

**Г.И. ЦОПОВ
В.Н. ОВСЯННИКОВ**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРНЫХ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО
ТОКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

Учебное пособие

**Самара
Самарский государственный технический университет
2011**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Электромеханика и нетрадиционная энергетика»

Г.И. ЦОПОВ
В.Н. ОВСЯННИКОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Учебное пособие

Самара
Самарский государственный технический университет
2011

Печатается по решению редакционно-издательского совета СамГТУ

УДК 621.313

Ц 80

Цопов Г.И.

Ц 80 Проектирование коллекторных электродвигателей переменного тока малой мощности: учеб. пособ. / *Г.И. Цопов, В.Н. Овсянников.* – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – 114 с.: ил.

В учебном пособии рассматриваются особенности электромагнитного расчета, выбора главных размеров коллекторного двигателя переменного тока малой мощности и его рабочих характеристик.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», по дисциплинам «Проектирование электрических машин».

УДК 621.313

Ц 80

Рецензент д-р техн. наук *В.Е. Высоцкий*

© Г.И. Цопов, В.Н. Овсянников, 2011

© Самарский государственный
технический университет, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Студенты и специалисты, занимающиеся проектированием и эксплуатацией электромеханического электрооборудования, должны знать принцип работы и особенности различных электромеханических преобразователей. Коллекторные двигатели переменного тока находят широкое распространение в бытовой технике, поэтому вопросы проектирования и эксплуатации таких машин достаточно актуальны.

В данном учебном пособии рассмотрены вопросы теории и проектирования коллекторных электрических машин переменного тока малой мощности. Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 140601, 140607 и направлению 140600 по дисциплинам «Электрические машины», «Электромеханика», и «Конструкции, расчет, проектирование, потребительские свойства электромагнитных устройств и электромеханических преобразователей». Целью изучения данного раздела является практическое применение полученных знаний при эксплуатации, расчетах и конструировании указанных электрических машин.

ВВЕДЕНИЕ

Создание оптимальной электрической машины с заданными свойствами для заданных условий работы – основная цель ее проектирования. Само проектирование складывается из расчета и конструирования. Принципиально расчет электрической машины представляет собой математически неопределенную задачу со многими решениями, так как число неопределённых неизвестных больше числа уравнений, их связывающих. Вследствие этого в процессе расчета электрической машины приходится задаваться определенными значениями некоторых исходных электромагнитных и конструктивных величин, базируясь на опыте проектирования электрических машин. В связи с этим при проектировании новых машин обычно получается несколько расчетных вариантов, из которых выбирается наиболее экономичный и оптимальный.

Результаты расчета электрической машины хорошо согласуются с данными опытных образцов лишь при проектировании машин средней и большой мощности. Менее точным оказывается расчет электрической машины малой мощности (в диапазоне от долей ватт до нескольких сотен ватт). Расхождение между расчетными и опытными данными связано в основном с анизотропностью материалов, возрастанием роли побочных явлений (падения напряжения, отдельных видов потерь и т.д.), не поддающимся точному расчету, а также неизбежными погрешностями технологического процесса.

Рассматриваемые электрические двигатели – это однофазные коллекторные двигатели переменного тока с последовательным возбуждением. Эти двигатели по своему устройству почти не отличаются от двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением. Отличие заключается лишь в том, что они имеют не литые, а шихтованные из листовой электротехнической стали якорь, станину и полюса. Это необходимо для уменьшения потерь на вихревые токи от переменного во времени магнитного потока.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ, КАСАЮЩИЕСЯ КОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1.1. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В КОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИНАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Вращающийся момент двигателя создается так же, как и момент двигателей постоянного тока, за счет взаимодействия тока обмотки якоря I_a с магнитным потоком полюсов Φ :

$$M = C_m \cdot I_a \cdot \Phi . \quad (1.1)$$

При совпадении по фазе тока якоря I_a магнитного потока Φ вращающийся момент M , несмотря на переменный характер I_a и Φ , не изменяет своего направления, так как одновременно с токами аналогично

изменяется и поток. Но вследствие изменения тока и потока во времени вращающий момент не остается постоянным по величине.

Вращающий момент M однофазного коллекторного двигателя содержит постоянную M_{const} и переменную M_{var} составляющие, причем последняя изменяется со временем с двойной частотой сети.

$$M = M_{const} + M_{var} \cdot \quad (1.2)$$

В момент вращения, когда ток I_a или поток Φ проходит через нуль, вращающий момент M равен нулю. Вращающий момент M может принимать отрицательное значение в зависимости от угла сдвига тока и потока β . Угол β отставания магнитного потока от тока возникает за счет потерь в стали. Поэтому при проектировании коллекторного двигателя переменного тока стремятся максимально уменьшить эти потери.

При составлении уравнения электрического равновесия напряжения для этого двигателя переменного тока необходимо учитывать ЭДС, которая наводится в обмотках возбуждения якоря переменными во времени магнитными потоками. Так, в обмотке возбуждения наводятся две ЭДС: E_ϕ от основного потока Φ и $E_{\phi s}$ от потока рассеяния $\Phi_{\phi s}$, совпадающего во времени с током I_a .

В обмотке якоря кроме ЭДС вращения $E_{вр}$, изменяющейся с частотой сети, наводятся еще ЭДС E_a поперечными потоками якоря $\Phi_{яq}$ и ЭДС $E_{яс}$ потоками рассеяния якоря $\Phi_{яс}$.

Таким образом, напряжение U , приложенное к двигателю, уравновешивается суммой ЭДС и падениями напряжения на активных сопротивлениях якоря $r_{я}^*$ и щеточном контакте $r_{щ}$, (обозначим $r_{я}^* + r_{щ} = r_{я}$), а также на активном сопротивлении обмотки возбуждения r_ϕ :

$$U = E_{вр} - E_{\phi s} + I r_\phi - E_{я} - E_{яс} + I r_{я} - E_{бр} \cdot \quad (1.3)$$

Если пренебречь насыщением и выразить ЭДС E_{bs} , $E_{яs}$, $E_{я}$ через ток и соответствующие индуктивные сопротивления, то уравнение примет следующий вид:

$$U = -E_b + jI x_{bs} + I r_b + jI x_{я} + I r_{я} - E_{вр}. \quad (1.4)$$

Если пренебречь потерями в стали и насыщением, то выражение (1.3) упростится:

$$U = -E_{вр} + Ir + jIx = -E_{вр} + IZ, \quad (1.5)$$

где

$$r = r_b + r_{я}; z = r + jx. \quad (1.6)$$

Это уравнение напряжения аналогично уравнению напряжения двигателя постоянного тока, только оно не скалярное, а векторное, и учитывает не только активные, но и реактивные сопротивления.

$$E_{вр} = C_E \cdot n \cdot \Phi, \quad (1.7)$$

где C_E – постоянная величина.

Из (1.7) частота вращения двигателя:

$$n = \frac{U - IZ}{C_E^* \cdot \Phi}. \quad (1.8)$$

Механическая характеристика $n = f(M)$ однофазного коллекторного двигателя с последовательным возбуждением аналогична механической характеристике двигателя постоянного тока последовательного возбуждения и имеет вид гиперболы. Этот двигатель, так же как и двигатель постоянного тока, в режиме х.х. идет «вразнос».

По своим рабочим свойствам однофазный коллекторный двигатель переменного тока соответствует аналогичному двигателю постоянного тока, однако уступает ему по энергетическим показателям (η, P), что объясняется повышенными потерями в стали за счет потерь в станине и полюсах.

Рассматриваемый двигатель имеет малое число витков обмотки возбуждения, в связи с этим ее индуктивные сопротивления небольшие. Коэффициент мощности этих двигателей составляет $\cos \varphi = 0,7 \dots 0,95$. Регулирование частоты вращения возможно путем изменения подводимого напряжения либо шунтирования обмотки возбуждения или обмотки якоря.

При промышленной частоте 50 Гц можно получить широкий диапазон изменения частоты вращения (3000...20000 об/мин), что для синхронных или асинхронных двигателей проблематично. Регулирование частоты вращения коллекторного двигателя переменного тока с последовательным возбуждением осуществляется так же, как и регулирование частоты вращения аналогичных двигателей постоянного тока.

Электрическая схема коллекторного двигателя переменного тока малой мощности аналогична схеме двигателя постоянного тока последовательного возбуждения (рис. 1.1).

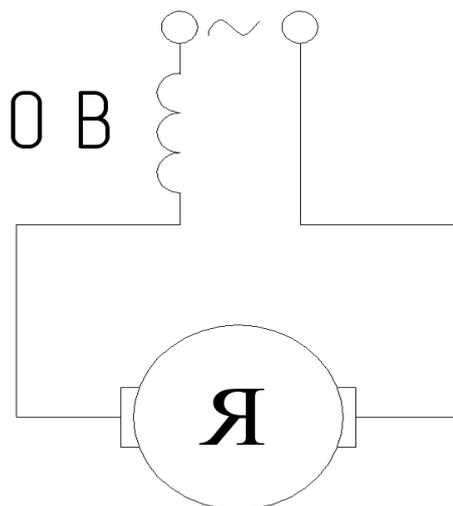


Рис. 1.1. Электрическая схема однофазного коллекторного двигателя переменного тока

В качестве основного варианта конструктивного исполнения электродвигателя принята конструкция, представленная на рис. 1.2.

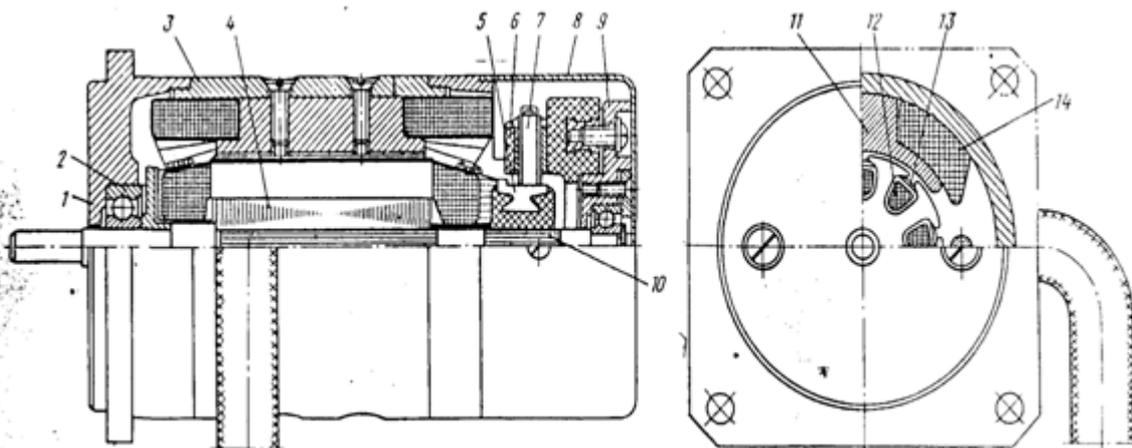


Рис. 1.2. Общий вид коллекторного электродвигателя
 1 – щит; 2 – подшипник; 3 – станина; 4 – сердечник якоря; 5 – коллектор;
 6 – щеткодержатель; 7 – щетка; 8 – колпак; 9 – щит; 10 – вал; 11 – полюс;
 12 – обмотка якоря; 13 – клин; 14 – обмотка возбуждения

Коллекторные машины переменного тока подсоединяются к сети переменного тока (рис. 1.3). Напряжение неизменной частоты сети f_c преобразуется преобразователем частоты ПЧ в напряжение изменяющейся частоты $f = var$. Регулирование частоты вращения в широких пределах обеспечивается за счет изменения частоты в коллекторных двигателях переменного тока.

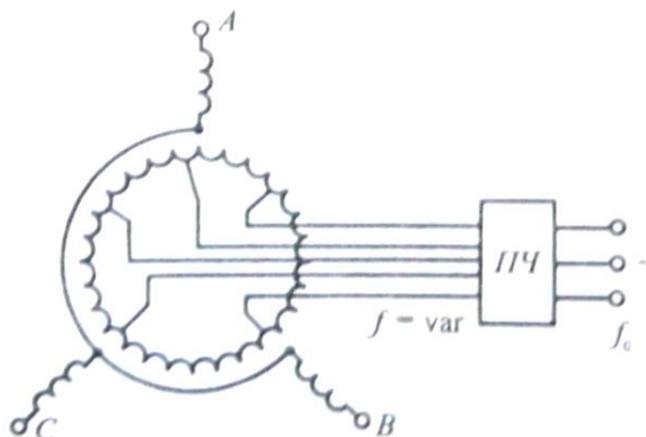


Рис. 1.3. Схема коллекторной машины переменного тока с преобразователем частоты

Коллекторные машины переменного тока применяются в регулируемых приводах переменного тока для получения частоты вращения выше синхронной частоты вращения поля. В настоящее время коллекторные машины переменного тока находят наибольшее применение в однофазных сетях для привода бытовых приборов.

В некоторых западноевропейских странах коллекторные двигатели переменного тока в настоящее время используются в качестве тяговых двигателей. Трехфазные коллекторные двигатели переменного тока выпускаются в небольших количествах мощностью в десятки и сотни киловатт.

Основным недостатком коллекторных машин переменного тока является плохая коммутация. Механический преобразователь частоты – коллектор в этих машинах работает в режиме преобразования переменного тока в переменный ток регулируемой частоты. Непосредственное преобразование переменного тока в переменный ток другой частоты без промежуточного звена постоянного тока осуществляется довольно сложно как в механическом преобразователе частоты, так и в полупроводниковом преобразователе частоты.

Можно получить коллекторные машины переменного тока из модели обобщенной машины, если многофазную обмотку якоря привести к двухфазной, а на преобразователь частоты подать переменный ток.

В воздушном зазоре коллекторной машины переменного тока, поля основной гармоники ротора и статора которой неподвижны относительно друг друга, существуют бесконечные спектры высших гармоник, поля которых перемещаются относительно друг друга. Подобная картина полей существует в воздушном зазоре и других типов электрических машин. Динамике коллекторных двигателей переменного тока посвящено небольшое количество работ, а при проектировании используются более простые формулы, так как геометрия коллекторного двигателя переменного тока, в основном, определяется коммутацией.

Коллекторные двигатели переменного тока получили наибольшее распространение и развитие в начале XX века. Были предложены десятки оригинальных схем коллекторных двигателей переменного тока. В последние десятилетия коллекторные двигатели переменного тока вытесняются регулируемыми приводами с асинхронными синхронными двигателями. Трудоемкость изготовления коллектора и плохая коммутация ограничивают применение коллекторных двигателей переменного тока.

Большой вклад в развитие теории коллекторных двигателей переменного тока внесли Г. Гергес, И. Дери, Д.А. Завалишин, М.П. Костенко, М. Латур, Э. Томсон, Р. Рихтер, К.И. Шенфер и другие.

1.2. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ БЫТОВЫХ ПРИБОРОВ

1.2.1. ОСОБЕННОСТИ КОЛЛЕКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ БЫТОВЫХ ПРИБОРОВ

Коллекторные двигатели постоянного тока и универсальные коллекторные двигатели по целому ряду свойств выгодно отличаются от асинхронных двигателей: они позволяют получать различные частоты вращения; дают возможность просто, плавно и экономично регулировать частоту вращения в широком диапазоне, имеют сравнительно высокий КПД, большие пусковые моменты. Эти положительные качества способствуют широкому распространению коллекторных двигателей несмотря на наличие у них весьма существенных недостатков, вызываемых наличием щеточно-коллекторного узла, снижающего надежность и требующего дополнительного ухода.

Особенностью коллекторных двигателей является то, что они не имеют дополнительных полюсов и компенсационной обмотки. По конструкции коллекторные двигатели весьма просты, что является несомненным их преимуществом перед рядом других двигателей. Выпускаются они, как правило, двухполюсными.

Коллекторные двигатели постоянного тока для бытовых электроприборов выпускаются с последовательным возбуждением и по своему устройству, принципу действия и теории не отличаются от двигателей средней и большой мощности. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока с последовательным возбуждением осуществляется изменением магнитного потока возбуждения за счет шунтирования обмотки якоря или обмотки полюсов.

Из большого разнообразия коллекторных двигателей переменного тока малой мощности в бытовых электроприборах применяются универсальные коллекторные двигатели. По своему устройству эти двигатели почти не отличаются от коллекторных двигателей переменного

тока с последовательным возбуждением. Для сближения характеристик двигателя на постоянном и переменном токе у обмоток возбуждения выполняются дополнительные выводы: при работе на постоянном токе включается вся обмотка возбуждения, а при работе на переменном токе – лишь ее часть. Однако даже при использовании на переменном токе только части витков обмотки возбуждения двигатель может быть универсальным лишь по величине вращающего момента и развиваемой мощности, причем только при номинальной частоте вращения. При всех других частотах вращения механические характеристики двигателя на переменном токе хуже, чем на постоянном.

Ток универсального коллекторного двигателя с уменьшенным числом витков обмотки возбуждения при его работе от сети переменного тока больше, чем при работе от сети постоянного тока, при той же механической мощности на валу.

Потери в двигателе при переменном токе больше, чем при постоянном токе, так как при переменном токе к имеющимся потерям добавляются еще потери в стали станины и полюсов, а также дополнительные потери в меди обмоток вследствие увеличения потребляемого двигателем тока.

Универсальные коллекторные двигатели, так же как и микродвигатели постоянного тока, выполняются, как правило, двухполюсными. Корпус и ярмо обычно совмещаются. Полюсы и ярмо статора штампуются как одно целое из листов электротехнической стали, которые тщательно изолируются. Корпуса в этом случае, если они имеются, выполняются из сплавов алюминия. В двигателях, имеющих бескорпусное исполнение, подшипниковые щиты укрепляются непосредственно на пакете стали статора.

В коллекторных двигателях чаще применяются шариковые подшипники, которые обязательно снабжаются специальными защитными шайбами, уплотнителями, необходимыми для защиты подшипников от угольной пыли, особенно в двигателях с плохой коммутацией, рассчитанных на работу при больших частотах вращения.

Коллекторы двигателей, как правило, имеют пластмассовую основу. Лишь в высокоскоростных двигателях применяются коллекто-

ры, аналогичные коллекторам крупных машин. Иногда для увеличения прочности коллекторы снабжаются армирующими кольцами.

1.2.2. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ ВСТРАИВАЕМЫЕ ДВИГАТЕЛИ СЕРИИ УВ

Универсальные коллекторные встраиваемые двигатели переменного и постоянного тока служат для приводов самых разнообразных механизмов.

Двигатели серии УВ охватывают пять габаритов (по внешнему диаметру пакетов стали статора). Габариты 02 и 03 имеют по одной длине пакета, а габариты 04, 05 и 06 – по две длины. Таким образом, серия УВ базируется на восьми типоразмерах двигателей – 02, 03, 041, 042, 051, 052, 061 и 062.

Двигатели серии УВ разработаны на мощности от 5 до 270 Вт.

Для универсальных электродвигателей предусмотрены частоты вращения 5000 и 8000 об/мин.

Двигатели выполнены на следующие напряжения:

- 127 и 220 В переменного тока;
- 127 и 220 В переменного тока (с переключением);
- 220 В переменного и постоянного тока (с переключением);
- 127 В переменного и 110 В постоянного тока (с переключением).

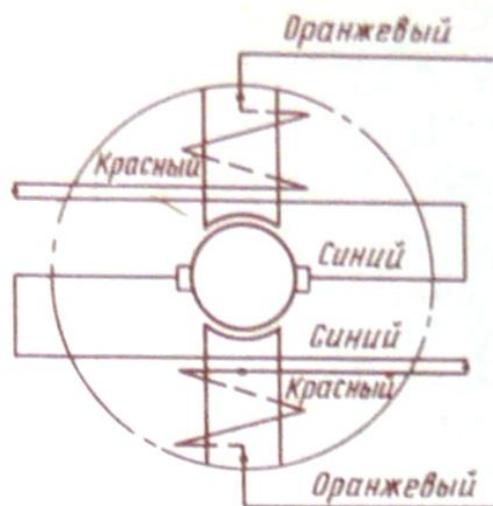


Рис. 1.4. Схема соединения обмоток универсальных коллекторных двигателей серии УВ

Схема соединения обмоток двигателей показана на рис. 1.4.

Мощность двигателей на два напряжения в одном исполнении ниже на 10-20%, чем у двигателей на одно напряжение.

Исполнение по способу монтажа – с крепительным фланцем на щите, по способу защиты – открытое.

Двигатели выполнены на подшипниках качения с одним свободным концом вала и могут работать как при горизонтальном, так и при вертикальном положении вала. При вертикальном положении подшипники не допускают добавочной осевой нагрузки, так как они рассчитаны только на вес ротора с муфтой.

Двигатели серии УВ, за исключением некоторых модификаций, не снабжаются помехоподавляющими устройствами. Такие устройства должны быть предусмотрены в механизмах, в которых устанавливаются двигатели.

Срок службы двигателей колеблется в пределах 1200-3000 ч.

На базе двигателей основного исполнения разработан ряд модификаций, в частности: двигатели для пылесосов (УВ 041-ПС, УВ 42-ПС, УВ 051-ПС, УВ 052-ПС, УВ 061-ПС, УВ 062-ПС), швейных машин (УВ 041-Ш, УВК 041-Ш), стиральных машин (УВ 051-Ц, УВ 052 – Ц), серия моментных двигателей для работы в схемах автоматического привода дистанционных выключателей (УВ 061-1М50, УВ 061-2М50, УВ 061-1М64, УВ 061-2М64), двигатели для счетных аппаратов (УВС 041-СА).

Модификации на базе двигателей серии УВ в зависимости от исполнения, условий охлаждения и частоты вращения в диапазоне от 4500 до 14000 об/мин указаны ниже:

Тип электродвигателя	Мощность, Вт
УВ 02	2-18
УВ 03	3-30
УВ 041	5-50
УВ 042	10-80
УВ 051	18-20
УВ 052	30-180
УВ 061	50-280
УВ 062	80-450

Модификации двигателей незначительно отличаются от основного исполнения. Это вызвано конструктивной особенностью аппаратов и приборов, куда встраиваются эти двигатели. Так, двигатели УВ 041-Ш2 выполнены с двумя свободными концами вала. Двигатели УВС 041-СА изготавливаются на подшипниках скольжения и предназначены для работы только при горизонтальном положении вала без аксиальной нагрузки.

В моментных двигателях УВ 061-1М50, УВ 061-2М50, УВ 061-1М64, УВ 061-2М64, УВ 061-М50, УВ 061-М64 обмоточные данные выбраны так, что они позволяют получить наибольший пусковой момент.

В табл. 1.1 и 1.2 приведены технические данные двигателей серии УВ.

Таблица 1.1

Технические данные двигателей серии УВ (основное исполнение)

Тип двигателя	$P_{\text{двиг}}^{\text{нпм}}$ Вт	Ток, А				КПД, %	$\cos\varphi$	Момент инерции якоря, кг·см ²	Масса, кг	Срок службы, ч
		постоянный		переменный						
		при напряжении, В								
		220	110	220	127					
8000 об/мин										
УВ 02	10	0,13	0,26	0,14	0,25	36	0,94	0,05	0,3	1200
УВ 03	18	0,2	0,4	0,22	0,38	42	0,9	0,125	0,45	1200
УВ 041	30	0,28	0,55	0,31	0,54	50	0,88	0,375	0,85	1200
УВ 042	50	0,41	0,82	0,47	0,82	56	0,86	0,25	1,02	1200
УВ 051	80	0,61	1,2	0,71	1,3	60	0,85	0,4	1,75	1200
УВ 052	120	0,88	1,8	1,1	1,8	62	0,85	0,525	2,2	1200
УВ 061	180	1,3	2,6	1,6	2,7	63	0,85	0,75	3	1200
УВ 062	270	1,9	3,8	2,3	3,9	64	0,85	0,925	3,8	1200
5000 об/мин										
УВ 02	5	0,095	0,19	0,11	0,18	24	0,9	0,05	0,31	2000
УВ 03	10	0,14	0,28	0,17	0,29	32	0,86	0,125	0,45	2000
УВ 041	18	0,21	0,42	0,25	0,42	40	0,84	0,375	0,85	2000
УВ 042	30	0,3	0,6	0,36	0,63	46	0,82	0,25	1,02	2000
УВ 051	50	0,44	0,88	0,55	0,95	52	0,8	0,4	1,75	2000
УВ 052	80	0,63	1,3	0,8	1,4	58	0,79	0,525	2,2	2000
УВ 061	120	0,95	1,9	1,2	2,1	59	0,77	0,75	3	2000
УВ 062	180	1,4	2,8	1,8	3	61	0,77	0,925	3,8	2000

Коллекторные двигатели серии **УВ** – открытые, невентилируемые. При необходимости можно получить защищенное вентилируемое исполнение (пристройкой вентилятора и корпуса любой формы).

Двигатели имеют минимальные габариты благодаря использованию пакета активной стали в качестве корпуса и отсутствию вентилятора.

Общий вид двигателей приведен на рис. 1.5.

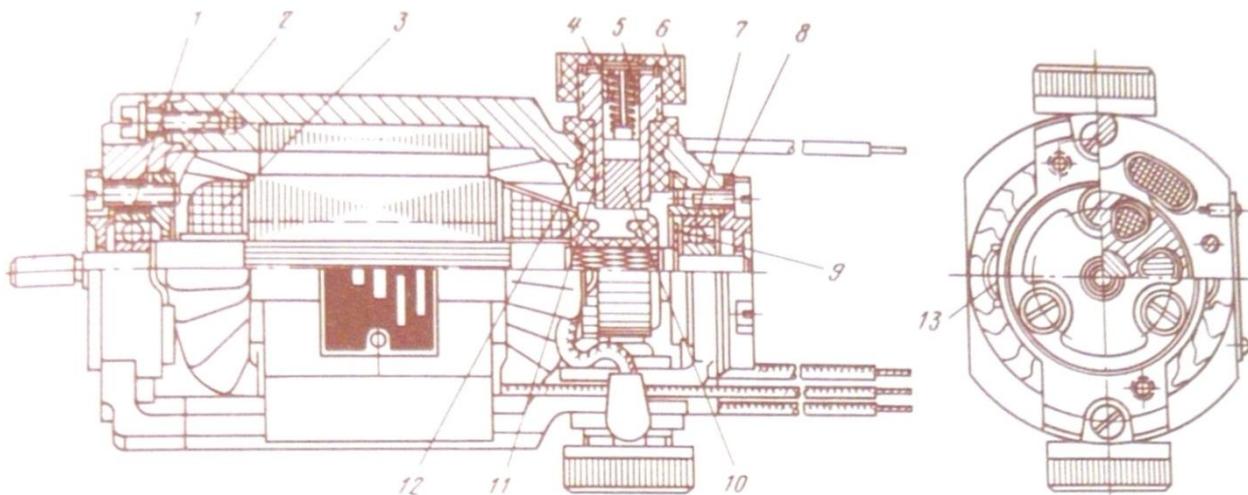


Рис. 1.5. Общий вид двигателей серии УВ:

- 1 – подшипник со стороны свободного конца вала; 2 – фланец; 3 – обмотка возбуждения;
4 – пружина; 5 – пластина контактная; 6 – колпачок пластмассовый; 7 – подшипник со стороны коллектора; 8 – фланец; 9 – шайба; 10 – щетка; 11 – обойма;
12 – втулка пластмассовая; 13 – скоба

Статор набирается из лакированных листов электротехнической стали марки 1211 или 1212 толщиной 0,5 мм (рис. 1.6). Листы имеют дополнительные вырезы в ярме на середине расстояния между полюсами. Эти вырезы в собранном пакете создают продольный канал, который заливается сплавом, образуя прочный стержень, стягивающий пакет статора.

Для предотвращения распушения полюсы стягиваются четырьмя заклепками (по две на каждый полюс), которые образуются литьем под давлением одновременно с заливкой стягивающего стержня. Для большей прочности и монолитности конструкции двигателя, а также в целях существенного упрощения технологии производства передний подшипниковый щит (подшипниковая опора со стороны коллектора) отливается вместе со стягивающим стержнем. Стягивающие стержни, выступая со стороны заднего подшипникового щита, образуют две консольные опоры, на которых механической обработкой получают замок для посадки заднего подшипникового щита.

Щеткодержатели расположены между полюсами и неподвижно укреплены в подшипниковой опоре. В конструкции щеточного аппарата, принятой в двигателях УВ, нет поворотной траверсы, что позволило уменьшить размеры двигателей, а также упростить технологию их изготовления.

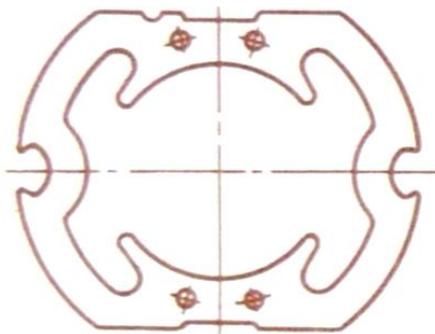


Рис. 1.6. Статорные листы двигателей серии УВ

Таблица 1.2

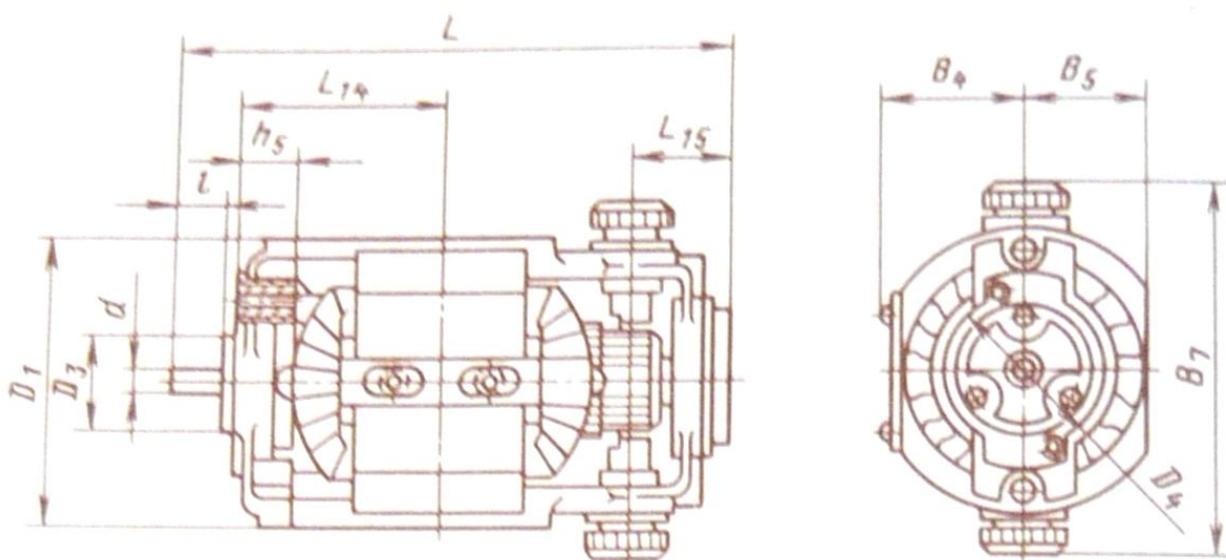
Технические данные модификации двигателей серии УВ (бытовых)

Тип двигателя	$P_{2ном}$, Вт	$n_{ном}$, об/мин	Ток переменный, А, при напряжении, В		КПД, %	$\cos\varphi$	Момент инерции якоря, кг · см ²	Масса, кг
			127	220				
УВ 041 – ПС	100	12500	1,54	0,89	55	0,9	0,5	1,45
УВ 042 – ПС	180	12000	2,6	1,5	58	0,9	0,75	1,9
УВ 051 – ПС	300	14000	4,37	2,53	60	0,9	1,5	2,1
УВ 052 – ПС	360	14000	4,5	2,6	64	0,9	1,75	2,4
УВ 061 – ПС	350	14000	4,4	2,53	70	0,9	4	3,9
УВ 061 – ПС	400	14000	5	2,9	64	0,9	4	4
УВ 062 – ПС	400	14000	5	2,9	70	0,9	4,5	4,8
УВ 062 – ПС	450	14000	5,7	–	70	0,9	4,5	4,7
УВ 062 – ПС	550	14000	5,7	3,3	70	0,9	4,5	4,9
УВ 041 – Ш	20	4500	0,465/ 0,303	–	40	0,85/ 0,75	0,425	1,1
УВК 041 – Ш	40	5000	0,825/ 0,475	–	45	0,85	0,375	1
УВ 051 – Ц	65	7000	1,15	0,67	52	0,85	1,25	2,1
УВ 052 – Ц	100	7000	–	1	64	0,82	–	2,25

В конструктивном исполнении щеткодержатели – трубчатые. Они имеют форму трубки (обоймы), внутри которой располагаются щетки и пружина. Щеткодержатели состоят из обоймы, пластмассовой втулки, пластмассового колпачка и контактной пластины. Обойма изготавливается из цинкового сплава литьем под давлением, опрессовывается пластмассой для обеспечения требуемой изоляции.

Таблица 1.3

Габаритные и установочные размеры, мм, двигателей УВ



Габарит двигателя	B_4	B_5	B_7	D_1	D_3	D_4	d	H_5	L	L_{14}	L_{15}	l
02	19,5	17	62	42	28	35	4	9	94,5	33,5	15	10
03	22,5	20	66	50	30	38	4	7	104	38	18,5	10
041	29	26,5	81	65	32	40	5	10	114	39,5	22	15,5
042	29	26,5	81	65	32	40	5	10	127	46	22	15,5
051	43	40,5	118	102	60	75	10	12	147,5	52,5	29	23
052	43	40,5	118	102	60	75	10	12	152,5	60	29	23
061	35,5	33	100	84	40	55	8	12	178	63,5	26,5	20
062	35,5	33	100	84	40	55	8	12	194	71,5	26,5	20

У двигателей меньших габаритов выводные концы соединяются с обоймой щеткодержателя при помощи контактной пружины. Для улучшения электрического контакта на обойме имеется кольцевое углубление полукруглого сечения.

У двигателей больших габаритов выводные концы соединяются с обоймой щеткодержателя контактным винтом. Щеткодержатели заливаются одновременно с заливкой пакета статора.

В двигателях серии УВ применяются электрографитированные щетки марки ЭГ-8.

Подшипниковый щит со стороны свободного конца вала выполнен из алюминиевого сплава литьем под давлением. Щит имеет вид скобы, которая замковой заточкой садится на такую же заточку статора.

Конструкции щита и опоры со стороны коллектора позволяют применять как подшипники качения, так и подшипники скольжения. Двигатели серии УВ, как правило, изготавливаются на подшипниках качения, расположение вала может быть любое.

По требованию заказчика двигатели могут быть выполнены на подшипниках скольжения. Подшипник со стороны свободного конца вала – радиальный, ставится в подшипниковое гнездо и зажимается фланцем с внутренней стороны подшипникового гнезда. Подшипник со стороны коллектора – радиально-упорный. Наружная обойма подшипника фиксируется фланцем, а внутренняя обойма – шайбой, расположенной на валу.

В подшипниках скольжения бронзографитовый вкладыш, имеющий форму гриба, сферической поверхностью опирается на такую же поверхность подшипникового гнезда и в таком состоянии поддерживается давлением цилиндрической пружины. Вторым концом пружина упирается в шайбу, которая при сборке подшипника устанавливается в специальном гнезде, полученном при литье, и раскернивается при сжатом состоянии пружины. Бронзографитовый вкладыш пропитывают маслом в нагретом состоянии.

Смазку подшипников осуществляют через просверленные в подшипниковых щитах отверстия, которые закрываются винтами. В целях увеличения времени между наполнениями подшипников смазкой на цилиндрическую часть вкладышей надевают фетровые кольца, выполняющие функции масляного резервуара.

Конструкция подшипниковых узлов обеспечивает надежную и длительную работу подшипников в течение всего срока службы двигателя.

Обмотка возбуждения выполнена проводом марки ПЭВ-2 и состоит из двух катушек, которые тщательно изолируют лакотканью, насаживают на полюсы и закрепляют скобами. Для скобы на листах активной стали статора предусмотрены два специальных выреза.

Пакет якоря набирают из лакированных листов электротехнической стали марки 1211 или 1212 толщиной 0,5 мм и насаживают на накатанную часть вала.

Длина якоря превышает длину полюса на 1-1,5 мм с каждой стороны. Это позволяет свести до минимума изменения проводимости магнитной цепи, возникающие при небольших осевых перемещениях якоря.

Обмотка якоря – двухслойная петлевая. Для двигателей основного исполнения обмотка выполнена проводом марки ПЭТВ или ПЭВ-2, а для модификаций двигателей, имеющих частоту вращения порядка 14000 об/мин, – проводом марки ПЭЛШКО.

Обмотка электродвигателей 02-05-го габаритов выполнена непосредственной намоткой якоря; у 06-го габарита секции обмоток наматывают на отдельном шаблоне и готовые секции укладывают в пазы якоря. Обмоточные якоря балансируют закладыванием латунных балансировочных грузов над пазовыми клиньями.

Коллекторы опрессованы пластмассой. Изоляция между коллекторными пластинами выполнена из миканита. После опрессовки коллектор обрабатывают.

Двигатели изготовлены со свободными выводными концами и с зажимной колодкой.

Маркировку выводных концов двигателей серии УВ основного исполнения, а также модификаций двигателей на одно напряжение осуществляют проводами следующих цветов: концы якорной обмотки – синим, начало катушек возбуждения – красным, концы катушек возбуждения – оранжевым.

Маркировку выводных концов модификаций двигателей серии УВ на два напряжения с переключением осуществляют проводами

следующих цветов: концы якорной обмотки – синим, начало катушек возбуждения – красным, концы катушек возбуждения: для двигателей серии УВ на 127 В переменного и 220 В постоянного тока – белым, на 220 В переменного и 110 В постоянного тока – черным.

В табл. 1.3 приводятся габаритные размеры двигателей серии УВ.

1.2.3. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ ТИПОВ КВ И ДК

Двигатели типов КВ-25 и КВ-60 предназначены для привода электрощетки пылесоса и кофемолки соответственно и рассчитаны на работу от сети однофазного переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 127, 220 В при температуре окружающего воздуха от 0 до 40 °С, относительной влажности окружающего воздуха не более 80% при 20 °С и не более 50% при 40 °С. Основные технические данные двигателей приведены в табл.1.5. Номинальный режим двигателей КВ-25 – S1, КВ-60 – S3, ПВ = 25%, исполнение по способу защиты от внешних воздействий и охлаждения – открытое невентилируемое, превышение температуры обмоток – не более 70 °С, коллектора – не более 90 °С.

Двигатель типа ДК58-60-12 на напряжение 220 В, 50, 60 Гц имеет номинальную частоту вращения 12 000 об/мин, КПД 50%. Выпускаются 14 типоразмеров двигателя, в том числе 8 – для экспорта, различающиеся по способу крепления, конструктивному и климатическому исполнению. На рис. 1.7 представлены габаритные, установочные и присоединительные размеры двигателей основного исполнения без лап, с двумя подшипниковыми щитами и двумя цилиндрическими концами вала. Подшипниковые щиты без дополнительной механической обработки соединяются при сборке скобами. Подшипники скольжения обеспечивают низкий уровень шума. Двигатели предназначены для работы при температуре окружающей среды от 1 до 40 °С, относительной влажности воздуха до 85% при температуре 25 °С. По способу монтажа двигатель имеет исполнения IM3642 и M9232, а по способу охлаждения: с вентилятором – IC01 и без вентилятора – IC00.

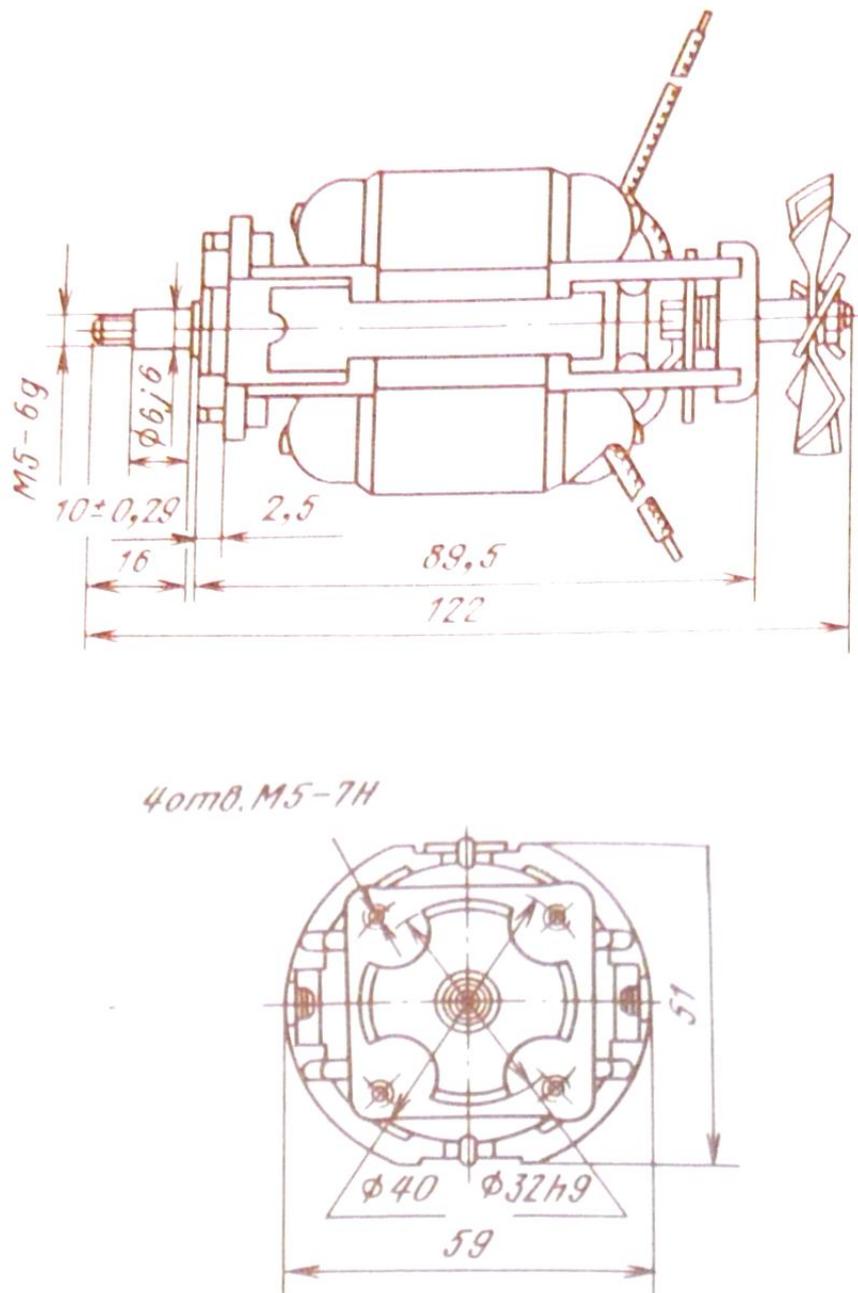


Рис. 1.7. Габаритные и установочно-присоединительные размеры двигателей ДК 58-60-12

1.2.4. ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ БЫТОВЫХ ПРИБОРОВ ТИПОВ ПК И ЭМ

Для привода электровзбивалок, электромиксеров и других бытовых приборов разработан электропривод ПК58-180-20, состоящий из коллекторного двигателя последовательного возбуждения и редуктора. Двигатель и редуктор собираются в корпусе-раме из алюминиевого сплава АЛ-2 и крепятся в нем при помощи специальных пружин. Редуктор – червячный, червяк нарезан на валу двигателя, передаточ-

ное число редуктора 22. Электропривод имеет три типоразмера: 01 – двигатель с редуктором без выходного быстроходного конца вала, 02 – двигатель без редуктора с одним выходным концом вала, 03 – двигатель с редуктором и выходным быстроходным концом вала. Все три типоразмера обеспечивают регулирование частоты вращения якоря двигателя в пределах 8000-2000 об/мин при питании от специальной схемы управления, входящей в состав электропривода. В табл. 1.4 приводятся основные технические данные электропривода.

Режим работы электропривода – S2 при продолжительности работы 16 мин. Средний ресурс 300 ч.

Электропривод работает от сети переменного тока 220 В, 50 Гц в условиях умеренного и тропического климата при температуре окружающей среды от 10 до 45 °С и относительной влажности до 80% при температуре 20 °С. Климатическое исполнение и категория размещения – УХЛ4.2. Класс изоляции – В.

Для электровзбивалок 1-го класса разработан электропривод типа ЭМ, состоящий из коллекторного двигателя переменного тока последовательного возбуждения, встроенного редуктора, схемы управления частотой вращения и фильтра защиты от радиопомех. Электропривод работает от сети переменного тока 220 В, 50 Гц при температуре окружающей среды от 1 до 40 °С и относительной влажности до 80% при температуре 25 °С. Класс изоляции – В. Климатическое исполнение и категория размещения – УХЛ4.

Электропривод имеет один быстроходный и два тихоходных конца вала со стороны редуктора. Функцию редуктора выполняет винтовая передача с передаточным числом 20, состоящая из червяка и двух зубчатых колес. Электронная схема управления обеспечивает плавное регулирование напряжения питания двигателя, при этом меняется частота вращения привода.

Технические данные электропривода ЭМ

Номинальная мощность, Вт	25-60
Номинальная частота вращения, об/мин	8000-18 000

Номинальный вращающий момент, Н · м	0,032
КПД, %	50
Средний ресурс, ч	300
Режим работы:	
при частоте вращения 8000-18 000 об/мин, продолжительность цикла 1 мин	S2
при частоте вращения 8000-12 000 об/мин, продолжительность цикла 25 мин, ПВ = 40%.	S3
Масса электропривода, кг	0,7
Габаритные размеры электропривода, мм	167×70×62

Таблица 1.4

Технические данные электропривода ПК58-180

Параметр	ПК58-180-20-01	ПК58-180-20-02	ПК58-180-20-03
Потребляемая мощность, Вт	180	180	180
КПД двигателя, %	50	50	50
Номинальная частота вращения, об/мин, валов:			
быстроходного	–	20 000	20 000
тихоходных	90	–	900
Номинальный вращающий момент двигателя, Н · м	0,043	0,043	0,043
Вращающий момент на тихоходном конце вала при номинальной частоте вращения, Н · м, не менее	0,3	–	0,3
Коэффициент мощности	0,95	0,95	0,95
Масса электропривода, кг	0,73	0,65	0,73
Габаритные размеры электропривода, мм	141,5×72×68	131,5×72×59	157,5×72×68

Таблица 1.5

Технические данные универсальных коллекторных двигателей

Обозначение	Номер документа поставки	Высота оси вращения, мм	$U_{ном}$, В	$P_{2ном}$, Вт	f , Гц	n , об/мин	КПД, %	Масса, кг
Двигатели приборов для уборки помещений								
АВ-400	ТУ 16-632.632-84	63	220	400*	50	–	32	1,55
АВП-4	ГОСТ 14933-69	–	127, 220	580*	50	–	36	2,03
АП-600	ТУ 16-632.631-84	–	127, 220	580*	50	–	36	2,03
КУВ-071	ТУ 16-513.245-76	71	127, 220	370	50	15 000	65	1,86
ЭПС	–	–	220	550*	50	15 000	27	2,2
МД-010	ТУ 16-579.038-80	Ø137	127, 220	440*	50	–	28	2,2
ЭД-9	ТУ 27-20	Ø144	220	120	50	15 000	38	1,7
МДА	ТУ 16-579.038-80	Ø154	127, 220	440*	50	–	28	2,2
ЭДМ-3-3	ТУ 16-513.189-70		127, 220	40	50	20 000	39	0,5
Двигатели приборов для приготовления пищи								
ЭД-9-2,3	ТУ 27-20	Ø120 Ø114	220	250	50	8 000	66	2,3
КВ-60 (ДК-58)	ТУ 16-513.186-75	32	127, 220	60	50	20 000	–	0,4
КВ-25	–	–	127, 220	25	50	15 000	50	0,4
ДК-58-60-20	ТУ 16-513.471-79	Ø58	220	60	50,60	20 000	50	0,36
ДК-58-60-12	ТУ 16-513.507-81	Ø58	220	60	50,60	12 000	50	0,575
Двигатели приборов для домашнего обихода								
МШ-2	ТУ 16-539.280-78	–	127, 220	40	50	6 000	–	–
ДКО-16-5	ТУ 16-513.262-73	56	127	16	50	5 000	43	–

*Указана потребляемая мощность.

1.2.5. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОЛЛЕКТОРНЫЕ ДВИГАТЕЛИ
РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В табл. 1.5 приведены технические данные универсальных коллекторных двигателей различных типов (в том числе рассмотренных

в предыдущих параграфах), выпускаемых электромашиностроительными предприятиями для оборудования, предназначенного для уборки помещений, приготовления пищи и др.

1.3. СТАНДАРТИЗАЦИЯ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Значение стандартизации. Одна из важнейших задач народного хозяйства – улучшение качества продукции, неразрывно связанное с уровнем стандартизации. Основные технические требования к конструктивным исполнениям, размерам и параметрам, методам и средствам испытаний электрических машин, а также требования к материалам и полуфабрикатам, необходимым для производства машин, устанавливаются и определяются стандартами.

Большим резервом повышения экономической эффективности народного хозяйства является дальнейшее развитие внешних экономических отношений, расширение выпуска изделий, в том числе электрических машин, на экспорт. В связи с этим все большее внимание уделяется согласованию на международной основе требований национальных стандартов. Международное сотрудничество в области стандартизации играет важную роль в устранении технических барьеров во внешней торговле и в установлении международных научно-технических связей в электромашиностроении.

К основным международным организациям в области стандартизации по электротехнике, участником которых является Россия, относятся Международная организация по стандартизации (ИСО) и Международная электротехническая комиссия (МЭК). Вопросами разработки рекомендаций занимаются технические комитеты, подкомитеты и создаваемые в них рабочие группы. Комитеты ИСО занимаются проблемами, охватывающими отдельные системы и даже отрасли, которые включают в себя также и вопросы электротехники, в то время как комитеты МЭК образованы главным образом для рассмотрения тех или иных видов электротехнического оборудования; в частности Комитет №2 – вращающиеся электрические машины всех мощностей и размеров (за исключением тяговых электродвигателей).

Международные рекомендации разрабатывают по отдельным видам изделий и материалов, по терминологии, условным обозначениям, графическим изображениям и т.п. Рекомендации носят факультативный характер, т.е. их применение в национальной практике отдельных стран не обязательно. Однако в настоящее время практически все национальные стандарты по электрическим машинам создаются с учетом или непосредственно на базе рекомендаций ИСО и МЭК. Начиная с 1972 г. ИСО выпускает международные стандарты.

Большое значение имеют стандарты ИСО и рекомендации МЭК при решении ряда определяющих положений при проектировании электрических машин. К ним относятся классификация номинальных режимов работы электрических машин (при кажущемся их многообразии). Не менее важно, чтобы принимаемые для единых серий электрических машин шкалы мощностей соответствовали ряду мощностей, рекомендованному МЭК. Значения номинальных напряжений, на которые должны проектироваться электрические машины, также должны соответствовать международным стандартам.

Номинальные частоты вращения стандартизованы ИСО для двигателей, а также для генераторов, что также важно соблюдать в национальных стандартах.

Применяемые иногда в отечественной литературе термины, характеризующие степень защиты электрических машин от внешних воздействий, такие как «электрическая машина защищенного исполнения» или «электрическая машина закрытого исполнения», не соответствуют Рекомендациям МЭК и поэтому не должны быть использованы.

При проектировании электрических машин должны учитываться требования стандартов России, а также рекомендации ИСО и МЭК. В следующих разделах рассматриваются стандартизованные виды исполнений и их обозначения, выходные параметры и размеры наружных частей (установочные и присоединительные размеры) электрических машин.

Номинальные режимы работы. Номинальные данные электрических машин должны соответствовать определенному режиму работы. ГОСТ 183 предусматривает режим работы с условными обозначе-

ниями S1-S8. Наиболее распространен продолжительный номинальный режим работы, который характеризуется продолжительностью работы машины, достаточной для достижения установившейся температуры всех частей электрической машины при неизменной внешней нагрузке – условное обозначение S1.

Номинальные мощности. Номинальные мощности электрических машин переменного и постоянного тока (двигателей и генераторов) регламентированы ГОСТ 12139-84, в котором учтены рекомендации и Публикации МЭК 72 в части номинальных мощностей. Согласно ГОСТ номинальные мощности должны соответствовать работе электрических машин при номинальных значениях напряжения, частоты вращения, частоты переменного тока, коэффициента мощности, а также при условиях и режимах работы, установленных соответствующими стандартами.

Стандартом предусмотрены следующие значения номинальных мощностей (в пределах от 0,12 до 1000 кВт): 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; 15; 18,5; 22; 30; 37; 45; 55; 75; 90; 110; 132; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000 кВт. Эти значения мощностей обязательны для всех исполнений электрических машин по защите и по монтажу, а также для всех способов охлаждения. Для машин специализированного назначения (рольганговые, краново-металлургические и др.) указанные значения мощностей не обязательны.

Номинальные напряжения. Номинальные напряжения генераторов и двигателей до 1000 В регламентированы ГОСТ 21128-83, а свыше 1000 В – ГОСТ 721. В стандартах учтены Публикации МЭК 38. Стандартом установлены наиболее широко применяемые номинальные напряжения (В):

Род тока.....	Переменный трехфазный	Постоянный
Генератор.....	230, 400, 690, 6300, 10500	115, 230, 460
Двигатель.....	220, 380, 660, 6000, 10000	110, 220, 440

Номинальные частоты вращения. Номинальные частоты вращения электрических машин регламентированы ГОСТ 10683; 65566. Установлены следующие номинальные частоты вращения при частоте

переменного тока 50 Гц для синхронных генераторов: 125; 150; 157,6; 214,3; 250; 300; 375; 428,6; 500; 600; 750; 1000; 1500; 3000 об/мин. Эта шкала используется также для синхронных и асинхронных двигателей с некоторыми изменениями.

Так, для синхронных двигателей дополнительно включены частоты вращения 100 и 166,6 об/мин, а исключена частота 428,6 об/мин; для асинхронных двигателей добавлены частоты вращения 120 и 166 об/мин, а исключены – 214,3 и 428,6 об/мин. Номинальные частоты вращения асинхронных двигателей должны быть меньше перечисленных на частоту вращения, определяемую величиной номинального скольжения.

Для генераторов постоянного тока стандартом установлены в пределах до 3000 об/мин следующие номинальные частоты вращения: 400; 500; 600; 750; 1000; 1500; 2000; 3000, для двигателей: 25; 50; 75; 100; 125; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1500; 2000; 2200 и 3000 об/мин. Наименьшие частоты вращения двигателей (с регулированием числа оборотов изменением поля главных полюсов) и наибольшие частоты вращения двигателей (с регулированием числа оборотов изменением напряжения на якоре при номинальном напряжении и номинальной нагрузке на валу) должны соответствовать указанным номинальным частотам вращения двигателей.

Стандартом также установлены допускаемые отклонения номинальной частоты вращения двигателей и генераторов постоянного тока.

Степени защиты от внешних воздействий. Электрические машины могут иметь различные исполнения по защите от внешних воздействий, которые, с одной стороны, должны обеспечить защиту обслуживающего персонала от прикосновения к токоведущим или вращающимся частям, а с другой – защиту машины от попадания внутрь ее твердых посторонних тел и воды. Обозначения степени защиты регламентируются ГОСТ 14254-96. В стандарте учтены требования рекомендаций Публикации МЭК 34-5.

Согласно указанному стандарту обозначение степеней защиты состоит из букв IP – начальные буквы английских слов International, Protection (международное обозначение степеней защиты) и следую-

щих за ними цифр. Первая цифра характеризует степень защиты от прикосновения и от проникновения твердых тел в машину. Более распространенными являются следующие степени защиты по **первой характеристической цифре**:

2 – защита от возможности соприкосновения пальцев с токоведущими или движущимися частями внутри машины. Защита машины от попадания внутрь ее твердых посторонних тел диаметром более 12 мм;

4 – защита от соприкосновения инструмента, проволоки или других подобных предметов, толщина которых превышает 1 мм, с токоведущими или движущимися частями внутри машины*. Защита машины от попадания внутрь ее легких твердых посторонних тел диаметром более 1 мм.

Вторая цифра характеризует степень защиты машины от проникновения воды. Более распространенными являются следующие степени защиты по **второй характеристической цифре**:

2 – защита от капель воды. Капли воды, падающие под углом в пределах до 15° к вертикали, не должны оказывать на машину вредного действия;

3 – защита от дождя. Вода, падающая на машину в виде дождя под углом в пределах до 60° к вертикали, не должна оказывать на машину вредного действия;

4 – защита от брызг. Брызги воды любого направления, попадающие на машину, не должны оказывать на нее вредного действия.

*Если машина охлаждается внешним вентилятором, то вентилятор должен быть защищен от соприкосновения с ним пальцев как на стороне входа, так и на стороне выхода охлаждающего воздуха.

Наибольшее применение находят следующие **степени защиты**:

IP22 – машина, защищенная от попадания твердых тел размером более 12 мм и от капель воды (защищенная машина);

IP23 – машина, защищенная от попадания твердых тел размером более 12 мм и от дождя (защищенная машина);

IP44 – машина, защищенная от попадания твердых тел размером более 1 мм и от водяных брызг (закрытая машина).

Способы охлаждения. Обозначения способов охлаждения регламентируются ГОСТ 20459-87, учитывающим рекомендации Публикации МЭК 34-6. Согласно этому стандарту обозначение способов охлаждения состоит из букв IC – начальные буквы английских слов International, Cooling (международное обозначение способов охлаждения) и следующей за ними характеристики цепей охлаждения. Последняя состоит из прописной буквы, условно обозначающей вид хладагента и следующих за ней двух цифр; при охлаждении воздухом буква опускается. Первая цифра условно обозначает устройство цепи для циркуляции хладагента, вторая – способ его перемещения. Из указанных в стандарте более распространенными являются следующие условные обозначения цепей:

Условные обозначения устройства цепи (первая цифра):

- 0 – свободная циркуляция;
- 1 – охлаждение с помощью подводящей трубы;
- 3 – охлаждение с помощью подводящей и отводящей труб;
- 4 – охлаждение с помощью наружной поверхности машины;
- 5 – охлаждение с помощью встроенного охладителя (с использованием окружающей среды);
- 6 – охлаждение с помощью пристроенного охладителя (с использованием окружающей среды).

Условные обозначения способа передвижения хладагента (вторая цифра):

- 0 – свободная конвекция;
- 1 – самовентиляция;
- 3 – перемещение хладагента с помощью пристроенного зависимого устройства;
- 5 – перемещение хладагента с помощью встроенного независимого устройства;
- 6 – перемещение хладагента с помощью пристроенного независимого устройства;
- 7 – перемещение хладагента с помощью отдельного и независимого устройства.

Если машина имеет две или более цепей охлаждения, то в обозначении указывают характеристики всех цепей охлаждения, начиная с характеристики цепи со вторичным хладагентом (с более низкой температурой). Чаще применяют следующие способы охлаждения, обозначения которых будут использованы в книге.

Способы охлаждения:

IC01 – защищенная машина с самовентиляцией; вентилятор расположен на валу машины;

IC0141 – закрытая машина, обдуваемая наружным вентилятором, расположенным на валу машины;

IC0641 – закрытая машина, обдуваемая наружным пристроенным вентилятором с приводным электродвигателем, установленным на машине и питаемым независимо от охлаждаемой машины;

IC0041 – закрытая машина с естественным охлаждением;

IC0151 – закрытая машина с охлаждением с помощью встроенного охладителя (с использованием окружающей среды);

IC0161 – закрытая машина с охлаждением с помощью пристроенного охладителя (с использованием окружающей среды);

IC13 – защищенная машина с независимой вентиляцией; охлаждение с помощью подводящей трубы, осуществляемое пристроенным зависимым устройством;

IC17 – защищенная машина с независимой вентиляцией; охлаждение с помощью подводящей трубы, осуществляемое отдельным и независимым устройством;

IC05 – то же; охлаждение с помощью встроенного вентилятора с приводным электродвигателем, установленным на машине и питаемым независимо от охлаждаемой машины;

IC06 – то же; охлаждение с помощью пристроенного двигателя-вентилятора, питаемого независимо от охлаждаемой машины;

IC37 – закрытая машина с независимой вентиляцией; охлаждение с помощью подводящей и отводящей труб, осуществляемое отдельным и независимым устройством.

В дальнейшем изложении для машин с независимой вентиляцией будет приводиться ссылка только на способы охлаждения IC17 и

IS37, поскольку все перечисленные способы независимой вентиляции практически равноценны по эффекту охлаждения.

Исполнения по способу монтажа. Формы исполнения по способу монтажа и их условные обозначения регламентируются Публикацией МЭК 34-7. Обозначение формы исполнения по способу монтажа состоит из букв IM – начальные буквы английских слов International, Mounting (международное обозначение исполнений по способу монтажа) и следующих за ними цифр. Первая цифра обозначает группу конструктивного исполнения, например цифра 1 – машину на лапах с одним или двумя подшипниковыми щитами; 2 – то же, с фланцем на подшипниковом щите (или щитах); 3 – машину без лап с одним или двумя подшипниковыми щитами, с фланцем на одном подшипниковом щите и т.д.

Вторая и третья цифры обозначают способ монтажа, например при группе конструктивного исполнения 1 цифры 00 – машину с горизонтально направленным концом вала и креплением к фундаменту лапами, 01 – с вертикально направленным концом вала вниз и креплением к стене лапами; при группе 3 цифры 01 соответствуют вертикально направленному концу вала вниз и креплению к фундаменту фланцем и т.д. Четвертая цифра обозначает исполнение вала, например цифра 1 – машину с одним цилиндрическим концом вала; 2 – то же, с двумя цилиндрическими концами вала и т.д.

Наиболее распространенными исполнениями по способу монтажа являются IM1001 – машина с двумя подшипниковыми щитами на лапах, с одним горизонтально направленным цилиндрическим концом вала; IM1011 – то же, с вертикально направленным вниз одним цилиндрическим концом вала; IM3011 – машина с двумя подшипниковыми щитами без лап, с фланцем на одном подшипниковом щите, с вертикально направленным вниз одним цилиндрическим концом вала.

Полный перечень условных обозначений для возможных конструктивных исполнений машин по способу монтажа приведен в стандарте 246.

Климатические условия работы. Конструкция и исполнение машин должны предусматривать способность противостоять в условиях

эксплуатации воздействию климатических факторов внешней среды. ГОСТ 15150 и 15543 регламентируют исполнение машин, категории их размещения, условия эксплуатации, хранения и транспортирования с учетом воздействия климатических факторов (температуры, влажности, пыли, солнечной радиации, интенсивности дождя и т.п.).

Каждому климатическому исполнению машин присвоено буквенное обозначение, например для районов с умеренным климатом – У, с холодным климатом – ХЛ и т.д.

Категория размещения машин имеет цифровое обозначение, например при наиболее благоприятных условиях, когда машина предназначена для установки в закрытых отапливаемых и вентилируемых производственных или других помещениях, категория размещения обозначается цифрой 4; категория размещения машины, предназначенной для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, обозначается цифрой 3.

Цифровое обозначение категории размещения следует за буквенным, характеризующим условия климата. Например, исполнение машины, предназначенной для районов с умеренным климатом при категории размещения 4, имеет условное буквенно-цифровое обозначение У4.

Установочные и присоединительные размеры. Высоты оси вращения h электрических машин с горизонтальной осью вращения, равные расстоянию от оси вращения до опорной плоскости машины, регламентированы ГОСТ 13267, который соответствует рекомендациям, публикациям МЭК 72, МЭК 72А и ИСО Р496.

К каждому значению h привязаны определенные установочные и присоединительные размеры, регламентированные ГОСТ 18709 для $h = 56 \div 400$ мм и ГОСТ 20839 для $h > 400$ мм. Эти стандарты соответствуют рекомендациям Публикаций МЭК 72, МЭК 72А и ИСО Р775. Стандартизированные значения h и связанные с ними установочно-присоединительные размеры (мм) приведены в табл. 1.6 для $h = 56 \div 400$ мм и в табл. 1.7 для $h > 400$ мм.

Таблица 1.6

Установочно-присоединительные размеры электрических машин

h	b_{10}	l_{10}	l_{31}	d_{10}	h	b_{10}	l_{10}	l_{31}	d_{10}
56	90	71	36	5,8	200	318	228 267	133	19
63	100	80	40	7	225	356	305	149	19
71	112	90	45	7			286 311		
80	125	100	50	10	250	406	356	168	24
90	140	100	56	10			311 349 406		
		125							
100	160	112 140	63	12	280	457	368 419 457	190	24
112	190	114 140 159	70	12	315	508	406 457 508	216	28
132	216	140 178 203	89	12	355	610	500 560 630	254	28
160	254	178 210 254	108	15	400	686	560 630 710	280	35
180	279	203 241 279	121	15			800 900		

h	b_{10}	l_{10}	d_{10}
450	710; 800; 900; 1000; 1120	355; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250;	35
500	800; 900; 1000; 1120; 1250;	400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250; 1400	42

Размер l_{31} (независимо от h) выбирают из следующего ряда: 0; 100; 200; 224; 250; 280; 315; 335; 355; 375; 400; 425; 450; 475; 500; 530; 560; 600; 630; 670; 710; 750; 800; 900; 1000 мм.

ГОСТ 18709 и 20839 регламентируют размеры выступающих цилиндрических концов валов.

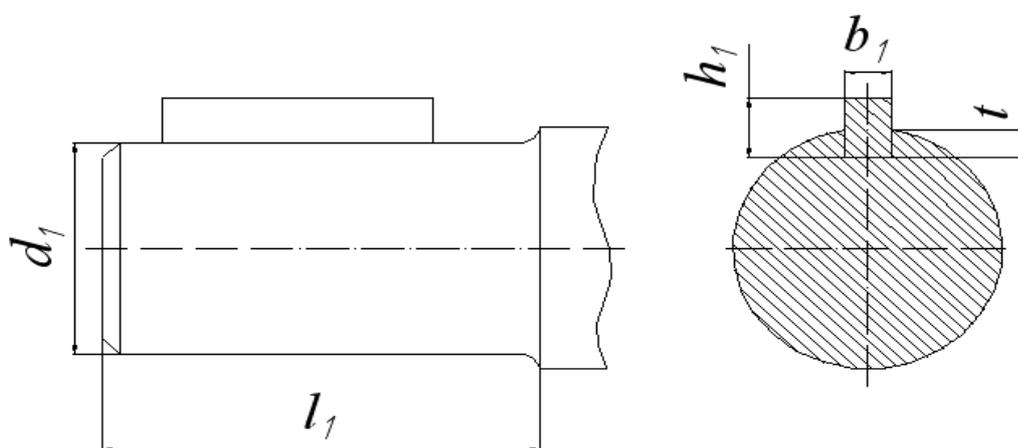


Рис. 1.8. Выступающий конец вала

Длина выступающего конца вала, размеры призматической шпонки и шпоночного паза, а также наибольший допустимый момент вращения M , связанные с диаметром выступающего цилиндрического конца вала, приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8

d_1	l_1	b_1	h_1	t	M ,	d_1	l_1	b_1	h_1	t	M ,
мм					Н·м	мм					Н·м
7	16	2	2	1,2	0,25	55	110	16	10	6	355
9	20	3	3	1,8	0,63	60	140	18	11	7	450
11	23	4	4	2,5	1,25	65	140	18	11	7	630
14	30	5	5	3	2,8	70	140	20	12	7,5	800
16	40	5	5	3	4,5	75	140	20	12	7,5	1000
18	40	6	6	3,5	7,1	80	170	22	14	9	1250
19	40	6	6	3,5	8,25	85	170	22	14	9	1600
22	50	6	6	3,5	14	90	170	25	14	9	1900
24	50	8	7	4	18	95	170	25	14	9	2360
28	60	8	7	4	31,5	100	210	28	16	10	2800
32	80	10	8	5	50	110	210	28	16	10	4000
38	80	10	8	5	90	120	210	32	18	11	5300
42	110	12	8	5	125	130	250	32	18	11	7400
48	110	14	9	5,5	200						

Примечания.

1. Наибольший допустимый момент вращения для $d_1 \leq 110$ мм указан по рекомендации МЭК для электродвигателей переменного тока при продолжительном режиме работы (S1).

2. Значения l_1 в таблице соответствуют длинным выступающим концам валов в перечисленных выше стандартах.

Предельные отклонения на установочные и присоединительные размеры регламентированы ГОСТ 13267 и 8592-79:

Высота h , мм свыше 50 до 250 свыше 250 до 650

Предельные

отклонения, мм

-0,5

-1,0

Допускаемые отклонения для размеров b_{10} и l_{10} составляют $0,3z$, где z – диаметральный зазор, определяемый как разность между номинальными диаметрами отверстия d_{10} и крепежной детали.

Пределы отклонения размеров l_{31} не должны превышать следующих значений:

Номинальный диаметр вала d_1 , мм

.... свыше	свыше	свыше	свыше	свыше
6 до 10	10 до 25	25 до 45	45 до 60	60 до 220

Предельные отклонения размера l_{31} , мм

.... $\pm 1,0$	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$	$\pm 3,0$	$\pm 4,0$
----------------	-----------	-----------	-----------	-----------

Предельные отклонения диаметров цилиндрических концов валов должны соответствовать следующим данным:

Номинальный диаметр вала d_1 , мм7 до 10

свыше	свыше	свыше	свыше	свыше
10 до 18	18 до 30	30 до 50	50 до 80	80 до 110

Предельные отклонения размера d_1 , мм

верхние ...					
..... $+0,007$	$+0,008$	$+0,009$	$+0,018$	$+0,030$	$+0,035$
нижние ...					
$-0,002$	$-0,003$	$-0,004$	$-0,020$	$-0,011$	$-0,013$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принцип работы коллекторного двигателя переменного тока.
2. Преимущества и недостатки коллекторного двигателя переменного тока.
3. Обозначения электрических машин, различные способы исполнения.
4. Типы коллекторных двигателей переменного тока.
5. Способы подключения коллекторного двигателя переменного тока.

2. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

2.1. ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Улучшение технико-экономических показателей проектируемых электрических машин в значительной степени определяется применением усовершенствованных материалов, в том числе электроизоляционных. Главные требования, предъявляемые к электроизоляционным материалам, – надлежащая нагревостойкость, электрическая и механическая прочность и как можно меньшая толщина.

Развитие электромашиностроения в течение последних десятилетий сопровождается повышением нагревостойкости используемых электроизоляционных материалов. Электрические машины с изоляцией класса нагревостойкости А в настоящее время практически не изготавливаются, а класс Е находит ограниченное применение в малых машинах. Конструкция электроизоляции современных электрических машин базируется главным образом на материалах классов нагревостойкости В и F. Специальные машины и машины, работающие в относительно тяжелых условиях (металлургия, шахты и т.п.), выполняются с электроизоляционными материалами класса нагревостойкости H.

По своему назначению электроизоляционные материалы подразделяют: на материалы, к которым в первую очередь предъявляют требования высокой электрической прочности, например материалы, изолирующие катушки обмоток; материалы, которые должны защищать основные электроизоляционные материалы от механических воздействий, например материалы для выкладки пазов. К таким материалам прежде всего предъявляют требования высокой механической прочности.

В зависимости от их структуры электроизоляционные материалы подразделяют на следующие основные группы:

а) неорганические волокнистые материалы, основа которых – стекловолокно или асбест. Стекловолокнистые материалы обладают большой механической прочностью на разрыв, малой гигроскопичностью и высокой нагревостойкостью, класс которой определяется пропитываю-

щими лаками. Недостатком стекловолоконистых материалов является их пониженная стойкость к изгибу и истиранию. Асбест используют в виде асбестовой бумаги, обладающей высокой нагревостойкостью, но имеющей низкую механическую прочность на разрыв;

б) слюдяные материалы, базирующиеся на щепаной или дробленой слюде, обладают высокими показателями по электрической и механической прочности, нагревостойкости, влагостойкости. Различают три основных вида слюдяных материалов – миканиты, слюдиниты и слюдопласты. Последние два вида материалов находят все большее распространение, вытесняя миканиты, для изготовления которых необходима дефицитная щепаная слюда;

в) пленочные и бумажные изоляционные материалы из синтетических смол, находящиеся в стадии развития и улучшения. Эти материалы обладают высокими нагревостойкостью, электрической и механической прочностью при малой толщине; они перспективны для применения в современных электрических машинах. Кроме указанных в табл. 2.1, к этой группе материалов относятся также фенилоновая бумага и синтофолы классов нагревостойкости F и H, осваиваемые в настоящее время отечественной промышленностью;

г) вспомогательные материалы, используемые для механического крепления обмоток или отдельных сборочных единиц электрических машин.

Таблица 2.1

Группа	Наименование материала	Класс нагревостойкости
Неорганические волоконистые материалы	Стеклолакоткань	B, F, H
	Лента стеклянная	B, F, H
	Лента нетканая стекловолоконистая	B, F
	Бумага асбестовая	B, F
Слюдяные материалы	Микалента	B, F, H
	Миканит прокладочный	B, F, H
	Миканит формовочный	B, F, H
	Миканит коллекторный	B, F, H
	Лента стеклослюдинитовая	B, F
	Слюдопластофолы	B
	Лакотканеслюдопласт	B, F, H

Группа	Наименование материала	Класс нагревостойкости
Синтетические пленки и бумаги	Пленка полиамидная	F, H
	Пленкосинтокартон	B, F, H
	Пленкостеклопласт «Изофлекс»	B
	Пленкостеклопласт «Имидофлекс»	F, H
Вспомогательные материалы	Стеклотекстолит	B, F, H
	Электронит	B, F
	Бумага телефонная	B
	Пластмасса К6	B
	Пластмасса АГ4С	F

2.2. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для обмоток электрических машин применяют в основном медные провода, изолированные стекловолокном или эмалью, а также неизолированные медные ленты и шины, дополнительно изолируемые при изготовлении обмоток.

Из проводов со стекловолокнистой изоляцией распространены круглые и прямоугольные провода марок ПСД и ПСДТ класса нагревостойкости F, ПСДК и ПСДКТ класса нагревостойкости H. Буква *T* в конце обозначения марки провода указывает на более тонкую изоляцию провода.

Из проводов с эмалевой изоляцией в основном используют круглые провода марки ПЭТВ и прямоугольные марки ПЭТВП; нагревостойкость изоляции этих проводов соответствует классу B. Для обмоток электрических машин с изоляцией класса нагревостойкости F применяют круглые провода ПЭТ-155 и прямоугольные ПЭТП-155, а при классе нагревостойкости H – круглые провода ПЭТ-200 и прямоугольные провода ПЭТП-200.

По сравнению с проводами, изолированными стекловолокном, эмалированные провода обладают рядом преимуществ – меньшей толщиной, большей теплопроводностью и влагостойкостью изоляции. Вместе с тем они имеют пониженную стойкость к тепловым ударам и

к действию растворителей. Несмотря на указанные недостатки, эмалированные провода постепенно вытесняют провода со стекловолоконной изоляцией.

Для выводов электрических машин при изоляции классов нагревостойкости В, F и H применяют в основном кабель РКГМ по ГОСТ 16036-79 ТУ16.К80-09-90; 1-91, обладающий гибкостью, так как его жила состоит из тонких медных проволок, а изоляция эластична.

Для литой беличьей клетки короткозамкнутых роторов используют алюминий А5 по ГОСТ 11069 или алюминиевый сплав АКМ 12-4 (в клетках роторов асинхронных двигателей с повышенным скольжением), для сварной – прямоугольные алюминиевые прессованные шины АДО по ГОСТ 15176-89.

Неизолированные медные провода (ленты и шины) применяют для обмоток возбуждения синхронных машин, обмоток добавочных полюсов и последовательных обмоток главных полюсов машин постоянного тока. Для демпферных обмоток синхронных машин используют медные круглые стержни.

Коллекторные пластины выполняют из холоднокатаной коллекторной меди по ГОСТ 3568 ТУ16.501.033-87 либо (у быстроходных машин) из кадмиевой коллекторной меди по ГОСТ 4134, которая обладает большей механической прочностью и меньшим износом на истирание.

2.3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СТАЛИ

Для листов сердечников электрических машин используют тонколистовую электротехническую сталь по ГОСТ 21427.0-83 – ГОСТ 21427.3-83. Указанные стандарты распространяются на горячекатаную и холоднокатаную сталь разных марок. Обозначение марок стали по ГОСТ 21427.0-83 состоит из четырех цифр, условно характеризующих основные свойства стали: первая – класс по структурному состоянию и виду прокатки (1 – горячекатаная изотропная*, 2 – холоднокатаная изотропная, 3 – холоднокатаная анизотропная с ребровой текстурой); вторая – содержание кремния (0 – нелегированная, 1 – с

содержанием кремния от 0,4 до 0,8% включительно, 2 – от 0,8 до 1,8% включительно, 3 – от 1,8 до 2,8% включительно, 4 – от 2,8 до 3,8% включительно, 5 – от 3,8 до 4,8% включительно); третья – по основной нормируемой характеристике (например, удельные потери при магнитной индукции 1,5 Тл и частоте 50 Гц, обозначаемые в стандарте $p_{1,5/50}$); четвертая – порядковый номер типа стали.

Раньше для сердечников, подвергающихся перемагничиванию (статор, ротор, якорь), применялась горячекатаная изотропная электротехническая сталь 1212 (Э12)**, 1312 (Э22) и 1412 (Э32) по ГОСТ 21427.3-83, поставляемая в виде листов стандартных размеров. За последние годы эта сталь вытесняется освоенной производством холоднокатаной изотропной электротехнической сталью по ГОСТ 21427.2-83, обладающей более высокой магнитной проницаемостью, пониженными удельными потерями при перемагничивании, малыми разнотолщинностью и разноплоскостью в сравнении с горячекатаной сталью. При толщине листов 0,5 мм коэффициент заполнения сердечников, собираемых из холоднокатаной стали, повышается до 0,97. Холоднокатаная сталь поставляется также в рулонах и резаных лентах, что позволяет внедрять на электромашиностроительных заводах автоматический процесс штамповки.

Согласно ГОСТ 21427.2-83 рулонную сталь изготавливают шириной 500, 530, 600, 670, 750, 860, и 1000 мм. При относительно небольшом выпуске проектируемых машин выбор наружных диаметров сердечников статора машин переменного тока и якоря машин постоянного тока следует ориентировать на рулонную сталь стандартной ширины, учитывая при этом минимально допустимые припуски на штамповку.

Резаную ленту изготавливают шириной 90, 95, 107, 123, 138, 140, 150, 156, 160, 170, 175, 187, 200, 215, 226, 233, 250, 260, 280, 300, 322, 325, 360, 400, 445 и 500 мм, однако по соглашению потребителя с изготовителем допускается изготавливать ленту другой ширины. Поэтому при больших количествах выпускаемых машин целесообразно ориентироваться на применение резаных лент шириной, необходимой для обеспечения оптимальных показателей проектируемых машин.

Листы изготавливают следующих размеров: 500×1500, 750×1500, 1000×2000 мм.

Чем больше мощность электрической машины, тем выше отношение потерь в стали к сумме потерь в машине. Чтобы это отношение не превышало определенного, установленного практикой предела (обычно около 0,25), для машин большей мощности следует применять сталь с меньшими удельными потерями. Рекомендуемые марки стали в зависимости от величины машин приведены в гл. 9, 10 и 11; в этих рекомендациях предусматриваются стали 2013, 2312 и 2411. Кроме указанных марок стали ГОСТ 21427.2-83 предусмотрены стали 2011, 2012, 2111, 2112, 2211, 2212, 2311, 2412.

Холоднокатаная изотропная сталь для стабилизации магнитных свойств требует после проката термической обработки (отжига), осуществляемой на металлургических заводах. Стандартом предусмотрена также поставка указанной стали с термостойким электроизоляционным покрытием. Исключением является сталь 2013, которая поставляется без термической обработки, так как из-за высокой пластичности в отоженном состоянии при штамповке образуются большие заусенцы. Поэтому отштампованные листы из стали 2013 должны подвергаться термообработке на электромашиностроительном заводе в специальных печах в защитной атмосфере, а затем оксидированию в атмосфере водяного пара или воздуха для получения на поверхности листов изоляционного слоя.

Для шихтованных сердечников полюсов, не подверженных периодическому перемагничиванию, используют холоднокатаную анизотропную сталь 3411 по ГОСТ 21427.1-83. Согласно этому стандарту рулонную сталь изготавливают шириной 750, 860 и 1000 мм, резаную ленту – шириной 170, 180, 190, 200, 240, 250, 300, 325, 360, 400, 465 и 500 мм, однако по соглашению потребителя с изготовителем допускается другая ширина. Листы предусмотрены следующих размеров: 750×1500, 860×1500, 1000×2000 мм.

2.4. ЩЕТКИ. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПОДШИПНИКОВЫЕ ЩИТЫ И ПОДШИПНИКИ. ВАЛ

В обеспечении надежной работы элементов скользящего контакта электрических машин большую роль играют параметры щеток. Различают три основные группы щеток: графитные, изготавливаемые из сажи, нефтяного и пекового кокса, графита (естественного); электрографитированные, изготавливаемые аналогично графитным, но с дополнительным процессом обжига при высокой температуре (электрографитирование); металлографитные, в которых металлический порошок (в основном медный) смешан с графитом.

У перечисленных групп щеток к основным материалам добавляются связующие, которые придают пластичность мелкозернистому сырьевому материалу, в результате чего его можно прессовать в виде пластин; затем пластины прокаливают без доступа воздуха до спекания. Отдельные группы щеток обладают разными физическими свойствами. В ГОСТ 2332-89 приведены характеристики разных марок щеток, а в ГОСТ 12232.1-89 – типы и размеры щеток.

Для контактных колец машин переменного тока используют в основном металлографитные, а для коллекторов машин постоянного тока – графитные и электрографитированные щетки. Рекомендуемые марки и размеры щеток указаны в приложении П 2.2.

Конструкционные материалы. Для литья станин машин переменного тока, подшипниковых щитов, нажимных шайб роторов и якорей, а также других деталей, к которым не предъявляется требование высокой механической прочности, применяют серый чугун СЧ 12-28 и СЧ 15-32 по ГОСТ 1412-85. При повышенном требовании к механической прочности литых деталей может использоваться ковкий чугун КЧ 37-12 по ГОСТ 1215 или сталь 25Л и 35Л по ГОСТ 977-88.

Для изготовления валов и втулок применяют в основном прокатанную сталь 45 круглого поперечного сечения (ГОСТ 1050-88). Тонколистовой прокат (ГОСТ 16523-97) используют для защитных кожухов наружных вентиляторов, жалюзи, распорок между пакетами сердечни-

ков и нажимными шайбами ротора и якоря, деталей вентиляторов, направляющих воздух щитков и др. Толстолистовой прокат по ГОСТ 1577-93 применяют для изготовления станин машин постоянного тока, толстолистовой прокат по ГОСТ 14637-89 – для станин и подшипниковых щитов машин переменного тока в сварном исполнении. Для станин машин постоянного тока с $h \leq 200$ мм применяют также цельнотянутые сварные трубы. Стальные поковки используют для коллекторных нажимных конусов и контактных колец фазных роторов.

Для подшипниковых щитов, подшипниковых крышек и станин асинхронных двигателей для уменьшения массы машин небольшой мощности используют алюминиевые сплавы Ал2 и Ал9 по ГОСТ 1583; при этом может быть осуществлен прогрессивный метод литья под давлением, значительно сокращающий затраты времени на механическую обработку указанных деталей.

Подшипниковые щиты и подшипники. Подшипниковые щиты изготавливают либо чугунами литыми, либо сварными из стального проката. Для малых машин применяют щиты, изготавливаемые литьем под давлением из алюминиевых сплавов. Для обеспечения минимальной деформации при закреплении щитов в приспособлениях металлообрабатывающих станков, а также уменьшения перекоса подшипников при сборке машин аксиальные размеры проектируемых щитов целесообразно сокращать, стремясь приблизить их форму к диску.

В защищенных машинах с исполнением по защите IP23 подшипниковые щиты при радиальной системе вентиляции одинаковые с обеих сторон машины; при аксиальной системе вентиляции щиты обычно не унифицируют из-за наличия с одной стороны машины внутреннего вентилятора. При радиальной вентиляции в торцовой части подшипниковых щитов располагают отверстия для входа охлаждающего воздуха; при аксиальной – отверстия для входа и выхода воздуха устраивают в нижней части щитов. Вентиляционные отверстия закрывают жалюзи.

При радиальной вентиляции для повышения ее эффективности на внутренней части подшипниковых щитов крепят направляющие воз-

дух щитки, выполняемые из листовой стали в виде воронок. Щитки располагают на расстоянии 5-7 мм от торцов лопаток ротора в аксиальном направлении.

Подшипниковые щиты закрытых машин с исполнением по защите IP44 и со способами охлаждения IC0141 и IC0041 – глухие. При выполнении таких щитов из алюминиевых сплавов у них предусматривают оребренные торцы, увеличивающие поверхность охлаждения машины. Щиты имеют цилиндрическую круговую заточку (замок) для посадки на заточку станины при сборке машины. Для крепления к станине в щитах имеются ушки с отверстиями для болтов.

В центральной части щитов предусматривается втулка со сквозной проточкой для посадки подшипников качения, которые практически полностью вытеснили в машинах мощностью до 1000 кВт подшипники скольжения. Основными преимуществами подшипников качения являются упрощение обслуживания в эксплуатации, компактность и уменьшенные размеры подшипникового узла, малые потери на трение, незначительный износ, обеспечивающий постоянство воздушного зазора.

Наружные кольца подшипников крепят по торцам подшипниковыми крышками, фиксирующими расположение подшипников в аксиальном направлении. Внутреннее кольцо подшипника насаживается на вал с плотной насадкой, а наружное входит во втулку подшипникового щита подвижно таким образом, что при разборке машины подшипники остаются на валу. Этим самым облегчается как сборка, так и разборка машины.

В малых машинах с $h \leq 160 \div 200$ мм оба подшипника шариковые радиальные однорядные по ГОСТ 8338; при этом с одной стороны машины между подшипниковой крышкой и подшипником оставляют зазор, который обеспечивает возможность аксиального перемещения вала, компенсирующего неточности осевых размеров при сборке машины. Для компенсации указанных отклонений могут также применяться пружинящие стальные гофрированные шайбы с обеих сторон машины.

В больших машинах со стороны выступающего конца вала располагают роликовый подшипник радиальный с короткими цилиндрическими роликами по ГОСТ 8328; при этом отпадает надобность в зазоре или в пружинящих шайбах, так как роликовый подшипник обеспечивает возможность аксиального перемещения вала.

Радиальные подшипники могут воспринимать как радиальную, так и осевую нагрузку, не превышающую 70% неиспользованной радиальной нагрузки. При соблюдении этого условия машины с шарикоподшипниками могут работать как с горизонтальным, так и с вертикальным расположением вала.

В машинах, предназначенных для тяжелых режимов работы, например в используемых во вспомогательных устройствах металлургической промышленности двигателях постоянного тока с $h \geq 355$ мм, применяют сдвоенные радиально-упорные шариковые подшипники по ГОСТ 832, которые воспринимают на себя нагрузку от силы тяжести якоря и осевую составляющую нагрузки от передачи момента.

Для подшипников качения используют консистентную мазеобразную смазку, которой заполняют около 2/3 смазочной камеры; заполнение смазкой всего объема камеры ведет к повышению нагрева подшипников. Для консистентной смазки достаточны несложные уплотнения в виде прямоугольных кольцевых канавок, протачиваемых в подшипниковых крышках; канавки при сборке машины также заполняют консистентной смазкой.

В подшипниковых щитах может быть предусмотрено устройство для пополнения и частичной замены консистентной смазки. При этом свежая смазка подается специальным приспособлением под давлением в пространство за внутренней подшипниковой крышкой, вытесняя отработанную смазку через наружную крышку подшипникового узла.

Смена и пополнение смазки не требуется, когда в машинах применяют шариковые радиальные однорядные подшипники закрытого типа с двусторонним уплотнением, не выходящим за габариты подшипников, и с заложеной на весь срок службы консистентной смазки по ГОСТ 8882. При установке таких подшипников отверстие под

их посадку во втулке подшипникового щита делают не сквозным, а глухим, т.е. совмещают подшипниковую крышку со щитом.

У машин, крепление которых осуществляется фланцем (с лапами и без лап), подшипниковый щит отливается совместно с фланцем. Размеры фланцев должны соответствовать ГОСТ 18709 и 20839.

2.4.1. РАСЧЕТ ПОДШИПНИКОВ

Расчет подшипников качения. При расчете подшипников качения определяют их типоразмеры, которые обеспечивают необходимый срок службы при заданных нагрузке и частоте вращения. Условные обозначения и размеры подшипников, а также другие их параметры приведены в приложении.

Наибольшая радиальная нагрузка (Н) на подшипник А:

$$R_A = (G'_2 + T_0)b/l + F_{II} c/l; \quad (2.1)$$

на подшипник В:

$$R_B = (G'_2 + T_0)a/l + F_{II} (l + c)/l. \quad (2.2)$$

Динамическая приведенная нагрузка (Н)

для шарикоподшипника однорядного радиального:

$$Q = k_6 R \text{ при } A/R \leq e; \quad (2.3)$$

$$Q = k_6 (0,56R + YA) \text{ при } A/R > e; \quad (2.4)$$

роликподшипника радиального с короткими цилиндрическими роликами по (2.3);

шарикоподшипника радиально-упорного сдвоенного:

$$Q = k_6 (R + 0,92A) \text{ при } A/R \leq 0,68; \quad (2.5)$$

$$Q = k_6 (0,67R + 1,41A) \text{ при } A/R > 0,68. \quad (2.6)$$

Здесь k_6 – коэффициент, учитывающий характер нагрузки машины; при режиме работы с умеренными толчками и кратковременной перегрузкой до 150% от номинальной нагрузки $k_6 = 1,5$; A – аксиаль-

ная нагрузка, H ; Y – коэффициент приведения аксиальной нагрузки к радиальной.

Значения e и Y однорядных радиальных подшипников в зависимости от A/C_0 [где C_0 – статическая грузоподъемность (Н) предварительно принятого типа подшипника] определяют по следующим данным:

A/C	0,014	0,028	0,056	0,084	0,11	0,17	0,28	0,42	0,56
e	0,19	0,22	0,26	0,28	0,30	0,34	0,38	0,42	0,44
Y	2,30	1,99	1,71	1,55	1,45	1,31	1,15	1,04	1,00

Для промежуточных значений A/C_0 применяют линейную интерполяцию. При $A/C_0 < 0,19$ приведенная нагрузка $Q = R$. При отсутствии аксиальной нагрузки и горизонтальном расположении вала осевое магнитное притяжение в расчете не учитывается, а при вертикальном расположении вала

$$A = 1,15G'_2 + F_c + 0,1R. \quad (2.7)$$

Необходимая динамическая грузоподъемность (Н):

– шарикоподшипника:

$$C = (Q/25,6)^3 \sqrt{Ln}; \quad (2.8)$$

– роликоподшипника:

$$C = (Q/18,5)(Ln)^{0,3}, \quad (2.9)$$

где L – расчетный срок службы подшипника, ч (обычно принимают 12 000 ч); n – наибольшая рабочая частота вращения машины, об/мин.

Из приложения выбирают подшипник соответствующей серии, у которого внутренний диаметр равен диаметру шейки вала, а динамическая грузоподъемность – не менее вычисленного значения.

Пример расчета подшипников качения. Подшипники рассчитывают по данным, указанным в примере расчета.

При этом принимаем нагрузку с умеренными толчками ($k_6 = 1,5$);

подшипник со стороны A – шариковый; со стороны B – роликовый; аксиальная нагрузка отсутствует; расчетный срок службы подшипников – 12 000 ч; наибольшая частота вращения – 1500 об/мин.

Параметр	Источник	Расчет параметров
$R_A, \text{Н}$	(2.1)	$(1752 + 1692) \frac{330}{700} + 2053 \frac{120}{700} = 1975$
$Q_A, \text{Н}$	(2.3)	$1,5 \cdot 1975 = 2962$
$C, \text{Н}$	(2.8)	$\frac{2962}{25,6} \sqrt[3]{12\,000 \cdot 1500} = 30\,300$
$R_B, \text{Н}$	(2.2)	$(1752 + 1692) \frac{370}{700} + 2053 \frac{700 + 120}{700} = 4220$
$Q_B, \text{Н}$	(2.3)	$1,5 \cdot 4220 = 6330$
$C, \text{Н}$	(2.9)	$\frac{6330}{18,5} (12\,000 \cdot 1500)^{0,3} = 51\,620$

Из приложения для стороны A выбираем шарикоподшипник №215 легкой серии со значением $C = 51\,000$ (с запасом надежности), для стороны B – роликоподшипник №2215 легкой узкой серии со значением $C = 76\,500$ (с запасом надежности).

Вал. Вал электрической машины служит либо для передачи вращающего момента электродвигателя к приводимому механизму, либо для передачи вращающего момента генератору от соединенного с ним первичного двигателя. Вал несет на себе массу вращающейся части машины и нагружен моментом вращения и изгибающим моментом передачи. Кроме того, вал испытывает воздействие одностороннего магнитного притяжения, возникающего при неравномерном воздушном зазоре.

Основные требования, предъявляемые к валу: жесткость в средней части, несущей сердечник ротора или якоря, с тем чтобы при работе машины прогиб вала не достигал недопустимых значений; прочность во всех его поперечных сечениях достаточная для того, чтобы

выдерживать без остаточных деформаций все нагрузки, возникающие при эксплуатации машины; превышение первой критической частоты вращения над рабочей не менее чем на 30%.

Соответствие вала проектируемой машины указанным требованиям проверяется механическим расчетом после построения продольного разреза машины.

Размеры вала определяют при разработке конструкции машины, начиная с диаметра d_1 и длины выступающего цилиндрического конца вала l_1 , которые принимают в зависимости от момента вращения при номинальном режиме работы машины согласно табл. 1.3 (все размеры в мм). Номинальный момент вращения (Н·м)

двигателя:

$$M_2 = 9,55 P_2 / n;$$

генератора:

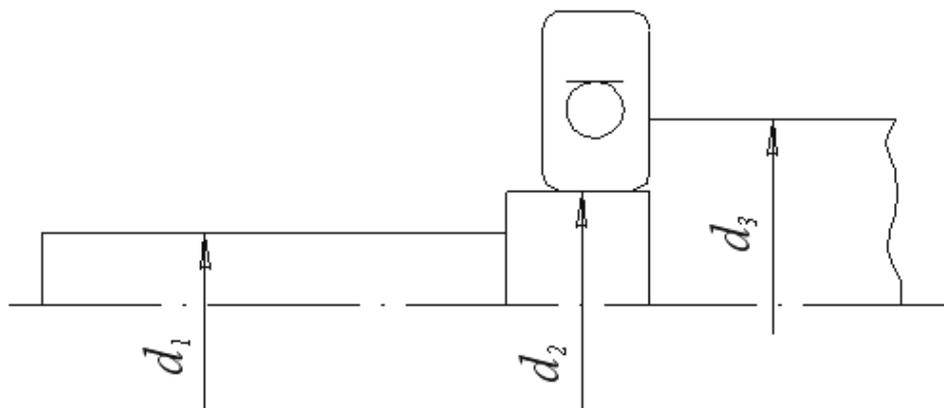
$$M_2 = 9,55 \eta P_2 / n,$$

где P_2 – номинальная мощность, Вт; n – номинальная частота вращения, об/мин.

Для машин постоянного тока с $h \geq 355$ мм, работающих главным образом в относительно тяжелых условиях с большими перегрузками, применяют валы с конусной формой выступающего конца вала и размерами в соответствии с ГОСТ 12081.

Диаметр вала под подшипник d_2 и диаметр вала за подшипником d_3 принимают в зависимости от выбранного наружного диаметра выступающего конца вала d_1 согласно данным табл. 2.2.

Таблица 2.2



d_1	d_2	d_3	d_1	d_2	d_3	d_1	d_2	d_3
7	8	12	32	35	44	75	80	92
9	10	15	38	40	49	80	85	99
11	12	17	42	45	54	85	90	104
14	15	20	48	50	60	90	95	109
16	17	22	55	60	72	95	100	114
19	20	26	60	65	77	100	105	119
24	25	32	65	70	82	110	120	134
28	30	37	70	75	87	120	138	148

Валы диаметром в средней части до 100 мм изготавливают преимущественно из прокатанных цилиндрических прутков стали 45, но могут использоваться и другие марки; такие валы проектируют с минимальными возможными переходами от одной ступени к другой, чтобы уменьшить трудоемкость механической обработки и количество отходов. Для изготовления валов с большим диаметром применяют заготовки также из стали 45, получаемые методомковки или прессовки.

На выступающем конце вала фрезеруют шпоночную канавку. Шпоночные канавки фрезеруют также и на других участках вала – в месте расположения сердечника, вентилятора и коллектора (у машин постоянного тока). Для унификации на перечисленных участках вала целесообразно применять шпоночные канавки таких же размеров, как на выступающем конце вала. У асинхронных двигателей с фазным ротором и у синхронных машин в валу просверливают центральное отверстие для размещения кабелей или шин, соединяющих обмотку с контактными кольцами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Виды электроизоляционных материалов.
2. Выбор проводов для обмоток электрических машин.
3. Электротехнические стали, применяемые в производстве электрических машин.
4. Типы и размеры щеток.
5. Материалы, применяемые для щеток электрических машин.
6. Выбор подшипников.

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЛЛЕКТОРНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Задание на проектирование:

Для проектирования и расчета маломощного коллекторного двигателя переменного тока необходимы следующие данные:

- номинальная полезная мощность $P_{2н}$, Вт;
- номинальное напряжение сети U_n , В;
- номинальная частота сети f_1 , Гц;
- номинальная частота вращения n_n , об/мин;
- режимы работы (1, 2, 3);
- исполнение по способу монтажа (1М-1, 2, 3, 4 и др.);
- исполнение по способу защиты (1Р-00, 01, 10 и др.);
- исполнение по способу охлаждения (1С-01, 0141 и др.).

Проектирование включает в себя следующие разделы:

1. Определение расчетной мощности электродвигателя.
2. Определение главных размеров электродвигателя.
3. Обмоточные данные якоря.
4. Расчет зубцово-пазовой зоны якоря.
5. Расчет магнитной цепи электродвигателя.
6. Расчет обмоточных данных обмотки возбуждения.
7. Расчет коллекторно-щеточного узла.
8. Проверка коммутации.
9. Рабочие характеристики.

3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ МОЩНОСТИ, ТОКА И ЭДС ЯКОРЯ ПРИ НАГРУЗКЕ

Если предварительно задаться отношением потерь мощности в обмотках и коллекторно-щеточном узле к суммарным потерям в электродвигателе, то расчетную мощность можно определить по следующей формуле, Вт:

$$P_{\text{э}} = \frac{(1 - P_{\text{миц}}) + \eta'_n \cdot P_{\text{миц}}}{\eta_n} \cdot P_{2н}, \quad (3.1)$$

где $P_{2н}$ – номинальная полезная мощность по заданию;

$$P_{\text{миц}} = \frac{P_{1м} + P_{2м} + P_{кщ}}{\sum P} \quad \text{– для потерь в обмотках якоря, возбуждения и коллекторно-щеточном узле от суммарных потерь в двигателе;}$$

$P_{1м}; P_{2м}$ – потери в обмотках якоря и возбуждения;

$\sum P$ – суммарные потери в электродвигателе;

$P_{кщ}$ – потери в коллекторно-щеточном узле.

Можно рекомендовать принять:

$P_{\text{миц}} = 0,35 \dots 0,55$ – для двигателя с продолжительным режимом работы;

$P_{\text{миц}} = 0,4 \dots 0,65$ – для двигателя с кратковременным режимом работы.

η'_n – предварительное значение КПД машины в номинальном режиме, он выбирается в первом приближении по кривой на рис. 2.1.

Ток якоря при нагрузке, А:

$$I_a = \frac{P}{\eta \cdot U} \quad (3.2)$$

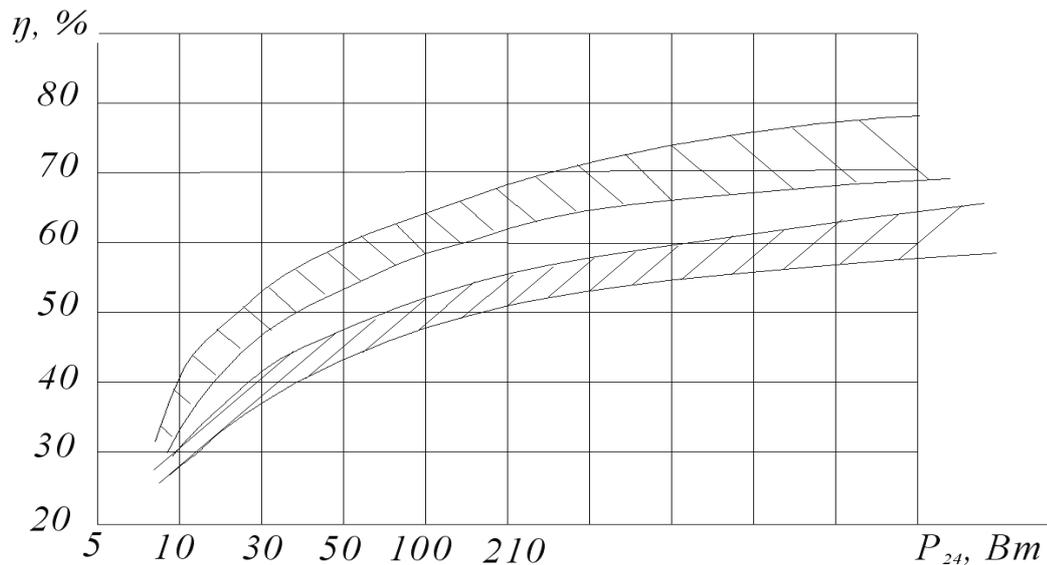


Рис. 3.1. Зависимость коэффициента полезного действия η от полезной

мощности $P_{2н}$ для маломощных машин:

1 – при длительном режиме работы;

2 – при кратковременном режиме работы до 5 мин

ЭДС электродвигателя, В:

$$E = \frac{P_{\text{э}}}{I_a} = \frac{1 + 2 \cdot \eta}{3}, \quad (3.3)$$

где η берется из графика на рис. 3.1;

P и U – исходные данные;

$P_{\text{э}}$ – расчетная мощность из формулы 3.1.

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Машинная постоянная (C) определяется диаметром якоря машины D_a , расчетную длину его (l_0) выбирают в зависимости от расчетной мощности $P_{\text{э}}$, частоты вращения (n), индукции в воздушном зазоре (B_{δ}) и линейной нагрузки якоря (A), т.е.

$$C = \frac{6 \cdot 10^8}{\alpha \cdot B_{\delta} \cdot A} = \frac{D_a^2 \cdot l_0 \cdot n}{P_{\text{э}}}. \quad (3.4)$$

Рекомендуемое соотношение:

$$\xi = \frac{l_0}{D_a} = 0.4 \dots 1.6.$$

3.2.1. ДИАМЕТР И РАСЧЕТНАЯ ДЛИНА ЯКОРЯ

$$D_a = 3 \sqrt{\frac{C \cdot P_{\text{э}}}{\xi \cdot n}}. \quad (3.5)$$

$$l_0 = \zeta \cdot D_a, \quad (3.6)$$

где $\xi = 1.0$.

Длина якоря в маломощных электродвигателях может быть равна расчетной длине, так как в сердечнике якоря отсутствуют вентилярующие каналы.

Окружная частота вращения якоря, (м/сек):

$$v_a = \frac{\pi \cdot D_a \cdot n}{60} \cdot 10^{-2}. \quad (3.7)$$

3.2.2. ПОЛЮСНЫЙ ШАГ И РАСЧЕТНАЯ ПОЛЮСНАЯ ДУГА

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_a}{2 \cdot p}. \quad (3.8)$$

$$\tau = \alpha \cdot \tau$$

$$\alpha = 0.6 \dots 0.7;$$

$$b = (1.02 \dots 1.03) b_0. \quad (3.9)$$

3.2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ НОМИНАЛЬНОГО ТОКА ЯКОРЯ

Величина тока якоря (он же является током возбуждения) предварительно принимается за номинальный, определяется по формуле

$$I'_{2H} = \frac{P_H}{\eta'_H \cdot \cos' \varphi_H \cdot U_H}, \quad (3.10)$$

где η'_H берется из рис 3.1.

$\cos' \varphi_H$ – предварительное значение коэффициента мощности.

Выбирается по кривым (рис. 3.2) в зависимости от отношения $\frac{f_1}{f_{2H}}$.

Здесь f_{2H} – частота перемагничивания якоря в номинальном режиме:

$$f_{2H} = \frac{p \cdot n}{60}.$$

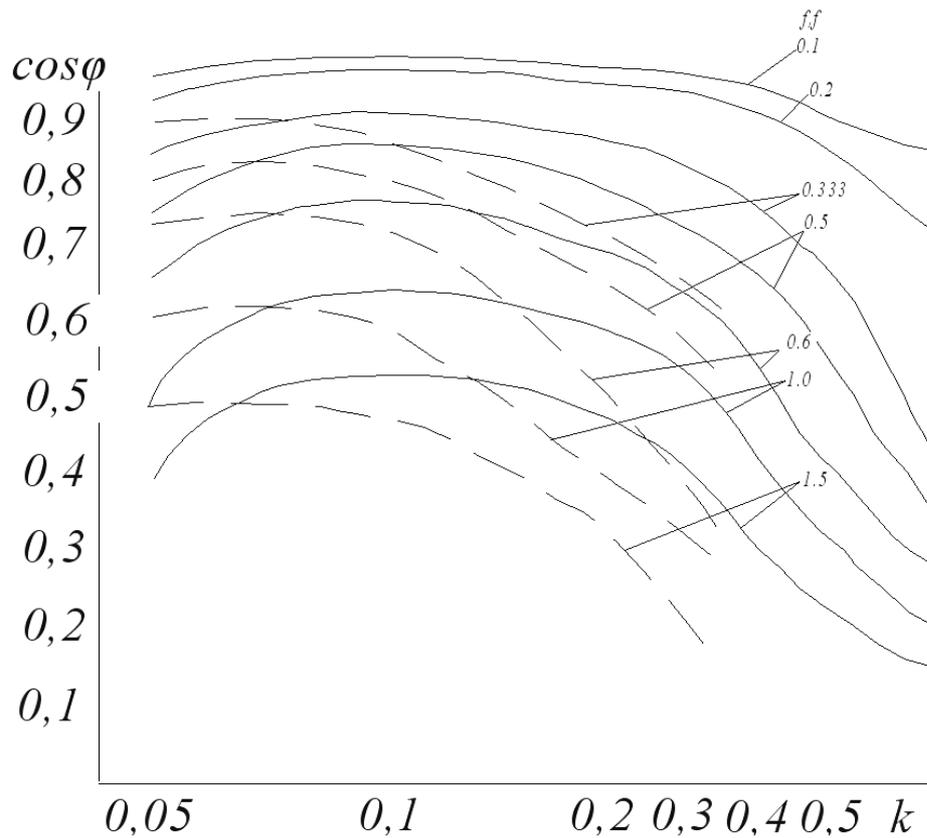


Рис. 3.2. Кривые $\cos \varphi = f(K)$

коллекторного электродвигателя переменного тока

Сплошная линия – для $2p=2$, штриховая – для $2p=4$.

$$f_{2H} = \frac{\omega_H \cdot P}{2\pi},$$

где, в свою очередь, ω_H – номинальная частота вращения якоря по заданию;

P – число пар полюсов машины.

Коллекторные электродвигатели переменного тока мощностью до 150...250 Вт обычно выполняются двухполюсными, т.е. $p=1$, а при больших мощностях – четырехполюсными, т.е. $p=2$.

Коэффициент мощности, как показано на рис. 3.2, имеет оптимальное значение при коэффициенте трансформации между обмоткой возбуждения и якоря:

$$k=0,1 \dots 0,25 \text{ – для } p=1;$$

$$k=0,05 \dots 0,1 \text{ – для } p=2;$$

U_H – номинальное напряжение сети переменного тока по заданию.

3.2.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ НОМИНАЛЬНОЙ ЭДС ВРАЩЕНИЯ ЯКОРЯ

Величина ЭДС якоря, предварительно принимается за номинальную и определяется по формуле:

$$E'_{2H} = \frac{P_{\text{э}}}{I'_{2H}}, \quad (3.11)$$

где $P_{\text{э}}$ – берется из позиции 3.1;

I'_{2H} – берется из позиции 3.10.

3.2.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАРУЖНОГО ДИАМЕТРА ЯКОРЯ

Если предварительно задаться величинами электромагнитных нагрузок, относительной длиной активной части якоря и расчетными коэффициентами полюсного перекрытия, то наружный диаметр якоря определяется по формуле

$$D_2 = 3 \sqrt{\frac{2\sqrt{2} \cdot P_{\text{э}}}{\pi \cdot \lambda' \cdot \alpha'_p \cdot A'_{2H} \cdot B'_{\delta H} \cdot \omega_H}}, \quad (3.12)$$

где $P_{\text{э}}$ – берется из позиции 3.1;

λ' – предварительное значение длины активной части. Обычно λ' оказывается в пределах 0,4...1,6. В качестве первого приближения можно рекомендовать среднее значение из этого предела;

α'_p – предварительное значение расчетного коэффициента полюсного перекрытия. Обычно α'_p находится в пределах 0,6...0,7. Можно рекомендовать среднее значение из этого диапазона;

A'_{2H} – предварительное значение линейной нагрузки якоря выбирается по кривым (рис. 3.3) в зависимости от номинального момента;

$B'_{\delta H}$ – предварительное значение амплитуды магнитной индукции в воздушном зазоре. Выбирается аналогично по кривым (рис. 3.3) в зависимости от номинального момента.

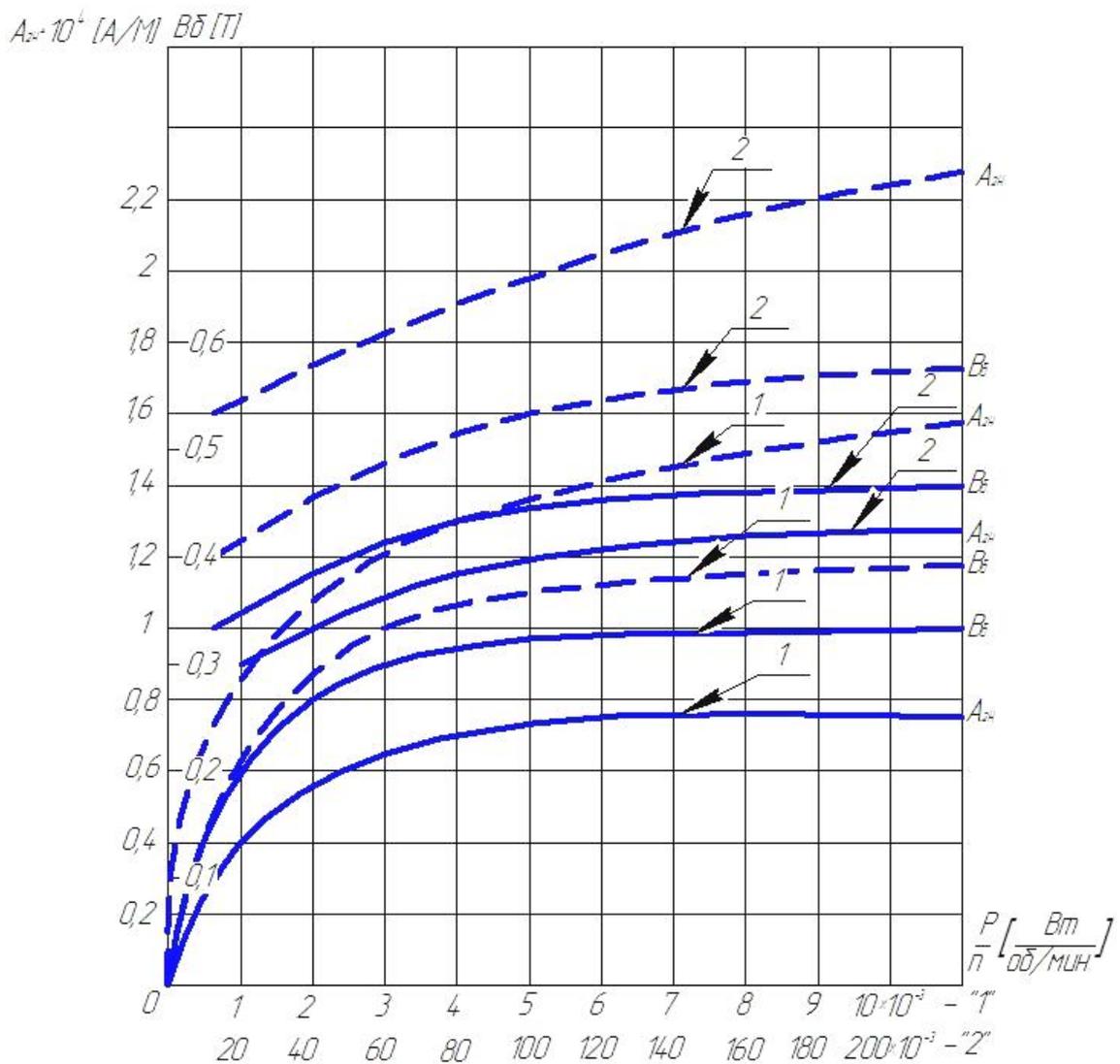


Рис. 3.3. Кривые индукции в воздушном зазоре и линейная нагрузка якоря машины переменного тока малой мощности:
 ——— — продолжительный режим работы, - - - - кратковременный режим работы

3.2.6. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ АКТИВНОЙ ДЛИНЫ ЯКОРЯ

Предварительное значение активной длины якоря определяется по формуле

$$l'_\delta = \lambda' \cdot D_2, \quad (3.13)$$

где λ' и D_2 берутся из позиции 3.12.

3.2.7. ПОЛЮСНОЕ ДЕЛЕНИЕ

$$\tau_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{2P}, \quad (3.14)$$

где D_2 берется из позиции 3.12;

P – из позиции 3.2.

3.2.8. ВОЗДУШНЫЙ ЗАЗОР ПОД ПОЛЮСОМ

В таких машинах зазор равномерный, его величина выбирается из условия устранения опрокидывания поля под полюсом из-за действия реакции якоря:

$$\delta \geq \frac{\mu_0 \cdot \alpha'_p \cdot \tau_2 \cdot A'_{2H}}{\eta \cdot B'_{\delta H}}, \quad (3.15)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м – магнитная постоянная;

α'_p , A'_{2H} , $B'_{\delta H}$ берутся из позиции 3.12;

τ_2 – из позиции 3.14.

3.2.9. РАСЧЕТНАЯ ШИРИНА ПОЛЮСНОГО НАКОНЕЧНИКА

$$b_\delta = \alpha'_p \cdot \tau_2, \quad (3.16)$$

где α'_p берется из позиции 3.12;

τ_2 – из позиции 3.14.

3.2.10. ДЕЙСТВИТЕЛЬНАЯ ШИРИНА ПОЛЮСНОГО НАКОНЕЧНИКА

$$b_p = b_\delta - 2 \cdot \delta, \quad (3.17)$$

где b_δ берется из позиции 3.16;

δ – из позиции 3.15.

3.3. РАСЧЕТ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

В рассматриваемых машинах обычно применяют простую петлевою обмотку якоря при двухполюсном исполнении и простую волновую обмотку при четырехполюсном исполнении. В обоих случаях обмотка имеет две параллельные ветви, т.е. $2a=2$. Здесь a – число параллельных ветвей.

3.3.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОТОКА ПОЛЮСА ДЛЯ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА

Определяется по формуле

$$\Phi'_{\delta H} = B'_{\delta H} \cdot b_\delta \cdot l_\delta, \quad (3.18)$$

где $B'_{\delta H}$ берется из позиции 3.12;

b_δ – из позиции 3.16;

l_δ – из позиции 3.13.

3.3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЧИСЛА ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОВОДНИКОВ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Определяется по формуле

$$N'_2 = \frac{2\sqrt{2} \cdot \pi \cdot a \cdot E'_{2H}}{P \cdot \omega_H \cdot \Phi'_{\delta H}}, \quad (3.19)$$

где a – число параллельных ветвей обмотки;

E'_{2H} берется из позиции 3.3,

P – из позиции 3.2;

ω_H дается в техническом задании;

$\Phi'_{\delta H}$ берется из позиции 3.18.

Полученное значение N_2' следует округлить до ближайшего четного числа N_2 .

3.3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ПАЗОВ ЯКОРЯ

Определяется по формуле

$$Z_2 = \left(\frac{\pi \cdot D_2}{t_{2 \max}} \dots \frac{\pi \cdot D_2}{t_{2 \min}} \right), \quad (3.20)$$

где D_2 берется из позиции 3.12;

$t_{2 \max}$, $t_{2 \min}$ – максимальная и минимальная допустимые величины зубцового деления якоря.

Можно рекомендовать:

$$t_{2 \max} = (10 \dots 13) \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$t_{2 \min} = (5 \dots 9) \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Для уменьшения пульсации магнитного поля из полученного диапазона число пазов якоря выбирается равным четному числу.

3.3.4. ЧИСЛО КОЛЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИН

В маломощных машинах число коллекторных пластин принимается:

$$K = (1 \dots 3) \cdot Z. \quad (3.21)$$

При этом обычно $K = 2Z$ при $2p = 2$,

$K = Z$ или $K = 3Z$ при $2p = 4$.

Если при $2p = 4$, то принимается простая волновая обмотка якоря, которая выполняется симметричной только при нечетном числе коллекторных пластин.

Число коллекторных пластин можно определить по формуле

$$K = U_n \cdot Z_2, \quad (3.22)$$

где U_n – число секционных сторон обмотки (число элементарных пазов в одном реальном). Обычно $U_n = 2$ или 3;

Z_2 берется по позиции 3.20.

Правильность принятого числа коллекторных пластин проверяется по условию ограничения трансформаторной ЭДС секции обмотки якоря.

Находим

$$K_{\min} = \pi \cdot \left(\frac{f_1}{f_{2H}} \right) \cdot \frac{E_{2H}}{l_{t\partial}}, \quad (3.23)$$

где K_{\min} – минимальное число коллекторных пластин;

f_1 берется из технического задания;

f_{2H} – из позиции 3.20;

E_{2H} – из позиции 3.11;

$l_{t\partial} = (6...8) \cdot B$ – допустимая величина трансформаторной ЭДС.

Если $K > K_{\min}$ – расчет можно продолжить. Если $K < K_{\min}$, то необходимо увеличить и повторить расчет.

3.3.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ВИТКОВ В СЕКЦИИ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Предварительное число витков в секции обмотки якоря:

$$W'_{c2} = \frac{N'_2}{2K}, \quad (3.24)$$

где N'_2 берется из позиции 3.19;

K – из позиции 3.21.

Полученное значение W'_{c2} округляется до ближайшего целого числа W_{c2} . Тогда уточненное число эффективных проводников обмотки якоря

$$N_2 = 2 \cdot W_{c2} \cdot K. \quad (3.25)$$

3.3.6. УТОЧНЕННАЯ ЛИНЕЙНАЯ НАГРУЗКА ЯКОРЯ

$$A_{2H} = A'_{2H} \cdot \frac{N_2}{N'_2}, \text{ А/м}, \quad (3.26)$$

где A'_{2H} берется из позиции 3.12;

N'_2 – из позиции 3.19;

N_2 – из позиции 3.25.

3.3.7. УТОЧНЕННАЯ АКТИВНАЯ ДЛИНА ЯКОРЯ

$$l_{\delta} = l'_{\delta} \cdot \frac{A'_{2H}}{A_{2H}}, \text{ м,} \quad (3.27)$$

где l'_{δ} – из позиции 3.13;

A'_{2H} – из позиции 3.12;

A_{2H} – из позиции 3.26.

3.3.8. УТОЧНЕННАЯ ВЕЛИЧИНА МАГНИТНОГО ПОТОКА

$$\Phi_{\delta H} = \Phi'_{\delta H} \cdot \frac{l_{\delta}}{l'_{\delta}}, \quad (3.28)$$

где $\Phi'_{\delta H}$ – из позиции 3.18;

l_{δ} – из позиции 3.27;

l'_{δ} – из позиции 3.13.

Следует отметить, что при принятой в пунктах 3.3.6...3.3.8 корректировке сохраняется неизменной расчетная мощность машины, определённая в пункте 3.1.

3.3.9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОВОДНИКОВ В ПАЗУ ЯКОРЯ

$$N_{nz} = \frac{N_2}{Z_2}, \quad (3.29)$$

где N_2 – из позиции 3.25;

Z_2 – из позиции 3.20.

3.3.10. ШАГИ ОБМОТКИ ЯКОРЯ ПО СЕКЦИЯМ И КОЛЛЕКТОРУ

Первый частичный шаг:

$$y_1 = \frac{K}{2P} \pm E_n - \text{для простой петлевой обмотки якоря};$$

$$y_1 = \frac{K-1}{2P} \pm E_n - \text{для простой волновой обмотки якоря},$$

где K берется из позиции 3.21;

P – из пункта 3.2.3

E_n – нуль или правильная дробь, делающая y_1 целым числом.

Второй частичный шаг:

$$y_2 = y_1 - 1 - \text{для простой петлевой обмотки якоря};$$

$$y_1 = y_2 \text{ либо } y_2 = y_1 - 1 \text{ для простой волновой обмотки якоря.}$$

Шаг по коллектору:

$$y_k - \text{для простой петлевой обмотки якоря};$$

$$y_k = y_1 + y_2 - \text{для простой волновой обмотки якоря.}$$

Шаг по пазам:

$$y_n = \frac{Z_2}{2p} \mp \varepsilon,$$

где ε – нуль или правильная дробь, делающая y_n целым числом;

Z_2 берется из позиции 3.20;

P – из пункта 3.2.

3.4. РАЗМЕРЫ ЗУБЦОВ, ПАЗОВ И ПРОВОДОВ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

3.4.1. ВЫБОР ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПЛОТНОСТИ ТОКА В ОБМОТКЕ ЯКОРЯ В НОМИНАЛЬНОМ РЕЖИМЕ

Если учесть предельно допустимые превышения температуры поверхности якоря над температурой охлаждающего воздуха, то величину плотности тока в проводниках обмотки якоря можно предварительно определить по формуле

$$J'_{2H} = \frac{k_s \cdot q_T}{\rho_v \cdot A_{2H}}, \quad (3.30)$$

где k_s – коэффициент, учитывающий, во-первых, то, что теплоотдача осуществляется, главным образом, поверхностями якоря, обращенными к межполюсному окну, во-вторых, то, что кроме потерь в активной части проводника обмотки якоря в активном объеме якоря имеют место потери в стали якоря. На основании опытных данных можно принять: $k_s = 0.28 \dots 0.35$;

ρ_v – удельное электрическое сопротивление меди при расчетной температуре. При применении обмоточных проводов класса нагревостойкости B за расчетную температуру принимаем 75°C , при этом $\rho_v = 2,13 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, для проводников класса нагревостойкости F и H – 115°C и соответственно $\rho_v = 2,44 \cdot 10^{-8}$ Ом·м;

A_{2H} – из позиции 3.26;

q_T – удельная мощность тепловой нагрузки поверхности якоря, зависящая, в частности, от режима работы двигателя.

Для предварительного режима работы ее можно определить следующим образом:

$$q_T = q_{Tnp} = \alpha_a \cdot \Delta v_{na}, \text{ Вт/м}^2,$$

где Δv_{na} – предельно допустимое превышение температуры поверхности якоря над температурой охлаждающего воздуха. Для класса изоляции B рекомендуется принять $\Delta v_{na} = 65$ К.

При использовании современных проводов с изоляцией класса F и H можно принять, соответственно, $\Delta v_{na} = 80$ К и $\Delta v_{na} = 100$ К.

α_a – коэффициент теплоотдачи обдуваемой поверхности якоря. На основании опытных данных при обдуве нагретой поверхности воздухом со скоростью $5 \dots 25$ м/сек этот коэффициент можно определить следующим образом:

$$\alpha_a = \frac{\alpha_0}{1 + k_{0a} \cdot v_a}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}, \quad (3.31)$$

где α_0 – коэффициент теплоотдачи с нагретых поверхностей можно принять $\alpha_0 = 14,2 \dots 16,7$ Вт/м²·К;

k_{0a} – коэффициент, учитывающий эффективность обдува якоря, можно принять $k_{0a} = 0,1$ сек/м;

v_a – скорость обдува поверхности якоря воздухом, для машины без встроенного вентилятора – $v_a v_2$;

где v_2 – окружная скорость якоря:

$$v_2 = \frac{\omega_2 \cdot D_2}{2}, \text{ м/с.} \quad (3.32)$$

Для машины со встроенным вентилятором

$$v_a = \sqrt{v_2^2 + v'^2}, \text{ м/с,} \quad (3.33)$$

где v' – расходная скорость воздуха, нагнетаемого вентилятором в межполюсных окнах. В первом приближении можно принять $v' = 0,45 v_B$.

Здесь v_B – окружная скорость вентилятора на внешнем диаметре лопаток:

$$v_B = \omega_n \cdot D_e, \text{ м/с,} \quad (3.34)$$

где D_e – внешний диаметр вентилятора, который можно определить по формуле

$$D_e = \frac{D_2}{1 + 2\lambda''}, \text{ м,} \quad (3.35)$$

где $\lambda'' = \frac{h_l}{D_2}$ – относительная высота лопаток вентилятора. Можно принять $\lambda'' = 0.25 \dots 0.4$.

Для кратковременного режима работы удельную тепловую нагрузку можно увеличить по сравнению с продолжительным режимом работы в

$\frac{1}{f \cdot \frac{t_p}{T_p}}$ число раз, т.е.:

$$q_{Tкв} = \frac{q_{Tнн}}{f \cdot \frac{t_p}{T_p}}, \text{ Вт/м}^2, \quad (3.36)$$

где $q_{Tнн}$ – удельная тепловая нагрузка, допустимая в продолжительном режиме;

$f \cdot \frac{t_p}{T_p}$ – коэффициент, меньший единицы и определяемый по формуле

$$f \cdot \frac{t_p}{T_p} = 1 - e^{-t_p/T_p}, \quad (3.37)$$

где t_p – рабочий период, сек;

T_p – постоянное время нагревания вращающихся частей якоря, сек.

Эту постоянную времени можно приблизительно определить по формуле

$$T_p = \frac{C_{aээк} \cdot \gamma_{аср} \cdot D^2}{4 \cdot \alpha_a}, \text{ сек}, \quad (3.38)$$

где $C_{aээк}$ – эквивалентная теплоемкость якоря.

Можно принять $C_{aээк} = 450 \text{ с} \cdot \text{Вт/кг} \cdot \text{К}$;

$\gamma_{аср}$ – средняя плотность якоря, которая равна примерно $8,35 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Для двигателя повторно-кратковременного режима работы удельная тепловая нагрузка занимает промежуточное положение между нагрузкой для продолжительного и кратковременного режима:

$$q_{Tнв} = \frac{q_{Tнп}}{f\left(\frac{t_p}{T_p}\right) \cdot \psi\left(\frac{t_p}{T_p}\right)}, \text{ Вт/м}^2, \quad (3.39)$$

где $q_{Tнн}$ – удельная тепловая нагрузка, допустимая для данного якоря в продолжительном режиме;

$f\left(\frac{t_p}{T_p}\right)$ – коэффициент, меньший единицы и определяемый по

приведенной выше формуле;

$\psi\left(\frac{t_p}{T_p}\right)$ – коэффициент, больший единицы и определяемый по

формуле

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_p}\right) = \sum_{i=1}^m e^{-(i-1) \cdot a_1 \cdot \frac{t_p}{T_p}}, \quad (3.40)$$

где $i = 1, 2, 3 \dots m$; m – число циклов нагрузки;

$a_1 = \left(1 + \frac{\alpha_0}{\alpha_a} \cdot \frac{t_n}{t_p}\right)$ – коэффициент;

t_n – период нагрузки, сек.

3.4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЯ И ДИАМЕТРА ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Предварительное сечение провода определяется следующим образом:

$$q'_2 = \frac{I'_{2н}}{2 \cdot a \cdot n_{эл2} \cdot J'_{2н}}, \quad (3.41)$$

где $I'_{2н}$ – берется из позиции 3.30;

a – из позиции 3.32;

$n_{эл2}$ – число элементарных проводников в одном эффективном.

Обычно в коллекторных электродвигателях малой мощности $n_{эл2} = 1$.

Это значение следует увеличивать лишь тогда, когда диаметр провода превышает $1,7 \cdot 10^{-3}$. По технологическим причинам это нежелательно;

$J'_{2н}$ – берется из позиции 3.30.

Ближайшие стандартные размеры провода берутся по табл. П1.1 (приложение 1):

Сечение = ;

Диаметр голого провода = ;

Диаметр изолированного провода = .

Последний зависит от марки провода. Провод марки ПЭТВ имеет изоляцию класса нагревостойкости B , провода марок ПЭТ-155, ПСД и ПСД – изоляцию класса нагревостойкости F .

3.4.3. РАЗМЕРЫ ЗУБЦОВ И ПАЗОВ ЯКОРЯ

Рубцовое деление якоря определяется по формуле

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2}, \text{ м}, \quad (3.42)$$

где D_2 берется из позиции 3.12;

Z_2 – из позиции 3.20.

3.4.4. ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПАЗА ЯКОРЯ

Площадь, занимаемая изолированными проводами и изоляцией:

$$S_{nn2} = \frac{N_{n2} \cdot n_{эл2} \cdot d_{24}^2}{K_{32}}, \text{ м}^2, \quad (3.43)$$

где N_{n2} берется из позиции 3.29;

$n_{эл2}$ – из пункта 3.4.2;

K_{32} – технологический коэффициент, величина которого составляет 0,7...0,74.

3.4.5. ПЛОЩАДЬ КЛИНА

Определяется по формуле

$$S_{кл2} = b_{кл} \cdot h_{кл}, \text{ м}^2, \quad (3.44)$$

где $b_{кл}$ – ширина клина, принимается равной $0.5 t_2$;

t_2 берется из позиции 3.42;

$h_{кл}$ – высота клина, принимается равной $(0.5...1.0) \cdot 10^{-3}$.

Общая площадь паза:

$$S'_{n2} = S_{nn2} + S_{кл2}. \quad (3.45)$$

3.4.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗУБЦА

Сегодня можно считать общепринятой овальную форму паза якоря, при этом на большей части своей высоты зубец якоря имеет одинаковую высоту (см. рис. 4.1). При выборе необходимо иметь в виду условия допустимой индукции и механической прочности. Согласно опыту проектирования можно принять

$$h_n \approx (0.25 \dots 0.35) D_a.$$

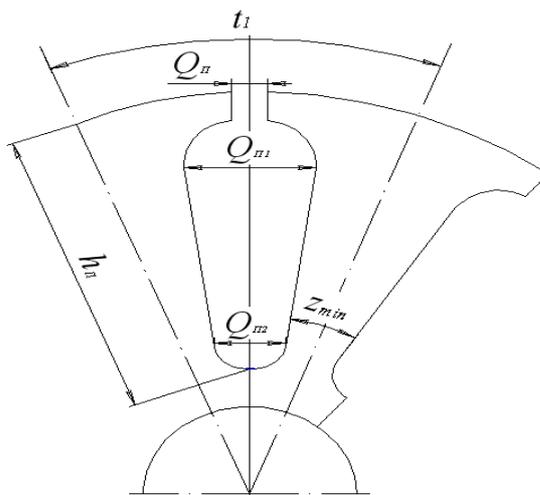


Рис. 3.4. Овальная форма паза якоря

Для уменьшения магнитного шума, как правило, предусматривается скос пазов якоря на одно зубцовое деление.

Расчетная ширина зубца:

$$b_{z2} = \frac{B'_{\delta H} \cdot t_2}{K_{c2} \cdot B_{z2 \max}}, \text{ м}, \quad (3.46)$$

где $B'_{\delta H}$ берется из пункта 3.4;

t_2 – из позиции 3.42;

K_{c2} – коэффициент заполнения пакета якоря сталью, принимается равным 0,91...0,93;

$B_{z2 \max}$ – максимально допустимая индукция в зубцах якоря. Для холоднокатаных изотропных сталей можно принять $B_{z2 \max} = 1,4 \dots 1,6$ Тл – при продолжительном режиме работы и

$B_{z2 \max} = 1,6 \dots 1,8$ Тл – при кратковременном режиме работы. По соображениям механической прочности материала и инструмента ширина зубца не должна быть менее $(1,0 \dots 1,5)$.

3.4.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БОЛЬШЕГО ДИАМЕТРА ПАЗА

Определяется по формуле

$$d'_{n2} = \frac{\pi \cdot (D_2 - h_{ш}) - Z_2 \cdot b_{Z2}}{\pi + Z_2}, \quad (3.47)$$

где D_2 берется из позиции 3.12;

$h_{ш}$ – из пункта 3.4.6;

Z_2 – из позиции 3.20;

$h_{ш}$ – высота шлица паза. Можно принять $h_{ш} = (0,3 \dots 0,5)$.

3.4.8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШЛИЦА ПАЗА ЯКОРЯ

Ширина шлица паза якоря:

$$b_{ш} = d_{2u} + 2 \cdot \delta_{u2} \cdot \Delta b_{ш}, \text{ м}; \quad (3.48)$$

где d_{2u} берется из пункта 3.4.2;

$\Delta b_{ш}$ – запас по ширине шлица, его можно принять равным $(0,4 \dots 0,6)$.

3.4.9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАЛОГО ДИАМЕТРА ПАЗА

Определяется по формуле

$$d''_{n2} = \sqrt{\frac{\left(\frac{Z_2 + \frac{\pi}{2}}{\pi}\right) \cdot \left(d'_{n2} - \frac{2\delta_{u2}}{\cos \gamma} - b_{л2} \cdot \text{tg} \gamma\right)^2 - \frac{4S'_{n2}}{\cos \gamma}}{\frac{Z_2 - \frac{\pi}{2}}{\pi}}} + \frac{2\delta_{u2}}{\cos \gamma} + b_{л2} \cdot \text{tg} \gamma, \text{ м}, \quad (3.49)$$

где Z_2 – из позиции 3.20;

S'_{n2} – из позиции 3.45;

d'_n – из позиции 3.47;

d_{2u} – из пункта 3.4.2;

$\gamma = \arccos \left(\frac{l_{\delta}}{\sqrt{l_{\delta}^2 + t_2^2}} \right)$ – средний угол скоса для пазов якоря;

l_{δ} – из позиции 3.13;

$b_{л2}$ – толщина листов сердечника якоря;

t_2' – рубцовое деление по окружности, соединяющий центры больших диаметров закругления паза:

$$t_2' = \frac{\pi(D_2 - 2h_{ш} - d_{n2}')}{Z_2}; \quad (3.50)$$

$h_{ш}$ – из пункта 3.4.7.

Примечание: в ходе расчета может оказаться, что подкоренное выражение в формуле 3.49 окажется отрицательным. Это свидетельствует о невозможности реализации требуемой площади паза при данном диаметре якоря. В этом случае следует уменьшить ранее принятое в позиции 3.13 значение относительной длины активной части якоря и повторить расчет по позициям 3.13....3.50 до получения положительного результата.

3.4.10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЦЕНТРАМИ ДИАМЕТРОВ ЗАКРУГЛЕНИЙ ПАЗОВ

$$h_1 = \frac{Z_2}{2\pi} - (d_{n2}' - d_{n2}''), \text{ м}, \quad (3.51)$$

где Z_2 берется из позиции 3.20;

d_{n2}' – из позиции 3.47;

d_{n2}'' – из позиции 3.49.

3.4.11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ЗУБЦА ЯКОРЯ

$$h_{Z2} = h_{ш} + h_1 + \frac{d_{n2}' + d_{n2}''}{2}, \text{ м}, \quad (3.52)$$

где $h_{ш}$, d'_{n2} – из позиции 3.47;

h_1 – из позиции 3.51;

d''_{n2} – из позиции 3.48.

3.4.12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ ПЛОЩАДИ ЛИСТА ЯКОРЯ

$$S_{n2} = \frac{\pi}{8} \cdot (d'^2_{n2} + d''^2_{n2}) + \frac{d'_{n2} + d''_{n2}}{2} \cdot h_1 + b_{ш} \cdot h_{ш}, \text{ м}^2, \quad (3.53)$$

где d'_{n2} – из позиции 3.47;

d''_{n2} – из позиции 3.49;

h_1 – из позиции 3.51;

$b_{ш}$ – из позиции 3.48.

3.4.13. ПРОВЕРКА ПРИЕМЛЕМОСТИ ПРИНЯТЫХ РАЗМЕРОВ ЗУБЦОВ И ПАЗОВ ЯКОРЯ ПО ИНДУКЦИИ В СПИНКЕ ЯКОРЯ

Диаметр вала под пакетом якоря:

$$d_{\text{в}} = K_{\text{в}} \cdot \sqrt{M_{\text{н}}}, \quad (3.54)$$

где $K_{\text{в}}$ – параметр, учитывающий механическую нагрузку на вал.

$$\text{Можно принять } K_{\text{в}} = (0,014 \dots 0,017) \frac{M^{\frac{2}{3}}}{H^{\frac{1}{3}}}.$$

3.4.14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ СПИНКИ ЯКОРЯ

$$h_{j2} = \frac{D_2 - d_{\text{в}}}{2} - h_{Z2}, \text{ м}, \quad (3.55)$$

где D_2 – из позиции 3.12;

$d_{\text{в}}$ – из позиции 3.54;

h_{Z2} – из позиции 3.52.

Примечание: в ходе расчета может оказаться, что высота спинки якоря – отрицательная величина.

В этом случае следует поступить так же, как это изложено в примечании п. 3.4.9.

3.4.15. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКЦИИ В СПИНКЕ ЯКОРЯ

$$B_{j2} = \frac{\Phi_{\delta H}}{2 \cdot K_{32} \cdot l_{\delta} \cdot h_{j2}}, \text{ Тл,} \quad (3.56)$$

где $\Phi_{\delta H}$ – из позиции 3.28;

K_{32} – из позиции 3.44;

l_{δ} – из позиции 3.27;

h_{j2} – из позиции 3.55.

Для рационального использования стали в двухполюсных машинах эта индукция должна находиться в диапазоне (1,45...1,651) Тл – для холоднокатаных сталей. Если полученное выше значение индукции в спинке якоря существенно меньше указанного диапазона, то это свидетельствует о плохом использовании стали спинки якоря и о возможности реализации двигателя при данных электромагнитных нагрузках с меньшим наружным диаметром якоря. При этом следует увеличить ранее принятое в п. 3.2.4 значение относительной длины активной части λ' и произвести пересчет по пп. 3.2.4...3.4.15 с той целью, чтобы добиться значения индукции в указанном диапазоне.

Если же полученное значение индукции в спинке якоря незначительно (в пределах 20%) отличается от крайних пределов, то можно перераспределить магнитную нагрузку между зубцами и спинкой якоря, соответственно уменьшая или увеличивая индукцию в зубцах и осуществив перерасчет по пп. 3.4.6...3.4.15. Дополнительно можно в допустимых пределах уменьшить коэффициент K_e в формуле (3.54) и тем самым изменить нагрузку по потоку в спинке якоря.

В четырехполюсных машинах при индукциях в спинке якоря на уровне, рекомендованном для двухполюсных машин, резко уменьшается высота спинки якоря и усложняется возможность механизированного изготовления обмотки якоря.

Для реализации механизированной намотки в четырехполюсных машинах индукцию в сердечнике якоря приходится ограничивать уровнем $B_{j2} = (0,8 \dots 1,0)$ Тл.

3.5. КОЛЛЕКТОР, ЩЕТКОДЕРЖАТЕЛЬ, ЩЕТКИ

В электродвигателях такого типа и мощности, как правило, используют конструкцию цилиндрического коллектора на пластмассе. Щеткодержатели – трубчатого или коробчатого типов. В достаточно быстроходных (10000 об/мин и выше) нереверсивных машинах целесообразно применять так называемые реактивные щеткодержатели.

3.5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ДИАМЕТРА КОЛЛЕКТОРА

$$D'_k = \dot{D}_k \cdot D_2, \text{ м},$$

где \dot{D}_k – относительный диаметр коллектора, принимается равным 0,5...0,9;

D_2 берется из позиции 3.12.

3.5.2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ КОЛЛЕКТОРНОГО ДЕЛЕНИЯ

$$t'_k = \frac{\pi \cdot D'_k}{k}, \text{ м}, \quad (3.57)$$

где D'_k берется из позиции 3.56;

k – из позиции 3.21.

Ориентируясь на значение t'_k , из диапазона $(2 \dots 5) \cdot 10^{-3}$ м выбираем ширину коллекторных пластин b_k , которая должна быть несколько меньше t'_k . Толщина миканитовой или пластмассовой изоляции обычно в таких машинах равна $(0,6 \dots 0,8) \cdot 10^{-3}$ м.

$$t'_k = b_k + b_u, \text{ м}. \quad (3.58)$$

3.5.3. ПРИНЯТЫЙ ДИАМЕТР КОЛЛЕКТОРА

$$D_k = \frac{k \cdot t_k}{\pi}, \text{ м}, \quad (3.59)$$

где k берется из позиции 3.21;

t_k – из позиции 3.57.

3.5.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКРУЖНОЙ СКОРОСТИ КОЛЛЕКТОРА

$$v_k = \frac{\omega_n \cdot D_k}{2}, \text{ м}, \quad (3.60)$$

где ω_n берется по заданию;

D_k – из позиции 3.59.

3.5.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ ЩЕТКИ

В коллекторных электродвигателях переменного тока малой мощности при напряжении сети 220 В находят применение графитовые щетки марок Г-3 и Г-8, электрографитированные щетки марок ЭГ-8, ЭГ-14, а также некоторые другие. Нормированные физические свойства указанных марок щеток, а также стабилизированные их номинальные размеры представлены в табл. П2.1, П2.2 (приложение 2).

3.5.6. ПЛОЩАДЬ СЕЧЕНИЯ ЩЕТКИ И ЕЁ РАЗМЕРЫ

Предварительное значение площади сечения щетки:

$$S'_o = \frac{I'_{2n}}{P \cdot J'_{щ}}, \text{ м}^2, \quad (3.61)$$

где I'_{2n} , P берутся из пункта 3.2;

$J'_{щ}$ – допустимая плотность тока под щетками, А/м^2 , выбирается по табл. П2.2 приложения 2, для принятой марки щеток.

Ширина щетки по дуге окружности коллектора:

$$b'_{щ} = \beta'_к \cdot t_k, \text{ м}, \quad (3.62)$$

где $\beta'_к$ – предварительное значение коэффициента щеточного перекрытия, принимается равной 1...3;

t_k берется из позиции 3.57.

Ориентируясь на значение $b'_{щ}$, из табл. П 2.1 приложения 2 выбираем стандартную ширину щетки $b_{щ}$.

Коэффициент щеточного перекрытия:

$$\beta'_k = \frac{b_{щ}}{t_k}, \quad (3.63)$$

где t_k берется из позиции 3.57;

$b_{щ}$ – из пункта 3.5.5.

Длина щетки по оси коллектора предварительно

$$l'_{щ} = \frac{S'_{щ}}{b_{щ}}, \text{ м.} \quad (3.64)$$

Из табл. П 2.1 приложения 2 выбираем ближайшую стандартную длину щетки $l_{щ}$, а также её высоту $h_{щ}$.

Принятое сечение щетки:

$$S_{щ} = b_{щ} \cdot l_{щ}, \text{ м.} \quad (3.65)$$

3.5.7. ДЛИНА КОЛЛЕКТОРА

Активная длина коллектора по оси вала

$$l'_{к} = k_{зк} \cdot l_{щ}, \text{ м,} \quad (3.66)$$

где $k_{зк}$ – коэффициент запаса по длине коллектора, можно принять $k_{зк} = 1.5 \dots 2.0$;

$l_{щ}$ – из пункта 3.5.5.

Полная длина коллектора по оси вала:

$$l_{к} = l'_{к} + k' \cdot d_2, \text{ м,} \quad (3.67)$$

где $l'_{к}$ – из позиции 3.66;

d_2 – из пункта 3.4.2;

k' – коэффициент, может быть принят равным 3...5.

3.5.8. ПРОВЕРКА ПРИЕМЛЕМОСТИ ПРИНЯТЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАСЧЕТНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЮСНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ И ШИРИНЫ ЩЕТКИ

Ширина коммутационной зоны

$$b_{зк} = b_{щ} \cdot \frac{D_2}{D_k} + \left[U_n + \left| \frac{k}{2p} - y_1 \right| - \frac{a}{p} \right] \cdot t_k \cdot \frac{D_2}{D_k}, \text{ м}, \quad (3.68)$$

где $b_{щ}$ – из пункта 3.5.6;

D_k – из позиции 3.59;

y_1 – из пункта 3.3.10;

t_k – из позиции 3.58;

D_2 – из позиции 3.12;

U_n, k – из позиции 3.34;

a – из пункта 3.3.2.

Отношение ширины коммутации к ширине межполюсного окна:

$$\dot{b}_{зк} = \frac{b_{зк}}{\tau - b_{\delta}}, \quad (3.69)$$

где $b_{зк}$ – из позиции 3.68;

τ – из позиции 3.14;

b_{δ} – из позиции 3.16.

Опыт эксплуатации таких машин показывает, что для получения благоприятной коммутации необходимо соблюдать условие $\dot{b}_{зк} < 0.8$.

Если рассчитанное выше значение $\dot{b}_{зк}$ существенно меньше, то это свидетельствует о возможности увеличения предварительно принятого в пункте 3.2 расчетного коэффициента полюсного перекрытия и тем самым более рационального использования материалов в машине. Корректировку расчета в данном случае целесообразно вести следующим образом:

– увеличиваем ранее принятое в пункте 3.2 значение α'_p . При этом новое значение этого коэффициента не должно превышать максимальное из практически реализованных значений ($\alpha'_p = 0.7$) во из-

бежание чрезмерного увеличения рассеивания индуктора с вытекающими негативными последствиями (рост габаритов индуктора, повышение индуктивности и активных падений напряжения в обмотке возбуждения и т.д.);

– сохраняя неизменной величину магнитного потока, определенную ранее в пункте 3.3.8, а также параметры якоря, ширину зубцов якоря и, собственно, величину большого диаметра закругления паза, корректируем активную длину:

$$l_{\delta} = l_{\delta}(\alpha'_p) \cdot \frac{\alpha'_p}{\alpha_p}, \text{ м}, \quad (3.70)$$

где $l_{\delta}(\alpha'_p)$ – активная длина якоря, соответствовавшая предыдущему (ранее принятому в пункте 3.2.4) значению коэффициента полюсного перекрытия. Берется из пункта 3.3.7;

α'_p – ранее принятое в пункте 3.2.4 значение коэффициента полюсного перекрытия;

α_p – вновь принятое значение коэффициента полюсного перекрытия.

Далее осуществляется перерасчет по пунктам 3.2.7, 3.2.8, 3.2.9, 3.4.9...3.4.13 и 3.5.8 с использованием полюсного перекрытия α_p и скорректированной длины.

Корректировка по пунктам 3.4.8...3.4.13 в общем случае вызвана изменением угла скоса пазов из-за изменения активной длины. Причем эта корректировка необходима лишь при изменении длины на 5-6% и более по сравнению с предыдущим значением.

Если рассчитанное по пункту 3.5.8 значение $b_{зк}$ будет больше 0,8, то для обеспечения более благоприятных условий коммутации и, тем самым, повышения надежности работы двигателя следует уменьшить ранее принятое в пункте 3.2.4 значение расчетного коэффициента полюсного перекрытия α'_p и произвести корректировку расчета по тому же алгоритму, что и в предыдущем случае, когда $\dot{b}_{зк}$ было существенно меньше 0,8.

3.5.9. ПРОВЕРКА КОММУТАЦИИ

Среднее значение реактивной ЭДС в секции якоря

$$l_p = 2 \cdot W_{c2} \cdot \lambda_2 \cdot l_\delta \cdot A_{2n} \cdot V_2, \text{ В}, \quad (3.71)$$

где λ_2 – удельная магнитная проводимость полей рассеяния обмотки якоря;

$$\lambda_2 = \frac{\mu_0}{0.62} + \frac{2 \cdot h_1}{3 \cdot (d'_{n2} + d''_{n2})} + \frac{h_{ui}}{b_{ui}} + k_{pl2} \cdot \frac{l_{l2}}{l_\delta}, \text{ Гн/м}, \quad (3.72)$$

где μ_0 – из пункта 3.2.3;

h_1 – из позиции 3.51;

d'_{n2}, h_{ui} – из позиции 3.47;

d''_{n2} – из позиции 3.49;

b_{ui} – из позиции 3.48;

l_δ – из позиции 3.27;

k_{pl2} – электромагнитный коэффициент, учитывающий рассеивание лобовых частей, принимается в диапазоне 0,7...0,8;

l_{l2} – средняя длина лобовой части витка обмотки, которую можно определить по формуле

$$l_{l2} = k_{l2} \cdot \tau_2, \quad (3.73)$$

где k_{l2} – технологический коэффициент, учитывающий длину лобовых частей обмотки якоря, принимается в пределах (0,7...0,8) для двухполюсных машин и (1,0...1,1) – для четырехполюсных;

τ_2 – из позиции 3.14.

ЭДС вращения коммутирующей секции в поле реакции якоря:

$$l_v = \frac{\mu_0 \cdot W_{c2} \cdot A_{2n} \cdot \tau \cdot l_\delta \cdot V_2}{\delta_0}, \text{ В}, \quad (3.74)$$

где μ_0 – из позиции 3.23;

A_{2n} – из позиции 3.26;

l_{δ} – из позиции 3.27;

W_{c2} – из позиции 3.24;

τ – из позиции 3.14;

V_2 – из позиции 3.31;

δ_0 – эквивалентная длина силовой линии для поля реакции якоря в зоне коммутации:

$$\delta_0 = \frac{\tau - b_p}{2}, \text{ м}, \quad (3.75)$$

где τ – из позиции 3.14;

b_p – из позиции 3.19 = 7.

Трансформаторная ЭДС в коммутируемой секции обмотки якоря от пульсирующего главного поля полюсов:

$$l_t = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot f_1 \cdot W_{c2} \cdot \Phi_{\delta n}, \text{ В}, \quad (3.76)$$

где f_1 берется по заданию;

W_{c2} – из позиции 3.24;

$\Phi_{\delta n}$ – из позиции 3.28.

Сумма реактивной ЭДС и ЭДС вращения в поле реакции якоря для коммутирующей секции:

$$l = l_p + l_v, \text{ В}, \quad (3.77)$$

где l_p – из позиции 3.71;

l_v – из позиции 3.74.

Для обеспечения благоприятной коммутации величина трансформаторной ЭДС (l_t) должна удовлетворять условию $l_t \ll (6.0 \dots 8.0) \text{ В}$, а сумма ЭДС – условию: $e \ll 1.5 \text{ В}$.

Если значения l_t и l существенно превосходят эти рекомендованные пределы, то следует увеличить ранее принятое в позиции 3.4 значение числа элементарных пазов в одном реальном и тем самым уменьшить число витков в секции.

Корректировку расчета в данном случае следует производить, сохраняя определенные размеры листов сердечника якоря, а именно: наружный диаметр якоря (D_n), внутренний диаметр (d_g), размеры зубцов и пазов якоря.

Последовательность расчета при этом будет следующая:

- осуществляем перерасчет по пунктам 3.3.4...3.3.10;
- осуществляем перерасчет, используя новые значения числа элементарных пазов. При этом перерасчете вместо величины со штрихом в формулах следует подставлять значения этих величин из предыдущего расчета (или при предыдущем значении U_n), так как при принятом алгоритме корректировки неизбежно изменяется (обычно незначительно) число эффективных проводников в пазу N_{n2} , то при неизменных размерах паза может потребоваться корректировка размеров проводов обмотки якоря. Ориентировочное значение диаметра изолированного провода при этом:

$$d'_{2n} = \sqrt{\frac{\kappa_{32} \cdot S_{n.n2}}{n_{эл2} \cdot N_{n2}}}, \text{ м}, \quad (3.78)$$

где $\kappa_{32}, S_{n.n2}, n_{эл2}$ – из пункта 3.4.4;

N_{n2} – из позиции 3.9 (скорректированное значение, соответствующее новому значению U_n). По табл. П1.1 или П1.2 приложения 1, по принятой марке проводов находим ближайшие стандартные значения размеров проводов, сечение q_2 , диаметры голого и изолированного проводов, далее осуществляем перерасчет по пунктам 3.5.1...3.5.9.

3.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ИНДУКТОРА

3.6.1. ДИАМЕТР РАСТОЧКИ ПОЛЮСОВ

$$D_1 = D_2 + 2 \cdot \delta, \text{ м}, \quad (3.79)$$

где D_2 – из позиции 3.12;

δ – из позиции 3.15.

3.6.2. ШИРИНА СЕРДЕЧНИКА ПОЛЮСА

Высота полюсного наконечника в наиболее широком месте:

$$h_{nn} = \frac{\Phi_{\delta n} \cdot \left(\sigma - \frac{D_1}{b_p} \right) \cdot \operatorname{arctg} \frac{b_n}{D_1}}{2 \cdot \kappa_{32} \cdot l_{\delta} \cdot B_{nn \max}}, \text{ м}, \quad (3.80)$$

где $\Phi_{\delta n}$ – из позиции 3.28;

b_p – из позиции 3.17;

D_1 – из позиции 3.79;

l_{δ} – из позиции 3.27;

κ_{32} – из пункта 3.4.4;

$B_{nn \max}$ – максимально допустимая индукция у основания «рогов» полюсных наконечников. С целью ограничения насыщения «рогов» и тем самым уменьшения полезного магнитного потока можно принять $B_{nn \max} = 1,7$ Тл. Высоту полюсного наконечника в наиболее узком месте исходя из технологических соображений можно принять $h''_{nn} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м.

3.6.3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ВЫСОТА ПОЛЮСА

Исходя из условия размещения обмотки возбуждения в пазу, образованном станиной и «рогов» полюсного наконечника, самим полюсом требуемая высота равна:

$$h_n = \sqrt{(b^2 + 4 \cdot c - b)} + \frac{D_1}{2} + \Delta_{u1}, \text{ м}, \quad (3.81)$$

где D_1 – из позиции 3.79;

b_p – из позиции 3.17;

b – коэффициент, равный $b = 1 - \frac{b_n + 2 \cdot \Delta_{u1}}{b_p}$,

здесь b_n – из пункта 3.6.2;

Δ_{u1} – толщина пазовой изоляции обмотки возбуждения от сердечника индуктора. Её можно принять равной пазовой изоляции якоря (смотри рекомендации в пункте 3.4.7);

c – коэффициент, определяемый по формуле

$$c = \dot{h}'_{nn} \cdot (b + \dot{h}'_{nn}) - \frac{1}{2}(\dot{h}'_{nn} - \dot{h}''_{nn}) \cdot (1 + \dot{h}'_{nn} + \dot{h}''_{nn}) + \frac{2 \cdot S'_{об}}{b_p \cdot D_2}, \quad (3.82)$$

где $\dot{h}'_{nn} = \frac{h'_{nn} + \Delta_{u1}}{D_1}$;

$$\dot{h}''_{nn} = \frac{h''_{nn} + \Delta_{u1}}{D_1};$$

\dot{h}'_{nn} и \dot{h}''_{nn} берутся из пункта 3.6.3;

D_1 – из позиции 3.79;

b_p – из позиции 3.17;

$S'_{об}$ – площадь, требуемая для размещения катушки обмотки возбуждения, которую можно определить следующим образом:

$$S'_{об} = \frac{k_{\mu} \cdot B'_{\delta n} \cdot k_{\delta} \cdot \delta}{\mu_0 \cdot \sqrt{2} \cdot \cos \psi \cdot k_{zml} \cdot j'_1}, \text{ М}, \quad (3.83)$$

где k_{μ} – предварительное значение коэффициента насыщения, принимаемое в пределах 1,25...1,35;

$B'_{\delta n}$ – из пункта 3.2;

δ , μ_0 – из позиции 3.15;

ψ – угол магнитного запаздывания, обусловленный потерями в стали и потерями в коммутируемых секциях от трансформаторной ЭДС. Можно принять $\psi = (0.14...0.26)$ рад, или $(5...8)$ град;

k_{zml} – коэффициент заполнения окна под обмотку возбуждения медью:

$$k_{zml} = (0.4...0.48);$$

j'_1 – предварительное значение плотности тока в обмотке возбуждения, выбирается из пункта 3.4.1;

k_δ – коэффициент воздушного зазора, определяемый по формуле

$$k_\delta = \frac{t_2 + 10 \cdot \delta}{t_2 - b_{uu} + 10 \cdot \delta}, \quad (3.84)$$

где t_2 берется из позиции 3.42;

δ – из позиции 3.15;

b_{uu} – из позиции 3.48.

3.6.4. ВЫСОТА СТАНИНЫ

$$h_{c1} = \frac{\Phi_{\delta n} \cdot \sigma}{2 \cdot k_{c1} \cdot l_\delta \cdot B_{c1\max}}, \quad (3.85)$$

где k_{c1} , σ берутся из позиции 3.15;

$\Phi_{\delta n}$ – из позиции 3.28;

l_δ – из позиции 3.27;

$B_{c1\max}$ – допустимая индукция в станине.

Для холоднокатаных электротехнических сталей можно рекомендовать

$B_{c1\max} = (1.25 \dots 1.5)$ Тл – для машин продолжительного режима работы;

$B_{c1\max} = (1.3 \dots 1.6)$ Тл – для машин кратковременного режима работы.

3.6.5. НАРУЖНЫЙ ДИАМЕТР СТАНИНЫ

$$D_{c1} = D_1 + 2 \cdot h_n + 2 \cdot h_{c1}, \text{ м}, \quad (3.86)$$

где D_1 – из позиции 3.79;

h_n – из позиции 3.81;

h_{c1} – из позиции 3.85.

3.7. РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ

Целью расчета магнитной системы машины является установление количественной зависимости между магнитным потоком и тока-

ми в обмотках машины, а также определение магнитной индукции в отдельных частях магнитопровода, что необходимо для анализа рабочих свойств машины. Для проектируемого двигателя принята магнитная система (рис. 3.5).

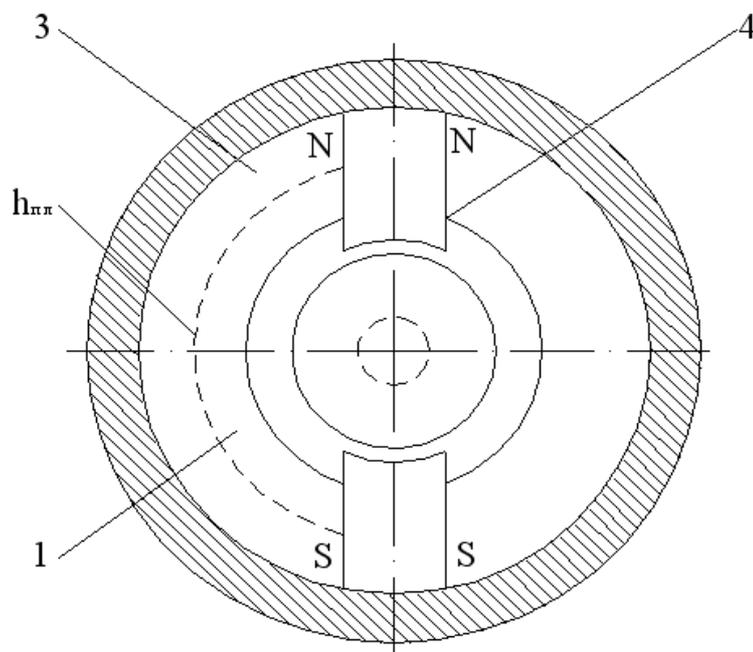


Рис. 3.5. Конструкция магнитной системы маломощной машины переменного тока

В коллекторных электродвигателях основное магнитное поле создается током, протекающим по обмотке возбуждения. В связи с этим для рассматриваемых машин необходимо знать зависимость основного магнитного потока от м.д.с. обмотки возбуждения или тока обмотки возбуждения. Указанная зависимость называется кривой намагничивания.

3.7.1. СРЕДНИЕ ДЛИНЫ ПУТЕЙ ОСНОВНОГО МАГНИТНОГО ПОТОКА В КАЖДОМ ИЗ УЧАСТКОВ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ В РАСЧЕТЕ НА ОДИН ПОЛЮС

1. Воздушный зазор δ берется из позиции 3.15.
2. Зубцы якоря h_{j2} – из пункта 3.4.11.
3. Спинка якоря L_{j2} определяется по формуле

$$L_{j2} = \frac{\pi(D_2 - h_{z2} - h_{j2})}{4p} + \frac{h_{j2}}{2}, \text{ м}, \quad (3.87)$$

где D_2 берется из позиции 3.12;

h_{j2} – из пункта 3.4.11;

p – из пункта 3.2.2;

h_{z2} – из пункта 3.4.14.

4. Полнос:

h_n – из позиции 3.81.

5. Станина L_{c1} определяется по формуле

$$L_{c1} = \frac{\pi(D_{c1} - h_{c1})}{4p} + \frac{h_{j2}}{2}, \text{ м}, \quad (3.88)$$

где D_{c1} берется из позиции 3.86;

h_{c1} – из позиции 3.85;

p – из пункта 3.2.2.

3.7.2. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДУКЦИИ НА КАЖДОМ УЧАСТКЕ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ ПРИ ЗАДАННОМ ЗНАЧЕНИИ Φ_{δ}

1. Воздушный зазор:

$$B_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{b_{\delta} \cdot l_{\delta}}, \text{ Тл}, \quad (3.89)$$

где b_{δ} – из позиции 3.16;

l_{δ} – из позиции 3.27.

2. Зубцы якоря:

$$B_{z\text{я}} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2}{2 \cdot k_{c2} \cdot b_{z2}}, \text{ м}, \quad (3.90)$$

где B_{δ} берется из пункта 3.7.2 (а) при $B_{z\text{я}} > 1.8$ Тл;

t_2 – из позиции 3.42;

k_{c2} , b_{z2} – из пункта 3.4.6.

3. Спинка якоря:

$$B_{j2} = \frac{\Phi_{\delta}}{2 \cdot k_{c2} \cdot l_{\delta} \cdot h_{j2}}, \text{ Тл,} \quad (3.91)$$

k_{c2} – из пункта 3.4.6;

l_{δ} – из позиции 3.27;

h_{j2} – из позиции 3.55.

4. Полюс:

$$B_n = \frac{\sigma \cdot \Phi_{\delta}}{2 \cdot k_{c1} \cdot l_{\delta} \cdot b_n}, \text{ Тл,} \quad (3.92)$$

где σ , k_{c1} , b_n – из пункта 3.6.2;

l_{δ} – из позиции 3.27.

5. Станина:

$$B_c = \frac{B_{\delta} \cdot \sigma}{2 \cdot k_2 \cdot l_c \cdot h_c}, \text{ Тл,} \quad (3.93)$$

где индукция B_c в станине электрических машинах продолжительного режима работы принимается в пределах 1,0...1,4 Тл, а для кратковременного режима 1,0...1,5 Тл;

l_c – основная длина с объемными полюсами:

$$l_c = l_0 + (3...5).$$

$$k_2 \approx 0.95.$$

Поперечное сечение станины:

$$S_c = \frac{\Phi_{\delta} \cdot \sigma}{2 \cdot B_c}. \quad (3.94)$$

3.7.3. ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАДЕНИЯ М.Д.С. НА КАЖДОМ ИЗ УЧАСТКОВ

1. Воздушный зазор:

$$F_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{\mu_0} \cdot k_{\delta} \cdot \delta, \text{ А,} \quad (3.95)$$

где B_δ берется из позиции 3.89;

k_δ – из позиции 3.84;

δ , μ_0 – из позиции 3.15.

2. Зубцы якоря:

$$F_{z2} = H_{z2} \cdot h_{z2}, \text{ A}, \quad (3.96)$$

где h_{z2} берется из позиции 3.52;

H_{z2} – напряженность магнитного поля в зубцах якоря. При $B_{z2} \leq 1.8$ значение H_{z2} выбирается по основной кривой намагничивания для принятой марки стали якоря по индукции B_{z2} из табл. ПЗ.2, рис. ПЗ.1 приложения 3.

3. Спинка якоря:

$$F_{j2} = \xi_{j2} h_{j2} \cdot L_{j2}, \text{ A}, \quad (3.97)$$

где ξ_{j2} – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения индукции вдоль силовой линии. Выбирается по кривой индукции B_{j2} [1];

h_{j2} – из пункта 3.4.14.

4. Полюс:

$$F_n = H_n \cdot h_n, \text{ A}, \quad (3.98)$$

где H_n – напряженность магнитного поля в полюсе. Выбирается по основной кривой намагничивания для принятой марки стали индуктора по индукции B_n из табл. ПЗ.3 приложения 3;

h_n – из позиции 3.84.

5. Станина:

$$F_{c1} = H_{c1} \cdot h_{c1}, \text{ A}, \quad (3.99)$$

где H_{c1} – напряженность магнитного поля в станине. Выбирается по кривой намагничивания табл. ПЗ.1 приложения 3;

h_{c1} – из позиции 3.85.

3.7.4. ХАРАКТЕРИСТИКА НАМАГНИЧИВАНИЯ МАШИНЫ

Понимается зависимость ЭДС якоря от тока возбуждения или м.д.с. $E = f(I_g)$ при $n = \text{const}$ и $I_a = 0$. Расчет характеристики сводится в табл. 3.1. В основной столбец таблицы, соответствующий номинальной ЭДС якоря E_n , вписываются значения полезного потока и индукции отдельных участков магнитной системы. Остальные столбцы заполняются значениями этих величин, измененным пропорционально значениям ЭДС. Далее, для каждого участка магнитной системы машины по соответствующим индукциям и кривым намагничивания (приложение 3) определяются напряженности магнитного поля на соответствующих участках. По известным значениям напряженности магнитного поля и геометрическим размерам магнитной цепи определяется м.д.с. Затем строится характеристика намагничивания.

3.7.5. М.Д.С. ПОПЕРЕЧНОЙ РЕАКЦИИ ЯКОРЯ

Так как м.д.с. якоря затрачивается в основном на преодоление магнитного сопротивления воздушного зазора и зубцов якоря, то её можно определить по переходной характеристике $B_\delta = f(F_{\delta+z})$ по данным, приведенным в табл. 3.1.

На переходной характеристике (рис. 3.6) находят точку (a), соответствующую индукции в воздушном зазоре B_δ при номинальном режиме работы. Для определения м.д.с. размагничивания поперечной реакции якоря необходимо ось ab криволинейного четырехугольника $edafh$ сместить на bb' , при которой площади криволинейных треугольников $d'c'a$ и $af'g'$ равны.

Таблица 3.1

№ п/п	Расчетная величина	Расчетная формула	Единица величины	$0,5\Phi_{\text{дном}}$	$0,75\Phi_{\text{дном}}$	$0,9\Phi_{\text{дном}}$	$\Phi_{\text{дном}}$	$1,1\Phi_{\text{дном}}$	$1,15\Phi_{\text{дном}}$
1	ЭДС	$E'_{2n} = \frac{P_2}{I'_{2n}}$	В						
2	Магнитный поток	$\Phi_{\delta} = \frac{60aE}{pNn}$	Вб						
3	Магнитная Индукция в воздушном зазоре	$B_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{\alpha_{\delta}t l_{\delta}}$	Тл						
4	Магнитная индукция в зубцах якоря	$B_{\text{зя}} = \frac{B_{\delta}t_2}{k_{c2}b_{z2}}$	Тл						
5	Магнитная индукция в спинке якоря	$B_{j2} = \frac{\Phi_{\delta}}{2 \cdot k_{c2}l_{\delta}l_n}$	Тл						
6	Коэффициент, учи- тывающий неравно- мерное распределе- ние индукции	ξ_{j2}	-						
7	Магнитная индукция в сердечнике полюса	$B_n = \frac{\sigma \cdot \Phi_{\delta}}{2 \cdot k_{c1}l_{\delta}b_n}$	Тл						
8	Магнитная индукция в станине	$B_c = \frac{B_{\delta}}{2 \cdot k_2 h_c l_c}$	Тл						
9	Напряженность магнитного поля в зубцах	H_z	А/м						

№ п/п	Расчетная величина	Расчетная формула	Единица величины	$0,5\Phi_{\text{дном}}$	$0,75\Phi_{\text{дном}}$	$0,9\Phi_{\text{дном}}$	$\Phi_{\text{дном}}$	$1,1\Phi_{\text{дном}}$	$1,15\Phi_{\text{дном}}$
10	Напряженность магнитного поля в спинке якоря	$H_{\text{я}}$	А/м						
11	Напряженность магнитного поля в сердечнике полюса	$H_{\text{н}}$	А/м						
12	Напряженность магнитного поля в станине	$H_{\text{с}}$	А/м						
13	Магнитное напряжение зубца	$F_z = L_z H_z$	А						
14	Магнитное напряжение спинки якоря	$F_{\text{я}} = L_{\text{я}} H_{\text{я}}$	А						
15	Магнитное напряжение сердечника полюса	$F_{\text{н}} = L_{\text{н}} H_{\text{н}}$	А						
16	Магнитное напряжение станины	$F_{\text{с}} = L_{\text{с}} H_{\text{с}}$	А						
17	М.д.с. воздушного зазора	$F_{\delta} = 0,8 \cdot k_{\delta} \delta \cdot B_{\delta} \cdot 10^4$	А						
18	М.д.с. переходного слоя	$F_{\delta} + F_z = F_{\delta,z}$	А						
19	Суммарная м.д.с.	$F_{\delta} + F_z + F_{\text{н}} + F_{\text{с}} + F_{\text{я}} = F_{\Sigma}$	А						

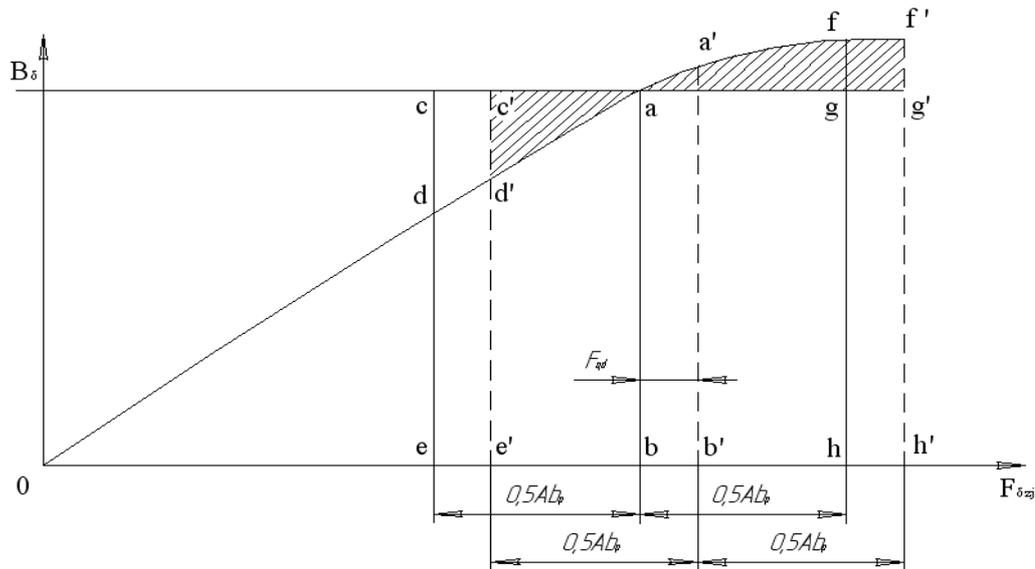


Рис. 3.6. Переходная характеристика двигателя

Можно принять разность ординат $a'b' - ab = \Delta B = B_\delta - B_{\delta_{\text{ср}}}$.

3.7.6. М.Д.С. ПРОДОЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ЯКОРЯ

Возникает вследствие самопроизвольного сдвига щеток с геометрической нейтрали по механическим причинам и неточностям их установки. В машинах малой мощности её действие незначительно и ею можно пренебречь.

3.7.7. ПОЛНАЯ М.Д.С. ВОЗБУЖДЕНИЯ МАШИНЫ ПРИ НАГРУЗКЕ НА ПАРУ ПОЛЮСОВ

$$F_\epsilon = F_\Sigma + F_q, \text{ А.} \quad (3.100)$$

3.8. РАСЧЕТ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Заключается в определение числа витков, приходящих на один полюс, сечения провода, размещения обмотки на сердечниках полюсах.

3.8.1. ЧИСЛО ВИТКОВ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ НА ПОЛЮС

$$W_\epsilon = \frac{F_\epsilon}{2 \cdot I_a}, \quad (3.101)$$

где I_a – из позиции 3.2;

F_ϵ – из позиции 3.100.

3.8.2. СЕЧЕНИЕ И ДИАМЕТР ПРОВОДА ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Предварительно

$$q'_\epsilon = \frac{I_a}{j'_\epsilon}, \text{ мм}^2, \quad (3.102)$$

где I_a – из позиции 2.2, $j'_\epsilon = 2.5 \dots 4.5$ А/мм² с естественным охлаждением. Из приложения 1 выбрать ближайшее значение сечения и диаметра провода:

$$q_\epsilon = \frac{d_\epsilon}{d_{\epsilon u}}. \quad (3.103)$$

Окончательная плотность тока в проводнике обмотки возбуждения:

$$j_\epsilon = \frac{I_a}{q_\epsilon}, \text{ А/мм}^2. \quad (3.104)$$

Сопротивление обмотки возбуждения в нагретом состоянии при 75 °С:

$$r_\epsilon = 1.22 \cdot \frac{2p \cdot W_\epsilon \cdot l_{cp}}{5700 \cdot q_\epsilon}, \quad (3.105)$$

где $2p$ – число полюсов двигателя;

W_ϵ – из позиции 3.101;

q_ϵ – из позиции 3.103;

1,22 – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления обмотки при её нагревании от 20 до 75° С;

l_{cp} – средняя длина витка обмотки возбуждения, определяемая по эскизу расположения обмотки на полюсе.

Падение напряжения в обмотке возбуждения

$$\Delta U_\epsilon = I_a \cdot r_\epsilon, \quad (3.106)$$

где I_a – из позиции 3.2;

r_ϵ – из позиции 3.105.

Проверка величины ЭДС якоря при нагрузке:

$$E = U - \Delta U_a - \Delta U_{щ} - \Delta U_{\epsilon}, \quad (3.107)$$

где U – берется согласно заданию;

$$\Delta U_a = I_a \cdot r_a,$$

где I_a – из позиции 3.2;

$$r_a = 1.22 \cdot \frac{N \cdot l_a}{5700 \cdot 4q_a}, \quad (3.108)$$

где N – из позиции 3.25;

$$l_a = l_0 + 1.2 \cdot D_a;$$

$$q_a = \theta_m \cdot \alpha' \cdot (1 + 0.1 \cdot V), \text{ Вт/град} \cdot \text{см}^2;$$

$$\theta_m = 65 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha' = 0.0014 \dots 0.0018, \text{ Вт/град} \cdot \text{см}^2;$$

$$V = \frac{\pi \cdot D_a \cdot n}{60} \cdot 10^{-2}, \text{ м/сек};$$

$\Delta U_{щ}$ – из приложения 2 согласно выбранной щетке;

ΔU_{ϵ} – из позиции 3.106.

Полученная величина ЭДС не должна отличаться от предварительного ее значения больше чем на $\pm 3\%$. При большем отклонении необходимо сделать поправку на величину необходимых ампервитков обмотки возбуждения.

Потребная площадь окна для размещения обмотки возбуждения на полюсе:

$$S'_{\epsilon} = \frac{W_{\epsilon} \cdot d_{su}^2}{f_0}, \quad (3.109)$$

где $f_0 = 0.82 \dots 0.88$ – коэффициент, учитывающий неточности намотки;

W_{ϵ} – из позиции 3.101;

$d_{\text{ви}}^2$ – из пункта 3.8.2.

Фактическая площадь окна для размещения обмотки возбуждения:

$$S_e = (1.1 \dots 1.2) S'_e, \quad (3.110)$$

3.9. ПОТЕРИ И КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Потери в маломощных электродвигателях переменного тока складываются из следующих видов потерь:

- потери в меди обмотки якоря и возбуждения;
- переходные потери в контакте «коллектор – щетки»;
- магнитные потери на гистерезис и вихревые токи в стали якоря;
- механические потери (трение в подшипниках, якоря о воздух, щеток о коллектор);
- добавочные потери.

3.9.1. ПОТЕРИ В МЕДИ ОБМОТОК ЯКОРЯ И ВОЗБУЖДЕНИЯ

$$P_{ma} = I_a^2 \cdot r_a, \quad (3.111)$$

где I_a – из позиции 3.2;

r_a – из позиции 3.108;

$$P_{me} = I_a^2 \cdot r_e, \quad (3.112)$$

r_e – из позиции 3.105.

3.9.2. ПЕРЕХОДНЫЕ ПОТЕРИ В КОНТАКТЕ «КОЛЛЕКТОР – ЩЕТКИ»

$$P_{цк} = I_a \cdot \Delta U_{ц},$$

где $\Delta U_{ц}$ – согласно выбранной щетке (приложение 2).

3.9.3. МАГНИТНЫЕ ПОТЕРИ НА ГИСТЕРЕЗИС И ВИХРЕВЫЕ ТОКИ

Вес стали сердечника якоря:

$$G_{ca} = 5.5 \cdot (D_a - 2 \cdot h_n)^2 \cdot l_0 \cdot 10^{-3}, \text{ кг.} \quad (3.113)$$

Вес стали зубцов якоря:

$$G_{cз} = 7.8 \cdot z_{cp} \cdot z \cdot h_n \cdot l_0 \cdot 10^{-3}, \text{ кг.} \quad (3.114)$$

Потери на гистерезис и вихревые токи в стали сердечника якоря:

$$P_{ca} = P_a \left(\frac{B_a}{10000} \right) \cdot G_{ca}, \text{ Вт.} \quad (3.115)$$

Потери на гистерезис и вихревые токи в стали зубцов якоря:

$$P_{cз} = P_a \left(\frac{B_з}{10000} \right) \cdot G_{cз}, \text{ Вт.} \quad (3.116)$$

Полные потери на гистерезис и вихревые токи в стали якоря:

$$P_a = P_{21A} + P_{cз}, \text{ Вт.} \quad (3.117)$$

Удельные потери в стали:

$$P_a = 2 \cdot \xi \cdot \left(\frac{f}{100} \right) + 2.5 \cdot g \cdot \left(\frac{f}{100} \right)^2, \text{ Вт/кг;} \quad (3.118)$$

$$P_з = 1.5 \cdot \xi \cdot \left(\frac{f}{100} \right) + 3 \cdot g \cdot \left(\frac{f}{100} \right)^2, \text{ Вт/кг,} \quad (3.119)$$

f – берется из пункта 3.2.3;

$$g = 5,1, \quad \xi = 4,1.$$

Механические потери в электродвигателе

Потери на трение щеток о коллектор:

$$P_{тр.щ} = 9.81 \cdot \mu \cdot P_{щ} \cdot S'_{щ} \cdot V_k, \quad (2.120)$$

где μ , $P_{щ}$, V_k – из табл. П2.1 приложения 2 согласно принятой марке щетки;

$S'_{щ}$ – из позиции 3.65.

Потери на трение якоря о воздух для маломощных электродвигателей можно приближенно определить по следующей формуле:

$$P_{тр.в} \approx 2 \cdot D_a^2 \cdot n^3 \cdot l_0 \cdot 10^{-14}, \text{ Вт.} \quad (3.121)$$

Полные механические потери:

$$P_{\text{мх}} = P_{\text{тр.щ}} + P_{\text{тр.в}}, \text{ Вт.} \quad (3.122)$$

Общие потери в электродвигателе при полной нагрузке:

$$\Sigma P = \zeta (P_{\text{ма}} + P_{\text{мв}} + P_{\text{цк}} + P_{\text{с}} + P_{\text{мх}}), \text{ Вт,} \quad (3.123)$$

$\zeta = 1,08 \dots 1,12$ – коэффициент, учитывающий добавочные потери.

КПД при номинальной нагрузке:

$$\eta = \frac{U \cdot I - \Sigma P}{U \cdot I}, \quad (3.124)$$

Если полезная мощность электродвигателя, определяемая из соотношения $P = U \cdot I - \Sigma P$, будет несколько отличаться от заданной номинальной, то для получения последней следует определить соответствующее новое значение тока якоря из уравнения

$$I_a = \frac{A}{2} - \sqrt{\frac{A^2}{4} - B}. \quad (3.125)$$

После этого необходимо внести поправки в значения $P_{\text{ма}}$, $P_{\text{мв}}$, $P_{\text{цк}}$, ΣP и вычислить окончательное значение КПД.

Коэффициенты определяются по следующим формулам:

$$A = \frac{U}{S} - \frac{\Delta U_{\text{щ}}}{r_a + r_{\text{в}}}; \quad B = \frac{P}{S} + \frac{P_{\text{с}} + P_{\text{мх}}}{r_a + r_{\text{в}}}. \quad (3.126)$$

Рабочие характеристики электродвигателя

Рабочие характеристики представляют собой зависимости P_1 , P_2 , I_a , n , $\eta = f(M_2)$ при $U_{\text{ном}} = \text{const}$.

Целесообразно расчет рабочих характеристик произвести для нескольких значений потребляемого тока двигателя из сети и данные представить в табл. 3.2, затем по этим данным построить графические зависимости.

Таблица 3.2

Величина	Потребляемый двигателем ток из сети, А			
	0,5I	0,8I	I	1,2I
$I_a = I_\epsilon, \text{ А}$				
$\Delta U_a = I_a \cdot r_a, \text{ В}$				
$\Delta U_\epsilon = I_a \cdot r_\epsilon, \text{ В}$				
$\Delta U_{\text{щ}}, \text{ В}$				
$\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_{\text{щ}} + \Delta U_\epsilon, \text{ В}$				
$E = U - \Delta U, \text{ В}$				
F_ϵ				
F_R				
$F'_R = F_\epsilon - F_R$				
Φ_a				
$n = \frac{60 \cdot a \cdot E \cdot 10^8}{p \cdot N \cdot \Phi_a}, \text{ ОБ/МИН}$				
$P_{\text{ма}} = I_a^2 \cdot r_a, \text{ Вт}$				
$P_{\text{мв}} = I_a^2 \cdot r_\epsilon, \text{ Вт}$				
$P_{\text{щк}} = I_a \cdot \Delta U_{\text{щ}}, \text{ Вт}$				
$P_c, \text{ Вт}$				
$P_{\text{мх}}, \text{ Вт}$				
$\Sigma P = \zeta(P_{\text{ма}} + P_{\text{мв}} + P_{\text{щк}} + P_c + P_{\text{мх}}), \text{ Вт}$				
$P_1 = U \cdot I, \text{ Вт}$				
$P_2 = P_1 - \Sigma P, \text{ Вт}$				
$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100, \%$				
$M = 97.5 \frac{P_2}{n}, \text{ КГ/СМ}$				

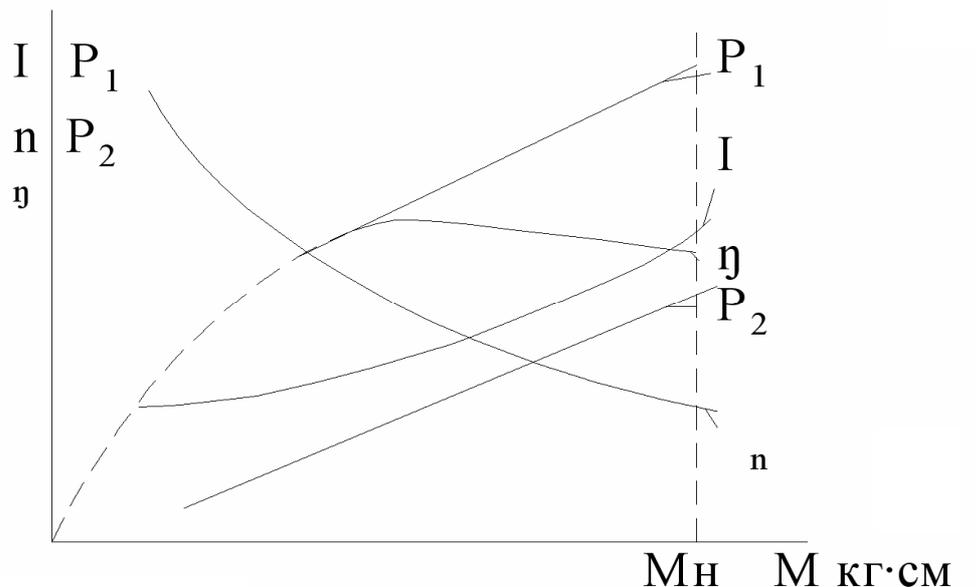


Рис. 3.7. Рабочие характеристики коллекторного двигателя переменного тока малой мощности

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие параметры определяет машинная постоянная «С»?
2. Какое влияние оказывают электромагнитные нагрузки (A и $B\delta$) на оптимальное использование объема якоря ($D_2^2 \cdot l_2$)?
3. Пояснить устройство и принцип действия коллекторной машины переменного тока.
4. Какую обмотку предпочтительно использовать при двухполюсном и четырехполюсном исполнении?
5. Каким должно быть выбрано Z_2 (четным или нечетным) для уменьшения пульсаций магнитного поля?
6. Какими параметрами характеризуется обмотка якоря?
7. Какое влияние оказывает воздушный зазор на величину магнитного потока?
8. Какие формы паза якоря используются в коллекторных электродвигателях переменного тока малой мощности?
9. Что представляет собой коэффициент заполнения паза якоря?
10. Для чего делается скос пазов якоря?
11. Какие условия должны выполняться для обеспечения благоприятной коммутации?
12. Укажите участки магнитной цепи, по которым проходит магнитный поток.
13. Что такое реакция якоря и как она влияет на величину и распределение основного магнитного потока?

14. Какие виды потерь имеют место в коллекторных электродвигателях?
15. Назовите переменные и постоянные потери. При каком их соотношении КПД машины получается максимальным?
16. Представьте графическое изображение рабочих характеристик коллекторных двигателей переменного тока малой мощности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коллекторные микромашины переменного тока, используемые в качестве исполнительных двигателей, остаются незаменимыми во многих системах автоматического регулирования и в бытовой технике. Задача создания микродвигателей переменного тока с высокой степенью надежности их запуска при номинальном напряжении трогания и выполнения ими функций в рабочем режиме остается актуальной и в настоящее время. При разработке таких двигателей, прежде всего, необходимо четко представлять механизм работы, принцип действия, принципиальные схемы и основные характеристики. Данное учебное пособие может быть использовано для самостоятельной работы студентов и при выполнении дипломных проектов.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица П1.1

Диаметры и площади поперечного сечения круглых медных проводов

а) Провода марок ПЭТВ, ПЭТ-155, ПСД, ПСДК, ПСДТ, ПСДКТ

Номинальный диаметр неизолированного провода, мм	Площадь попереч- ного сечения неизоли- рованного провода, мм ²	Диаметр (мм) изолированного провода марки				Номинальный диаметр неизолиро- ванного провода, мм	Пло- щадь попе- реч- ного сече- ния неизо- лиро- ван- ного про- вода, мм ²	Диаметр (мм) изолированного провода марки			
		ПЭТВ ПЭТ-155	ПСД ПСДК	ПСДТ	ПСДКТ			ПЭТВ ПЭТ-155	ПСД ПСДК	ПСДТ	ПСДКТ
0,06	0,00283	0,080	–	–	–	0,55	0,2380	0,605	0,81	0,75	0,72
0,07	0,00385	0,090	–	–	–	0,57	0,2550	0,625	0,83	0,77	0,74
0,08	0,00503	0,100	–	–	–	0,59	0,2730	0,645	0,85	0,79	0,76
0,09	0,00636	0,110	–	–	–	0,62	0,3020	0,675	0,88	0,82	0,79
0,10	0,00785	0,122	–	–	–	0,64	0,3220	0,700	0,90	0,84	0,81
0,11	0,00950	0,132	–	–	–	0,67	0,3530	0,730	0,93	0,87	0,84
0,12	0,01131	0,142	–	–	–	0,69	0,3740	0,750	0,95	0,89	0,86
0,13	0,01327	0,152	–	–	–	0,72	0,4070	0,780	0,99	0,94	0,90
0,14	0,01539	0,162	–	–	–	0,74	0,4300	0,805	1,01	0,96	0,92
0,15	0,01767	0,180	–	–	–	0,77	0,4660	0,835	1,04	0,99	0,95
0,16	0,0201	0,190	–	–	–	0,80	0,5030	0,865	1,07	1,02	0,98
0,17	0,0227	0,200	–	–	–	0,83	0,5410	0,895	1,10	1,05	1,01
0,18	0,0255	0,210	–	–	–	0,86	0,5810	0,925	1,13	1,08	1,04
0,19	0,0284	0,220	–	–	–	0,90	0,6360	0,965	1,17	1,12	1,08
0,20	0,0314	0,230	–	–	–	0,93	0,6790	0,995	1,20	1,15	1,11
0,21	0,0346	0,240	–	–	–	0,96	0,7240	1,025	1,23	1,18	1,14
0,23	0,0415	0,265	–	–	–	1,00	0,785	1,080	1,29	1,23	1,20
0,25	0,0491	0,285	–	–	–	1,04	0,849	1,120	1,33	1,27	1,24
0,27	0,0573	0,305	–	–	–	1,08	0,916	1,160	1,37	1,31	1,28
0,29	0,0661	0,325	–	–	–	1,12	0,985	1,200	1,41	1,35	1,32
0,31	0,0755	0,345	0,55	0,50	0,46	1,16	1,057	1,240	1,45	1,39	1,36

Номинальный диаметр неизолированного провода, мм	Площадь попереч- ного сечения неизоли- рованного провода, мм ²	Диаметр (мм) изолированного провода марки				Номинальный диаметр неизолиро- ванного провода, мм	Пло- щадь попе- реч- ного сече- ния неизо- иро- ван- ного про- вода, мм ²	Диаметр (мм) изолированного провода марки			
		ПЭТВ ПЭТ-155	ПСД ПСДК	ПСДТ	ПСДКТ			ПЭТВ ПЭТ-155	ПСД ПСДК	ПСДТ	ПСДКТ
0,33	0,0855	0,365	0,57	0,52	0,48	1,20	1,131	1,280	1,49	1,43	1,40
0,35	0,0962	0,390	0,59	0,54	0,50	1,25	1,227	1,330	1,54	1,48	1,45
0,38	0,1134	0,420	0,62	0,57	0,53	1,30	1,327	1,385	1,59	1,53	1,50
0,41	0,1320	0,450	0,65	0,60	0,56	1,35	1,431	1,435	1,64	1,58	1,55
0,44	0,1521	0,480	0,68	0,63	0,59	1,40	1,539	1,485	1,69	1,63	1,60
0,47	0,1735	0,510	0,71	0,66	0,62	1,45	1,651	1,535	1,74	1,68	1,65
0,49	0,1886	0,530	0,73	0,68	0,64	1,50	1,767	1,585	1,79	1,73	1,70
0,51	0,2040	0,565	0,77	0,71	0,68	1,56	1,911	1,645	1,85	1,79	1,76
0,53	0,2210	0,585	0,79	0,73	0,70	1,62	2,060	1,705	1,91	1,87	1,86
1,68	2,220	1,765	1,97	1,93	1,92	2,83	6,290	–	3,19	–	–
1,74	2,380	1,825	2,03	1,99	1,98	3,05	7,310	–	3,42	–	–
1,81	2,570	1,905	2,10	2,06	2,05	3,28	8,450	–	3,65	–	–
1,88	2,780	1,975	2,17	2,13	2,12	3,53	9,790	–	3,90	–	–
1,95	2,990	2,045	2,24	2,20	2,19	3,80	11,34	–	4,17	–	–
2,02	3,200	2,115	2,32	2,28	2,27	4,10	13,20	–	4,48	–	–
2,10	3,460	2,200	2,40	2,36	2,35	4,50	15,90	–	4,88	–	–
2,26	4,010	2,360	2,62	–	–	4,80	18,10	–	5,18	–	–
2,44	4,680	2,540	2,80	–	–	5,20	21,24	–	5,58	–	–
2,63	5,430	–	2,99	–	–						

б) Провода марки ПЭТ-200

Номинальный диаметр неизолированного провода, мм	Площадь поперечного сечения неизолированного провода, мм ²	Диаметр изолированного провода марки ПЭТ-200, мм	Номинальный диаметр изолированного провода, мм	Площадь поперечного сечения изолированного провода, мм ²	Диаметр изолированного провода марки ПЭТ-200, мм
0,50	0,196	0,552	1,25	1,227	1,325
0,56	0,246	0,612	1,32	1,368	1,395
0,63	0,312	0,690	1,40	1,539	1,485
0,71	0,396	0,770	1,50	1,767	1,585
0,75	0,442	0,810	1,60	2,011	1,685
0,80	0,503	0,865	1,70	2,270	1,785
0,85	0,567	0,915	1,80	2,545	1,895
0,90	0,636	0,965	1,90	2,835	1,995
0,95	0,709	1,015	2,00	3,142	2,095
1,00	0,785	1,080	2,12	3,530	2,215
1,06	0,882	1,135	2,24	3,941	2,345
1,12	0,985	1,195	2,36	4,374	2,465
1,18	1,094	1,255	2,50	4,909	2,605

Примечание. Диаметры изолированных проводов вычислены с учетом расчетной средней двусторонней толщины эмалевой изоляции, рассчитываемой путем округления среднего арифметического из минимальной и максимальной толщин.

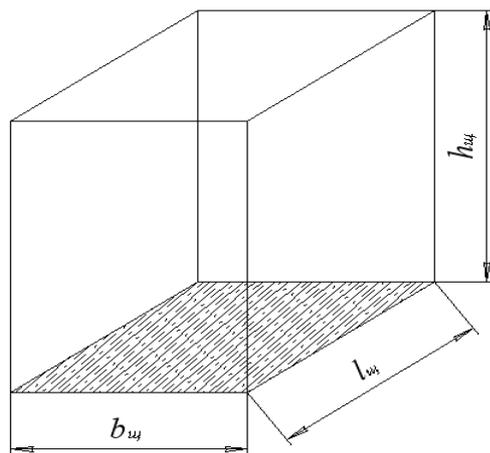


Таблица П2.1

Шкала размеров электрощеток (в мм) $b_{щ} \times l_{щ} \times h_{щ}$

Тангенциальный размер $b_{щ}$	Осевой размер $l_{щ}$										
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	32	40	50
4	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	12,5	12,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	16	16	16	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	20	20	20	20	—	—	—	—	—
5	—	12,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	16	16	16	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	20	20	20	20	—	—	—	—	—
	—	—	25	25	25	25	25	—	—	—	—
	—	—	—	—	32	32	32	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	40	—	—	—	—
6,3	—	—	20	20	20	—	—	—	—	—	—
	—	—	25	25	25	25	25	—	—	—	—
	—	—	—	32	32	32	32	32	32	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	40	40	—	—
8	—	—	—	20	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	25	25	25	25	25	—	—	—
	—	—	—	32	32	32	32	32	32	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	40	40	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	50	50	—	—
10	—	—	—	—	25	25	25	—	—	—	—
	—	—	—	—	32	32	32	32	32	—	—
	—	—	—	—	—	—	40	40	40	40	—
	—	—	—	—	—	—	—	50	50	50	—
12,5	—	—	—	—	—	25	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	32	32	32	32	—	—
	—	—	—	—	—	—	40	40	40	40	—
	—	—	—	—	—	—	—	50	50	50	50
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	64	64

Тангенциальный размер $b_{щ}$	Осевой размер $l_{щ}$										
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	32	40	50
16	—	—	—	—	—	—	32	32	32	—	—
	—	—	—	—	—	—	40	40	40	40	—
	—	—	—	—	—	—	50	50	50	50	50
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	64	64
20	—	—	—	—	—	—	—	32	32	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	40	40	40	—
	—	—	—	—	—	—	—	50	50	50	50
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	64	64
25	—	—	—	—	—	—	—	—	40	40	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	50	50	50
	—	—	—	—	—	—	—	—	64	64	64
32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	50
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	64	64
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100

Таблица П2.2

**Расчетные параметры и условия работы щеток
для электрических машин малой мощности**

Наименование группы марок	Обозначение марок щеток	Переходное падение напряжения на пару щеток $\Delta U_{щ}$ В	Плотность тока, А/см ²	Максимальная окружная скорость V_k , м/сек	Коэффициент трения при $V_k \leq 15$, м/сек	Удельное нажатие на щетки $P_{щ}$, кг/см ³
Угольно-графитные	Т6	2±0.5	6	10	0.3	0.2 ... 0.25
Графитные	Г-1	2.2±0.5	7	12	0.3	0.2 ... 0.25
	Г-3	1.2±0.4	10	25	0.25	0.2 ... 0.25
Электрографитированные	ЭГ-2	2.7±0.6	10	25	0.20	0.2 ... 0.25
	ЭГ-8	2.4±0.5	10	40	0.25	0.2 ... 0.40
Медно-графитные	М-1	1.5±0.5	15	25	0.25	0.15 ... 0.20
	М-3	1.8±0.4	12	20	0.25	0.15 ... 0.20

	М-6	1.5±0.5	15	25	0.20	0.15 ... 0.20
	МГ	0.2±0.1	20	20	0.20	0.18 ... 0.23
	МГ-4	1.1±0.5	15	20	0.20	0.15 ... 0.20

Приложение 3

Таблица ПЗ.1

Основная таблица намагничивания. Сталь 2013

В, Тл	H, А/см									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,4	0,56	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,60	0,61	0,61	0,62
0,5	0,63	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,67	0,68	0,68	0,69
0,6	0,70	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76	0,77
0,7	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
0,8	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97
0,9	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08
1,0	1,0	1,11	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,20	1,21	1,23
1,1	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	1,32	1,33	1,34	1,36	1,38
1,2	1,41	1,46	1,52	1,58	1,64	1,70	1,76	1,82	1,88	1,94
1,3	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	2,50	2,60	2,70	2,80	2,9
1,4	3,00	3,20	3,50	3,80	4,10	4,30	4,60	5,00	5,40	5,8
1,5	6,20	6,70	7,80	8,90	10,0	11,3	12,4	13,5	14,6	15,8
1,6	17,0	18,6	20,2	21,8	23,4	25,0	27,0	28,0	30,0	32,0
1,7	34,0	37,0	40,0	43,0	47,0	50,0	54,0	58,0	62,0	66,0
1,8	70,0	75,0	80,0	85,0	92,0	100	106	112	118	124
1,9	130	136	142	148	156	165	173	181	189	198
2,0	207	226	244	263	281	300	360	420	480	540
2,1	600	670	740	810	880	950	1020	1090	1160	1230
2,2	1300	1380	1460	1540	1620	1700	1780	1860	1940	2020

2,3	2100	2180	2260	2340	2420	2500	2580	2660	2740	2820
2,4	2900	2980	3060	3140	3220	3300	3380	3460	3540	3620

Таблица ПЗ.2

**Таблица намагничивания для зубцов машин
переменного тока. Сталь 2013**

В, Тл	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	H, А/см									
0,4	1,24	1,27	1,3	1,33	1,36	1,38	1,41	1,44	1,47	1,5
0,5	1,54	1,57	1,6	1,64	1,67	1,71	1,74	1,77	1,8	1,84
0,6	1,88	1,91	1,94	1,98	2,01	2,05	2,08	2,12	2,16	2,24
0,7	2,23	2,26	2,29	2,33	2,36	2,4	2,43	2,47	2,50	2,53
0,8	2,56	2,59	2,62	2,65	2,68	2,71	2,74	2,77	2,80	2,83
0,9	2,86	2,90	2,93	2,97	3,01	3,04	3,08	3,12	3,16	3,20
1,0	3,24	3,29	3,33	3,38	3,42	3,46	3,50	3,55	3,60	3,65
1,1	3,70	3,75	3,80	3,85	3,91	3,96	4,01	4,06	4,11	4,17
1,2	4,24	4,30	4,36	4,42	4,48	4,55	4,61	4,67	4,73	4,79
1,3	4,86	4,95	5,04	5,14	5,24	5,33	5,63	5,74	5,84	5,95
1,4	5,86	5,98	6,10	6,22	6,34	6,46	6,58	6,70	6,83	6,96
1,5	7,09	7,22	7,35	7,49	7,63	7,77	7,91	8,05	8,20	8,35
1,6	8,5	8,78	9,06	9,34	9,62	9,90	10,2	10,5	10,8	11,1
1,7	11,5	11,8	12,2	12,5	12,9	13,3	13,6	14,0	14,4	14,8
1,8	15,2	15,7	16,2	16,7	17,2	17,7	18,3	18,9	19,5	20,1
1,9	20,7	21,6	22,5	23,4	24,3	25,2	26,4	27,6	28,9	30,2
2,0	31,5	33,2	35,0	36,8	38,6	40,4	42,6	44,8	47,0	49,2
2,1	51,4	54,4	57,4	60,5	63,6	66,7	71,2	75,7	80,2	84,7
2,2	89,2	94,3	99,4	104,6	109,8	115	120	126	132	138

2,3	144	151	158	165	172	180	188	196	205	214
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица ПЗ.3

**Таблица намагничивания для спинки машин
переменного тока. Сталь 2013**

В, Тл	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	H, А/см									
0,4	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62
0,5	0,64	0,65	0,66	0,67	0,69	0,71	0,72	0,74	0,76	0,78
0,6	0,80	0,81	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,95	0,97
0,7	1,00	1,02	1,04	1,06	1,08	1,11	1,13	1,15	1,18	1,21
0,8	1,24	1,26	1,29	1,32	1,35	1,38	1,40	1,43	1,46	1,49
0,9	1,52	1,55	1,58	1,61	1,64	1,68	1,71	1,74	1,77	1,81
1,0	1,85	1,88	1,91	1,95	1,99	2,03	2,06	2,09	2,13	2,17
1,1	2,21	2,25	2,29	2,33	2,37	2,41	2,45	2,49	2,53	2,57
1,2	2,62	2,67	2,72	2,77	2,83	2,89	2,95	3,01	3,07	3,13
1,3	3,20	3,27	3,34	3,41	3,49	3,57	3,65	3,73	3,82	3,91
1,4	4,00	4,10	4,20	4,30	4,40	4,50	4,64	4,78	4,92	5,06
1,5	5,20	5,42	5,64	5,86	6,08	6,30	6,54	6,78	7,02	7,26
1,6	7,50	7,88	8,26	8,64	9,02	9,40	9,82	10,2	10,7	11,1
1,7	11,5	12,2	12,9	13,6	14,3	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0
1,8	20,0	21,6	23,2	24,9	26,5	28,1	29,6	31,1	32,7	34,2
1,9	35,7	38,0	40,3	42,6	44,9	47,2	49,3	51,4	53,5	55,6
2,0	57,7	60,0	63,0	66,0	70,0	74,0	79,0	84,0	90,0	97,0

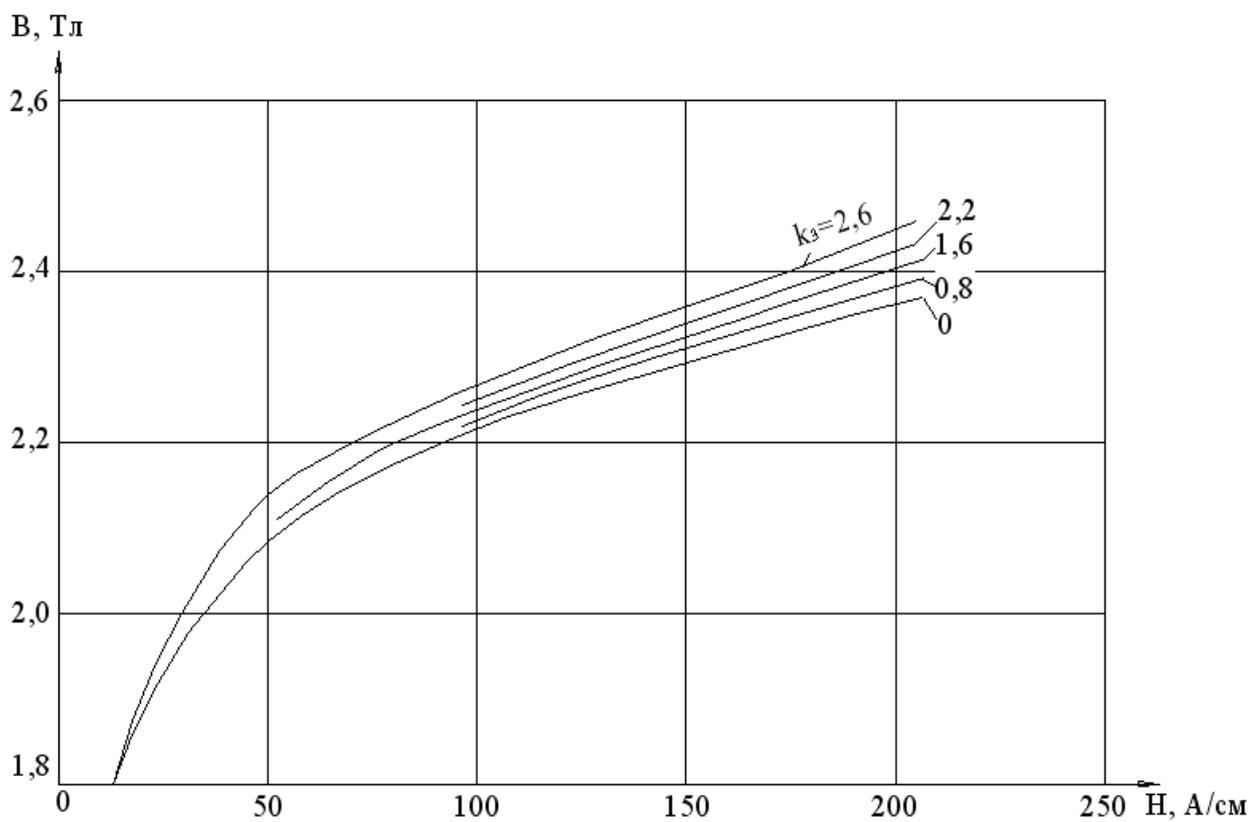


Рис. ПЗ.1. Кривые намагничивания для зубцов машин переменного тока при $B_3 \succ 1,8$ Тл, сталь 2013

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолин Н.П. Расчет маломощных коллекторных машин. – М.: Госэнергоиздат, 1955.
2. Ермолин Н.П. Электрические машины малой мощности. – М.: Высшая школа, 1967.
3. Морозов А.Г. Расчет электрических машин постоянного тока: учеб. пособ. для неэлектротехнических специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 1972.
4. Проектирование электрических машин / Под ред. И.П. Копылова. – М.: Высшая школа, 2002.
5. Гольдберг О.Д., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин / Под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Высшая школа, 2006.
6. Гольдберг О.Д., Хелемская С.П. Электромеханика / Под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Академия, 2007.
7. Кацман М.М. Справочник по электрическим машинам. – М.: Академия, 2005.
8. Справочник по электрическим машинам: в 2 т. / Под общ. ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	3
1. Общие вопросы, касающиеся коллекторных машин переменного тока	4
1.1. Электромеханическое преобразование энергии в коллекторных машинах переменного тока	4
1.2. Универсальные коллекторные двигатели для бытовых приборов	10
1.3. Стандартизация в области электрических машин	25
2. Материалы, применяемые в электрических машинах малой мощности	38
2.1. Электроизоляционные материалы	38
2.2. Проводниковые материалы	40
2.3. Электротехнические стали	41
2.4. Щетки. Конструкционные материалы. Подшипниковые щиты и подшипники. Вал	44
3. Методика расчета коллекторного электродвигателя переменного тока малой мощности	53
3.1. Определение расчетной электромагнитной мощности, тока и ЭДС якоря при нагрузке	54
3.2. Определение главных размеров электродвигателя	55
3.3. Расчет обмотки якоря	61
3.4. Размеры зубцов, пазов и проводов обмотки якоря	65
3.5. Коллектор, щеткодержатель, щетки	76
3.6. Определение размеров индуктора	83
3.7. Расчет магнитной системы	86
3.8. Расчет обмотки возбуждения	94
3.9. Потери и коэффициент полезного действия электродвигателя	97
Заключение	102
Приложения	103
Библиографический список	112

Учебное издание

*ЦОПОВ Геннадий Иосифович
ОВСЯННИКОВ Владимир Николаевич*

**Проектирование коллекторных электродвигателей
переменного тока малой мощности**

*Редактор Ю.А. Петропольская
Верстка И.О. Миняева
Выпускающий редактор Н.В. Беганова*

Подписано в печать 22.03.11.
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. п. л. 6,63. Уч.-изд. л. 6,61.
Тираж 50 экз. Рег. №264/10.

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Корпус №8