

**Методические указания к выполнению курсовой
работы по дисциплине**

«Ремонт электрооборудования»

**«Расчет асинхронного электродвигателя
при ремонте по известным размерам сердечника»**

Введение

Нормируемый срок эксплуатации электрических двигателей составляет 15 лет, средний же срок службы асинхронных электродвигателей в специфических условиях сельского хозяйства составляет лишь 2...4 года.

Вышедшие из строя электродвигатели требуют частичного или капитального ремонта. Это приводит к необходимости создания достаточно большой ремонтной службы. Проведение своевременного и качественного ремонта электродвигателей позволяет повысить надежность работы технологического оборудования, исключить его простои и потери готовой продукции.

Качественное проведение ремонта невозможно без основательных знаний по технологии ремонтных работ и методике расчетов обмоточных данных электродвигателя.

Выполнение курсовой работы по дисциплине "Технология ремонта электрооборудования" направлено на приобретение навыков в решении этих задач.

В настоящей курсовой работе решается задача по определению оптимальных параметров обмоток электродвигателей при отсутствии старой обмотки и паспортной таблички, обосновывается компоновка электроремонтного предприятия.

Приведенные в методических указаниях приложения позволяют выполнять работу без привлечения дополнительных источников.

1. Рекомендации по выполнению курсовой работы

1.1. Содержание и последовательность выполнения курсовой работы

Курсовая работа состоит из двух частей: расчетно-пояснительной записки и графической части.

Расчетно-пояснительная записка включает следующие разделы:

1. Обработка данных геометрических размеров сердечника статора асинхронного двигателя.

2. Выбор типа обмотки, расчет основных параметров обмотки.
3. Определение обмоточных данных.
 - 3.1. Определение магнитной индукции в различных элементах магнитной цепи электродвигателя и выбор ее оптимальных значений.
 - 3.2. Расчет эффективного числа витков фазы, эффективного и элементарного числа проводов в пазу статора.
 - 3.3. Определение диаметра обмоточного провода, выбор провода стандартного диаметра и обоснование выбора марки провода.
 - 3.4. Определение геометрических размеров катушек, массы обмоточного провода и расчет электрического сопротивления одной фазы обмотки постоянному току в холодном состоянии.
4. Расчет электрических параметров электродвигателя.
5. Расчет магнитной цепи.
6. Обоснование компоновки электроремонтного предприятия.

1.2. Указания по оформлению расчетно-пояснительной записки и графического материала

Расчетно-пояснительная записка должна быть написана на листах бумаги формата А4 с одной стороны или в тетради. В этом случае должны быть оставлены поля с левой стороны страницы шириной не менее 40-45 мм.

На титульном листе указываются наименование курсовой работы, курс, номер учебной группы, фамилия и инициалы.

В пояснительной записке представляются следующие рисунки: эскиз сердечника статора асинхронной машины, разрезы пазов статора и ротора с указанием размеров, эскиз пяти частей магнитной цепи асинхронной машины.

При написании расчетно-пояснительной записки необходимо при выполнении расчетов вначале писать формулу с указанием в подстрочном разъяснении входящих в нее величин и их размерностей, затем подставить в формулу числовые значения величин в порядке их написания и привести вычисленный конеч-

ный результат с указанием размерности.

В конце записки необходимо привести библиографический список использованной литературы.

Графическая часть содержит развернутую схему обмотки статора и чертеж технологической компоновки электроремонтного предприятия, выполненные на двух листах формата А3 (420x297 мм) или миллиметровке. Схема и чертеж подписываются студентом в угловом штампе с указанием даты окончания курсовой работы.

Исходными данными для выполнения курсовой работы являются размеры статора, ротора, их пазов, указанные на рисунок 1, и данные в таблице индивидуального задания, а также перечень электрооборудования ремонтного фонда.

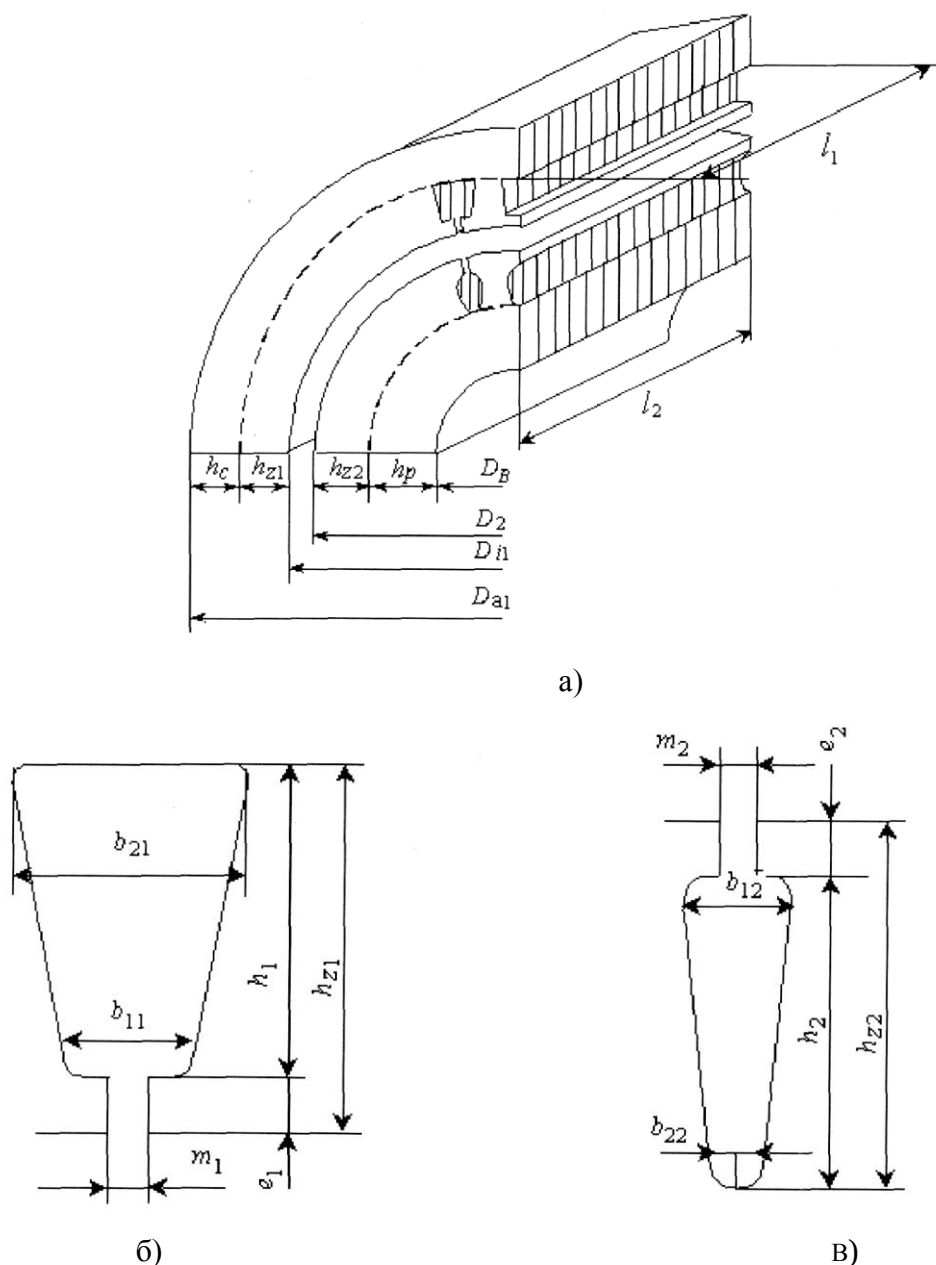


Рисунок 1 - Активная часть двигателя (а), паз статора (б), паз ротора (в)

2. Методические указания по выполнению курсовой работы

2.1. Обработка данных геометрических размеров сердечника статора асинхронного двигателя

В данном разделе определяются размеры и сечения, необходимые для использования их в дальнейших расчетах.

2.1.1. Площадь полюсного деления по воздушному зазору, м

$$S_{\delta} = \tau \cdot l_1, \quad (2.1)$$

где τ - полюсное деление, м,

$$\tau = \frac{\pi D_{i1}}{2p}, \quad (2.2)$$

где D_{i1} - внутренний диаметр сердечника статора, м;

$2p$ - число полюсов обмотки,

$$2p = \frac{2 \cdot f \cdot 60}{n_1}, \quad (2.3)$$

f - промышленная частота переменного тока, Гц;

n_1 - синхронная частота вращения магнитного поля статора, мин⁻¹;

l_1 - полная длина сердечника статора, м.

2.1.2. Площадь поперечного сечения спинки статора, м²,

$$S_a = h_c \cdot l_0, \quad (2.4)$$

где h_c - высота спинки статора, м,

$$h_c = 0,5(D_{a1} - D_{i1} - 2h_{z1}), \quad (2.5)$$

где D_{a1} - внешний диаметр статора, м;

h_{z1} - высота зубцов статора, м;

l_0 - чистая длина активной стали сердечника, м,

$$l_0 = k_c \cdot l_1, \quad (2.6)$$

где k_c - коэффициент заполнения сердечника сталью. Учитывает уменьшение активного сечения пакета из-за изолировки листов. Для двигателей серии 4А с изолировкой листов способом оксидирования, $k_c = 0,97$;

l_1 - полная длина активной стали.

2.1.3. Площадь поперечного сечения зубцов статора на полюс, м²,

$$S_{z1} = \frac{z_1 \cdot b_{cpz1} \cdot l_0}{2p}, \quad (2.7)$$

где z_1 - число пазов статора;

b_{cpz1} - средняя расчетная ширина зубца статора, м,

$$b_{cpz1} = \frac{b_{1z1} + b_{2z1}}{2}, \quad (2.8)$$

где b_{1z1} и b_{2z1} - минимальная и максимальная толщина зубцов статора, м,

$$b_{1z1} = \frac{\pi(D_{i1} + b_{11} + 2e_1)}{z_1} - b_{11}; \quad b_{2z1} = \frac{\pi(D_{i1} + 2h_{z1})}{z_1} - b_{21}, \quad (2.9)$$

где b_{11} - ширина паза статора в ближайшем к воздушному зазору сечении, м;

e_1 - высота усика паза статора, м;

b_{21} - ширина паза статора в удаленном от воздушного зазора сечении, м.

2.1.4. Площадь поперечного сечения спинки ротора, м²,

$$S_p = h_p \cdot k_c \cdot l_p, \quad (2.10)$$

где h_p - высота спинки ротора, м,

$$h_p = 0,5 \left(D_2 - D_B + \frac{1}{6} D_B \right) - h_{z2}, \quad (2.11)$$

где D_2 - внешний диаметр ротора, м;

D_B - диаметр вала, м;

h_{z2} - высота зубца ротора, м;

l_p - длина сердечника ротора. Для двигателей с высотой оси вращения до

$h=250$ мм принимается равной $l_p = l_1$.

2.1.5. Площадь поперечного сечения зубцов ротора на полюс, м²,

$$S_{z2} = \frac{z_2 \cdot b_{cpz2} \cdot l_0}{2p}, \quad (2.12)$$

где z_2 - число пазов ротора;

b_{cpz2} - средняя расчетная ширина зубца ротора, м,

$$b_{cpz2} = \frac{b_{1z2} + b_{2z2}}{2}, \quad (2.13)$$

где b_{1z2} и b_{2z2} - минимальная и максимальная толщина зубцов ротора, м,

$$b_{1z2} = \frac{\pi(D_2 + b_{12} + 2e_2)}{z_2} - b_{12}; \quad b_{2z2} = \frac{\pi(D_2 - 2h_{z2} + b_{22})}{z_2} - b_{22}, \quad (2.14)$$

где b_{12} - ширина паза ротора в ближайшем к воздушному зазору сечении, м;

e_2 - высота усика паза ротора, м;

b_{22} - ширина паза ротора в удаленном от воздушного зазора сечении, м.

2.1.6. Площадь паза статора, м^2 ,

$$S_n = \frac{b_{11} + b_{21}}{2} \left(h_1 - \frac{b_{11}}{2} \right) + \frac{\pi b_{11}^2}{8}, \quad (2.15)$$

где h_1 - высота паза статора, м,

$$h_1 = h_{z1} - e_1. \quad (2.16)$$

2.2. Выбор типа обмотки, расчет основных параметров обмотки

2.2.1. Обоснование выбора типа обмотки статора

При ремонтных работах с экономической точки зрения целесообразнее применять шаблонные (равносекционные) всыпные обмотки. Все катушки таких обмоток совершенно одинаковой формы и могут быть выполнены по одному шаблону. Такие катушки удобны при ручной укладке их в пазы.

Однослойные шаблонные обмотки применяются в двигателях с высотой оси вращения $h = 50 \dots 160$ мм кроме ЭД (электродвигателей) с высотой оси вращения $h = 160$ мм двухполюсных ($2p=2$).

Двухслойные шаблонные обмотки применяются в двигателях с высотой оси вращения $h = 180 \dots 355$ мм и с $h = 160$ мм двухполюсных ($2p=2$).

Соотношения внешних диаметров статоров и высот оси вращения приведены в приложении 1.

2.2.2. Расчет основных параметров обмотки

2.2.2.1. Полусное деление τ - число пазов статора, приходящихся на один полюс электродвигателя

$$\tau = \frac{z_1}{2p}. \quad (2.17)$$

2.2.2.2. Шаг обмотки y - равен числу зубцов, охватываемых сторонами катушки, уложенной в пазы сердечника статора

$$y = \beta \tau, \quad (2.18)$$

где β - коэффициент укорочения, $\beta=1$ в однослойных обмотках, в этом случае шаг называется диаметральной;

$\beta=0,6$ в двухслойных обмотках при числе полюсов обмотки $2p=4, 6, 8$;

$\beta=(0,56 \dots 0,75)$ в двухслойных обмотках при числе полюсов обмотки $2p=2$.

2.2.2.3. Число пазов на полюс - фазу q - показывает из скольких катушек состоит катушечная группа данной обмотки

$$q = \frac{z_1}{2p \cdot m}, \quad (2.19)$$

где m - число фаз переменного тока.

Встречаются обмотки с дробным числом пазов на полюс - фазу, представляемым в виде неправильной дроби

$$q = b \frac{c}{d}, \quad (2.20)$$

где b - показывает из скольких катушек состоит малая катушечная группа (в большой будет $b+1$ катушек);

c - показывает, сколько больших катушечных групп содержится в чередовании, содержащем d катушечных групп.

2.2.2.4. Фазовый шаг y_ϕ - расстояние в пазах между началами или концами фазных обмоток по окружности расточки статора

$$y_\phi = \frac{2}{3} \tau = 2q. \quad (2.21)$$

2.3. Определение обмоточных данных

2.3.1. Определение магнитной индукции в различных элементах магнитной цепи электродвигателя и выбор ее оптимальных значений

Расчет магнитной индукции в различных элементах магнитной цепи сводится к выбору магнитной индукции в воздушном зазоре (B_δ) электродвигателя, определению индукции в зубцах (B_{z1}) и спинке (B_a) статора, в зубцах (B_{z2}) и спинке (B_p) ротора и сравнению расчетных значений индукции с оптимальными ее значениями.

2.3.1.1. Магнитный поток одного полюса двигателя, Вб

$$\hat{O} = \frac{2}{\pi} B_\delta S_\sigma, \quad (2.22)$$

2 . ,

где $\frac{2}{\pi}$ - коэффициент, учитывающий среднее значение индукции при синусоидальной форме кривой магнитного потока (рисунок 2);

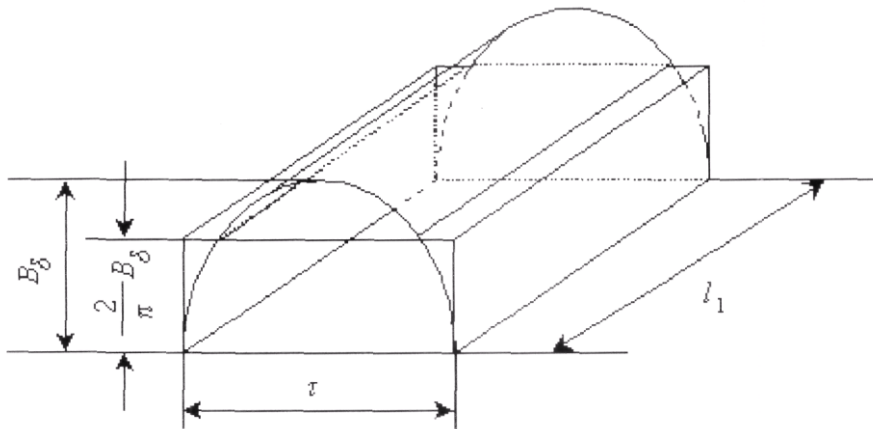


Рисунок 2 - Определение величины магнитного потока по наибольшему значению индукции

B_δ - амплитудное значение индукции в воздушном зазоре, Тл. Значением B_δ задаются, руководствуясь приложением 2.

2.3.1.2. Магнитная индукция в зубцах статора, Тл

$$B_{z1} = B_\delta \frac{S_\delta}{S_{z1}}. \quad (2.23)$$

2.3.1.3. Магнитная индукция в спинке статора, Тл

$$B_a = B_\delta \frac{S_\delta}{\pi S_a}. \quad (2.24)$$

2.3.1.4. Магнитная индукция в зубцах ротора, Тл

$$B_{z2} = B_\delta \frac{S_\delta}{S_{z2}}. \quad (2.25)$$

2.3.1.5. Магнитная индукция в спинке ротора, Тл

$$B_p = B_\delta \frac{S_\delta}{\pi S_p}. \quad (2.26)$$

Полученные результаты расчета магнитной индукции сравниваются с соответствующими значениями, представленными в приложении 3.

Если в каком-то из участков магнитной цепи индукция значительно превышает рекомендуемые значения (более чем на 20 %), то необходимо изменить B_σ и вновь выполнить расчет.

Оптимальное значение магнитной индукции в воздушном зазоре B_σ можно определить, если расчет произвести на программируемом микрокалькуляторе для 5-7 вариантов магнитной индукции согласно приложения 4.

Выбор того или иного метода расчета осуществляется по усмотрению студента.

2.3.2. Расчет эффективного числа витков фазы, эффективного и элементарного числа проводов в пазу статора

2.3.2.1. Число эффективных витков в фазе

$$W_{\phi\delta} = \frac{k_E U_\delta}{4,44 f \hat{O} k_{i\delta}}, \quad (2.27)$$

где k_E - коэффициент ЭДС, учитывающий потерю напряжения в цепи статора:

$$k_E = 0,97;$$

U_ϕ - фазное напряжение питающей сети, В;

$k_{i\delta}$ - обмоточный коэффициент, учитывающий укорочение шага и состав катушечной группы,

$$k_{i\dot{a}} = k_y k_p = \sin\left(\frac{y}{\tau} 90^\circ\right) \cdot \frac{\sin \frac{\alpha q}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (2.28)$$

где k_y - коэффициент укорочения, показывающий во сколько раз амплитуда МДС данной обмотки, выполненной с укороченным шагом, меньше амплитуды МДС обмотки, выполненной с диаметральным шагом;

k_p - коэффициент распределения, показывающий, во сколько раз геометрическая сумма МДС группы катушек меньше арифметической суммы МДС этой же группы;

α - электрический угол, приходящийся на одно зубовое деление, в градусах,

$$\alpha = \frac{360 p}{z_1}. \quad (2.29)$$

Полученное число витков следует округлить до ближайшего числа, кратного числу катушек qr - при однослойной обмотки и $q2r$ - при двухслойной обмотке.

2.3.2.2. Число эффективных проводников в одном пазу

$$n_{y\dot{o}} = \frac{2mW_{y\dot{o}} \dot{a}_1}{z_1}, \quad (2.30)$$

где a_1 - число параллельных ветвей обмотки. Первоначально принимают $a_1=1$ и уточняют при определении сечения обмоточного провода.

$n_{эф}$ - должно быть целым, а в двухслойной обмотке кратным двум.

2.3.2.3. Сечение голого (неизолированного) провода, мм^2

$$g_{\dot{a}} = \frac{k_i S_n}{n_{y\dot{o}}}, \quad (2.31)$$

где k_i - коэффициент заполнения паза медью, $k_i = 0,36 \dots 0,4$.

По приложению 5 выбирается подходящий провод. Если сечение провода получится более 2 мм^2 , следует взять несколько ($a_2=2, 3, 4$ и т.д.) проводов меньшего сечения.

Тогда в пазу будет число элементарных проводов каждый сечением $g_{г.эл}$

$$n_{y\ddot{e}} = n_{y\dot{o}} \dot{a}_2, \quad (2.32)$$

Уменьшение сечения провода можно достичь и параллельным включением катушечных групп фазной обмотки, образуя несколько параллельных ветвей (варьируя a_1).

Пример включения четырех катушечных групп фазной обмотки в две и четыре параллельные ветви приведен на рисунок 3.

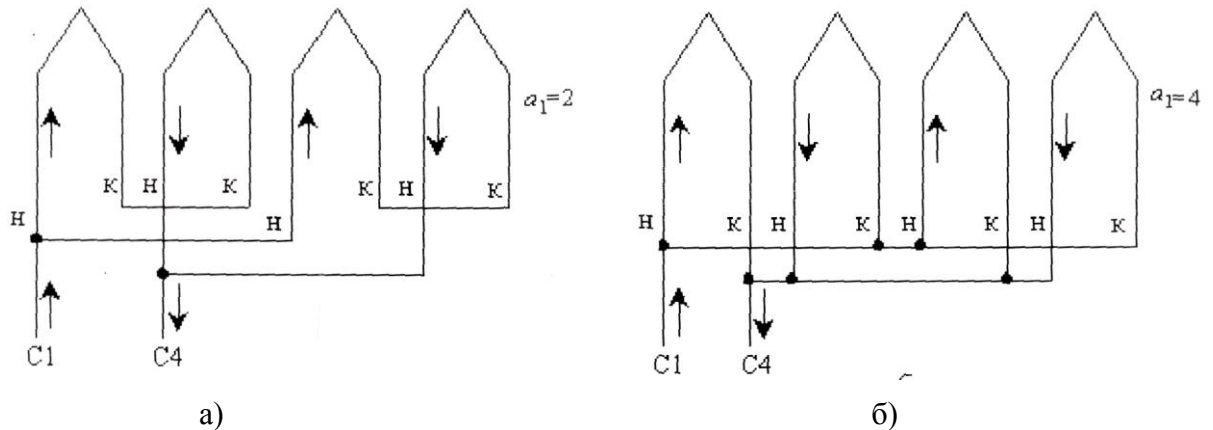


Рисунок 3 - Схемы включения катушечных групп двухслойной фазной обмотки в две (а) и четыре (б) параллельные ветви.

В общем случае число элементарных проводов в пазу при любой обмотке

$$n_{y\delta} = \frac{2mW_{y\delta} a_1 a_2}{z_1}. \quad (2.33)$$

Если будет выбран коэффициент a_1 отличный от единицы следует уточнить $n_{эф}$, g_z и $n_{эл}$.

2.3.3. Определение диаметра обмоточного провода, выбор провода стандартного диаметра и обоснование выбора марки провода

При выборе стандартного размера обмоточного провода по приложению 5 необходимо брать его по сечению равным или ближайшим меньшим расчетному $g_{z,эл}$, чтобы обеспечивалась его свободная укладка в пазы двигателя.

Обмоточные провода с эмалевой изоляцией марки ПЭТВ применяются в электродвигателях с классом нагревостойкости изоляции В, а марки ПЭТ - 155А - с классом нагревостойкости изоляции F.

2.3.4. Определение геометрических размеров катушек, массы обмоточного провода и расчет электрического сопротивления одной фазы обмотки постоянному току в холодном состоянии

2.3.4.1. Средняя ширина катушек, м

$$b_{\text{н\delta}} = y \frac{\pi(D_{\text{il}} + h_{\text{z1}})}{z_1}. \quad (2.35)$$

2.3.4.2. Длина лобовой части обмотки статора, м

$$l_{\text{е}} = k_{\text{е}} b_{\text{cp}} + 0,03, \quad (2.36)$$

где $k_{\text{е}}$ и 0,03 - опытные коэффициенты, учитывающие увеличение лобовой части витка в зависимости от числа полюсов электродвигателя и способа намотки обмотки.

Значения опытного коэффициента $k_{\text{е}}$ для вольтовых обмоток приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. - Значения коэффициента $k_{\text{е}}$

Число полюсов, $2p$	2	4	6	8
Коэффициент, $k_{\text{е}}$	1,2	1,3	1,4	1,5

2.3.4.3. Средняя длина полувитка обмотки, м

$$l_{\text{cp}} = l_{\text{е}} + l_1. \quad (2.37)$$

2.3.4.4. Масса меди обмотки статора без изоляции, кг

$$G_{\text{и}} = 8,9 g_{\text{а.уе}} l_{\text{cp}} n_{\text{yo}} a_2 z_1 10^{-3}, \quad (2.38)$$

где 8,9 - удельный вес меди, т/м³.

2.3.4.5. Активное сопротивление фазы обмотки статора, Ом

$$R_{\text{о}} = \frac{2 \delta l_{\text{cp}} W_{\text{yo}}}{g_{\text{а.уе}} a_1 a_2}, \quad (2.39)$$

где p - удельное сопротивление меди, $p = 17,5 \cdot 10^{-9}$ (Ом · м).

2.4. Расчет электрических параметров электродвигателя

2.4.1. Фазный ток двигателя, А

$$I_{\delta} = j \cdot g_{\tilde{a}, \tilde{y}\tilde{e}} \cdot a_1 \cdot a_2, \quad (2.40)$$

где j - плотность тока в А/м^2 . Значения допустимой плотности тока приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. - Значения допустимой плотности тока асинхронных электродвигателей

Высота оси вращения h , м	0,056...0,160	0,180...0,225	0,250
Плотность тока j , А/м^2	$(6,0...9,0)10^6$	$(5,0...7,0)10^6$	$(4,0...6,0)10^6$

Большие значения допустимой плотности тока соответствует машинам меньших габаритов.

2.4.2. Линейная нагрузка электродвигателя, А/м

$$A = \frac{m I_{\delta} 2W_{y\delta}}{\pi D_{i1}} \cdot 10^3 \quad (2.41)$$

Полученное значение линейной нагрузки сравнивается с рекомендуемым (приложение 6).

Если полученные значения линейной нагрузки отличаются от рекомендуемых более чем на 15 %, то необходимо изменить плотность тока в обмотке статора и уточнить коэффициент заполнения паза.

2.4.3. Полная мощность электродвигателя, кВА

$$S = m U_{\phi} I_{\phi} 10^{-3} \quad (2.42)$$

2.4.4. Ориентировочная мощность на валу, кВт

$$P = S \eta \cos \varphi, \quad (2.43)$$

где η и $\cos \varphi$ - номинальные значения коэффициентов полезного действия и мощности, определяемые по таблице приложения 7.

По ориентировочной мощности выбирают значение стандартной мощности из шкалы мощностей: 0,12; 0,18; 0,25; 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 5,5; 7,5; 11,0; 15,0; 18,5; 22,0; 30,0; 37,0; 45,0; 55,0; 75,0; 90,0; 110,0 кВт.

При выборе стандартного значения необходимо брать его равным или ближайшим меньшим расчетному P .

2.5. Расчет магнитной цепи

Магнитная система двигателя - разветвленная симметричная магнитная

цепь, состоящая из $2p$ полюсов. Расчет магнитной цепи ведут по расчетному участку из одной пары полюсов.

Задача расчета - проверка правильности выбора эффективного числа витков, магнитной индукции на различных участках магнитной цепи.

В магнитной цепи двигателя (рисунок 4) с точки зрения магнитного сопротивления действуют следующие магнитодвижущие силы (магнитные напряжения):

F_a - магнитодвижущая сила спинки статора;

F_{z1} - магнитодвижущая сила зубцов статора;

F_δ - магнитодвижущая сила воздушного зазора,

F_{z2} - магнитодвижущая сила зубцов ротора;

F_p - магнитодвижущая сила спинки ротора.

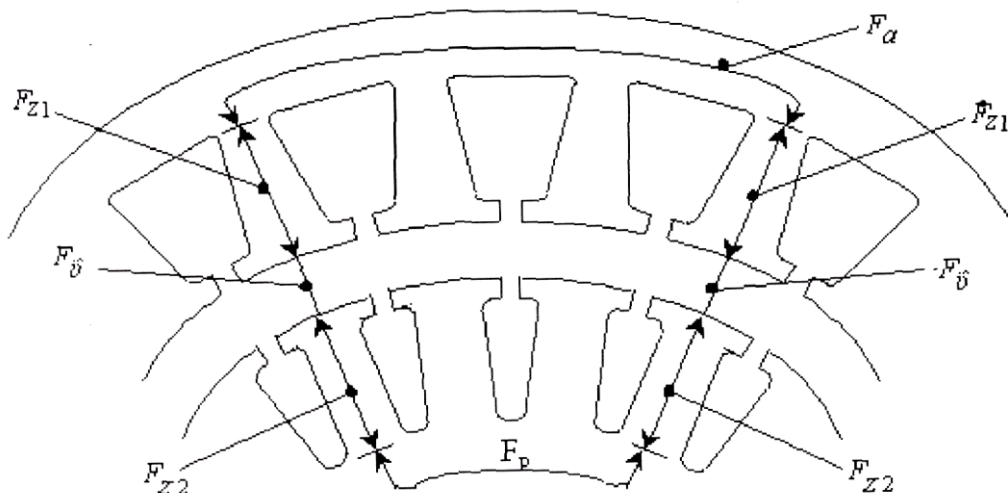


Рисунок 4 - Пять частей магнитной цепи асинхронной машины

2.5.1. Уточненное значение потока по принятому числу витков, B_δ

$$\hat{O} = \frac{k_e U_\delta}{4,44 f W_{y\delta} k_{ia}}. \quad (2.44)$$

2.5.2. Магнитная индукция в зазоре, Тл

$$B_\delta = \frac{\pi \hat{O}}{2S_\delta}. \quad (2.45)$$

2.5.3. Магнитодвижущая сила в воздушном зазоре, А

$$F_\delta = 0,8 \cdot B_\delta \cdot k_\delta \cdot \delta \cdot 10^6, \quad (2.46)$$

где δ - односторонний воздушный зазор, м,

$$\delta = \frac{D_{i1} - D_2}{2}, \quad (2.47)$$

k_δ - коэффициент воздушного зазора. Учитывает влияние зубчатости статора и ротора на магнитное сопротивление воздушного зазора,

$$k_\delta = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma_1 \delta} \cdot \frac{t_2}{t_2 - \gamma_2 \delta}, \quad (2.48)$$

где t_1 - зубцовое деление статора:

$$t_1 = \frac{\pi D_{i1}}{z_1}, \quad (2.49)$$

t_2 - зубцовое деление ротора,

$$t_2 = \frac{\pi D_2}{z_2},$$

$$\gamma_{1,2} = \frac{\left(\frac{m_{1,2}}{\delta} \right)^2}{5 + \frac{m_{1,2}}{\delta}}. \quad (2.50)$$

2.5.4. Магнитодвижущая сила в зубцах статора, А

$$F_{z1} = H_{z1} h_{z1}, \quad (2.51)$$

где H_{z1} - напряженность поля. Определяется по значению индукции в зубцах B_{z1} по таблице приложения 9.

2.5.5. Магнитодвижущая сила в зубцах ротора, А

$$F_{z2} = H_{z2} h_{z2}, \quad (2.52)$$

где H_{z2} определяется по таблице приложения 9.

2.5.6. Магнитодвижущая сила в спинке статора, А

$$F_a = H_a h_a \quad (2.53)$$

где L_a - длина средней магнитной силовой линии потока в спинке статора, м,

$$L_a = \frac{\pi(D_{a1} - h_c)}{2p}, \quad (2.54)$$

где H_a определяется по значению B_a по приложению 8.

2.5.7. Магнитодвижущая сила в спинке ротора, А

$$F_p = H_p L_p \quad (2.55)$$

где L_p - длина средней магнитной силовой линии потока в спинке ротора, м,

$$L_p = \frac{\pi(D_B + h)_p}{2p}, \quad (2.56)$$

где H_p определяется по значению B_p по приложению 8.

2.5.8. Суммарное магнитное напряжение магнитной цепи машины на пару полюсов, А

$$F = 2F_\delta + 2F_{z1} + 2F_{z2} + F_a + F_p. \quad (2.57)$$

2.5.9. Намагничивающий ток, А

$$I_\mu = \frac{pF}{0,9mW_{\dot{y}\dot{o}} k_{\dot{i}\dot{a}}}. \quad (2.58)$$

2.5.10. Относительное значение намагничивающего тока

$$I_{\mu^*} = \frac{I_\mu}{I_{\dot{o}}}. \quad (2.59)$$

Относительное значение I_{μ^*} служит критерием правильности выбора электромагнитных нагрузок и расчета обмоточных данных. Полученное значение сравнивается с допустимыми (Приложение 10).

Если относительное значение намагничивающего тока I_{μ^*} окажется выше рекомендованных, то выбор электромагнитных нагрузок и расчет обмоточных данных произведен с ошибками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболевская. - М.: Энергоиздат, 2022.
2. Проектирование электрических машин: Учебное пособие для ВУЗов/И.П. Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клоков и др.; Под ред. И.П. Копылова. - М.: Энергия, 2020.
3. Кацман М.М. Расчет и конструирование электрических двигателей: Учебное пособие для техникумов. - М.: Энергоатомиздат, 2024.
4. Винников И.М. Технология и расчеты при ремонте двигателей переменного тока. - М: Энергия, 2020.
5. Ванурин В.И. Обмотки асинхронных электродвигателей. - М.: Колос, 2024.
6. Технология монтажа и ремонта электрооборудования: Методические указания по изучению дисциплины / Всесоюзн. с.-х. ин-т заоч. образования; Составил В.Г. Прищеп. - М., 2019.
7. Эксплуатация и ремонт электрооборудования: Методические указания по изучению дисциплины и задания для контрольной и курсовой работ / Всесоюзн. с.-х. ин-т заоч. образования; Л.П. Шичков, И.С. Мишин, В.А. Ананьев. - М., 2020.
8. Расчет асинхронного электродвигателя при ремонте по известным размерам магнитопровода: Методические указания по выполнению курсовой работы; Сост. С.П. Кохановский, Н.Т. Лут, В.А. Наливайко. - Киев, 2024.
9. Справочник энергетика строительной организации. В 2т. Т.1. Электроснабжение строительства / В.Г. Сенчев. А.К. Азаров, В.С. Аушев и др.; Под ред. В.Г. Сенчева. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 2021.
- Ю.Антонов М.В. Ремонт низковольтных электрических машин. - М.: Высшая школа, 2022.
11. Г.П. Ерошенко. Дипломное и курсовое проектирование электроремонтных предприятий: Методические указания для студентов ФЭСХ. - Саратов, 2019.
12. Ерошенко Г.П., Пястолов А.А. Курсовое и дипломное проектирование по эксплуатации электрооборудования. - М.: Агропромиздат, 2023.

ПРИЛОЖЕНИЯ

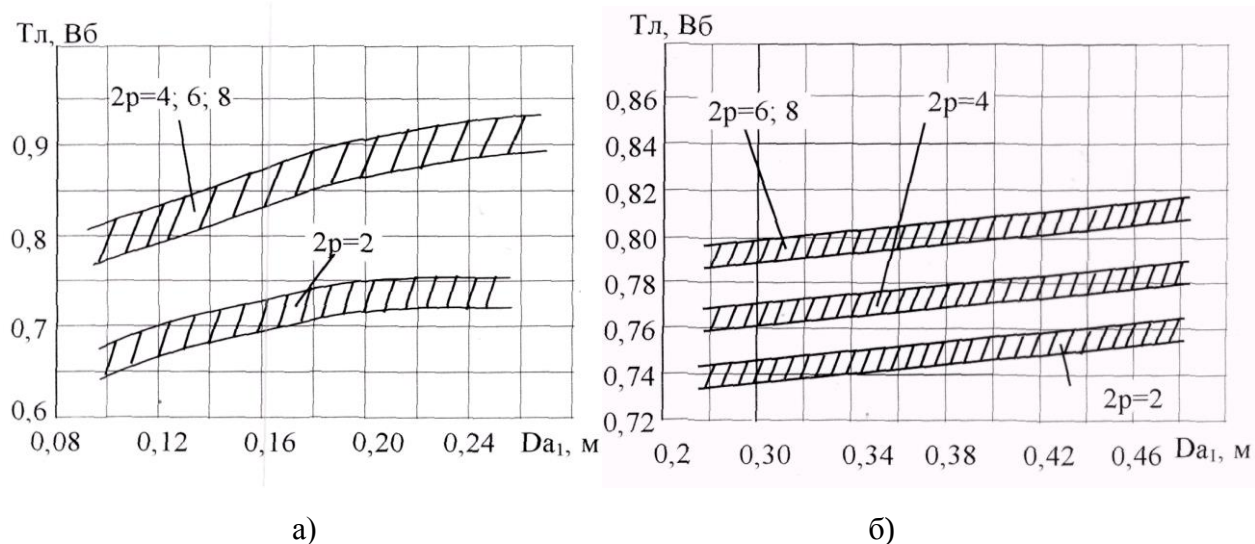
Приложение 1

Соотношения внешних диаметров статоров (D_a) и высот оси вращения (h) электродвигателей основного исполнения серии 4А.

$D_a, \text{м}$	0,089	0,100	0,116	0,131	0,149	0,168	0,191	0,225	0,272	0,313	0,349	0,392	0,437
$h, \text{м}$	0,056	0,063	0,071	0,080	0,090	0,100	0,112	0,132	0,160	0,180	0,200	0,225	0,250

Приложение 2

Максимальная магнитная индукция в воздушном зазоре асинхронных двигателей серии 4А со степенью защиты IP 44.



Приложение 3

Допустимые значения магнитной индукции на различных участках магнитной цепи.

Участки магнитной цепи	Обозначение	Величина магнитной индукции, Тл
Воздушный зазор	B_δ	0,3...0,9
Зубцы статора	B_{z1}	1,3...2,1
Спинка статора	B_a	1,1...1,6
Зубцы ротора	B_{z2}	1,1...1,95
Спинка ротора	B_p	0,85...1,55

Таблица 4.1 - Выбор оптимального значения магнитной индукции в воздушном зазоре

B_{δ} , Тл	$0,85 B_{\delta \text{ табл.}}$	$0,90 B_{\delta \text{ табл.}}$	$0,95 B_{\delta \text{ табл.}}$	$1 B_{\delta \text{ табл.}}$	$1,05 B_{\delta \text{ табл.}}$	$1,1 B_{\delta \text{ табл.}}$	$1,15 B_{\delta \text{ табл.}}$
B_{z1} , Тл							
B_a , Тл							

Полученные значения B_{z1} , B_a сравнить с допустимыми значениями, приведенными в таблице 4.2. и выбрать оптимальный вариант магнитной индукции в воздушном зазоре.

Таблица 4.2 - Ориентировочные значения индукций в сердечниках статоров электродвигателей серии 4А

Число полюсов обмотки	Значения индукции B_{z1}/B_a при высоте оси вращения, м											
	0,056	0,063	0,071	0,080	0,090	0,100	0,112	0,132	0,160	0,180	0,200	0,250
2p=2	1,8	1,7	1,8	1,85	1,95	1,95	2,05	1,85	1,95	1,95	2,00	1,75
	1,4	1,4	1,5	1,7	1,55	1,6	1,7	1,65	1,95	1,55	1,7	1,4
2p=4	1,8	1,8	1,95	1,95	1,95	1,8	1,9	1,85	1,9	1,9	1,9	1,8
	1,6	1,55	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,65	1,7	1,6	1,6	1,5
2p=6		1,8	1,9	1,8	1,8	1,75	1,95	1,9	1,55	1,7	1,8	1,85
		1,45	1,6	1,55	1,5	1,4	1,55	1,5	1,45	1,65	1,45	1,55
2p=8			1,9	1,7	1,75	1,75	1,85	1,9	1,8	1,8	1,9	2,0
			1,15	1,1	1,1	1,1	1,4	1,3	1,25	1,3	1,2	1,3

Приложение 5

Площади поперечного сечения и диаметры круглых медных эмалированных проводов марок ПЭТВ и ПЭТ – 155

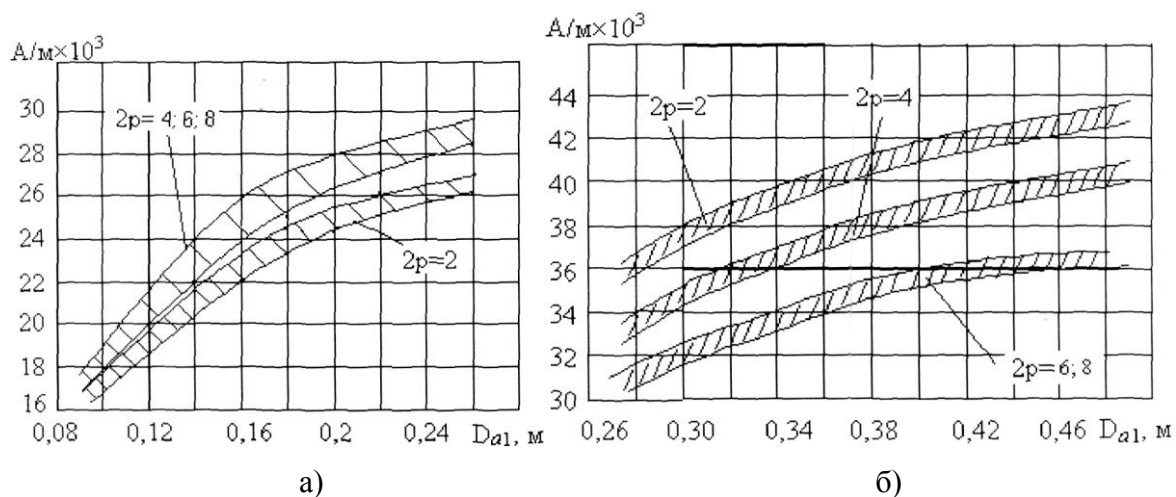
Площадь поперечного сечения неэмалированного провода, $\times 10^{-6}$, м ²	Номинальный диаметр неизолированного провода, $\times 10^{-3}$, м	Среднее значение диаметра изолированного провода, $\times 10^{-3}$, м	Площадь поперечного сечения неэмалированного провода, $\times 10^{-6}$, м	Номинальный диаметр неизолированного провода, $\times 10^{-3}$, м	Среднее значение диаметра изолированного провода, $\times 10^{-3}$, м
g_z	d_z	d_{uz}	g_z	d_z	d_{uz}
1	2	3	4	5	6
0,00502	0,08	0,10	0,221	0,53	0,585
0,00636	0,09	0,11	0,246	0,56	0,615
0,00785	0,10	0,122	0,283	0,60	0,655
0,00985	0,112	0,134	0,312	0,63	0,69
0,01227	0,125	0,147	0,353	0,67	0,73
0,01368	0,132	0,154	0,396	0,71	0,77
0,01539	0,14	0,162	0,442	0,75	0,815
0,01767	0,15	0,18	0,503	0,80	0,865
0,0201	0,16	0,19	0,567	0,85	0,915
0,0227	0,17	0,20	0,636	0,90	0,965
0,0255	0,18	0,21	0,709	0,95	1,015
0,0284	0,19	0,22	0,785	1,00	1,08
0,0314	0,20	0,23	0,883	1,06	1,14
0,0353	0,212	0,242	0,985	1,12	1,20

Площади поперечного сечения и диаметры круглых медных эмалированных проводов марок ПЭТВ и ПЭТ – 155 (продолжение)

Площадь поперечного сечения неэмалированного провода, $\times 10^{-6}$, м^2	Номинальный диаметр неизолированного провода, $\times 10^{-3}$, м	Среднее значение диаметра изолированного провода, $\times 10^{-3}$, м	Площадь поперечного сечения неэмалированного провода, $\times 10^{-6}$, м^2	Номинальный диаметр неизолированного провода, $\times 10^{-3}$, м	Среднее значение диаметра изолированного провода, $\times 10^{-3}$, м
g_2	d_2	$d_{из}$	g_2	d_2	$d_{из}$
1	2	3	4	5	6
0,0394	0,224	0,259	1,094	1,18	1,26
0,0437	0,236	0,271	1,227	1,25	1,33
0,0491	0,25	0,285	1,368	1,32	1,405
0,0552	0,265	0,300	1,539	1,40	1,485
0,0616	0,28	0,315	1,767	1,50	1,585
0,0707	0,30	0,335	2,011	1,60	1,685
0,0779	0,315	0,350	2,27	1,70	1,785
0,0881	0,335	0,370	2,54	1,80	1,895
0,099	0,355	0,395	2,83	1,90	1,995
0,1104	0,375	0,415	3,14	2,00	2,095
0,1257	0,40	0,44	3,53	2,12	2 22
0,1419	0,425	0,465	3,94	2,24	2,34
0,1590	0,45	0,49	4,36	2,36	2,46
0,1772	0,475	0,515	4,91	2,50	2,60
0,1963	0,50	0,545			

Приложение 6

Линейная нагрузка асинхронных двигателей серии 4А со степенью защиты IP 44



а) при высоте оси вращения $h < 132$ мм;

б) при высоте оси вращения $h = 160 \dots 250$ мм.

Кривая намагничивания для спинки асинхронных двигателей. Сталь 2013

В, Тл	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	H, м									
0,4	52	53	54	55	56	58	59	60	61	62
0,5	64	65	66	67	69	71	72	74	76	78
0,6	80	81	83	85	87	89	91	93	93	97
0,7	100	102	104	106	108	111	113	115	118	121
0,8	124	126	129	132	135	138	140	143	146	149
0,9	152	155	158	161	164	168	171	174	177	181
1,0	185	188	191	195	199	203	206	209	213	217
1,1	221	225	229	233	237	241	245	249	253	257
1,2	262	267	272	277	283	289	295	301	307	313
1,3	320	327	334	341	349	357	365	373	382	391
1,4	400	410	420	430	440	450	464	478	492	506
1,5	520	542	564	586	608	630	654	678	702	726
1,6	750	788	826	864	902	940	982	1020	1070	1110
1,7	1150	1220	1290	1360	1430	1500	1600	1700	1800	1900
1,8	2000	2160	2320	2490	2650	2810	2960	3110	3270	3420
1,9	3570	3800	4030	4260	4490	4720	4930	5140	5350	5560
2,0	5770	6000	6300	6600	7000	7400	7900	8400	9000	9700

Значения КПД и коэффициента мощности для асинхронных двигателей основного исполнения серии 4А

Полная мощность S, кВт	Высота оси вращения, h, м	Число полюсов							
		2	4	6	8	2	4	6	8
		КПД, %				Коэффициент мощности, $\cos\varphi$			
0,2...0,3	0,050	61,5	52,5			0,70	0,60		
0,35...0,5	0,056	67,0	63,5			0,76	0,65		
0,5...0,9	0,063	71,5	68,0	57,5		0,86	0,67	0,62	
0,7...1,7	0,071	77,0	71,0	66,0	56,0	0,87	0,71	0,70	0,65
0,9...3,0	0,080	82,0	76,0	72,0	63,0	0,86	0,82	0,74	0,65
1,8...4,0	0,090	84,5	80,0	75,0	69,0	0,88	0,83	0,74	0,65
3,0...7,0	0,100	87,0	83,0	81,0	74,0	0,90	0,83	0,73	0,65
4,0...10,0	0,112	87,5	85,5	81,5	78,0	0,88	0,85	0,78	0,72
7,0...14,5	0,132	88,0	87,5	85,0	83,0	0,90	0,86	0,80	0,72
11,5...24,0	0,160	88,0	89,0	87,0	86,5	0,92	0,88	0,86	0,75
21,0...38,0	0,180	90,0	90,5	88,0	87,0	0,91	0,90	0,87	0,82
25,0...55,0	0,200	90,0	91,0	90,0	88,5	0,89	0,90	0,90	0,84
40,0...66,0	0,225	91,0	92,5	91,0	90,5	0,92	0,90	0,89	0,81
50,0...110	0,250	92,0	93,0	91,5	90,5	0,89	0,90	0,89	0,84

Приложение 9

Кривая намагничивания для зубцов асинхронных двигателей. Сталь 2013

В, Тл	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	H, А/м									
0,4	124	127	130	133	136	138	141	144	147	150
0,5	154	157	160	164	167	171	174	177	180	184
0,6	188	191	194	198	201	205	208	212	216	220
0,7	223	226	229	233	236	240	243	247	250	253
0,8	256	259	262	265	268	271	274	277	280	283
0,9	286	290	293	297	301	304	308	312	316	320
1,0	324	329	333	338	342	346	350	355	360	365
1,1	370	375	380	385	391	396	401	406	411	417
1,2	424	430	436	442	448	455	461	467	473	479
1,3	486	495	504	514	524	533	563	574	584	585
1,4	586	598	610	622	634	646	658	670	683	696
1,5	709	722	735	749	763	777	791	805	820	835
1,6	850	878	906	934	962	990	1020	1050	1080	1110
1,7	1150	1180	1220	1250	1290	1330	1360	1400	1440	1480
1,8	1520	1570	1620	1670	1720	1770	1830	1890	1950	2010
1,9	2070	2160	2250	2340	2430	2520	2640	2760	2890	3020
2,0	3150	3320	3500	3680	3860	4040	4260	4480	4700	4920
2,1	5140	5440	5740	6050	6360	6670	7120	7570	8020	8470
2,2	8920	9430	9940	10460	10980	11500	12000	12600	13200	13800
2,3	14400	15100	15800	16500	17200	18000	18800	19600	20500	21400

Приложение 10

Предельно допустимые относительные значения тока намагничивания электродвигате-

лей $I_{\mu^*} = \frac{I_{\mu}}{I_{\delta}}$.

Номинальная мощность двигателя, кВт	Относительное значение тока намагничивания при числе полюсов			
	2	4	6	8
0,1...0,5	0,60	0,75	0,85	0,90
0,51...1,0	0,50	0,70	0,75	0,80
1,1...5,0	0,45	0,65	0,70	0,75
5,1...10,0	0,40	0,60	0,65	0,70
10,1...25,0	0,30	0,55	0,60	0,65
25,1...50,0	0,20	0,50	0,55	0,60
50,1...100,0		0,40	0,45	0,50

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования**
**«СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**
Институт механики и энергетики
Кафедра электроснабжения и эксплуатации электрооборудования

Курсовая работа
по дисциплине «Ремонт электрооборудования»
Тема: «»

Выполнил:

Студент __ курса ____ группы
ФИО

Направление подготовки: _____

Форма обучения: _____

Проверил:

уч. степень, должность

ФИО _____

Зарегистрирована

« ____ » _____ 20 ____ г.

Критерий	Максимальное значение в баллах	Набранных баллов
Оформление курсовой работы (проекта)	10	
Содержание курсовой работы (проекта)	60	
Защита курсовой работы (проекта)	30	
ИТОГО	100	

Оценка « _____ » Дата _____ Подпись _____

Ставрополь, 20 ____