 1670}{0,9 \cdot 3 \cdot 48 \cdot 0,924} = 27,9 \text{ А.} \quad (1.67)$$

58 В процентах от номинального тока:

$$I_{\mu*} = \frac{I_{\mu} \cdot 100}{I_{1ном}} = \frac{27,9 \cdot 100}{107} = 26,1 \% \quad (1.68)$$

1.8 Активные и индуктивные сопротивления обмоток статора и ротора

59 Среднее значения зубцового деление статора находим по формуле:

$$t_{cp1} = \frac{\pi(D_1 + h_{z1})}{z_1} = \frac{3,14(263 + 26,2)}{48} = 18,9 \text{ мм.} \quad (1.69)$$

60 Среднее значения ширины катушки статора находим по формуле:

$$b_{cp1} = t_{cp1} \cdot y_{cp1} = 0,0189 \cdot 10 = 0,189 \text{ м.} \quad (1.70)$$

61 Средняя длина лобовой части статора находим по формуле:

$$l_{l1} = (1,16 + 0,14\rho) b_{cp1} = (1,16 + 0,14 \cdot 2) \cdot 0,189 = 0,272 \text{ м.} \quad (1.71)$$

62 Средняя длина витка обмотки статора находим по формуле:

$$l_{cp1} = 2 \cdot (l_1 + l_{л1}) = 2 \cdot (0,255 + 0,272) = 1,05 \text{ м.} \quad (1.72)$$

63 Длина вылета лобовой части обмотки статора по формуле:

$$l_{в1} = (0,12 + 0,15\rho) b_{cp1} + 0,01 = (0,12 + 0,15 \cdot 2) \cdot 0,189 + 0,01 = 0,0894 \text{ м.} \quad (1.73)$$

64 Активное сопротивление обмотки статора для класса изоляции F при рабочей температуре 115 °C

$$q_{эл1} = \frac{q_{эф1}}{n_{эл1}} = \frac{4,61}{2} = 2,31 \text{ мм}^2, \quad (1.74)$$

$$\rho_{115} = 0,0244 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м.} \quad (1.75)$$

$$r_1 = \frac{\rho_{115} \cdot w_1 \cdot l_{cp1}}{a_1 \cdot n_{эл1} \cdot q_{эл1}} = \frac{0,0244 \cdot 10^{-6} \cdot 48 \cdot 1,05}{4 \cdot 2 \cdot 2,31 \cdot 10^{-6}} = 6,65 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}, \quad (1.76)$$

$$r_1' = r_1 \cdot \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}} = 6,65 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{107}{220} = 3,23 \cdot 10^{-2} \text{ Ом.} \quad (1.77)$$

65 Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора состоит из трех частей: пазового рассеяния, дифференциального рассеяния и рассеяния лобовых частей.

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния статора:

$$\lambda_{п1} = 1,5;$$

Коэффициент проводимости дифференциального рассеяния:

$$\lambda_{д1} = 1,45;$$

Коэффициент проводимости рассеяния лобовых частей обмотки:

$$\lambda_{л1} = 0,864;$$

66 Коэффициент магнитной проводимости рассеяния обмотки по формуле:

$$\lambda_1 = \lambda_{п1} + \lambda_{д1} + \lambda_{л1} = 3,83. \quad (1.78)$$

67 Индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки статора по формуле:

$$X_1 = \frac{1,58 \cdot f_1 \cdot l_1 \cdot w_1^2 \cdot \lambda_1}{\rho \cdot q_1 \cdot 10^5} = \frac{1,58 \cdot 50 \cdot 0,215 \cdot 48^2 \cdot 3,83}{2 \cdot 4 \cdot 10^5} = 0,222 \text{ Ом}, \quad (1.79)$$

$$x'_1 = x_1 \cdot \frac{I_{1\text{НОМ}}}{U_{1\text{НОМ}}} = 0,222 \cdot \frac{107}{220} = 0,107 \text{ Ом.} \quad (1.80)$$

68 Среднее значения зубцового деление ротора находим по формуле:

$$t_{cp1} = \frac{\pi(D_2 - h_{z2})}{z_2} = \frac{3,14(262 - 39,8)}{66} = 10,6 \text{ мм.} \quad (1.81)$$

69 Среднее значения ширины катушки ротора находим по формуле:

$$b_{cp2} = t_{cp2} \cdot y_{cp2} = 0,0106 \cdot 16,5 = 0,175 \text{ м.} \quad (1.82)$$

70 Среднее значения длины лобовой части катушки ротора находим по формуле:

$$c_{л2} = \frac{b_{л2} + 0,0035}{t_2} = 0,612 \text{ м,} \quad (1.83)$$

$$l_{л2} = \frac{b_{cp2}}{\sqrt{1 - c_{л2}^2}} = 0,311 \text{ м.} \quad (1.84)$$

71 Средняя длина витка обмотки ротора находим по формуле:

$$l_{cp2} = 2 \cdot (l_2 + l_{л2}) = 1,14 \text{ м.} \quad (1.85)$$

72 Вылет лобовой части обмотки ротора находим по формуле:

$$l_{в2} = 0,7 \cdot l_{cp2} = 0,0626 \text{ м.} \quad (1.86)$$

73 Активное сопротивление обмотки ротора по формуле:

$$q_{эл2} = \frac{q_{эф2}}{n_{эл2}} = \frac{36,62}{1} = 36,62 \text{ мм}^2, \quad (1.87)$$

$$r_2 = \frac{\rho_{115} \cdot w_2 \cdot l_{cp2}}{a_2 \cdot n_{эл2} \cdot q_{эл2}} = \frac{0,0244 \cdot 10^{-6} \cdot 22 \cdot 1,14}{1 \cdot 36,62 \cdot 10^{-6}} = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ Ом.} \quad (1.88)$$

74 Коэффициент приведения сопротивления обмоток ротора к обмотке статора:

$$k_{пр} = \left(\frac{w_1 k_{об1}}{w_2 k_{об2}} \right)^2 = 4,45. \quad (1.89)$$

75 Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к статору:

$$r'_2 = k_{пр} \cdot r_2 = 4,45 \cdot 1,67 \cdot 10^{-2} = 7,43 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}, \quad (1.90)$$

$$r'_{21} = r'_2 \cdot \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}} = 7,43 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{107}{220} = 3,61 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}. \quad (1.91)$$

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния ротора

$$\lambda_{п2} = 4,667;$$

Коэффициент проводимости дифференциального рассеяния ротора:

$$\lambda_{д1} = 1,26;$$

Коэффициент проводимости рассеяния лобовых частей обмотки:

$$\lambda_{л1} = 1,28;$$

76 Коэффициент проводимости рассеяния обмоток ротора по формуле:

$$\lambda_2 = \lambda_{п2} + \lambda_{д2} + \lambda_{л2} = 7,21. \quad (1.92)$$

77 Индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки статора

$$X_2 = \frac{1,58 \cdot f_1 \cdot l_2 \cdot w_2^2 \cdot \lambda_2}{\rho \cdot q_2 \cdot 10^5} = \frac{1,58 \cdot 50 \cdot 0,26 \cdot 22^2 \cdot 7,21}{2,5,5 \cdot 10^5} = 0,0652 \text{ Ом}, \quad (1.93)$$

$$x'_2 = k_{пр} \cdot x_2 = 4,45 \cdot 0,0652 \cdot 10^{-2} = 0,29 \text{ Ом}, \quad (1.94)$$

$$x'_{21} = x'_2 \cdot \frac{I_{1ном}}{U_{1ном}} = 0,29 \cdot \frac{107}{220} = 0,141 \text{ Ом}. \quad (1.95)$$

1.9 Потери в стали, механические и добавочные потери

Потери в стали и механические потери не зависят от нагрузки, поэтому они называются постоянными потерями и могут быть определены до расчета рабочих характеристик.

78 Расчетная масса стали зубцов статора при трапецеидальных пазах:

$$G_{z1}=7,8 \cdot z_1 \cdot b_{z1} \cdot h_{пл} \cdot l_1 \cdot k_c \cdot 10^3 = 16,7 \text{ кг.} \quad (1.96)$$

79 Магнитные потери в зубцах статора:

$$P_{z1}=4,4 \cdot B_{z1cp}^2 \cdot G_{z1}=4,4 \cdot 4 \cdot 16,7=294 \text{ Вт.} \quad (1.97)$$

80 Масса стали ярма статора:

$$G_{a1}=7,8 \cdot \pi \cdot (D_a - h_{a1}) \cdot h_{a1} \cdot l_1 \cdot k_c \cdot 10^3 = 80,4 \text{ кг.} \quad (1.98)$$

81 Магнитные потери в ярме статора:

$$P_{a1}=4,4 \cdot B_{ал}^2 \cdot G_{ал}=4,4 \cdot 1,96 \cdot 80,4=693 \text{ Вт.} \quad (1.99)$$

82 Суммарные магнитные потери в сердечнике статора, включающие добавочные потери в стали:

$$P_{ст}=P_{z1} \cdot \left[1 + 2 \cdot \sqrt{t_1 \cdot 100(k_\delta - 1)^2} \right] + P_{a1} = 1,17 \cdot 10^3 \text{ Вт.} \quad (1.100)$$

83 Механические потери по формуле:

$$P_{мех}=(n_k + 11) \cdot \left(\frac{n_1}{1000} \right)^2 \cdot (10 \cdot D_1)^3 = 614 \text{ Вт.} \quad (1.101)$$

84 Дополнительные потери при номинальной нагрузке:

$$P_{доб}=0,005 \cdot P_2 = 0,005 \cdot 55 \cdot 10^3 = 275 \text{ Вт.} \quad (1.102)$$

1.10 Рабочие характеристики асинхронного двигателя.

85 Сопротивление взаимной индукции обмоток статора и ротора:

$$x_m = \left(\frac{U_{1НОМ}}{I_\mu} \right) -$$
$$x_1 = \frac{220}{27,9} - 0,222 = 7,66 \text{ Ом.} \quad (1.103)$$

86 Коэффициент приведения параметров Т-образной схемы замещения к

Г-образной:

$$C_1 = 1 + \frac{x_1}{x_m} = 1 + \frac{0,222}{7,66} = 1,03. \quad (1.104)$$

87 Активная составляющая тока холостого хода при $S=0$:

$$I_{0a} = \frac{P_{ст.} + 3 \cdot I_{\mu}^2 \cdot r_1}{3U_{ном}} = \frac{1,17 \cdot 10^3 + 3 \cdot 27,9^2 \cdot 6,65 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 220} = 2,01 \text{ А.} \quad (1.105)$$

88 Реактивная составляющая тока холостого хода при $S=0$:

$$I_{op} = I_{\mu} \quad (1.106)$$

Дальнейшие формулы для расчета рабочих характеристик сведены в таблицу 1.4

Таблица 1.4

№ п/ п	Расчетная формула	Ед ин иц ы	Скольжение, S					
			0,00722	0,014	0,022	0,029	0,036	0,043
1	$C_1^2 \cdot r_2' / S$	Ом	10,918	5,459	3,639	2,729	2,184	1,82
2	$R = c_1 r_1 + C_1^2 \cdot r_2' / S$	Ом	10,986	5,527	3,708	2,798	2,252	1,888
3	$x = c_1 (x_1 + c_1 x_2')$	Ом	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536
4	$Z = \sqrt{R^2 + x^2}$	Ом	10,999	5,553	3,746	2,849	2,315	1,963
5	$I_2'' = I_2' / c_1 = U_{1\phi} / Z$	А	20,002	39,617	58,725	77,225	95,033	112,08
6	$\cos \varphi_2 = \frac{R}{Z}$	-	0,999	0,995	0,99	0,982	0,973	0,962
7	$\sin \varphi_2 = \frac{x}{Z}$	-	0,049	0,097	0,143	0,188	0,232	0,273
8	$I_{1a} = I_{0a} + I_2'' \cos \varphi_2$	А	21,988	41,441	60,13	77,854	94,457	109,83
9	$I_{ap} = I_{0p} + I_2'' \sin \varphi_2$	А	28,875	31,726	36,241	42,438	49,917	58,527
10	$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_p^2}$	А	36,294	52,191	70,524	88,669	106,83	124,45
11	$I_2' = I_2'' \cdot c_1$	А	20,602	40,805	60,487	79,541	97,884	115,44

12	$P_1=3U_{1\phi}\cdot I_{1a}\cdot 10^{-3}$	кВт	14,512	27,351	39,686	51,384	62,342	72,488
----	---	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Продолжения таблицы 1.4

13	$P_{\Sigma 1}=3I_1^2\cdot r_1\cdot 10^{-3}$	Вт	262,79	543,42 4	984,3	1569	2277	3090
14	$P_{\Sigma 2}=3I_2^2\cdot r_2\cdot 10^{-3}$	Вт	94,604	371,13 9	815,51	1410	2136	2971
15	$P_{\text{доб}}=P_{\text{доб.н}}\left(\frac{I_1}{I_{1H}}\right)$	Вт	31,64	65,428	118,5	188,84	274,15	372,01
16	ΣP	кВт	2,173	2,764	3,702	4,952	6,471	8,217
17	$P_2 = P_1 - \Sigma P$	кВт	12,339	24,587	35,984	46,432	55,871	64,271
18	$\eta = 1 - \Sigma P / P_1$	-	0,85	0,899	0,907	0,904	0,896	0,887
19	$\cos \varphi_1 = I_{1a} / I_1$	-	0,606	0,794	0,856	0,878	0,884	0,883
20	$n=n_1(1-S)$	об/ ми н	1489	1478	1468	1457	1446	1435

1

$$C_i = C_1^2 \cdot \frac{r_2}{S_1}$$

$C_i =$

10,918
5,459
3,639
2,729
2,184
1,82

2

$$R_i = C_1 \cdot r_1 + C_1^2 \cdot \frac{r_2}{S_1}$$

$$R_i =$$

10,986
5,527
3,708
2,798
2,252
1,888

3

$$X = C_1 \cdot (x_1 + C_1 \cdot x_2) \quad X = 0,536$$

4

$$Z_i = \sqrt{(R_i)^2 + X^2}$$

$$Z_i =$$

10,999
5,553
3,746
2,849
2,315
1,963

5

$$I_{2i}^{//} = \frac{U_{1HOM}}{Z_i}$$

$$I_{2i}^{//} =$$

20,002
39,617
58,725
77,225
95,033
112,086

6

$$\cos \varphi_{2i} = \frac{R_i}{z_i}$$

$$\cos \varphi_{2i} =$$

0,999
0,995
0,99
0,982
0,973
0,962

7

$$\sin \varphi_{2i} = \frac{X}{z_i}$$

$$\sin \varphi_{2i} =$$

0,049
0,097
0,143
0,188
0,232
0,273

8

$$I_{1ai} = I_{oa} + I_{2i} \cos \varphi_{2i}$$

$$I_{1ai} =$$

21,988
41,441
60,13
77,854
94,457
109,83

9

$$I_{1pi} = I_{\mu} + I_{2i}'' \sin \varphi_{2i}$$

$$I_{1ai} =$$

28,875
31,726
36,307
42,438
49,917
58,527

10

$$I_{1i} = \sqrt{I_{1ai}^2 + I_{pi}^2}$$

$$I_{1i} =$$

36,294
52,191
70,241
88,669
106,836
124,451

11

$$I_{2i}' = I_{2i}'' \cdot C_1$$

$$I_{2i}' =$$

20,602
40,805
60,487
79,541
97,884
115,448

12

$$P_{1i} = 3U_{1\phi} \cdot I_{1ai} \cdot 10^{-3}$$

$$P_{1i} =$$

14,512
27,351
39,686
51,384
62,342
72,488

13

$$P_{\text{э}1i} = 3I_{1i}^2 \cdot r_1$$

$$P_{\text{э}1i} =$$

262,79
543,424
984,301
$1,569 \cdot 10^{-3}$
$2,277 \cdot 10^{-3}$
$3,09 \cdot 10^{-3}$

14

$$P_{\text{э}2i} = 3I_{2i}^2 \cdot r_i'$$

$$P_{\text{э}1i} =$$

94,604
371,139
815,513
$1,41 \cdot 10^{-3}$
$2,136 \cdot 10^{-3}$
$2,971 \cdot 10^{-3}$

15

$$P_{\text{добі}} = P_{\text{доб.н}} \left(\frac{I_{1i}}{I_{1H}} \right)^2$$

$$P_{\text{добі}} =$$

31,64
65,428
118,509
188,848
274,155
372,016

16

$$P_{\text{сумі}} = (P_{\text{ст}} + P_{\text{мх}} + P_{\text{э1}} + P_{\text{э2}} + P_{\text{доб}}) \cdot 10^{-3}$$

$$P_{\text{сумі}} =$$

2,173
2,764
3,702
4,952
6,471
8,217

17

$$P_{2i} = P_{1i} - P_{\text{сумі}}$$

$$P_{2i} =$$

12,339
24,587
35,984
46,432
55,871
64,271

18

$$\eta_i = 1 - \frac{P_{\text{cyMi}}}{P_{1i}}$$

$$\eta_i =$$

0,85
0,899
0,907
0,904
0,896
0,887

19

$$\cos \varphi_{1_i} = \frac{I_{1ai}}{I_{1i}}$$

$$\cos \varphi_{1_i} =$$

0,606
0,794
0,856
0,878
0,884
0,883

20

$$n_i = n_1(1 - S_i)$$

$$n_i =$$

$1,489 \cdot 10^{-3}$
$1,478 \cdot 10^3$
$1,468 \cdot 10^3$
$1,457 \cdot 10^3$

$1,446 \cdot 10^3$
$1,435 \cdot 10^3$

21

$$M_{2i} = \frac{9,55 \cdot P_{2i} \cdot 10^3}{n_i}$$

$M_{2i} =$

79,129
158,833
234,167
304,408
369,034
427,722

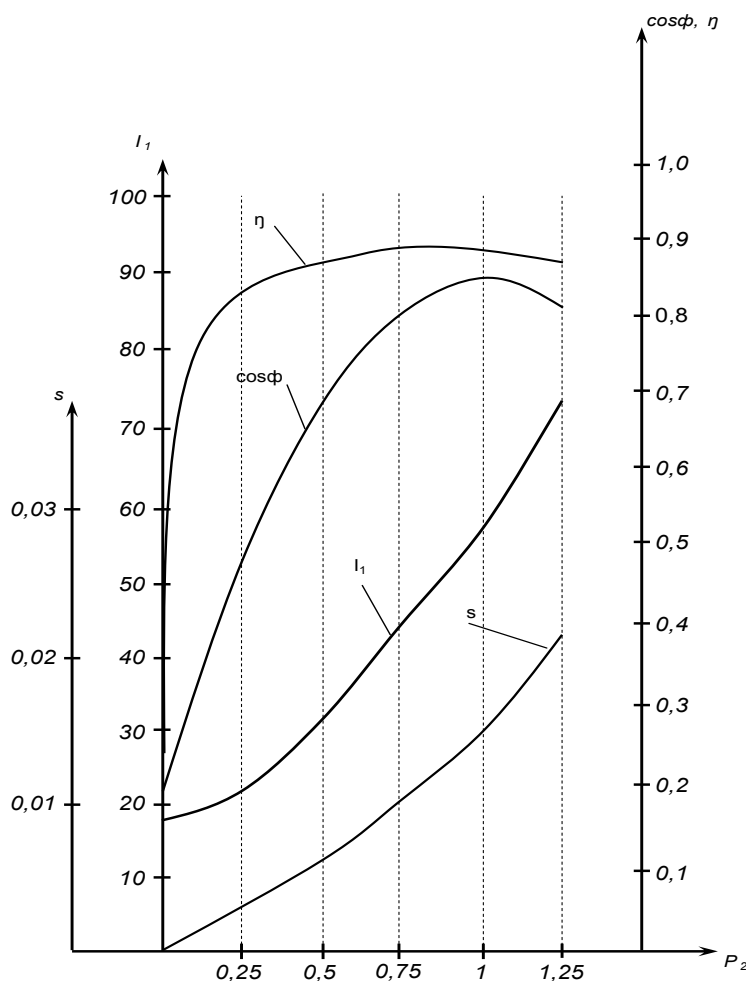


Рисунок 1.4 рабочие характеристики рассчитываемого асинхронного двигателя.

1.11 Тепловой расчет

Задачей теплового расчета является определение превышения температуры обмотки статора и обмотки фазного ротора над температурой охлаждающей среды при продолжительном режиме работы. Эти превышения должны быть ниже предельно допустимых значений установленных ГОСТ183-74, при температуре охлаждающей среды $+40^\circ\text{C}$ и по высоте над уровнем моря не более 1000 м.

Возникающие в двигателе потери выделяются в виде тепла и отводятся охлаждающим воздухом либо непосредственно через поверхности активных частей машины, либо через другие, граничащие с ними детали конструкции.

Обмотка статора

Электрические потери в обмотке статора при нагрузке:

$$P_{\text{э1}}=2277 \text{ Вт}$$

$\alpha_1=160$ – коэффициент теплопроводности с поверхности сердечника статора;

$k=0,8$ – коэффициент, учитывающий долю потерь в сердечнике статора, передаваемых воздуху внутри двигателя ;

$$k_v=1.07;$$

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

$$\Delta_{\text{вп1}}=k \cdot \frac{k_v \cdot P_{\text{э1}} \cdot \left(\frac{2 \cdot l_1}{l_{\text{сп1}}}\right) + P_{\text{ст}}}{\pi \cdot D_1 \cdot l_1 \cdot \alpha_1} = 55.7 \text{ } \square. \quad (1.107)$$

Эквивалентный коэффициент теплопроводности изоляции обмотки в пазу, учитывающий воздушные прослойки:

$$\lambda_{\text{эКВ}}=160 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{с};$$

Эквивалентный коэффициент теплопроводности внутренней изоляции катушки из круглого провода:

$$\lambda'_{\text{эКВ}}=1300 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{с};$$

89 Периметр поперечного сечения условной поверхности охлаждения пазов статора по формуле:

$$\Pi_1=2 \cdot h_{\text{п1}} + b''_{\text{п1}} + b_{\text{п2}} = 7,02 \cdot 10^{-2} \text{ м}. \quad (1.108)$$

90 Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки статора по формуле:

$$\Delta_{\text{ви1}} = \frac{k_v \cdot P_{\text{э1}} \cdot \left(\frac{2 \cdot l_1}{l_{\text{сп1}}}\right)}{z_1 \cdot \Pi_1 \cdot l_1} \cdot \left[\left(\frac{b_{\text{и1}}}{\lambda_{\text{эКВ}}}\right) + \frac{b''_{\text{п1}} + b_{\text{п2}}}{16 \cdot \lambda'_{\text{эКВ}}} \right] = 4,62 \cdot 10^{-3} \text{ } \square. \quad (1.109)$$

91 Превышения температуры наружной поверхности лобовых частей обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя:

$$\Delta_{\text{впл1}} = \frac{k \cdot k_v \cdot P_{\text{э1}} \cdot \left(\frac{2 \cdot l_{\text{л1}}}{l_{\text{сп1}}}\right)}{2\pi \cdot D_1 \cdot l_{\text{в1}} \cdot \alpha_1} = 42,6 \text{ } \square. \quad (1.110)$$

92 Периметр поперечного сечения условной поверхности охлаждения одной катушки лобовой части по формуле:

$$\Pi_{л1} = 2 \cdot h_{п1} + b_{п1}'' + b_{п2} = 7,02 \cdot 10^{-2} \text{ м.} \quad (1.111)$$

93 Перепад температуры в изоляции лобовой части обмотки статора по формуле:

$$\Delta_{вил1} = \frac{k_v \cdot P_{э1} \cdot \left(\frac{2 \cdot l_{л1}}{l_{ср1}} \right)}{2Z_1 \cdot \Pi_{л1} \cdot l_{л1}} \cdot \left[\left(\frac{b_{вил1}}{\lambda_{эКВ}} \right) + \frac{h_{п1}}{12 \cdot \lambda'_{эКВ}} \right] = 2,36 \cdot 10^{-3} \square. \quad (1.112)$$

94 Среднее превышения температуры обмотки статора над температурой охлаждающей среды по формуле:

$$\Delta'_{v1} = (\Delta_{вп1} + \Delta_{вил1}) \cdot \left(\frac{2 \cdot l_1}{l_{ср1}} \right) + (\Delta_{впп1} + \Delta_{вилл1}) \cdot \left(\frac{2 \cdot l_{л1}}{l_{ср1}} \right) = 49,1 \square. \quad (1.113)$$

Доля потерь в статоре, передаваемых через наружную поверхность сердечника находим по формуле:

$$P'_{сум} = (1 - k) \cdot \left[k_v \cdot P_{э1} \cdot \left(\frac{2 \cdot l_{л1}}{l_{ср1}} \right) + P_{ст} \right] = 471 \text{ Вт.} \quad (1.114)$$

95 Условная поверхность охлаждения двигателя находим по формуле:

$$S_{дв} = \pi \cdot D_{1ном} \cdot (l_1 + 2 \cdot l_{в1}) = 0,534 \text{ м}^2. \quad (1.115)$$

$\alpha_B = 1200$ – коэффициент подогрева воздуха;

96 Среднее превышение температуры воздуха внутри двигателя над температурой охлаждающей среды по формуле:

$$\Delta_{vB} = \frac{P'_{сум}}{S_{дв} \cdot \alpha_B} = 0,735 \square. \quad (1.116)$$

97 Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой охлаждающей среды по формуле:

$$\Delta_{v1} = \Delta'_{v1} + \Delta_{vB} = 49,8 \square. \quad (1.117)$$

Обмотка фазного ротора

98 Электрические потери в обмотке ротора при нагрузке:

$$P_{\text{э2}}=2136 \text{ Вт};$$

$\alpha_2=123$ – коэффициент теплоотдачи с поверхности сердечника ротора;
99 Превышения температуры внутренней поверхности сердечника ротора над температурой воздуха внутри двигателя:

$$\Delta_{\text{вп2}}=k \cdot \frac{k_v \cdot P_{\text{э2}} \cdot \left(\frac{2 \cdot l_2}{l_{\text{ср2}}}\right) + P_{\text{ст}}}{\pi \cdot D_2 \cdot l_2 \cdot \alpha_2} = 39,4 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (1.118)$$

100 Периметр поперечного сечения условной поверхности охлаждения паза ротора по формуле:

$$\Pi_2=2 \cdot h_{\text{п2}}+b_{\text{п2}}=8,79 \cdot 10^{-2} \text{ м}. \quad (1.119)$$

101 Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки ротора по формуле:

$$\Delta_{\text{ви2}}=\frac{k_v \cdot P_{\text{э2}} \cdot \left(\frac{2 \cdot l_2}{l_{\text{ср2}}}\right) \cdot b_{\text{и2}}}{z_2 \cdot \Pi_2 \cdot l_2 \cdot \lambda_{\text{экв}}} = 6,91 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}. \quad (1.120)$$

102 Превышения температуры наружной поверхности лобовых частей обмотки ротора над температурой воздуха внутри двигателя:

$$\Delta_{\text{впл2}}=\frac{k_v \cdot P_{\text{э2}} \cdot \left(\frac{2 \cdot l_{\text{л2}}}{l_{\text{ср2}}}\right) \cdot b_{\text{и2}}}{2\pi \cdot D_2 \cdot l_{\text{л2}} \cdot \alpha_2} = 0,157 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (1.121)$$

103 Периметр поперечного сечения условной поверхности охлаждения одной секции в лобовой части по формуле:

$$\Pi_{\text{л2}}=2 \cdot h_{\text{п2}}+b_{\text{п2}}=8,79 \cdot 10^{-2} \text{ м}. \quad (1.122)$$

104 Перепад температуры в изоляции лобовой части обмотки статора по формуле:

$$\Delta_{\text{вил2}}=\frac{k_v \cdot P_{\text{э2}} \cdot \left(\frac{2 \cdot l_{\text{л2}}}{l_{\text{ср2}}}\right) \cdot b_{\text{ил2}}}{2z_2 \cdot \Pi_{\text{л2}} \cdot l_{\text{л2}} \cdot \lambda_{\text{экв}}} = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}. \quad (1.123)$$

105 Среднее превышения температуры обмотки ротора над температурой воздуха внутри двигателя по формуле:

$$\Delta'_{v2} = (\Delta_{vп2} + \Delta_{vи2}) \cdot \left(\frac{2 \cdot I_2}{I_{cp2}} \right) + (\Delta_{vпл2} + \Delta_{vвил2}) \cdot \left(\frac{2 \cdot I_{л2}}{I_{cp2}} \right) = 18,1 \square. \quad (1.124)$$

106 Среднее превышение температуры обмотки ротора над температурой охлаждающей среды по формуле:

$$\Delta_{v2} = \Delta'_{v2} + \Delta_{vв} = 18,8 \square. \quad (1.125)$$

1.12 Расчет вентиляции

Разрабатываемый двигатель со степенью защиты IP23 имеет способ охлаждения IC01 с радиальной вентиляцией, обеспечиваемый встроенным вентилятором центробежного типа.

$$\Delta'_{vв} = 2 \cdot \Delta_{vв} = 1,47 \square. \quad (1.126)$$

107 Необходимое количество охлаждающего воздуха:

$$Q_B = \frac{P'_{сум}}{1100 \cdot \Delta'_{vв}} = 0,291 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (1.127)$$

108 Принимаем наружный диаметр центробежного вентилятора равным:

$$D'_{2в} = 0,85 \cdot D_1 = 0,224 \text{ м}. \quad (1.128)$$

109 По выбранному внешнему диаметру вентилятора определяется наружная скорость:

$$u_2 = \frac{\pi \cdot D'_{2в} \cdot n_1}{60} = 17,6 \text{ м/с}. \quad (1.129)$$

110 Из условия максимального КПД принимается:

$$Q_{max} = 2 \cdot Q_B = 0,582 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (1.130)$$

111 Сечение на выходной кромке вентилятора:

$$S_2 = \frac{Q_{max} \cdot 60}{0,42 \cdot D'_{2в} \cdot n_1} = 0,247 \text{ м}^2. \quad (1.131)$$

112 Ширина лопаток вентилятора:

$$b_{л} = \frac{S_2}{0,92 \cdot \pi \cdot D_{2В}} = 0,382 \text{ м.} \quad (1.132)$$

113 Статистическое давление, развиваемое вентилятором при работе:

$$H = 7,85 \cdot \left(\frac{n_1}{1000} \right)^2 \cdot (D_2 \cdot 10)^2 = 121 \text{ Па.} \quad (1.133)$$

114 Давление, создаваемое вентилятором, должно быть достаточным, чтобы обеспечить заданный расход в вентиляционной системе машины:

$$H_0 = \frac{H}{0,75} = 161 \text{ Па.} \quad (1.134)$$

115 Внутренний диаметр колеса:

$$D_{1В} = \frac{60 \cdot u_1}{\pi \cdot n_1} = 0,118 \text{ м.} \quad (1.135)$$

116 Расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором:

$$Q'_в = m \cdot (n_k \cdot l_k \cdot 10^3 + 100) \cdot \frac{n_1}{1000} \cdot (D_2 \cdot 10)^2 \cdot 10^{-4} = 0,375 \text{ м}^3/\text{с.} \quad (1.136)$$

117 Расход воздуха должен быть больше требуемого для охлаждения машины:

$$Q'_в > Q_в \quad (1.137)$$

118 В заключении расчета определяем мощность, потребляемую вентилятором:

$$P_в = \frac{H \cdot Q_в}{\eta_3} = 235 \text{ Вт.} \quad (1.138)$$

2 Специальная часть

2.1 Замена пазовой полиэтилентерефталатной (ПЭТФ) изоляции обмотки ротора на изоляцию из полиимида алициклического строения (ПИАБ)

Казахстан предусматривает дальнейшее развитие электротехнической промышленности для удовлетворения растущих потребностей отрасли в электрооборудовании.

Задача состоит в создании электрооборудования с использованием новых материалов, которые должны обеспечивать надежную работу электрооборудования.

Создание новых типов электрических машин или реконструкция старых не может быть реализовано без использования надежных изоляционных систем с высокой термостойкостью, электрической прочностью и долговечностью.

Одним из перспективных направлений дальнейшего развития изоляционных систем является использование изоляции, созданной на основе ароматических полиимидов. За рубежом разработаны и производятся промышленно производные полиимидные пленки ароматической структуры на основе пиромеллитового дигидрида типа Kapton различных модификаций P / PM / 180 / КО, Elmikaimid, PMFA-352, PM и т. Д.

Производство проволочной эмали из разработанных алициклических полиимидов имеет ряд технологических преимуществ по сравнению с аналогичными продуктами из поли (пиромеллимидных) лаков, которые широко используются в настоящее время.

При сравнении электрической прочности проволочной эмали, что при одинаковом напряжении пробоя толщина эмалевых проводов может быть использована при замене изоляции в электродвигателях. Так как уменьшение толщины корпусной и витковой изоляции дает возможность соответственно уменьшить сечение паза, что приводит к повышению коэффициента заполнения паза и одновременному уменьшению значения магнитной индукции в зубцах и в спинке. Появляется возможность повышения магнитного потока в машине, то есть повышения мощности электродвигателя.

2.2 Расчет эффективности применения полиимидной изоляции по сравнению с полиэтилентерефталатной изоляцией

Расчет производится для двигателя 4АНК225М4У3, который имеет стержневую обмотку ротора.

Высота и ширина паза:

$h_{пн}=39,8$ мм; $b_{пн}=4,15$ мм;

Таблица 2.1 – Спецификация паза обмотки фазного ротора изоляции ПЭТФ

	Наименование	По ширине, мм	По высоте, мм

Обмоточный изолированный провод	2,26	16*2=32
Корпусная изоляция	1,1	2,2
Покровная изоляция	0,3	0,3
Прокладка		0,5*0,3=0,15

1 Сечения паза без клина по формуле:

$$h_{п1} = h_{п} - 2,7 = 37,1 \text{ мм}, \quad (2.1)$$

$$S_1 = b_{п} \cdot h_{п1} = 154 \text{ мм}. \quad (2.2)$$

2 Сечения паза без прокладок по формуле:

$$h_{п2} = h_{п1} - 1,5 = 35,6 \text{ м}, \quad (2.3)$$

$$S_2 = b_{п} \cdot h_{п2} = 148 \text{ мм}. \quad (2.4)$$

3 Сечения паза без покровной изоляции по формуле:

$$b_{п1} = b_{п} - 0,3 = 3,85 \text{ мм}, \quad (2.5)$$

$$h_{п3} = h_{п2} - 0,3 = 35,3 \text{ мм}. \quad (2.6)$$

4 Рассчитаем ширину и высоту паза с корпусной изоляцией по формуле:

$$b_{п2} = b_{п1} - 0,11 = 3,74 \text{ мм}, \quad (2.7)$$

$$h_{п4} = h_{п3} - 0,11 = 35,2 \text{ мм}. \quad (2.8)$$

5 Сечение меди с проводниковой изоляцией по формуле:

$$S_{\text{меди}} = b_{п2} \cdot h_{п4} = 132 \text{ мм}^2. \quad (2.9)$$

6 Сечения меди обмотки ротора:

$$g_{.a} = \frac{S_{\text{меди}}}{2} = 66 \text{ мм}^2. \quad (2.10)$$

7 Сопротивление проводника со старой изоляцией по формуле:

$$r_a = \frac{1}{44} \cdot \frac{N \cdot L_{\text{ср}}}{g_a \cdot (2a)^2} = 2,33 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}. \quad (2.11)$$

8 Сопротивление проводника со новой изоляцией по формуле:

$$r_{.a} = \frac{1}{44} \cdot \frac{N \cdot L_{\text{ср}}}{g_{.a} \cdot (2a)^2} = 1,30 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}. \quad (2.12)$$

9 Потери мощности по формуле:

$$P_{\text{ПЭТФ}} = I^2 \cdot r_a = 267 \text{ Вт}, \quad (2.13)$$

$$P_{\text{Пиаб}} = I^2 \cdot r_{.a} = 149 \text{ Вт}. \quad (2.14)$$

10 Разность потерь:

$$P_{\text{разн}} = P_{\text{ПЭТФ}} - P_{\text{Пиаб}} = 118 \text{ Вт}. \quad (2.15)$$

11 Экономический эффект от снижении потерь по формуле:

$$C_p = P_{\text{разн}} \cdot 10^{-3} \cdot 365 \cdot K \cdot 24 \cdot K_{\text{исп}} \cdot C = 1,81 \cdot 10^4 \text{ тенге}. \quad (2.16)$$

В соответствии с полученными данными следует, что за срок служб двигателя экономия от снижения потерь электроэнергии составит 18100 тенге.

3 Раздел безопасности жизнедеятельности

3.1 Анализ условий работы сотрудников

В дипломном проекте спроектирован асинхронный двигатель с фазным ротором. Асинхронные двигатели используются на заводах, в транспорте и т.д. Рассмотрены электродвигатели для кранов на заводе. Ниже описаны технические меры предосторожности при использовании электродвигателей, кранов, а также технические правила безопасности для эксплуатации электродвигателя.

Перед использованием подъемного крана подключенного к двигателю постоянного тока, должны учитываться такие факторы.

Во-первых, подъемный кран который спроектирован в соответствии с соблюдением документов должен размещаться в стационарном фундаменте.

Во-вторых, крановщик должен быть обучен и знать основную конструкцию и принцип работы. Кроме того, кран должен находиться в хорошем рабочем состоянии и соблюдать правила техники безопасности.

В-третьих, рабочий климат подъемного крана должен составлять 20°C + 40°C , а скорость ветра должна быть менее 6 баллов.

В-четвертых, при изменении объекта, и при простоя крана более месяца, желательно регулировать все механизмы, протестировать в режиме ожидания и загрузки. Только тогда можно использовать устройство.

В-пятых, если кран работает ночью, сам кран будет подсвечен и соответственно зоны тоже будут освещены.

В-шестых, не допускается хранить в кабине водителя следующие виды топлива: смазочные и промасленная ветошь. В зимнее время нельзя обогревать кабину электропечами.

В-седьмых, энергетическое система подъемного крана должна быть заземлена (сопротивление заземления не должно превышать 4 Ом), а в дождливую погоду нельзя ходить рядом с подъемным краном.

В-восьмых, создается штат рабочих на кране, рабочие которых нет в списке, не допускаются в кабину водителя. Для ремонта неисправностей в энергосистеме назначают не менее двух электриков.

Что касается общей технической безопасности, правила технической безопасности, указаны ниже:

-на производстве для работы с машинами и оборудованям допускаются лица не моложе 18 лет, имеющих разрешение на управление машин, прошедшие медицинское освидетельствование, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

-техническая подготовка курса технической безопасности осуществляется государственным органом, результаты полученных инструкций записываются в специальных документах;

-на производстве выбирается на основе техники безопасности СНиП, площадь производства огорожена забором, территория в ночное время, в темное время хорошо освещается;

-завод оборудуется устройствами пожаротушения;

-в зоне работы запрещается ходить посторонним лицам;

-работники склада и операторы работают в респираторе, в защитных очках и в специальной одежде;

-рабочие площадки завода, переходы, галереи, лестницы должны быть чистыми и не должны размещать посторонние предметы на рабочих местах, места с загрязненной цементной пылью должны регулярно очищаться;

-перед началом работы водитель машины должен проверить состояние машины, устранить неисправности, не обнаруживать посторонних предметов в машине, осмотреть линию привода конвейера, обязан рассмотреть район, после чего мастер приступает к работе только после того, как отметится в дежурной книжке, которая впоследствии проверяется дежурным механиком;

-детали трансмиссии (ремни, цепи, крылья и т.д.) Должны быть не менее 2 м ниже пола, в участках прохода они хорошо закрепляются;

-в галереях, траншеях проход должен быть не менее 0,75 м между передней частью конвейера и ограждением, конвейерная крыша и верхняя часть конвейера не менее 0,6 м, рабочая часть конвейера и пола не должна быть меньше 0,8 м, а галерея конвейера хорошо освещаются;

-конвейерная лента должна быть шириной не менее 1 м и должна быть защищена;

-работники цементного завода должны обеспечиваться душевыми кабинами с горячей и холодной водой, туалетам, шкафам для одежды, комнатой для медикаментов, местам отдыха с чистой водой и т.д.

3.2 Расчет диаметра каната для подъемного крана

Исходные данные для расчета каната подъемного крана представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Параметры мостового крана

Параметр	Значение
Грузоподъемность, кг	100
Масса груза, кг	50
Высота подъема, м	2
Длина балки моста, м	4
Масса крана, кг	500
Скорость передвижения моста крана, м/с	0,5
Передаточное число редуктора	10
КПД редуктора	0,96

Выбор сечения каната производится по его разрывному усилию, определяемое по формуле:

$$Q_p = k \cdot P = 5 \cdot 100 = 500 \text{ кгс.} \quad (3.1)$$

где P – действующее усилие на канат (расчетное), кгс, k – коэффициент запаса прочности.

Коэффициент запаса устанавливается нормативными документами в зависимости от цели канатов и является обязательным при их вычислении и выбирается в соответствии с таблицей 3.2.

Таблица 3.2 – Наименьший допустимый коэффициент запаса прочности каната

Назначение каната	Привод машины и режим работы каната	Доп. коэфф. запаса прочности	Мин. доп. отношение диаметра каната к диаметру барабана лебедки
Подъемный канат для кранов, лебедок, мачт, полиспастов и других подъемных и тяговых механизмов	Ручной	4,5	1:16
	Машинный,	5	1:16
	Машинный,	5,5	1:18
	Машинный, тяжелый	6	1:20

Кран имеет машинный привод и работает в легком режиме,

следовательно, коэффициент запаса прочности $k = 5$.

Определив разрывное усилие Q_p , находят по нему из таблицы 3.3 диаметр каната, задавшись предварительно расчетным пределом прочности проволок.

Для полученного значения разрывного усилия выбираем канат диаметром 8,7 мм с разрывным усилием 3200 кгс.

Таблица 3.3 – Диаметры и разрывные усилия канатов

Диаметр, мм		Расчетный предел прочности проволоки, кгс/мм ²					
каната	проволоки	130	140	150	160	170	180
		Разрывное усилие каната в целом, кгс					

Продолжения таблицы 3.3

8,7	0,4	–	3 200	3 430	3 660	3 890	4 120
11,0	0,5	4 630	4 990	5 340	5 700	6 060	6 450
13,0	0,6	6 690	7 200	7 720	8 240	8 730	9 260
15,5	0,7	9 100	9 790	10 450	11 150	11 850	12 550
17,5	0,8	11 890	12 750	13 700	14 600	15 500	16 450
19,5	0,9	15 000	16 150	17 300	18 450	19 650	20 800

22,0	1,0	18 600	20 050	21 500	22 950	24 350	25 800
24,0	1,1	22 500	24 300	26 000	27 750	29 600	31 250
26,0	1,2	26 900	29 000	31 100	33 150	35 250	37 300

Фактический коэффициент запаса прочности:

$$k_{\phi} = \frac{Q_{p.\phi}}{P} = \frac{3200}{100} = 32 \quad (3.2)$$

Применённый трос обладает тридцати двукратным запасом по прочности.

3.3 Пожарная безопасность

Основными причинами пожаров на заводе являются нарушения правил технологической работы оборудования, неисправность электрооборудования, плохой ремонт оборудования, самовоспламенение различных материалов и т.д.

Во избежание возгорания во время взрыва следует предотвратить образования источника воспламенения и предотвращать образование взрывоопасной среды.

Причины воспламенения пожара и возгорания заключаются в следующем:

1. В зоне горения количественные и качественные соотношения с новым веществом;
2. Среда сгорания и источник воспламенения должны быть взаимосвязаны;
3. Температура источника воспламенения должна автоматически нагреваться до сжигания;
4. Непреднамеренное использование открытого огня, в котором присутствуют неисправные вещества;
5. Правильное использование электрических установок системой отопления;
6. Газ, пар, пылеулавливающий цилиндр, взрыв компрессоров;
7. Воспламенение горючих веществ;
8. Неправильное хранение топлива, лакокрасочных материалов и других горючих жидкостей;
9. Перегрев оборудования

Пожарная безопасность – это предотвращение возможности возгорания и принятие необходимых мер для устранения неблагоприятных последствий пожароопасности для людей, строительных и материальных ценностей при его возникновение.

Пожаробезопасность обеспечивается противопожарными мерами и активной противопожарной защитой. Предотвращение пожаров - это комплекс мер, направленных на предотвращение или минимизацию последствий пожара. Активная противопожарная защита - это мера активных действий по предотвращению пожара.

Противопожарные меры:

- строительно-конструкторский;
- технический;
- организационной;

Строительно-конструкторские мероприятия определяются огнестойкостью зданий и сооружений (строительные материалы подразделяются на легковоспламеняющиеся, трудно сгораемые, негорючие). Предел огнестойкости - это продолжительность огня до первой царапины строительных конструкций под воздействием огня. Все строительные конструкции делятся на 8 уровней в соответствии с пределом огнестойкости. В зависимости от степени огнестойкости зданий устанавливается расстояние до точек выхода для эвакуации в огонь.

Технические меры:

- соблюдение стандартов пожарной безопасности при установке жизненно важных систем (тепло, освещение, вентиляция и т. Д.);
- порядок эксплуатации и технического обслуживания технологических процессов;
- использование различных систем защиты.

Организационные меры включают обучение пожарной безопасности, проверку соблюдения мер пожарной безопасности

-Противопожарные меры

-Все меры пожарной безопасности подразделяются на 4 типа:

а) технические меры, принимаемые при проектировании предприятия:

- 1) определение огнестойкости здания;
- 2) проектирование строительных конструкций;
- 3) учитывать расстояние между зданиями;
- 4) молниезащита здания.

б) эксплуатационные меры предосторожности:

- 1) организационные меры;
- 2) меры режима.

-Технические меры.

-Все здания, если крупные комплексы, построены за счет ветровых турбин. Расположение всех предприятий по пожарной безопасности рассчитывается на основе категории продукции.

-Производственная категория:

А – существует опасность взрыва;

Б,В - существует риск возгорания и взрыва;

Г,Д- существует риск возгорания;

-Все здания разделены на два:

- 1) существует риск возгорания, если внутри здания есть неоднородная легковоспламеняющаяся смесь;
- 2) существует опасность взрыва, если есть однородные легковоспламеняющиеся вещества.

Таким образом, определяют безопасное расстояния от огня (минимальное расстояние составляет 9 метров, если А и В имеют степень производства, то расстояние составляют более 60 метров). Во время пожара сохранения свойства строительных материалов и конструкций называют степенью огнестойкости. Он определяется порогом огнестойкости и камерой сгорания строительного материала.

Предел огнестойкости - это время, когда состояние конструкции строительных материалов остается без изменения в случае пожара.

Противопожарные заборы максимально - 4 часа, простые заборы могут противостоять огню – 2 часа. Группа возгорания: а) негорючие строительные материалы (является негорючим при пожаре и просто дымит, после пожаротушение процесс дымления завершается); б) трудно воспламеняющиеся – может и воспламениться, но после пожаротушение, процесс дымления продолжится; в) горючий материал (строительные материалы, которые горят даже если пожар потушен).

Существует 5 огнестойкости: 1 - самые дорогие строительные материалы, которые могут не возгораться в течение 2,5 часов при пожаре (А степень производства); На промышленных предприятиях огнестойкость уровня 3-4 может не возгораться 1,5 часа (трудно воспламеняющиеся и негорючие строительные материалы).

Меры по предотвращению пожара:

- А) инструктировать работников;
- Б) методы и материалы пожаротушения.

Меры противопожарной безопасности:

- охлаждение зоны горения и материалы горения;
- отделение горящих веществ от атмосферного воздуха;

Использование химических веществ, которые уменьшают реакции горения

- внесение негорючих веществ в зону горения;
- выделение горючего материала из зоны горения.

3.4 Расчет системы автоматического пожаротушения

Расчет системы автоматического пожаротушения

Площадь охраняемого цеха 12x8 м, высота 4 м комнаты распределительных устройств. Расстояние между насосной станцией и охраняемой комнатой с трубопроводом питания составляет 85 м. Вершина внешней шарнирной линии составляет 30 м. Данная комната входящая в 3

категорию огнестойкости комнат имеет спринклерное устройства интенсивность отправления воды которого равна $J = 0,24$ л / см², расчетная минимальная площадь 70 м², время отключения 60 мин, защитная область одной спринклерной лейки $F_c = 12$ м² (таблица 1, НПБ 88).

Количество лейки в гидравлических расчетах:

$$n = \frac{F_p}{F_c} = 6 \text{ шт.} \quad (3.3)$$

Определение диаметра лейки.

Для охраняемый комнаты с распределяющим трубопроводом питания выбираем порошковую лейку марки СВН-11.

Диаметр выхода лейки $D=10$ мм ($K=0,31$; $H_{\min}=2$ м.), радиус орошения 2м, закрепляются на подвесные потолки, розетка которых установлены ниже.

Начальный поток лейки определяем по формуле:

$$H_1 = \max \left\{ \left(\frac{I \cdot F}{k H_{\min}} \right) \right\}. \quad (3.4)$$

отсюда, I – нормированное интенсивность орошения, л/(с·м²);

F – площадь проектируемого орошения спринклерами, м²;

k – коэффициент производительности лейки, л/(с·м²);

H_{\min} - минимальный поток спринклер, м

Расход воды в начальной лейке определяется следующим образом:

$$Q = k \sqrt{H}. \quad (3.5)$$

Поток воды в любом из последующих спринклеров рассчитывается формулой:

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{ар}} + \frac{L_{\text{д.р}} \cdot Q_{\text{д.р}}}{k_T}. \quad (3.6)$$

отсюда, $H_{\text{пр}}$ - поток переднего спринклера, м;

$L_{\text{д.р}}$ - длина рассматриваемого региона,

$Q_{\text{р.р}}$ - расход рассматриваемого региона, л/с;

k_T - характеристика трения трубопровода, л²/с², в зависимости от диаметра трубопровода.

Диаметр трубопровода определяется по формуле:

$$D_{mp} = \sqrt{\frac{4Q_{p.p} \cdot 10^{-3}}{nV}} \quad (3.7)$$

отсюда, V – скорость воды проходящей через трубопровод рассматриваемой территории (принимают в пределах 3...5 м/с).

И так

$$H_{\text{дикт}} = H_1 = \left(\frac{I_n \cdot F_c}{kH_{\text{min}}} \right)^2 \quad (3.8)$$

$$H_{\text{дикт}} = \left(\frac{0,24 \cdot 12}{0,31} \right)^2 = 86,3 \text{ м,}$$

$$Q_1 = 0,31 \sqrt{86,3} = 2,88 \text{ л/с.}$$

Определяем диаметр условного прохода трубы.

На правой стороне ряда установлена две лейки, поэтому, максимальный расход воды по ряду:

$$Q = 6Q_1 = 6 \cdot 2,88 = 17,28 \text{ л/с.} \quad (3.9)$$

Скорость воды, проходящей вдоль трубопровода $V=5$ м/с по формуле:

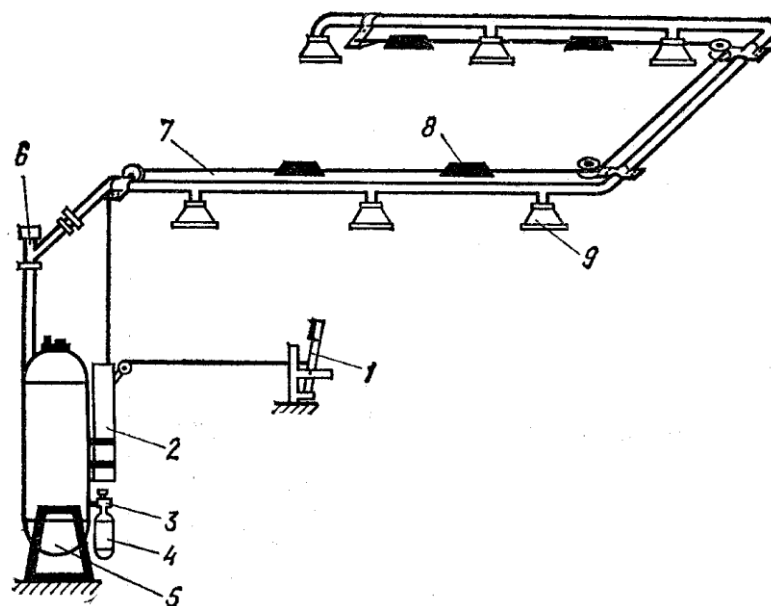
$$D_{mp} = \sqrt{\frac{4 \cdot 17,28 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 5}} = 20,9 \text{ мм.} \quad (3.10)$$

Диаметр условного прохода всех трубопроводов берем как 25мм.

Расчетная производительность насоса:

$$Q = Q_{\text{бар}} = 17,28 \text{ л/с.} \quad (3.11)$$

С учетом этих значений выбираем насос серии К 100-65-250. Мощность насоса 65 кВт.



1- зажим
 запуска; 2- направленный через трубопровод; 3- устройство блокировки; 4- баллон сжатого газа; 5-корпус огнетушителя; 6- пневматический клапан; 7-трос; 8- замок плавления; 9-отверстие;

ручного
 груз

Рисунок 2 – схема устройства порошкового пожаротушения

4 Экономический раздел

4.1 Расчет затрат асинхронных двигателей

Электропривод выполняет две технологические функции:

- 1) Преобразование электрического тока в механическую энергию важно для процесса обработки;
- 2) Контроль технологических процессов.

Предусмотрен расчет капитальных затрат и экономической эффективности проекта.

Эффективность капитальных вложений определяется путем сравнения полученного эффекта и понесенных затрат. Все количественные и качественные характеристики каждого варианта должны оцениваться с точки зрения стоимости.

Методика обоснования включает следующие этапы:

- выбор сравнительной базы - альтернативная (замена) установка;
- выбор оценочных показателей (критериев);

- определение расчетного периода;
- установка предельных (критических) характеристик новой технологии.

1) Расчет абсолютной (общей) эффективности капитальных вложений

Методологические особенности технико-экономического обоснования замены оборудования (внедрения нового оборудования) на существующих энергетических предприятиях заключаются в следующем:

- в качестве альтернативы рассматривается модернизация устаревшего оборудования;
- для базы при расчете экономического эффекта принимаются индикаторы действующего оборудования;
- по варианту замены при расчете капиталовложений в новое оборудование следует учитывать недоамортизированную стоимость заменяемого агрегата.

2) Расчет сравнительной эффективности капитальных вложений

Если существуют различные варианты строительства или внедрения новой технологии, то рассчитывается сравнительная экономическая эффективность инвестиций в них.

В этом проекте используется асинхронный двигатель с ротором с короткозамкнутым ротором 4АС225М4У3. Мы сравниваем двигатель с асинхронным двигателем с фазовым ротором, чтобы определить эффективность двигателя. Для определения эффективности инвестиций мы используем метод расчета сравнительной эффективности.

Таблица 5.1 – Технические данные двигателя

Параметры двигателя	Первый вариант: двигатель с короткозамкнутым ротором	Второй вариант: двигатель с фазным ротором
Двигатель	4АС200М4У3	4АНК225М8У3
Мощность, кВт	30	30
КПД., %	87	85,5
Частота вращения об / мин	600	600

Рассмотрим экономическую эффективность асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Общая сумма капитальных вложений (асинхронный двигатель, преобразователь частоты):

$$\sum K = K_o + K_m, \quad (4.1)$$

где K_o – расходы на покупку и транспортировку оборудования, тенге;
 K_m – затраты на монтажные работы, тенге.

$$C = C_{\text{АД}} + C_{\text{ПЧ}}, \quad (4.2)$$

где $C_{\text{АД}}$ – цена асинхронного двигателя, тенге; $C_{\text{ПЧ}}$ – цена преобразователя частоты, тенге.

$$C = 408012 + 130000 = 538012 \text{ тенге.}$$

Стоимость транспортировки асинхронного двигателя составляет 10% от его стоимости:

$$K_T = 0,1 \cdot C + C = 0,1 \cdot 538012 + 538012 = 591813,2 \text{ тенге.} \quad (4.3)$$

Зная стоимость оборудования, можем определить стоимость монтажных работ, который составляет 7% от ее стоимости:

$$K_M = 0,07 \cdot C = 0,07 \cdot 538012 = 37660,84 \text{ тенге.} \quad (4.4)$$

Учитывая выше перечисленные, считаем все суммы капитальных вложений:

$$\sum K = 591813,2 + 37660,84 = 629474,04 \text{ тенге.} \quad (4.5)$$

Чтобы расчет годовые эксплуатационные затраты используем следующую формулу:

$$I = I_{\text{от}} + I_{\text{сн}} + I_{\text{м}} + I_{\text{э}} + I_{\text{а}} + I_{\text{б}}, \quad (4.6)$$

где $I_{\text{от}}$ – фонд оплаты труда (базовая и дополнительная зарплата);

$I_{\text{сн}}$ – социальные налоги (11%);

$I_{\text{м}}$ – материальные затраты и часть фонда (0,5% капитальных вложений);

$I_{\text{э}}$ – затраты на электроэнергию для промышленных нужд;

$I_{\text{а}}$ – амортизационные отчисления, ставка амортизационных отчислений в нашей отрасли составляет 5-10%;

$I_{\text{б}}$ – другие расходы 15%.

$I_{от} = 960000$ тенге.

То расходы по социальному налогу определяются по формуле:

$$I_{сн} = (I_{от} - 10\% \cdot I_{от}) \cdot 11\%, \quad (4.7)$$

где 10% - пенсионные отчисления;

$$I_{сн} = (960000 - 10\% \cdot 960000) \cdot 11\% = 95040 \text{ тенге.}$$

Находим материальные затраты и часть фонда, что составляет 0,5% капитальных вложений:

$$I_{м} = K \cdot 0,005 = 629474,04 \cdot 0,005 = 3147,37 \text{ тенге.} \quad (4.8)$$

Находим годовые расходы на энергопотребление по формуле:

$$I_{э} = W \cdot N \cdot I_{эт}, \quad (4.9)$$

где W – годовое потребление электроэнергии;

$I_{эт}$ – тарифы на электроэнергию г. Алматы - 16,02 тенге/кВт·час;

N – количество электродвигателей.

Потребление электроэнергии:

Вычисляем потребление энергии, вычисляя номинальные затраты двигателя за счет коэффициента полезности:

$$\Delta P = P_{э} \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) = 30 \cdot \left(\frac{1}{0,88} - 1\right) = 4,1 \text{ кВт.} \quad (4.10)$$

РЭ – 30кВт, по паспорту двигателя.

Определяем расход холостого хода возложенные на него:

$$\Delta P_{хх} = 0,05 \cdot \Delta P_{н}; \quad (4.11)$$

$$\Delta P_{хх} = 0,05 \cdot 4,1 = 0,205 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{нн} = 0,67 \cdot \Delta P_{н}; \quad (4.12)$$

$$\Delta P_{хх} = 0,67 \cdot 4,1 = 2,75 \text{ кВт.}$$

Находим максимальный расход активной мощности, которая определяется по формуле:

$$\Delta P_M = \Delta P_{xx} + \Delta P_{HH} \cdot K_3^2; \quad (4.13)$$

$$\Delta P_M = 0,205 + 2,75 \cdot 0,8^2 = 1,97,$$

где $K_3 = 0,8$ – коэффициент загрузки.

Средний расход активной мощности определяем по формуле, приведенной ниже:

$$\Delta P_C = \Delta P_M \cdot \tau, \quad (4.14)$$

где τ – относительное время использования максимальной потери:

$$\tau = 0,7 \cdot \frac{T_M}{T_\Gamma}, \quad (4.15)$$

где T_M – максимальное количество часов использования в год составляет 6 часов 5 дней в неделю.

$$T_\Gamma = T_M - 0,1 \cdot T_M, \quad (4.16)$$

$$T_M = 6 \cdot 5 \cdot 52 = 1560 \text{ часов};$$

$$\tau = 0,7 \cdot \frac{1560}{1560 - 0,1 \cdot 1560} = 0,77;$$

$$\Delta P_C = 1,97 \cdot 0,77 = 1,49 \text{ кВт}.$$

Учитывая средний расход активной мощности можно определить расход электроэнергии:

$$\Delta W = \Delta P_C \cdot T_\Gamma = 1,49 \cdot 1404 = 2097,30 \text{ кВт} \cdot \text{час}. \quad (4.17)$$

Потом рассчитываем годовое потребление электроэнергии:

$$W = P_K \cdot T_M = 30 \cdot 1560 = 46800 \text{ кВт} \cdot \text{час/год}. \quad (4.18)$$

При расчете затрат на потребление электроэнергии:

$$W_T = W + \Delta W = 46800 + 2097,30 = 48897,3 \text{ кВт} \cdot \text{час/год}. \quad (4.19)$$

Годовое потребление электроэнергии будет:

$$I_{\text{э}} = 48897,3 \cdot 16,02 \cdot 1 = 749736 \text{ тенге.} \quad (4.20)$$

Учитывая сумму капитальных затрат амортизационные переводы:

$$I_{\text{А}} = \sum K \cdot 0,1 = 629474,04 \cdot 0,1 = 62947,404 \text{ тенге.} \quad (4.21)$$

Другие расходы:

$$I_{\text{Д}} = 0,15 \cdot (I_{\text{от}} + I_{\text{сн}} + I_{\text{м}} + I_{\text{э}} + I_{\text{А}}); \quad (4.22)$$

$$I_{\text{Б}} = 0,15 \cdot (960000 + 95040 + 3147,37 + 62947,404 + 749736) = 280630,62 \text{ тенге;}$$

$$\sum I = I_{\text{от}} + I_{\text{сн}} + I_{\text{м}} + I_{\text{э}} + I_{\text{А}} + I_{\text{Б}}; \quad (4.23)$$

$$\sum I = 960000 + 95040 + 3147,37 + 62947,404 + 749736 + 280630,62 = 2151501,39$$

тенге.

Рассмотрим экономическую эффективность асинхронного двигателя для второго варианта. Используются фазный асинхронный двигатель 4К225М8У3 и ЯС-100 резисторный ящик.

$$Ц = Ц_{\text{АД}} + Ц_{\text{РЯ}}, \quad (4.24)$$

где ЦАД – цена асинхронного двигателя, тенге; ЦРЯ – цена резисторного ящика, тенге.

$$Ц = 564000 + 286000 = 850000 \text{ тенге.}$$

Стоимость транспортировки асинхронного двигателя составляет 10% от его стоимости:

$$K_{\text{Т}} = 0,1 \cdot Ц + Ц = 0,1 \cdot 850000 + 850000 = 935000 \text{ тенге.} \quad (4.25)$$

Зная стоимость оборудования, можем определить стоимость монтажных работ, который составляет 7% от ее стоимости:

$$K_{\text{М}} = 0,07 \cdot Ц = 0,07 \cdot 850000 = 59500 \text{ тенге.} \quad (4.26)$$

Считаем все суммы капитальных вложений:

$$\Sigma K = 935000 + 59500 = 994500 \text{ тенге.} \quad (4.27)$$

Расчет годовых эксплуатационных затрат:

$$I = I_{\text{от}} + I_{\text{сн}} + I_{\text{м}} + I_{\text{э}} + I_{\text{а}} + I_{\text{б}}, \quad (4.28)$$

Определяем материальные затраты и часть фонда, что составляет 0,5% капитальных вложений:

$$I_{\text{м}} = K \cdot 0,005 = 994500 \cdot 0,005 = 4972,5 \text{ тенге.} \quad (4.29)$$

Расчет годовых затрат на энергопотребление:

$$I_{\text{э}} = W \cdot N \cdot I_{\text{эт}}, \quad (4.30)$$

где W – годовое потребление электроэнергии;

$I_{\text{эт}}$ – тарифы на электроэнергию, 16,02 тенге/кВт·час;

N – количество электродвигателей.

Потребление электроэнергии:

Вычисляем потребление энергии, вычисляя номинальные затраты двигателя за счет коэффициента полезности:

$$\Delta P = P_{\text{э}} \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) = 30 \cdot \left(\frac{1}{0,865} - 1 \right) = 4,68 \text{ кВт.} \quad (4.31)$$

РЭ – 30кВт, по паспорту двигателя.

Определим расход холостого хода возложенные на него:

$$\Delta P_{\text{хх}} = 0,05 \cdot \Delta P_{\text{н}}; \quad (4.32)$$

$$\Delta P_{\text{хх}} = 0,05 \cdot 4,68 = 0,234 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{\text{нн}} = 0,67 \cdot \Delta P_{\text{н}}; \quad (4.33)$$

$$\Delta P_{\text{хх}} = 0,67 \cdot 4,68 = 3,14 \text{ кВт.}$$

Определим максимальный расход активной мощности, которая определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{м}} = \Delta P_{\text{хх}} + \Delta P_{\text{нн}} \cdot K_3^2; \quad (4.34)$$

$$\Delta P_M = 0,234 + 3,14 \cdot 0,8^2 = 2,244,$$

где $K3 = 0,8$ – коэффициент загрузки.

Средний расход активной мощности определяем по формуле, приведенной ниже:

$$\Delta P_C = \Delta P_M \cdot \tau \quad (4.35)$$

где $\tau = 0,77$ – относительное время использования максимальной потери, в первом варианте определены.

$$\Delta P_C = 2,244 \cdot 0,77 = 1,73 \text{ кВт.}$$

Учитывая средний расход активной мощности определим расход электроэнергии:

$$\Delta W = \Delta P_C \cdot T_T = 1,73 \cdot 1404 = 2428,92 \text{ кВт.} \quad (4.36)$$

Годовое потребление электроэнергии:

$$W = P_K \cdot T_M = 30 \cdot 1560 = 46800 \text{ кВт} \cdot \text{час/год.} \quad (4.37)$$

При расчете затрат на потребление электроэнергии:

$$W_T = W + \Delta W = 46800 + 2428,92 = 49228,92 \text{ кВт} \cdot \text{час/год.} \quad (4.38)$$

Годовое потребление электроэнергии:

$$I_{\text{Э}} = 49228,92 \cdot 16,02 \cdot 1 = 790124,17 \text{ тенге.}$$

Учитываем сумму капитальных затрат рассчитаем амортизационные переводы:

$$I_A = \sum K \cdot 0,1 = 994500 \cdot 0,1 = 99450 \text{ тенге.} \quad (4.39)$$

Другие расходы:

$$I_D = 0,15 \cdot (I_{\text{от}} + I_{\text{сн}} + I_M + I_{\text{Э}} + I_A); \quad (4.40)$$

$$I_B = 0,15 \cdot (960000 + 95040 + 4972,5 + 99450 + 790124,17) = 292438 \text{ тенге;}$$

$$\sum I = I_{\text{от}} + I_{\text{сн}} + I_M + I_{\text{Э}} + I_A + I_B; \quad (4.41)$$

$\Sigma И = 960000 + 95040 + 4972,5 + 99450 + 790124,17 + 292438 = 2252024,67$
тенге.

Таблица 5.3 – Итоги двигателей

	4АС200М4У3	4АНК225М8У3
$\eta, \%$	88	86,5
$P_H, \text{кВт}$	30	30
$\Delta P_H, \text{кВт}$	4,1	4,68
$\Delta P_{HH}, \text{кВт}$	2,75	3,41
$\Delta P_{XX}, \text{кВт}$	0,205	0,234
$\Delta P_M, \text{кВт}$	1,97	2,244
$\Delta P_C, \text{кВт}$	2,19	2,49
$T_{ж}, \text{час}$	6570	6570
$\Delta W, \text{кВт}\cdot\text{сағ}$	2097,30	2428,92
$\Sigma И, \text{тг}$	2151501	2252024
Разница	100523	

4.2 Определяем эффективности капитальных вложений

Метод 1. Мы определяем вариант минимальной стоимости при оценке эффективности. Расходы по каждому варианту включают годовые затраты и капитальные затраты, соответствующие нормативному коэффициенту относительной эффективности: мы определяем минимальный вариант стоимости в эффективности

$$Z_i = I_i + E_H \cdot K_i; \quad (4.42)$$

$$E_H = 0,15.$$

Для первого варианта:

$$Z_i = 2151501,39 + 0,15 \cdot 629474,04 = 2245922,5 \text{ тенге.}$$

Для второго варианта:

$$Z_i = 2242024,67 + 0,15 \cdot 994500 = 2391199,67 \text{ тенге.}$$

Метод 2. Расчет срока окупаемости капитальных вложений:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{I_1 - I_2} = \frac{994500 - 629474,04}{2242024,67 - 2151501,39} = 4 \text{ года.} \quad (4.43)$$

Метод 3. Определение коэффициента относительной эффективности:

$$E_{\text{оэ}} = \frac{I_1 - I_2}{K_2 - K_1} = \frac{2242024,67 - 2151501,39}{994500 - 629474,04} = 0,25 \quad (4.44)$$

Если выполняется следующее условие, двигатель работает:

$$T_{\text{ок}} \leq T_{\text{н}}, E_{\text{оэ}} \geq E_{\text{н}}, \quad (4.45)$$

где $T_{\text{н}} = 6,7$ год.– нормативный срок окупаемости;
 $4 \text{ год} < 6,7 \text{ год}$; $0,25 > 0,15$.

Заключение

Данный дипломный проект выполнен на тему «Проектирование асинхронного двигателя с фазным ротором»

В основной части были рассчитаны основные параметры, рабочие характеристики асинхронного электродвигателя фазного ротора, также был произведен тепловой расчет и расчет вентиляции.

В специальной части при сравнении пазов, было установлено, что новая изоляция имеет ряд технологических преимуществ перед аналогичной продукцией используемых в настоящее время. По результатам расчета экономия от снижения потерь составила 18100 тенге, а также при применении новой изоляции потери мощности значительно уменьшились, что соответственно увеличит КПД машины.

В разделе безопасности жизнедеятельности были рассмотрены меры предосторожности при использовании кранов, также технические правила безопасности для эксплуатации электродвигателя, причины воспламенения пожара и возгорания, технические и противопожарные меры. Произведен расчет диаметра троса мостового крана, по результатам расчетов которого $d=8,7$ мм было установлено, что на трос подъемного крана действует усилие $Q_p=500$ кгс, не превышающее его разрывное усилие $Q_{p,\phi}=3200$ кгс, примененный трос обладает тридцати двукратным запасом прочности $k_\phi=32$. Произведен расчет системы автоматического пожаротушения, на основе полученных расчетов было установлена расчетная производительность насоса $Q=17,28$ л/с, по результатам которого был выбран насос серии К 100-65-250 с мощностью 65кВ.

В экономической части были произведены расчеты по которым можно доказать, что при сравнении двух асинхронных двигателей капитальные вложения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором меньше чем капитальные вложения асинхронного двигателя с фазным ротором и исходя из полученных данных можно сделать вывод что, предпочтительно использовать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Список используемой литературы

1. Проектирование электрических машин: учебник для вузов/ под ред. И.П. Копылова.- 4-е изд., перераб. И доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011.
2. Р.М.Шидерова, А.Н.Бестерекова Электрические машины. Асинхронные двигатели фазным ротором (Расчет геометрических размеров и обмоток). Методические указания к курсовой работе (для студентов специальности 5В071800 – Электроэнергетика).- Алматы: АУЭС, 2011.–35с.
3. П.И. Сагитов, Р.М. Шидерова, А.Н. Бестерекова Электрические машины. Асинхронные двигатели с фазным ротором (определение параметров и рабочих характеристик). Методические указания к выполнению курсовой работы (для студентов всех форм обучения специальности 5В071800 – Электроэнергетика).- Алматы: АУЭС, 2012.–22с.
4. Гурин Я.С, Кузнецов Б.И. Проектирование серий электрических машин. М. Издательство «Энергия»: , 1978
5. Сергеев П.С., Виноградов Н.В. Проектирование электрических машин. М. Издательство «Энергия»: , 1980
6. Кацман М.М. Электрических машины Издательство «Высшая школа»: , 1990.
7. Осьмаков А.А Технология и оборудование производства электрических машин. М.: Высшая школа, 1990.
8. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках.– М.: Энергоатомиздат, 1984.
9. Безопасность жизнедеятельности. Метод, указания к выполнению раздела в дипломных проектах (для студентов -всех по направлению «Теплоэнергетика»). - Алматы: АИЭС, 2001.
- 10.Безопасность жизнедеятельности. Метод, указания к выполнению раздела в дипломных проектах (для студентов всех по направлению «Электроэнергетика»). - Алматы: АИЭС, 2002.
11. Справочная книга по охране труда в машиностроении. Под ред. О.Н. Русака. - Л.: Машиностроение. Ленин. Отделение, 1989. - 541 с.
12. А.А. Жакупов, Р.С. Хижняк. Методические указания к выполнению экономической части выпускных работ (для бакалавров, обучающихся по направлению «Электроэнергетика»). – Алматы: АИЭС, 2011.
13. А.А. Жакупов, А.Ю. Голубина. Экономика отрасли. Методические указания к расчетно-графическим работам для студентов специальности 5В0718 – Электроэнергетика. – Алматы: АИЭС, 2010. – 31 с.

14. А.А. Жакупов, Р.С. Хижняк. Методические указания к выполнению расчётно-графической работы для бакалавров всех форм обучения специальности 5В071800 – Электроэнергетика. - Алматы: АУЭС, 2012. - 41 с.