

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный
университет»

А.А. Василенко

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ
ПОСЛЕ РЕМОНТА**

*Методические указания
для самостоятельной работы*

Электронное издание

Красноярск 2017

Рецензент

Г.А. Клундук, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Теоретические основы электротехники»

Василенко, А.А.

Определение номинальной мощности асинхронного электродвигателя после ремонта: метод. указания для самостоятельной работы [Электронный ресурс] / А.А. Василенко; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2017. – 34 с.

Представлена методика расчетов для выполнения самостоятельной работы.

Предназначено для студентов очной, заочной и ускоренной форм обучения, изучающих дисциплину «Ремонт электрооборудования» по направлению 35.03.06 (110800.62) «Агроинженерия» профиля «Электрооборудование и электротехнологии в АПК».

При сборе информации и подготовке методических указаний к изданию использовался материал доцента кафедры электроснабжения сельского хозяйства В.М. Таюрского.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Красноярского государственного аграрного университета

© Василенко А.А., 2017

© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ	5
1.1. Цели и задачи расчетно-графической работы	5
1.2. Исходные данные для расчетов обмоток асинхронного двигателя при капитальном ремонте	7
2. ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	9
2.1. Определение параметров тела статора	9
2.2. Определение параметров тела ротора	12
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ВОЗДУШНОМ ЗАЗОРЕ, ТЕЛЕ И ЗУБЦАХ СТАТОРА И РОТОРА	14
4. РАСЧЕТ ЧИСЛА ВИТКОВ ОБМОТКИ И ДИАМЕТРА ОБМОТОЧНОГО ПРОВОДА	17
4.1. Типы статорных обмоток	17
4.2. Определение числа витков обмотки	18
4.3. Определение диаметра изолированного провода	20
4.4. Выбор стандартного размера и марки обмоточного провода	20
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ КАТУШЕК И МАССЫ МЕДИ ОБМОТОК	22
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	23
7. ОФОРМЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ	26
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	27
ПРИЛОЖЕНИЯ	28

ВВЕДЕНИЕ

При капитальном ремонте электрических машин часто возникает необходимость в проведении разного рода расчетов при изменении каких-либо параметров машины: номинальной (паспортной) мощности, напряжения, частоты вращения. Если при ремонте требуется повторить заводские параметры машин, расчеты также необходимы, в особенности, если это касается крупных ответственных машин. Необходимость в определенных расчетах возникает очень часто при отсутствии требуемых обмоточных проводов (по марке и сечению) или изоляционных материалов и замене их другими, имеющимися в данный момент в наличии. Некоторые отступления от заводских параметров машины могут быть допущены, но они должны быть технически обоснованы, а следовательно, подтверждены расчетами [2, 5].

Современное электроремонтное предприятие средней мощности производит ремонт 15–20 тыс. электрических машин в год. В основном это нормальные асинхронные двигатели мощностью от 0,5 до 100 кВт. Среди них у многих отсутствует обмотка и не сохранилась паспортная табличка. В таких случаях необходим полный поверочный расчет, чтобы грамотно выполнить ремонт [3].

1. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Представленная методика расчета обмоток асинхронного электродвигателя при капитальном ремонте расширяет и закрепляет теоретические знания студентов.

Номер варианта расчетно-графической работы (РГР) определяется по двум последним цифрам номера зачетки студента. Например, номер зачетной книжки 12эт052, номер варианта – 52 (по таблице приложения 4). Вид паза статора и ротора указывается преподавателем.

При выполнении РГР студент может использовать, кроме рекомендуемой литературы, справочные, нормативные, специальные периодические материалы, а также типовые проекты.

Объем расчетно-графической работы – 10–20 страниц на листах формата А4.

1.1. Цели и задачи расчетно-графической работы

Асинхронные двигатели (АД) широко применяются во всех отраслях народного хозяйства благодаря простоте своего устройства, надежности, дешевизне, легкости обслуживания и прекрасным эксплуатационным качествам. Возрастающий спрос на АД, в особенности мелких и средних мощностей, трудно было бы удовлетворить только заводами-изготовителями, если бы им не приходили на помощь многочисленные мастерские, в которых восстанавливаются или ремонтируются пришедшие в негодность электродвигатели [3].

Поэтому целью РГР является закрепление теоретических знаний студентов по расчету асинхронных электродвигателей при ремонте.

Кроме того, в процессе эксплуатации иногда требуется изменить некоторые технические параметры: число оборотов, номинальное напряжение и др. [5].

Статистика поврежденных машин, нуждающихся в ремонте, показывает, что при перемотке АД могут встретиться следующие типичные случаи.

Случай 1. Повреждена частично или полностью обмотка статора. Если можно определить схему обмотки, число витков, шаг и размеры сечения проводника, то восстановление двигателя целесообразно с сохранением всех его данных – напряжения, скорости вращения и мощности.

В этом случае, на первый взгляд, специальных расчетов не требуется. Однако на ремонтном предприятии может не оказаться в наличии материалов с соответствующими параметрами. Поэтому, чтобы каждое отступление от первоначальных данных было технически грамотным, оно должно сопровождаться расчетом для проверки его возможных последствий.

Случай 2. Условия те же, что и в предыдущем случае, но требуется перемотать обмотку на новое напряжение с сохранением скорости вращения, мощности и др. При перерасчете может возникнуть необходимость изменения схемы обмотки или ее типа.

Случай 3. Условия те же, что и в предыдущих случаях, но требуется перемотать машину на новую скорость вращения, при этом необходимо провести полный перерасчет машины.

Случай 4. Имеется заводской щиток, а прежняя обмотка не сохранилась. Задача перерасчета электрической машины здесь усложняется и удовлетворительный результат будет тогда, когда новая мощность составит 85–90 % от первоначальной.

Случай 5. Отсутствуют все данные машины. Это наиболее сложный случай, поэтому расчет может быть проведен по двум направлениям:

а) при заданной скорости вращения и заданной мощности двигателя;

б) при заданной скорости вращения двигателя. Перечисленные выше неисправности машин наиболее характерны, но на практике они не исчерпывают всех возможных случаев.

Капитальным ремонтом является ремонт, осуществляемый с целью восстановления полного (или близкого к полному) ресурса изделия за счет замены или восстановления любых его частей, включая базовые.

Капитальный ремонт служит одним из вариантов решения более сложной технико-экономической задачи – систематического обновления парка асинхронных двигателей сельскохозяйственных предприятий.

Ремонт электродвигателей делится на два вида: централизованный и нецентрализованный.

Централизованный ремонт проводят в крупных электроремонтных мастерских или на электроремонтных заводах, где обеспечивается соблюдение передовой технологии, где есть квалифицированные кадры, необходимые материалы и механизмы. Качество ремонта

электродвигателей на крупных предприятиях может быть так высоко, что надежность отремонтированной машины не уступает надежности новой.

Децентрализованный ремонт проводят в небольших мастерских, не имеющих преимуществ крупных специализированных предприятий.

Результаты анализа Всесоюзного научно-исследовательского и проектно-технологического института электромашиностроения показали, что при существующей технологии централизованный ремонт электродвигателей мощностью более 4 кВт оправдан и стоимость отремонтированного электродвигателя меньше стоимости нового.

Кроме того, значительный выход из строя электродвигателей (от 15 до 40 %), работающих в сельском хозяйстве, а также высокая стоимость новых электродвигателей вынуждают прибегать к децентрализованному ремонту двигателей малой мощности. Это позволяет избежать простоев технологического оборудования. При капитальном ремонте электрических машин возникает необходимость производить разного рода расчеты на основании геометрических размеров сердечника статора и ротора.

1.2. Исходные данные для расчетов обмоток асинхронного двигателя при капитальном ремонте

Заданными величинами для расчета являются геометрические размеры статора и ротора (приложение 4). На практике эти исходные данные можно получить в результате обмера элементов электрических машин, а именно:

D_a – наружный диаметр сердечника статора, мм;

D – диаметр внутренней расточки статора, мм;

h_z – высота паза, мм;

l_1 – длина сердечника статора, мм;

z_1 – число пазов статора, шт.;

z_2 – число пазов ротора, шт.;

δ – воздушный зазор между ротором и статором, мм.

К техническим требованиям относятся:

$U_{л}$, $U_{ф}$ – соответственно линейное и фазное напряжение, В;

$2p$ – число полюсов обмотки.

В задании на РГР (приложение 4) указываются и другие исходные данные в соответствии с рисунком 1.

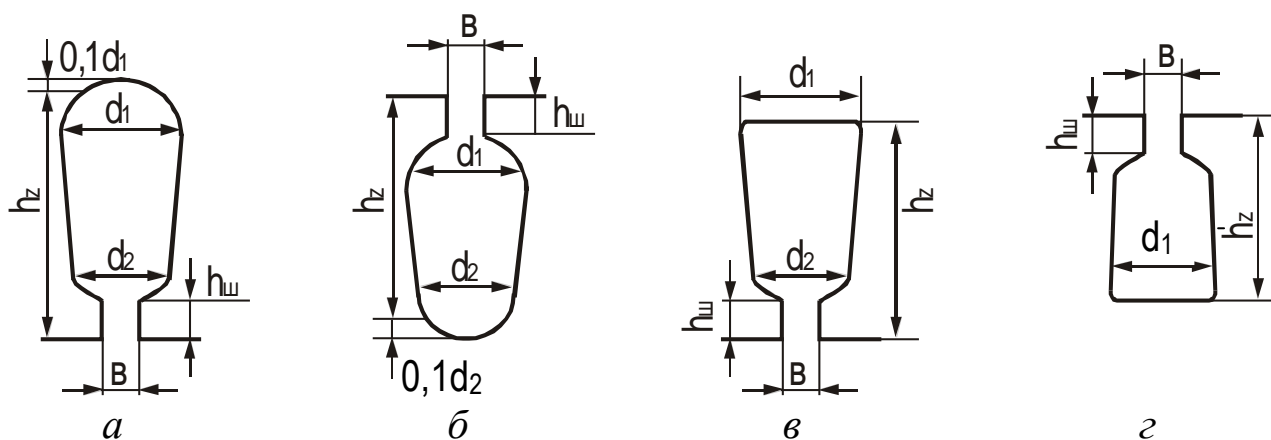


Рисунок 1 – Виды паза статора и ротора:

a – грушевидный паз статора; *б* – грушевидный паз ротора;
в – трапециевидный паз статора; *г* – прямоугольный паз ротора

В исходных данных отсутствует длина сердечника ротора (l_2), которую можно принять исходя из величины H (высота оси вращения ротора). Если $H \leq 250$ мм, то $l_2 = l_1$, если $H > 250$ мм, то $l_2 = l_1 + 5$ мм. В отдельных случаях студенты могут выполнять РГЗ по заданию хозяйства, в которых проходят практику, или по тематике научно-исследовательской работы кафедры. В этом случае задание на проведение расчетов обсуждается на кафедре и утверждается ее заведующим [4].

2. ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

2.1. Определение параметров тела статора

Полюсное деление ($\tau, м$) – это длина части окружности расточки, приходящейся на один полюс:

$$\tau = \pi D / 2p, \quad (1)$$

где D – диаметр расточки статора, м;

$2p$ – число полюсов.

Площадь, которую занимает один полюс вращающегося поля на внутренней поверхности статора, так называемая площадь поперечного сечения зазора, или площадь полюсного деления ($м^2$), равна:

$$Q_{\delta} = \tau \cdot l_1, \quad (2)$$

где l_1 – полная длина активной стали.

Отдельные листы стали в сердечнике не прилегают друг к другу совершенно плотно даже в том случае, когда никакой изоляции между ними нет. Поэтому для получения чистой длины активной стали ($l_0, м$) необходимо длину статора умножить на опытный коэффициент заполнения (k_c), учитывающий неплотность прилегания листов и зависящий от их толщины и рода изоляции между листами:

$$l_0 = k_c l_1, \quad (3)$$

где k_c – коэффициент, учитывающий уменьшение длины сердечника статора из-за изоляции между листами стали (для электродвигателей четвертой серии при изоляции листов стали лаком $k_c = 0,95$, а при изоляции стали оксидной пленкой $k_c = 0,97$; для электродвигателей серии АИР k_c принимается равным $0,97$) или можно воспользоваться таблицей 1.

Таблица 1 – Коэффициент заполнения пакета сталью

Толщина листа, мм	Коэффициент k_c , при листах	
	неизолированных, оксидированных	покрытых лаком
1	0,98	0,97
0,5	0,95	0,93
0,35	0,93	0,91
0,25	0,91	0,88
0,15	0,86	0,81

Высота спинки статора (h_a , м) определяется в результате обмера электрической машины или путем вычисления, как в нашем случае:

$$h_a = \frac{1}{2}(D_a - D - 2h'_{z1}), \quad (4)$$

где h'_{z1} – высота зубца статора, м;

D_a – наружный диаметр пакета стали, м.

Высота зубца статора (h'_{z1} , м) при трапециевидных пазах (рисунок 1, в) принимается равной действительной высоте зубца ($h'_{z1} = h_{z1}$), а при грушевидных пазах (рисунок 1, а) равна:

$$h'_{z1} = h_{z1} + 0,1 \cdot d_1. \quad (5)$$

Площадь поперечного сечения тела статора (S_a , м²), или просто – сечение тела статора, если нет продольных вентиляционных каналов, получается как произведение его высоты h_a на чистую длину стали l_0 :

$$S_a = h_a \cdot l_0. \quad (6)$$

Ширина зубца статора ($b_{cp.z1}$, м) вполне определена, если по всей высоте зубца она остается постоянной, но если этого нет, то в качестве расчетной ширины зубца может быть принята ширина в средней части между самым узким и самым широким местом зубца и для грушевидных пазов $b_{cp.z1}$ (рисунок 1, а) равна:

$$b_{cp.z1} = \frac{b_{1z1} + b_{2z1}}{2}, \quad (7)$$

где $b_{1z1} = \frac{\pi(D + d_2 + 2h_u)}{z_1} - d_2,$

$$b_{2z1} = \frac{\pi(D + 2h'_{z1} - d_1)}{z_1} - d_1.$$

При трапециевидных пазах (рисунок 1, в)

$$b_{cp.z1} = \frac{b_{1z1} + b_{2z1}}{2}, \quad (8)$$

где $b_{1z1} = \frac{\pi(D + d_2 + 2h_u)}{z_1} - d_2,$

$$b_{2z1} = \frac{\pi(D + 2h_{z1})}{z_1} - d_1.$$

Исходя из средней ширины зубцов статора, определяем площадь, приходящуюся на один полюс (m^2):

$$S_z = \frac{z_1}{2p} \cdot b_{cp.z1} \cdot l_0. \quad (9)$$

Для грушевидной формы паза, его площадь равна (m^2):

$$S_{II} = \frac{\pi}{2} \cdot (r_1^2 + r_2^2) + \frac{h}{2} \cdot (d_1 + d_2),$$

где $r_1 = \frac{d_1}{2}$; $r_2 = \frac{d_2}{2}$; $h = h'_{z1} - (r_1 + r_2 + h_u),$

d_1, d_2 – размеры паза статора,

а для трапециевидной:

$$S_{II} = \frac{\pi \cdot r_2^2}{2} + \frac{h}{2} \cdot (d_1 + d_2),$$

где $h = h_{z1} - (r_2 + h_u).$

2.2. Определение параметров тела ротора

Полная высота зубца ротора (h'_{z2} , м) для паза (рисунок 1, г) принимается равной действительной высоте зубца, а для грушевидной формы (рисунок 1, б):

$$h'_{z2} = h_{z2} + 0,1 \cdot d_2.$$

При этом средняя расчетная ширина зубца ротора определяется так же, как и для статора (м):

$$b_{cp.z2} = \frac{b_{1z2} + b_{2z2}}{2},$$

где $b_{1z2} = \frac{\pi(D' - d_1 + 2h'_{z2})}{z_2} - d_1,$

$$b_{2z2} = \frac{\pi(D' - 2h'_{z2} + d_2)}{z_2} - d_2.$$

D' – внешний диаметр ротора, $D' = D - 2\delta$.

При форме паза ротора (рисунок 1, г) средняя расчетная ширина зубца равна (м):

$$b_{cp.z2} = \frac{b_{1z2} + b_{2z2}}{2},$$

где $b_{1z2} = \frac{\pi D'}{z_2} - d_1,$

$$b_{2z2} = \frac{\pi(D' + 2h_{z2})}{z_2} - d_1.$$

Высота тела ротора h_p , м определяется на практике непосредственным измерением, но в данной РГР предусмотрено нахождение h_p аналитическим путем, исходя из средних значений индукции в теле ротора (расчет h_p приводится в следующей главе).

После проведенных расчетов выбирают главную изоляцию паза и тип обмотки. В таблице 2 приведены изоляционные материалы, используемые для изоляции пазов статоров всыпных обмоток асинхронных электродвигателей с высотами оси вращения (Н) до 250 мм. Пользуясь этими данными, необходимо выбрать изоляционные мате-

риалы для изоляции пазов электродвигателя. Для дальнейшего расчета необходимо выбрать тип обмотки. Обмотки машин переменного тока подразделяются на однослойные (концентрические, шаблонные и насыпные) и двухслойные (концентрические и петлевые).

Однослойные обмотки при укладке в пазы полностью занимают площадь паза и поэтому имеют более высокий коэффициент заполнения, они просты в изготовлении и при ремонте. В электродвигателях серий 4А и АИР с высотами оси вращения от 50 до 160 мм включительно на все числа полюсов, за исключением двухполюсных с высотами оси вращения 160 мм, обмотки выполняются однослойными.

Электродвигатели на все числа полюсов с высотами оси вращения от 180 до 355 мм и двухполюсные электродвигатели с высотами оси вращения 160 мм выполняются со насыпными двухслойными обмотками. Двухслойная обмотка является шаблонной и может быть выполнена с любым шагом. Степень укорочения при четырех и более полюсах принимается в диапазоне от 0,75 до 0,85, а для обмоток, имеющих два полюса, она принимается в диапазоне от 0,56 до 0,75.

Таблица 2 – Толщина изоляции однослойных и двухслойных обмоток статоров асинхронных электродвигателей с высотой оси вращения до 250 мм и напряжением до 660 В

Тип обмотки	Высота оси вращения, мм	Материал			Толщина, мм	Число слоев	Односторонняя толщина пазовой изоляции, мм
		Наименование, марка					
		Класс В	Класс F	Класс H			
Одно- слойная	50....80 90...132 160	Пленкостеклопласт			0,20 0,25 0,40	1 1 1	0,20 0,25 0,40
		Изофлекс	Имидофлекс				
		Изофлекс	Имидофлекс				
		Изофлекс	Имидофлекс				
Двухслой- ная	180..250	Пленкостеклопласт			0,40	1	0,40
		Изофлекс	Имидофлекс				

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ВОЗДУШНОМ ЗАЗОРЕ, ТЕЛЕ И ЗУБЦАХ СТАТОРА И РОТОРА

Магнитная цепь машины переменного тока образуется за счет сердечников статора и ротора. Воздушный зазор, расположенный между этими двумя частями, играет большую роль в определении параметров и технико-экономических показателей машины. Магнитная индукция в зазоре (B_δ) увеличивается с ростом мощности машины и несколько уменьшается с увеличением частоты вращения. В данном случае ее выбирают по кривым в зависимости от полюсного деления и частоты вращения (рисунок 2). По выбранному значению B_δ определяют магнитный поток Φ (B_δ):

$$\Phi = \alpha_i \cdot B_\delta \cdot \tau \cdot l_1, \quad (10)$$

где α_i – коэффициент полюсного перекрытия, $\alpha_i = 0,65–0,75$.

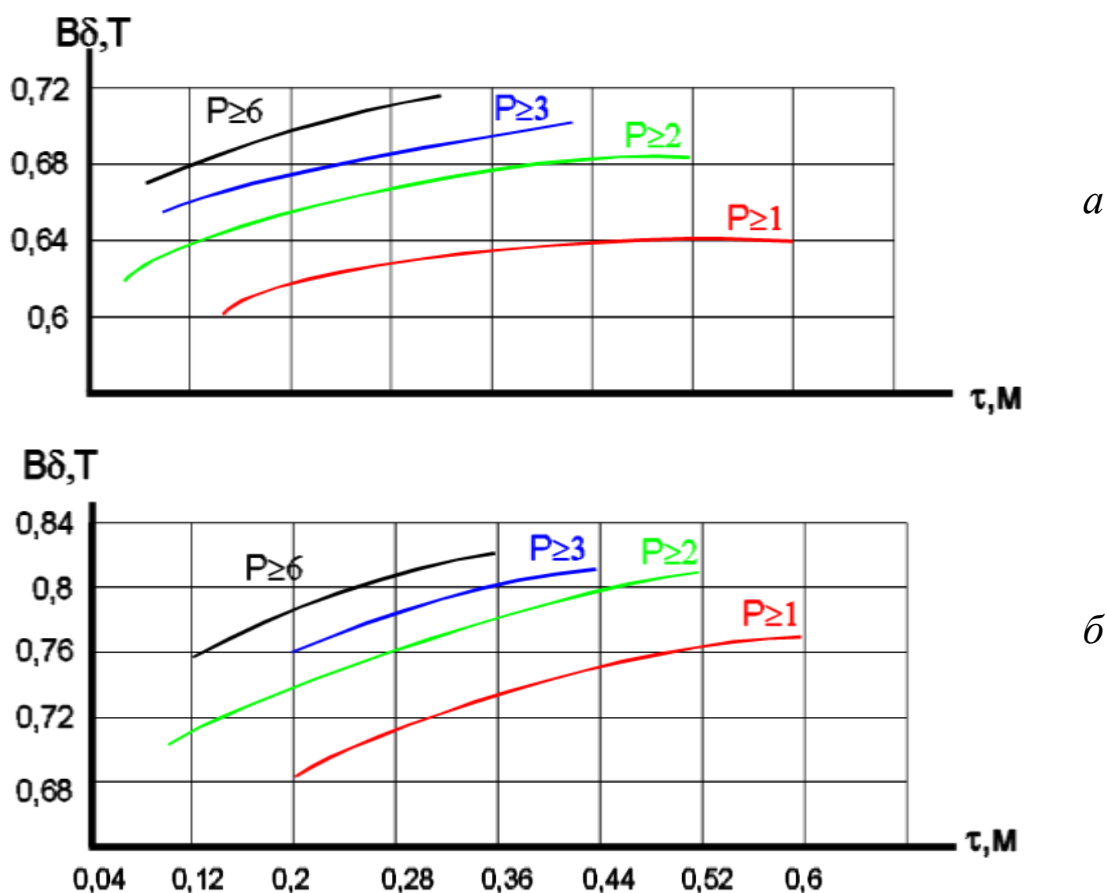


Рисунок 2 – Максимальная индукция в воздушном зазоре в зависимости от полюсного деления для машин: *а* – закрытого исполнения; *б* – защищенного исполнения

Правильность выбора величины индукции в воздушном зазоре можно проверить по расчетным значениям индукций в спинке и зубцах статора и ротора, приведенных в таблице 3 или 4.

Таблица 3 – Ориентировочные значения индукций в сердечниках статоров электродвигателей серии 4А

Число полюсов обмотки		Значение индукций в зубцах и спинке статора при высоте оси вращения, мм												
		56	63	71	80	90	100	112	132	160	180	200	225	250
2	B_z	1,80	1,70	1,80	1,85	1,95	1,95	2,05	1,85	1,95	1,95	2,00	1,75	1,90
2	B_a	1,40	1,40	1,50	1,70	1,60	1,60	1,70	1,65	1,55	1,55	1,70	1,40	1,45
4	B_z	1,80	1,80	1,95	1,95	1,95	1,80	1,90	1,85	1,90	1,90	1,90	1,80	1,75
4	B_a	1,60	1,55	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,65	1,70	1,60	1,60	1,50	1,55
6	B_z		1,80	1,90	1,80	1,80	1,75	1,95	1,90	1,65	1,70	1,80	1,85	1,75
6	B_a		1,45	1,60	1,55	1,50	1,40	1,55	1,50	1,45	1,65	1,45	1,55	1,45
8	B_z			1,90	1,70	1,75	1,75	1,85	1,90	1,80	1,80	1,90	2,00	1,95
8	B_a			1,15	1,10	1,10	1,10	1,40	1,30	1,25	1,30	1,20	1,30	1,15

Таблица 4 – Средние значения магнитной индукции

Элементы асинхронной машины	B (Тл)
Воздушный зазор	0,3–0,9
Зубцы статора	1,3–1,8 (2)
Зубцы ротора	1,1–1,6 (2)
Тело статора	1,1–1,6
Тело ротора	0,9–1,3

Учет зубцовой зоны является одним из необходимых элементов магнитного расчета. Зубцы машин переменного тока в большинстве случаев имеют форму равнобокой трапеции и при расчете общепринято делать следующие допущения: линии равного магнитного потенциала в зубцах представляют собой окружности с центром на оси машины. Ввиду нелинейной зависимости B от H при магнитном расчете зубцов и сделанном допущении относительно распределения поля наибольшее практическое распространение получили численные

методы интегрирования, но трудоемкость этих методов при ручном счете ограничивает их применение. Поэтому можно использовать упрощенные методы с помощью формул, которые в некотором диапазоне индукций и различных свойств магнитных материалов могут обеспечить практическую точность. Для определения магнитной индукции в зубцах статора применяется формула:

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_1}{b_{cp.z1} \cdot k_c \cdot l_0}, \quad (11)$$

где t_1 – зубцовое деление статора, $t_1 = \pi D / z_1$.

Определение магнитной индукции в зубцах ротора выполняется аналогично ($t_2, b_{cp.z2}, l_2, D'$).

Намагничивающие силы ярма статора и ротора относительно малы и могут рассчитываться приближенно. Поток Φ разветвляется на две части в конструкции асинхронных машин, и средняя магнитная индукция в ярме статора или ротора равна (Тл):

$$B_a = \frac{\Phi}{2S_a}; \quad B_p = \frac{\Phi}{2S_p}, \quad (12)$$

где S_p – площадь сечения ярма ротора, $S_p = h_p \cdot l_2$.

$$h_p = \frac{D' - D'_a + \frac{1}{6} D'_a}{2} - h_{z2},$$

где D'_a – внутренний диаметр ротора.

Для электродвигателей с высотой оси вращения $H \geq 71$ мм внутренний диаметр листов ротора $D'_a \approx 0,23 D'$; для высоты осей вращения от 50 до 63 $D'_a \approx 0,19 D'$.

Полученные значения магнитной индукции (B_i , Тл) следует сравнивать с соответствующими значениями, приведенными в таблице 4. При значительных расхождениях расчетных значений с табличными (более 5 %) следует изменить B_{δ} и вновь выполнить расчет.

4. РАСЧЕТ ЧИСЛА ВИТКОВ ОБМОТКИ И ДИАМЕТРА ОБМОТОЧНОГО ПРОВОДА

4.1. Типы статорных обмоток

В современной практике электромашиностроения устройство и тип обмотки определяется числом пазов на полюс и фазу (q) (или число катушек в катушечной группе):

$$q = \frac{z_1}{m \cdot 2p} = \frac{z_1}{6p}, \quad (13)$$

где q может быть целым или дробным числом;
 m – число фаз обмотки, $m = 3$.

В первом случае проводники каждой фазы на каждом полюсном делении занимают объем, соответствующий q пазам; при дробных значениях q на различных полюсных делениях проводники данной фазы в большинстве случаев занимают различные объемы.

Не при всяких дробных значениях q возможно выполнение обмоток, симметричных по отношению ко всем фазам: так, если знаменатель дроби получается равным или кратным трем, невозможно получить симметричную обмотку. Следует избегать применения несимметричных обмоток, в которых проводники разных фаз распределены по окружности статора неодинаковым образом.

Всякая обмотка должна быть выполнена так, чтобы ток во всех проводниках, принадлежащих к какой-нибудь фазе и лежащих на одном и том же полюсном делении, имел одно и то же направление, а на соседнем полюсном делении – противоположное. Чередование пазов, занятых проводниками разных фаз, должно происходить в одном и том же порядке по всей окружности статора.

Все виды обмоток могут быть выполнены при последовательном соединении всех проводников каждой фазы; но в большинстве случаев возможно и параллельное соединение двух или более групп проводников при условии, что группы эти совершенно одинаковы как по числу, так и по расположению проводников. Число возможных параллельных групп проводников, или, как говорят, параллельных ветвей обмотки (a), зависит от числа полюсов и типа обмоток. Существует довольно большое количество различных типов обмоток, но в асинхронных двигателях малой и средней мощности находят применение практически только однослойные и двухслойные. В современ-

ных машинах переменного тока применяются преимущественно двухслойные обмотки.

В двухслойных обмотках стороны катушек лежат в пазах в два слоя и каждая катушка одной стороной лежит в верхнем, а другой стороной – в нижнем слое. При этом все катушки имеют одинаковые размеры и форму. Широкое применение двухслойных обмоток объясняется следующими их преимуществами:

– возможностью укорочения шага на любое число зубцовых делений, что выгодно с точки зрения подавления высших гармоник э.д.с. и н.с. (намагничивающей силы) обмоток и уменьшения расхода обмоточного провода;

– одинаковыми размерами и формами всех катушек, что упрощает и облегчает изготовление обмоток;

– относительно простой формой лобовых частей катушек, что также упрощает изготовление обмотки.

Двухслойные обмотки переменного тока делятся на петлевые и волновые, которые в электромагнитном отношении равноценны (предпочтение отдают петлевым обмоткам, волновые же обмотки используются обычно при числе витков в катушке, равном 1).

4.2. Определение числа витков обмотки

Предварительное число витков в фазной обмотке равно:

$$\omega = \frac{U_{\phi} \cdot k_E}{4,44 \cdot f \cdot k_{об} \cdot \Phi}, \quad (14)$$

где k_E – коэффициент, учитывающий отношение электродвижущей силы обмотки статора к номинальному напряжению ($k_E = 0,95–0,97$), или его можно определить по кривым, представленным на рисунке 3. Эта величина зависит от геометрических размеров сердечника статора (D_a) и числа пар полюсов обмотки;

f – частота питающего напряжения, 50 Гц;

U_{ϕ} – фазное напряжение, В. Число витков в фазной обмотке должно быть целым;

$k_{об}$ – обмоточный коэффициент.

Обмоточный коэффициент равен:

$$k_{об} = k_p \cdot k_y,$$

где k_p – коэффициент распределения равен;

k_y – коэффициент укорочения.

$$k_p = \frac{0,5}{q \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}; \quad \alpha = 60^\circ / q.$$

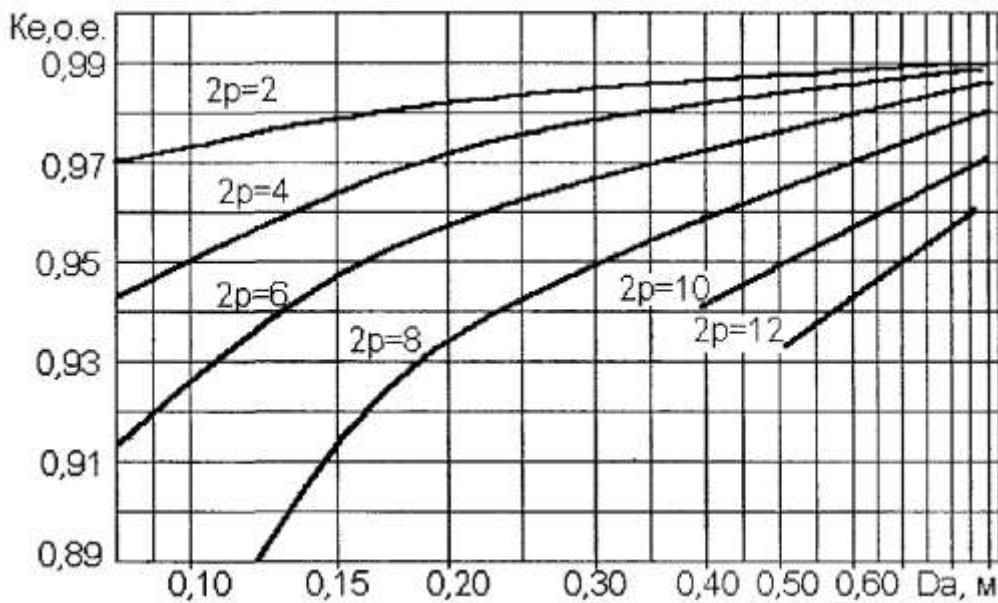


Рисунок 3 – Средние значения коэффициента $k_E = f(D_a)$

Коэффициент укорочения:

$$k_y = \sin((y/\tau) \cdot 90^\circ).$$

Шаг обмотки:

$$y = 0,8 \cdot \tau.$$

Предварительное число эффективных проводников в пазу (шт):

$$n_{пр.пред} = \omega_{пред} \cdot \frac{a_1}{pq} = \frac{6\omega_{пред} \cdot a_1}{z_1},$$

где a_1 – число параллельных ветвей обмотки фазы статора.

Обычно для электродвигателей с короткозамкнутым ротором $a_1 = 1$ [6]. Число эффективных проводников $n_{пр.пред}$ округляют до бли-

жайшего целого числа n_{np} и уточняют число витков обмотки фазы статора:

$$\omega_1 = n_{np} \cdot p \cdot \frac{q}{a_1}.$$

4.3. Определение диаметра изолированного провода

Проводники круглого сечения располагаются в пазах беспорядочно и в зависимости от типа обмотки, конструкции пазовой изоляции, применяемых изоляционных материалов могут иметь коэффициент заполнения паза (k_3) в пределах $-0,68-0,74$ [7] и расчетное значение диаметра изолированного проводника (мм):

$$d_{из} = \sqrt{\frac{k_3 \cdot S_n}{n_{эл}}}, \quad (15)$$

где S_n – площадь поперечного сечения паза, мм^2 .

Для повышения надежности всыпной обмотки и облегчения ее укладки диаметр $d'_{из}$ не должен превышать ширину прорези паза, поэтому эффективные проводники подразделяют на элементарные. Число элементарных проводников $n'_{эл}$ обычно не превышает 5–6 и только у двухполюсных двигателей увеличивается до 8–9. Тогда количество элементарных проводов в эффективном проводнике:

$$n_{эл} = n'_{эл} \cdot n_{np}. \quad (16)$$

Диаметр голого провода:

$$d_г = d_{из} - 2\delta_{из}. \quad (17)$$

4.4. Выбор стандартного размера и марки обмоточного провода

В зависимости от класса нагревостойкости по таблице 5 необходимо выбрать марку обмоточного провода, а по данным таблицы 6 – марку выводных проводов [1].

Таблица 5 – Характеристики обмоточных проводов

Марка провода	Характеристика изоляции	Класс нагревостойкости
ПЭЛ	Лак на масляной основе	А
ПЭВ-1	Уменьшенная толщина, лак на поливинилацетатной основе	А
ПЭВ-2	Нормальная толщина, лак на поливинилацетатной основе	А
ПЭМ-1	Лак ВЛ-941	А
ПЭМ-2	Повышенная толщина, лак ВЛ-941	А
ПЭТВ	Эмаль на основе полиэтилентерафталатной смолы	В
ПЭТ-155	Теплостойкий лак на полиэфирамидной основе	Ф

Таблица 6 – Марки проводов для выводов электрических машин

Марка провода	Характеристика провода	Преимущественная область применения
ПВКФ	С изоляцией из кремнийорганической резины во фторосилоановой оболочке	При напряжении 380 и 660 В в условиях агрессивной среды и масел. Нагревостойкость 155 °С
ПВКВ	С изоляцией и оболочкой из кремнийорганической резины	При напряжении 380 и 660 В и при отсутствии воздействия агрессивных сред и масел. Нагревостойкость 180 °С
РКГМ	С изоляцией из кремнийорганической резины, в оплетке из стекловолокна, пропитанного эмалью или термостойким лаком	При напряжении 660 В и при отсутствии воздействия агрессивных сред и масел. Нагревостойкость 180 °С
РКГМПТ	С изоляцией из кремнийорганической резины повышенной теплостойкости, в оплетке из стекловолокна, пропитанного эмалью или лаком	То же, но нагревостойкость 200 °С

Для выбранного типа обмоточного провода на основании результатов, полученных в ходе расчетов, необходимо выбрать ближайшее стандартное значение размеров проводника с изоляцией и без изоляции ($d_{из.гост}$, $d_{гол}$, $q_{гол}$) (приложение 2).

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ КАТУШЕК И МАССЫ МЕДИ ОБМОТОК

Средняя ширина катушки обмотки статора τ_y определяется как:

$$\tau_y = \frac{\pi(D + h'_{z1})}{z_1} \cdot y, \quad (18)$$

где y – шаг обмотки, выраженный числом пазов (см. пункт 4.2).

Средняя длина одной лобовой части катушки (мм):

$$l_{л1} = k_{л1} \cdot \tau_y + 2B. \quad (19)$$

Коэффициенты $k_{л1}$ и B принимают по приложению 3.

Средняя длина витка обмотки (мм):

$$L_{cp} = 2 \cdot (l_1 + l_{л1}). \quad (20)$$

Массу меди (кг) обмотки статора без изоляции определяем из следующего выражения:

$$G_{гол} = 8,9 \cdot q' \cdot L_{cp} \cdot \frac{n_{эл}}{2} \cdot z_1 \cdot a_1 \cdot 10^{-5}, \quad (21)$$

где q' – площадь поперечного сечения проводника без изоляции, мм².

Масса обмоточного провода (кг) с изоляцией определяется из выражения:

$$G_{из} = \left(0,876 + 0,124 \cdot \left(\frac{d_{из}}{d_{гол}} \right)^2 \right) \cdot G_{гол}. \quad (22)$$

Приведенная методика позволяет пересчитать обмоточные данные электродвигателя на новое напряжение или новую частоту вращения, используя для этой цели железо базового электродвигателя.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Полезная мощность, которую способен развить электродвигатель, зависит от многих факторов, но главным образом от нагревания изолированных обмоток во время работы. Именно за номинальную продолжительную мощность двигателя можно считать такую, при которой превышение температуры обмоток статора, а также и ротора (если он не короткозамкнутый), над температурой окружающей среды не превосходит установленных пределов. Поэтому номинальную мощность электрических машин выбирают на основании допустимой плотности тока в обмотке статора (Δ , А/мм²).

Для электродвигателей серии 4А и АИР рекомендуемая величина допустимой плотности тока от 4,5 до 9 А/мм². Чем меньше габарит электродвигателя, тем больше плотность тока.

Учитывая, что выделяемое тепло в проводниках пропорционально второй степени размеров паза, а охлаждение (отвод тепла через поверхность) пропорционально первой степени размеров паза, температура внутри паза может повышаться.

При известном сечении проводника без изоляции сила номинального фазного тока (I_{ϕ} , А) определяется по формуле:

$$I_{\phi} = q' \cdot n'_{эл} \cdot a_1 \cdot \Delta, \quad (23)$$

где q' – площадь поперечного сечения проводника без изоляции, мм²;

$n'_{эл}$ – число элементарных проводников, шт.;

a_1 – число параллельных ветвей, шт.

Имеется техническое противоречие: плотность тока должна быть выбрана как можно большей, но при этом растут потери электрической мощности в обмотках $\Delta R_{эл1}$ и $\Delta R_{эл2}$, что приводит к увеличению температуры обмоток и уменьшению коэффициента полезного действия электродвигателя. Для контроля правильности выбора величины плотности тока определяют линейную нагрузку на единицу длины диаметра внутренней расточки статора (А, А/м) по следующему выражению:

$$A = \frac{z_1 \cdot n_{np} \cdot I_\phi}{\pi \cdot D}, \quad (24)$$

где I_ϕ – сила номинального фазного тока, А;

D – диаметр внутренней расточки статора, м.

Большой мощности АД и скорости вращения соответствуют более высокие значения линейной нагрузки. Вычисленные значения линейной нагрузки сравниваем с допустимыми по таблице 7. Принимается такое значение фазного тока, при котором линейная нагрузка отличается от допустимых значений не более чем на $\pm 5\%$. Это значение фазного тока используется при дальнейших расчетах.

Таблица 7 – Значения линейной нагрузки

Электродвигатели	Линейная нагрузка, А/м
Средние до 100 кВт	25 000–40 000
Малые до 10 кВт	20 000–30 000
Мелкие до 1 кВт	10 000–20 000

Если полученные значения линейной нагрузки значительно отличаются от табличных, следует изменить плотность тока в обмотках статора и повторить расчет.

После этого можем определить полную мощность, (кВ·А):

$$S = m \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot 10^{-3}. \quad (25)$$

Известно, что активная мощность двигателя пропорциональна коэффициенту мощности, поэтому она равна, (кВт):

$$P = m \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi \cdot 10^{-3}. \quad (26)$$

Эта мощность называется подводимой, часть которой расходуется на покрытие ряда потерь внутри двигателя и на совершение полезной работы (P' – мощность на валу двигателя). Отношение отдаваемой мощности к подводимой носит название коэффициента полезного действия (η). Таким образом, ориентировочная мощность на валу двигателя равна, (кВт):

$$P' = S \cdot \eta \cdot \cos \varphi = m \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi \cdot \eta \cdot 10^{-3}. \quad (27)$$

На данной ступени расчета значения η и $\cos \varphi$ можно выбрать из таблицы 8. Принимаем мощность двигателя, ближайшую к стандартной.

Таблица 8 – Значение η и $\cos\varphi$ при известной активной мощности электродвигателя

Мощность	Двигатели защищенного исполнения								Двигатели закрытого обдуваемого исполнения							
	Частота вращения (синхронная), об/мин															
	3000	1500	1000	750	3000	1500	1000	750	3000	1500	1000	750	3000	1500	1000	750
	Коэффициент полезного действия, %				Коэффициент мощности, $\cos\varphi_n$				Коэффициент полезного действия, %				Коэффициент мощности, $\cos\varphi_n$			
0,8									78,0	74,5	73,0	–	0,86	0,78	0,71	–
1,1									79,5	78,0	76,0	–	0,87	0,80	0,73	–
1,5									80,5	80,0	79,0	–	0,88	0,81	0,75	–
2,2									83,0	82,5	81,0	81,0	0,89	0,83	0,77	0,69
3,0									84,5	83,5	83,0	81,5	0,89	0,84	0,78	0,70
4,0									85,5	86,0	84,4	84,0	0,89	0,85	0,79	0,71
5,5									87,0	88,0	85,5	85,0	0,90	0,86	0,81	0,72
10,0			87,0	87,0			0,86	0,81	88,0	89,0	88,0	89,0	0,89	0,88	0,89	0,83
7,5				85,0				0,78	88,0	88,5	87,0	86,5	0,91	0,87	0,82	0,81
13,0		88,5	88,0	87,5		0,88	0,86	0,82	88,5	88,5	88,0	89,5	0,90	0,89	0,89	0,84
17,0	88,0	89,5	89,0	88,5	0,88	0,88	0,88	0,87	87,0	89,0	90,0	90,5	0,90	0,89	0,90	0,85
22,0	89,0	90,0	89,5	89,0	0,88	0,88	0,87	0,82	88,0	90,0	90,5	91,0	0,90	0,90	0,90	0,85
30,0	90,0	90,5	90,0	80,0	0,88	0,88	0,88	0,84	89,0	91,0	91,0	91,5	0,90	0,91	0,91	0,88
40,0	90,5	91,0	91,0	91,0	0,89	0,89	0,98	0,84	89,0	91,5	91,5	92,0	0,91	0,91	0,91	0,88
55,0	91,0	92,0	92,0	90,0	0,89	0,89	0,89	0,87	90,0	92,5	92,5	–	0,92	0,92	0,93	0,90
75,0	92,0	93,0	92,5	91,5	0,89	0,89	0,89	–	90,0	92,5	92,5	–	0,92	0,92	0,92	–
100,0	93,0	93,5	–	92,0	0,90	0,90	–	–	91,5	93,0	–	–	0,92	0,92	–	–

7. ОФОРМЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Расчетно-пояснительная записка должна быть выполнена на бумаге формата А4 (297×210 мм). Титульный лист оформляют в соответствии с приложением 1.

Записка делится на главы (разделы) и параграфы. Каждая глава (изложение каждого вопроса в записке) начинается с четкой формулировки поставленной задачи. Проводя какой-либо расчет, студент обязательно приводит расчетные формулы в общем виде с пояснением всех составляющих величин и окончательным результатом вычислений. Во всех последующих случаях применения тех же расчетных формул приводятся лишь результаты расчетов, сведенные в продуманные удобочитаемые таблицы.

Каждый раздел должен содержать анализ результатов и выводы из них. Необходимы ссылки на использованные литературные источники. В конце расчетно-пояснительной записки необходимо привести список литературы, составленный в порядке появления ссылок в тексте, с указанием авторов, наименованием места издания, издательства, года издания и числа страниц.

Рисунки можно выполнить в записке по тексту с их нумерацией и подрисуночными надписями. Сокращение слов в записке не допускается, за исключением общепринятых. Излагается материал от первого лица множественного числа, может быть использована неопределенная форма. Раскраска титульного листа и фигурные шрифты не рекомендуются.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольдберг, О.Д. Проектирование электрических машин / О.Д. Гольдберг, Я.С. Гурин, И.С. Свириденко. – М.: Высшая школа, 2006. – 430 с.
2. Ерошенко, Г.П. Эксплуатация энергооборудования сельскохозяйственных предприятий / Г.П. Ерошенко, Ю.А. Медведько, М.А. Таранов. – Ростов н/Д: Терра, НПК «Гефест», 2001. – 592 с.
3. Котеленец, Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин / Н.Ф. Котеленец, Н.А. Акимова, М.В. Антонов. – М.: Академия, 2003. – 384 с.
4. Лопухина, Е.М. Автоматизированное проектирование электрических машин малой мощности: учеб. пособие для вузов / Е.М. Лопухина, Г.А. Семенчуков. – М.: Высш. шк., 2002. – 511 с.
5. Макаров, Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования электростанций и сетей. – М.: Академия, 2003. – 448 с.
6. Пястолов, А.А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования: учеб. пособие / А.А. Пястолов, Е.Л. Шац, В.А. Блюмберг. – М.: Колос, 1966. – 351 с.
7. Седова, А.Г. Расчет обмоток асинхронного двигателя: метод. указания для самостоятельной работы / А.Г. Седова; Иркутск. гос. с.-х. академия. – Иркутск, 2009. – 50 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»
Институт энергетики и управления энергетическими ресурсами АПК**

Кафедра электроснабжения
сельского хозяйства

Расчетно-графическая работа

Определение номинальной мощности асинхронного
электродвигателя после ремонта

Выполнил: студент группы _____

Ф.И.О.

Принял: преподаватель

Ф.И.О.

Красноярск 20____

Приложение 2

Диаметры и площади поперечного сечения круглых медных эмалированных проводов марок ПЭТВП и ПЭТ-155

Номинальный диаметр неизолированного провода, мм	Среднее значение изолированного провода, мм	Площадь поперечного сечения неизолированного провода, мм ²	Номинальный диаметр неизолированного провода, мм	Среднее значение изолированного провода, мм	Площадь поперечного сечения неизолированного провода, мм ²
0,16	0,19	0,0201	0,9	0,965	0,636
0,18	0,21	0,0255	0,95	1,015	0,709
0,2	0,23	0,0314	1,0	1,08	0,785
0,24	0,259	0,0394	1,06	1,14	0,883
0,25	0,285	0,0491	1,12	1,2	0,985
0,28	0,315	0,0616	1,18	1,26	1,094
0,31	0,345	0,0755	1,25	1,33	1,227
0,35	0,39	0,0962	1,32	1,405	1,368
0,4	0,44	0,1257	1,4	1,485	1,539
0,45	0,49	0,1590	1,5	1,585	1,767
0,5	0,545	0,1963	1,6	1,685	2,011
0,56	0,615	0,246	1,7	1,785	2,27
0,63	0,69	0,312	1,8	1,895	2,54
0,71	0,77	0,396	1,9	1,995	2,83
0,72	0,78	0,407	2	2,095	3,14
0,75	0,815	0,442	2,12	2,22	3,53
0,8	0,865	0,503	2,24	2,34	3,94
0,85	0,915	0,567	2,36	2,46	4,36

Приложение 3

Значение коэффициентов $k_{л1}$ и B для асинхронных электродвигателей

Число полюсов $2p$	Лобовые части секций не изолированы		Лобовые части секций изолированы лентой	
	$k_{л1}$	$B, см$	$k_{л1}$	$B, см$
2	1,20	1,0	1,45	1,0
4	1,30	1,0	1,55	1,0
6	1,40	1,0	1,75	1,0
8	1,50	1,0	1,90	1,0

Приложение 4

Варианты с заданием для расчета асинхронного электродвигателя

Номер варианта	2р	U _ф /U _л , В/В	D _а /D, мм/мм	ℓ ₁ , мм	δ, мм	z ₁ /z ₂	Размеры паза						n, об/мин	H, мм
							Статор			Ротор				
							d ₂ /d ₁ , мм/мм	h _z , мм	h _ш /ε, мм/мм	d ₁ /d ₂ , мм/мм	h _z , мм	h _ш /ε, мм/мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	8	220/380	349/250	160	0,5	72/58	6,2/8,4	25,7	1/3,7	7,2/3,5	39	1/1,5	750	200
2	8	220/380	349/250	185	0,5	72/58	6,2/8,4	25,7	1/3,7	7,2/3,5	39	1/1,5	750	200
3	2	220/380	392/208	180	1	36/28	10,5/15	29,2	1/4	8,1/4,8	35	1/1,5	3000	225
4	4	220/380	392/264	200	0,85	48/38	9,9/13	27	1/3,7	9,8/3,4	52,5	1/1,5	1500	225
5	6	220/380	392/264	175	0,6	72/56	7/9,3	27,6	1/3,7	7,9/3,6	44	1/1,5	1000	225
6	8	220/380	392/264	175	0,6	72/56	7/9,3	27,6	1/3,7	7,9/3,6	44	1/1,5	750	225
7	2	220/380	437/232	200	1,2	48/40	8,7/12,7	32,3	1/4	6,8/3,6	36,5	1,5/4	3000	250
8	2	220/380	437/232	230	1,2	48/40	8,7/12,7	32,3	1/4	6,8/3,6	36,5	1,5/4	3000	250
9	4	220/380	437/290	220	1	60/50	8,5/11,9	34	1/3,7	9/3,5	50	1/1,5	1500	250
10	4	220/380	437/290	220	1	60/50	8,5/11,9	34	1/3,7	9/3,5	50	1/1,5	1500	250
11	6	220/380	437/317	180	0,7	72/56	7,7/10	28,6	1/3,7	8,8/3,4	54	1/1,5	1000	250
12	6	220/380	437/317	200	0,7	72/56	7,7/10	28,6	1/3,7	8,8/3,4	54	1/1,5	1000	250
13	8	220/380	437/317	180	0,7	72/56	7,7/10	28,6	1/3,7	8,8/3,4	54	1/1,5	750	250
14	8	220/380	437/317	220	0,7	72/56	7,7/10	28,6	1/3,7	8,8/3,4	54	1/1,5	750	250
15	10	220/380	437/327	170	0,7	90/76	6,2/7,9	26,3	1/3,7	6,6/3	52	1/1,5	600	250
16	2	220/380	520/275	175	1,3	48/38	8,6/11,6	45,9	1,1/6,4	9,3/6,5	40	0,5/1,5	3000	280
17	4	220/380	520/335	220	0,9	60/50	8,1/9,9	45	1,1/5,7	7/4	40	0,5/1,5	1500	280
18	6	220/380	520/370	190	0,8	72/82	7,5/8,8	36,8	1,1/5,2	5/3,5	34,5	0,5/1,5	1000	280
19	8	220/380	520/385	185	0,8	72/86	8,1/9,3	36,5	1,1/5,3	6,5/3,5	30	0,5/1,5	750	280
20	10	220/380	520/400	170	0,7	90/106	8,1/10,6	38	1/4	5/4	28,5	0,5/1,5	600	280
21	2	220/380	520/275	270	1,3	48/38	8,6/11,6	45,9	1,1/6,4	9,3/6,5	40	0,5/1,5	3000	315
22	4	220/380	349/238	215	0,7	48/38	9,4/12,3	24,5	1/3,7	8,6/3,4	48	1/1,5	1500	200
23	6	220/380	349/250	160	0,5	72/58	6,2/8,4	25,7	1/3,7	7,2/3,5	39	1/1,5	1000	200

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
24	6	220/380	349/250	215	0,5	72/58	6,2/8,4	25,7	1/3,7	7,2/3,5	39	1/1,5	1000	200
25	2	220/380	168/95	100	0,45	24/20	9,1/11,3	14,1	0,5/3,5	7,4/4	16,5	0,5/1	3000	100
26	2	220/380	168/95	130	0,45	24/20	9,1/11,3	14,1	0,5/3,5	7,4/4	16,5	0,5/1	3000	100
27	4	220/380	168/105	100	0,3	36/28	4,9/7,1	15,8	0,5/3	5,1/1,5	19,3	0,5/1	1500	100
28	2	220/380	191/110	125	0,6	24/22	10,5/12,6	15,1	0,5/3,5	8/3,4	21,6	0,4/1	3000	112
29	4	220/380	191/126	125	0,3	36/34	6,5/8,2	14,3	0,5/3,5	5,3/1,8	22,3	0,75/1,5	1500	112
30	6	220/380	191/132	100	0,3	54/51	4,3/5,7	15,6	0,5/3	3,7/1,8	18,1	0,75/1,5	1000	112
31	2	220/380	225/130	130	0,6	24/19	10,2/13,4	16,5	0,9/4	10,8/7,1	20,2	0,75/1,5	3000	132
32	4	220/380	225/145	115	0,35	36/34	6,1/9,2	17,8	0,9/3,5	6/2,2	24,7	0,75/1,5	1500	132
33	4	220/380	225/145	160	0,35	36/34	6,1/9,2	17,8	0,9/3,5	6/2,2	24,7	0,75/1,5	1500	132
34	4	220/380	272/185	140	0,5	48/38	7,3/9,9	20,5	1/3,7	7,5/3,5	34	1/1,5	1500	160
35	4	220/380	272/185	180	0,5	48/38	7,3/9,9	20,5	1/3,7	7,5/3,5	34	1/1,5	1500	160
36	4	220/380	313/211	145	0,6	48/38	8,2/11	24	1/3,7	8,9/3,2	39,8	1/1,5	1500	180
37	4	220/380	313/211	185	0,6	48/38	8,2/11	24	1/3,7	8,9/3,2	39,8	1/1,5	1500	180
38	6	220/380	313/220	145	0,5	72/58	5/7,2	26,5	1/3,7	6,2/2,4	40,3	1/1,5	1000	180
39	6	220/380	313/220	170	0,5	72/58	5/7,2	26,5	1/3,7	6,2/2,4	40,3	1/1,5	1000	180
40	8	220/380	313/220	170	0,5	72/58	5/7,2	26,5	1/3,7	6,2/2,4	40,3	1/1,5	750	180
41	8	220/380	313/220	170	0,5	72/58	5/7,2	26,5	1/3,7	6,2/2,4	40,3	1/1,5	750	180
42	2	220/380	81/41	42	0,25	12/9	8,7/10,9	9,6	0,5/1,8	6,2/2,4	8,2	0,75/1	3000	50
43	4	220/380	81/46	42	0,25	12/15	9,7/12,4	11,0	0,5/1,8	5,8/3,1	9,4	0,75/1	1500	50
44	2	220/380	98/48	47	0,25	24/18	4,5/5,8	8,0	0,5/1,8	4,2/1,5	10,2	0,5/1	3000	56
45	4	220/380	89/55	47	0,25	24/18	4,8/6,4	9,8	0,5/1,8	4,1/1,5	10,8	0,5/1	1500	56
46	2	220/380	100/54	56	0,3	24/18	4,8/6,3	9,0	0,5/1,8	4,4/1,5	10,5	0,5/1	3000	63
47	4	220/380	100/61	56	0,25	24/18	4,7/6,5	10,4	0,5/1,8	4,4/1,9	11,5	0,5/1	1500	63
48	6	220/380	100/65	56	0,25	36/28	3,5/4,9	10,9	0,5/1,8	3,4/1,5	11,4	0,5/1	1000	63
49	2	220/380	116/65	65	0,35	24/20	5,9/7,5	9,3	0,5/2	5,0/2,5	11,8	0,5/1	3000	71
50	2	220/380	116/65	74	0,35	24/20	5,9/7,5	9,3	0,5/2	5,0/2,5	11,8	0,5/1	3000	71
51	2	220/380	349/194	130	0,9	36/28	10,5/14,9	28,2	1/4	6,9/5,6	34,4	1/1,5	3000	200

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
52	2	220/380	349/194	160	0,9	36/28	10,5/14,9	28,2	1/4	6,9/5,6	34,4	1/1,5	3000	200
53	4	220/380	349/238	170	0,7	48/38	9,4/12,3	24,5	1/3,7	8,6/3,4	48	1/1,5	1500	200
54	4	220/380	349/238	215	0,7	48/38	9,4/12,3	24,5	1/3,7	8,6/3,4	48	1/1,5	1500	200
55	6	220/380	349/250	160	0,5	72/58	6,2/8,4	25,7	1/3,7	7,2/3,5	39	1/1,5	1000	200
56	6	220/380	390/250	185	0,5	72/58	6,2/8,4	25,7	1/3,7	7,2/3,5	39	1/1,5	1000	200
57	8	220/380	390/250	185	0,5	72/58	6,2/8,4	25,7	1/3,7	7,2/3,5	39	1/1,5	750	200
58	8	220/380	390/250	260	0,5	72/58	6,2/8,4	25,7	1/3,7	7,2/3,5	39	1/1,5	750	200
59	2	220/380	392/208	180	1,0	36/28	10,5/15	29,2	1/4	8,1/4,8	35	1/1,5	3000	225
60	4	220/380	392/264	200	0,85	48/38	9,9/13	27,0	1/3,7	9,8/3,4	52,5	1/1,5	1500	225
61	6	220/380	392/284	175	0,6	72/56	7/9,3	27,6	1/3,7	7,9/3,6	44	1/1,5	1000	225
62	8	220/380	392/284	210	0,6	72/56	7/9,3	27,6	1/3,7	6,8/3,6	44	1/1,5	750	225
63	2	220/380	437/232	200	1,2	48/40	8,7/12,7	32,3	1/4	7,9/3,6	36,5	1,5/2	3000	250
64	2	220/380	437/232	230	1,2	48/40	8,7/12,7	32,3	1/4	6,8/3,6	36,5	1,5/2	3000	250
65	4	220/380	437/290	200	1,0	60/50	8,5/11,9	34	1/3,7	9/3,5	50	1/1,5	1500	250
66	4	220/380	437/290	220	1,0	60/50	8,5/11,9	34	1/3,7	9/3,5	50	1/1,5	1500	250
67	6	220/380	437/317	180	0,7	72/56	7,7/10	28,6	1/3,7	8,8/3,4	54	1/1,5	1000	250
68	6	220/380	437/317	240	0,7	72/56	7,7/10	28,6	1/3,7	8,8/3,4	54	1/1,5	1000	250
69	6	220/380	437/317	200	0,7	72/56	7,7/10	28,6	1/3,7	8,8/3,4	54	1/1,5	1000	250
70	2	220/380	313/171	110	1,0	36/28	9,2/12,9	24,7	1/4	9,6/4,1	31	0,85/1,5	3000	180
71	2	220/380	313/171	145	1,0	36/28	9,2/12,9	24,7	1/4	9,6/4,1	31	0,85/1,5	3000	180
72	6	220/380	272/197	200	0,45	54/50	6,1/8,2	18,8	1/3,7	6,2/2,5	34,6	1/1,5	1000	160
73	8	220/380	272/197	145	0,45	48/44	6,8/9,2	19,1	1/3,7	7,2/3	34,6	1/1,5	750	160
74	8	220/380	272/197	200	0,45	48/44	6,8/9,2	19,1	1/3,7	7,2/3	34,6	1/1,5	750	160
75	6	220/380	225/158	115	0,35	54/51	4,8/6,6	16	0,9/3,5	4,4/1,8	24	0,75/1,5	1000	132
76	6	220/380	225/158	160	0,35	54/51	4,8/6,6	16	0,9/3,5	4,4/1,8	24	0,75/1,5	1000	132
77	8	220/380	225/158	115	0,35	48/44	4,8/7,1	17,6	0,9/3,5	4,5/1,8	22	0,75/1,5	750	132
78	8	220/380	225/158	160	0,35	48/44	4,8/7,1	17,6	0,9/3,5	4,5/1,8	22	0,75/1,5	750	132
79	2	220/380	272/155	110	0,8	36/28	8,7/11,9	20	1/4	7/4,9	29	1,0/1,5	3000	160

Окончание приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
80	2	220/380	272/155	130	0,8	36/28	8,7/11,9	20	1/4	7/4,9	29	1,0/1,5	3000	160
81	4	220/380	168/105	130	0,3	36/28	4,9/7,1	15,8	0,5/3	5,1/1,5	19,3	0,5/1	1500	100
82	6	220/380	168/113	120	0,3	36/28	5,4/7,5	15,4	0,5/3	6/3	17,9	0,5/1	1000	100
83	8	220/380	168/113	120	0,3	36/28	5,4/7,5	15,4	0,5/3	6/3	17,9	0,5/1	750	100
84	2	220/380	191/110	125	0,6	24/22	10,5/2,6	15,1	0,5/3,5	8/3,4	21,6	0,4/1	3000	112
85	4	220/380	191/126	125	0,3	36/34	6,5/8,2	14,3	0,5/3,5	5,3/1,8	22,3	0,75/1,5	1500	112
86	6	220/380	191/132	100	0,3	54/51	4,3/5,7	15,6	0,5/3	3,7/1,8	18,1	0,75/1,5	1000	112
87	6	220/380	191/132	125	0,3	54/51	4,3/5,7	15,6	0,5/3	3,7/1,8	18,1	0,75/1,5	1000	112
88	8	220/380	191/132	100	0,3	48/44	4,5/6,3	17,5	0,5/3	4/1,8	18,0	0,75/1,5	750	112
89	8	220/380	191/132	130	0,3	48/44	4,5/6,3	17,5	0,5/3	4/1,8	18,0	0,75/1,5	750	112
90	6	220/380	149/100	110	0,25	36/28	4,7/6,6	13,8	0,5/2,7	5/2,1	16,5	0,5/1	1000	90
91	8	220/380	149/100	100	0,25	36/28	4,7/6,6	13,8	0,5/2,7	5/2,1	16,5	0,5/1	750	90
92	8	220/380	149/100	130	0,25	36/28	4,7/6,6	13,8	0,5/2,7	5/2,1	16,5	0,5/1	750	90
93	8	220/380	131/88	78	0,25	36/28	4,3/6	13	0,5/2,5	4,3/1,7	14,8	0,5/1	750	80
94	8	220/380	131/88	98	0,25	36/28	4,3/6	13	0,5/2,5	4,3/1,7	14,8	0,5/1	750	80
95	2	220/380	149/84	100	0,4	24/20	8,1/10,1	12,6	0,5/3,2	6,8/3,4	16	0,5/1	3000	90
96	4	220/380	149/95	100	0,25	36/28	4,8/6,5	12,9	0,5/3	4,9/1,9	16,6	0,5/1	1500	90
97	4	220/380	116/70	65	0,25	24/17	5,2/7,3	11,6	0,5/2	5/1,5	12,6	0,5/1	1500	71
98	4	220/380	116/70	74	0,25	24/17	5,2/7,3	11,6	0,5/2	5/1,5	12,6	0,5/1	1500	71
99	6	220/380	116/76	65	0,25	36/28	3,9/5,5	12,2	0,5/2	3,8/1,9	11,4	0,5/1	1000	71
100	6	220/380	116/76	90	0,25	36/28	3,9/5,5	12,2	0,5/2	3,8/1,9	11,4	0,5/1	1000	71

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСЛЕ РЕМОНТА

Василенко Александр Александрович

*Методические указания
для самостоятельной работы*

Редактор И.В. Пантелеева

Электронное издание

Подписано в свет 25.01.2017. Регистрационный номер 222
Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117
e-mail: rio@kgau.ru