Библиотека электромонтера

Л. Б. Ривлин

Как определить неисправность асинхронного двигателя

Госэнергоиздат

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 77

Л. Б. РИВЛИН

КАК ОПРЕДЕЛИТЬ НЕИСПРАВНОСТЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ИСПРАВЛЕННОЕ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1962 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В., Каминский Е. А., Смирнов А. Д., Устинов П. И.

ЭЭ-3-3
6П2. 12
Р. 49

В брошюре рассмотрены основные электрические и механические неисправности, встречающиеся при эксплуатации асинхронных двигателей, указаны причины этих неисправностей и даны наиболее простые и доступные в условиях эксплуатации методы их определения.

Брошюра предназначена для электромонтеров, обслуживающих асинхронные электродвигатели промышленных электроприводов. Она может оказать помощь монтажному и ремонтному персоналу и служить пособием для лиц, приобретающих квалификацию фабрично-заводских электромонтеров.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.
1. Недостаточное вращающее усилие при пуске двигателя . . . 3
2. Чрезмерное нагревание активных частей двигателя 18
3. Неисправности щеток и контактных колец 27
4. Неисправности паек в обмотках и бандажах роторов. Сильный нагрев контактов 32
5. Задевание статора ротором 33
6. Осевой сдвиг ротора 35
7. Вибрация двигателя 38
8. Ненормальный шум в двигателе 44
9. Неисправности подшипников качения 47
10. Неисправности подшипников скольжения. Попадание масла внутрь двигателя 49
11. Повреждения изоляции обмоток 53
Литература 56

Ривлин Лев Борисович

КАК ОПРЕДЕЛИТЬ НЕИСПРАВНОСТЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

М.— Л., Госэнергоиздат, 1962, 56 стр., с рис. 6П2.12

Редактор *А. Р. Дерю* Технич. редактор *О. С. Житникова*

Сдано в производство 22/II 1962 г. Подп. к печ. 22/VI 1962 г. М-06360.
Печ. л. прив. 2,87. Уч.-изд. л 3,3. Бум. л. 0.87 Формат 84 × 108¹/₃₂. Тираж 35 000.
Цена 12 коп. Заказ 330.

Типография № 4 УПП Ленсовнархоза. Ленинград, Социалистическая, 14.

1. НЕДОСТАТОЧНОЕ ВРАЩАЮЩЕЕ УСИЛИЕ ПРИ ПУСКЕ ДВИГАТЕЛЯ

Двигатель при пуске не разворачивается или вращение его ненормально

Пуску двигателя могут препятствовать причины механического или электрического характера.

Механические причины. К механическим причинам следует отнести: а) заклинивание («заедание») приводимого механизма; б) ненормально большая нагрузка его, например, в случае завалов и закупорки в дробилках, мельницах, мешалках, при сильно затянутых сальниках в насосах и пр.

Во всех этих случаях развиваемое двигателем вращающее усилие может оказаться недостаточным для трогания «с места» механизма.

Для того чтобы убедиться, что двигатель при пуске не разворачивается из-за перегрузки, необходимо пустить его без приводимого механизма; если при этом двигатель начинает хорошо работать, то это подтверждает наличие перегрузки.

К механическим неисправностям, которые могут возникнуть в самом двигателе и препятствуют пуску двигателя в ход, следует отнести задевание ротором статора (см. разд. 5), повреждение подшипников, перекос при затяжке подшипниковых щитов и пр.

Признаком, подтверждающим, что двигатель при пуске не разворачивается по механическим причинам, является одинаковый ток во всех трех фазах статора.

Электрические причины. Основными причинами электрического характера являются: а) обрывы в питающей сети, в пусковой аппаратуре; б) внутренний обрыв в одной фазе обмотки статора, соединенного звездой, или обрыв в двух или трех фазах роторной цепи фазного ротора.

При наличии обрыва в цепи статора отсутствует вращающееся магнитное поле — одно из необходимых условий

вращения двигателя, а при обрыве в двух фазах роторной цепи — в его обмотке отсутствует ток, необходимый для взаимодействия с вращающимся полем статора. (О поведении двигателя с обрывом в одной фазе роторной цепи — см. стр. 8).

Если при обрыве в одной фазе сети или внутреннем обрыве в статорной обмотке, соединенной звездой, произвести разворачивание двигателя от руки (имеется в виду небольшой двигатель), то он будет работать толчками и ненормально гудеть.

Если обрыв в фазе происходит при работе двигателя, то он может продолжать работать, но его скорость вращения при номинальной нагрузке понижается, а ток значительно повышается, что при отсутствии соответствующей защиты двигателя от перегрузки может вызвать сильный перегрев и повреждение обмоток.

При обрыве в одной фазе обмотки статора, соединенной треугольником, образуется вращающееся магнитное поле и двигатель разворачивается. Однако работа двигателя в этом случае имеет свои особенности, которые рассматриваются ниже (см. стр. 15). Здесь же мы рассмотрим нахождение обрыва при соединении обмоток звездой.

Признаком обрыва в цепи статора является отсутствие тока в питающих проводах при включении статора в сеть. В случае обрыва в двух или трех фазах внешней цепи ротора величина тока во всех фазах статора (при его включении в сеть) примерно одинакова; напряжения между кольцами фазного ротора, измеренные попарно при неподвижном роторе, будут также одинаковы. Следует учесть, что напряжение на кольцах разомкнутого ротора может оказаться опасным и поэтому необходимо принять меры предосторожности.

Для выявления причины неисправности необходимо проверить целость предохранителей в питающей сети и проводке к статору и ротору двигателя, а также исправность включающей аппаратуры.

Наличие обрывов в цепи статора может быть определено при помощи вольтметра или мегомметра.

При определении обрыва вольтметром двигатель включают в сеть и измеряют напряжение на зажимах статора. При доступной нулевой точке производят измерения фазных напряжений. В случае обрыва, например в фазе 2 сети (рис. 1, *а*), напряжения между зажимами *1—0* и *3—0* будут одинаковы и равны половине линейного напряжения, а

напряжение на зажимах *2—0* будет равно нулю. При внутреннем обрыве в фазе обмотки статора, например в фазе *2* (рис. 1, *б*), напряжения между зажимами *1—0* и *3—0* по-прежнему будут равны половине линейного, а между зажимами *2—0* примерно 0,87 от линейного.

Если нулевая точка обмотки недоступна, то в случае обрыва в одной фазе сети, например в фазе *2* (рис. 1, *а*), напряжение между зажимами двигателя окажется несимметричным: между зажимами *1—3* напряжение будет рав-

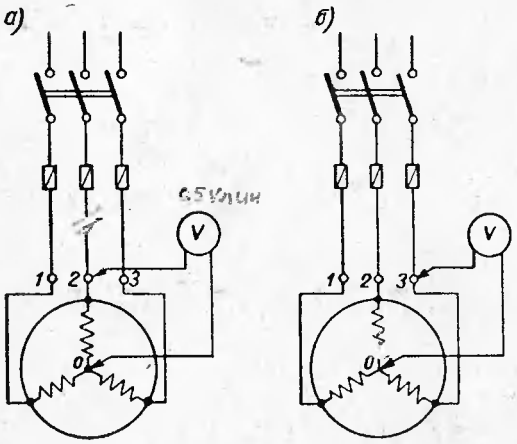


Рис. 1. Нахождение обрывов в сети (*а*) и в фазе обмотки статора (*б*) при помощи вольтметра.

но линейному, а между зажимами *1—2* или между зажимами *2—3* оно будет равно половине линейного. Следует также учесть, что неодинаковое напряжение между зажимами статора может иметь место и при целости всей цепи статора, начиная от вторичной обмотки трансформатора, питающего двигатель, но при обрыве в одной фазе первичной обмотки трансформатора. При внутреннем обрыве в одной фазе обмотки статора (рис. 1, *б*) напряжения между зажимами *1—2, 1—3, 2—3* будут одинаковы и равны линейному напряжению сети.

Таким образом, путем измерения вольтметром напряжения на зажимах включенного статора при недоступности нулевой точки обмотки установить обрыв внутри обмотки не представляется возможным.

Для определения обрыва в цепи статора при помощи мегомметра двигатель отключают от сети и измеряют сопротивление попарно между зажимами *1, 2, 3* отключен-

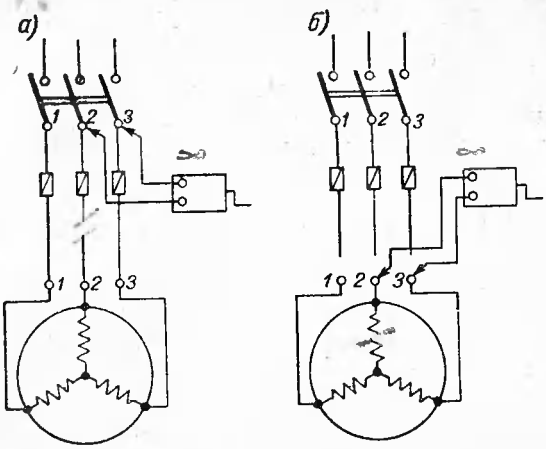


Рис. 2. Нахождение обрывов в сети (*а*) и в фазе обмотки статора (*б*) при помощи мегомметра.

ного рубильника. В случае обрыва в цепи фазы *2* (рис. 2,*а*) измерение на зажимах *1—3* покажет нуль («земля»), т. е. целость цепи, а измерение на зажимах *1—2, 2—3* покажет бóльшую величину, т. е. мегомметр покажет величину сопротивления изоляции участка сети (включая и обмотки двигателя).

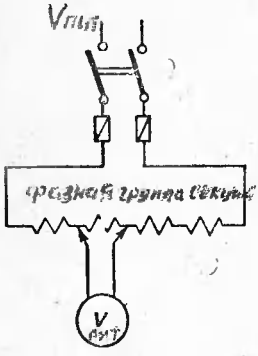


Рис. 3. Нахождение катушечной группы, имеющей обрыв.

Для того чтобы установить, где имеется обрыв, в сети или внутри обмотки, отсоединяют провода от зажимов двигателя и производят мегомметром измерения попарно на зажимах *1, 2* и *3* статора; при внутреннем обрыве, например в фазе *2* (рис. 2, *б*) измерение на зажимах *1 — 3* дает нуль, а на зажимах *1 — 2* и *2 — 3* — большую величину (сопротивление изоляции между обмотками).

Если фаза обмотки статора, имеющая обрыв, установлена, то дальнейшее определение места повреждения производится путем присоединения к сети этой фазы и измерения вольтметром напряжения на концах

катушечных групп (рис. 3) или катушек. Подводимое напряжение не должно быть больше номинального (фазного). На концах катушки с обрывом вольтметр покажет полное подводимое напряжение, в то время как на концах других катушек вольтметр покажет нуль.

Для измерения падения напряжения удобно пользоваться острыми щупами (иглами), которыми прокалывают изоляцию междукатушечных соединений. Для безопасности измерений щупы должны иметь рукоятки из изолирующего материала. Измерив напряжение, необходимо восстановить изоляцию в местах прокола.

Двигатель при подключении его к сети не вращается («прилипает»), но будучи выведенным из такого состояния, самостоятельно разворачивается и продолжает нормально работать

Это явление наблюдается главным образом в короткозамкнутых двигателях. Причиной его является конструктивный дефект — неудачное соотношение между числом пазов статора и ротора для данного числа полюсов двигателя.

Двигатель с короткозамкнутым ротором при пуске в ход не достигает номинальной скорости вращения, а «застревает» и начинает устойчиво работать при весьма низкой скорости или даже на нескольких скоростях

Устойчивая скорость в рассматриваемом случае в несколько раз меньше номинальной ($^1/_7$, $^1/_{11}$, $^1/_{13}$), чаще всего она составляет $^1/_7$ часть от номинальной. Причиной этого явления служит, так же как и в предыдущем случае, неправильное соотношение между числом пазов статора и ротора для данного числа полюсов машины.

Следует отметить, что заводы-изготовители двигателей принимают меры для предотвращения явлений «прилипания», «застревания» и шумов (см. стр. 45). Поэтому в новых машинах эти явления обычно не встречаются. Они возникают главным образом в результате перемоток машин на число полюсов, отличное от номинального, без учета необходимого соотношения между числом пазов статора и ротора для нового числа полюсов. Т.е. в случае изменения скорости вращения магнитного поля статора (при перемотке)

Двигатель с фазным ротором при пуске в ход вращается с половинной скоростью и сильно гудит

Причиной неисправности является обрыв в одной фазе ротора. Обрыв может быть внутри обмотки, в одном из проводов, соединяющих щетки с пусковым сопротивлением, в самом пусковом сопротивлении и пр.

Если двигатель при наличии обрыва в одной фазе ротора развернуть до номинальной скорости, то он будет продолжать работать с этой скоростью. Однако при повышении нагрузки скорость вновь падает до половины номинальной.

Двигатель плохо разворачивается и сильно гудит; величина тока во всех фазах различна, а при холостом ходе даже превышает номинальную

Эта неисправность является следствием неправильного соединения обмоток отдельных фаз между собой, когда, например, одна из фаз обмотки «перевернута», т. е. в соответствующую точку схемы присоединено начало обмотки фазы вместо ее конца. Это чаще всего наблюдается у двигателей, имеющих шесть выводов для соединения их звездой или треугольником, при работе, например, от напряжений 127/220 или 220/380 *в*.

Неправильное соединение обмоток возможно при ремонте двигателя и в случае трех выводов.

Кроме этого, указанная неисправность может возникнуть в случае, если двигатель имеет короткозамкнутый ротор, когда пуск в ход осуществляется путем переключения обмотки статора на время пуска с треугольника на звезду посредством специального переключателя (устаревший метод), когда выводы статора неправильно присоединены к переключателю.

На рис. 4 показано правильное и неправильное соединение фаз статорной обмотки звездой, а на рис. 5 — правильное и неправильное соединение треугольником. В обоих случаях одна из фаз «перевернута». Обозначения на этих рисунках даны в соответствии со стандартом (ГОСТ 183-55). Начало и конец выводов первой фазы обозначены (условно) соответственно через *С1, С4,* второй фазы — *С2, С5* и третьей фазы — *С3, С6.*

Для соединения обмотки звездой обычно соединяют концы *С4, С5* и *С6* вместе (в нулевую точку), а питание подводят к началам *С1, С2* и *С3,* но соединение звездой

можно выполнить, соединяя в нулевую точку начала *С1*, *С2* и *С3* при подаче питания к концам *С4*, *С5* и *С6*. Для соединения обмотки треугольником конец первой фазы (*С4*) соединяют с началом второй (*С2*), конец второй фазы (*С5*) — с началом третьей (*С3*), а конец третьей (*С6*) — с началом первой (*С1*); питание подается к попарно соединенным выводам обмоток. Соединение треугольником может быть выполнено и при соединении *С1* с *С5*, *С2* с *С6* и *С3* с *С4*.

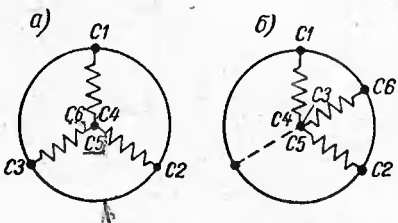


Рис. 4. Правильное (*а*) и неправильное (*б*) соединение фаз статорной обмотки звездой.

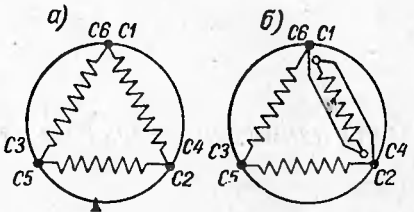


Рис. 5. Правильное (*а*) и неправильное (*б*) соединение фаз статорной обмотки треугольником.

Для правильного включения обмоток фаз следует выводы соединить по схеме, приложенной к двигателю, либо по маркировке выводов в соответствии с изложенным. Если эти данные отсутствуют, то правильность соединения фаз можно определить при питании обмотки постоянным током или путем нескольких пробных включений двигателя после соответствующих переключений обмоток.

Первый из этих способов является наиболее простым и удобным. Перед применением его необходимо разъединить фазы и мегомметром или контрольной лампочкой определить принадлежность концов обмотки к отдельным фазам. Затем к обмотке одной из фаз приключают через рубильник (рис. 6) источник постоянного тока, который выбирается таким, чтобы по обмотке проходил небольшой ток (желателен аккумулятор напряжением 2 *в*). Для уменьшения тока можно включить в цепь реостат.

В момент включения или отключения рубильника в обмотках двух других фаз будет наводиться электродвижущая сила, причем ее направление зависит от полярности концов обмотки фазы, в которую включен аккумулятор. Если к условному «началу» присоединен плюс батареи, а к условному «концу» — минус, то при отключении

рубильника на других фазах будет плюс на «началах» и минус на «концах», что можно определить по направлению отклонения стрелки милливольтметра, приключаемого поочередно к выводным концам двух других фаз. При включении тока рубильником полярность на других фазах будет обратной указанной.

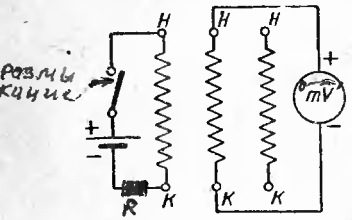


Рис. 6. Проверка правильности соединения выводов обмотки статора при помощи милливольтметра.

При выполнении этой операции следует принять меры предосторожности, так как на зажимах фаз может появиться опасное напряжение.

Методом пробного включения двигателя в сеть для установления правильности соединения фаз следует пользоваться лишь в случае невозможности применения первого способа, причем во избежание перегрева обмоток желательно при этом понизить напряжение.

Если, например, двигатель нормально работает при соединении обмоток треугольником, то для опыта следует соединить обмотки звездой и тогда можно включать двигатель на полное напряжение питающей сети.

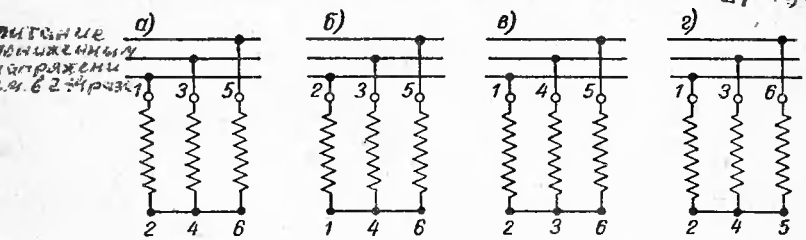


Рис. 7. Проверка правильности соединения выводов обмотки статора методом пробных включений.

Перед опытом при помощи мегомметра также определяют принадлежность концов обмотки к отдельным фазам и производят произвольную маркировку выводов, например: первой фазы *1—2*, второй фазы *3—4* и третьей —*5—6*. После этого соединяют в звезду выводы *2—4—6*, а к выводам *1—3—5* подводят ток (рис. 7, *а*). Если при таком соединении наблюдается указанная в настоящем параграфе неисправность двигателя, то меняют местами выводы пер-

вой фазы *1—2*, т. е. соединяют в звезду выводы *1—4—6*, а к выводам *2—3—5* подводят ток (рис. 7, *б*). Если при таком переключении неисправность двигателя не будет устранена, то ставят на прежнее место выводы *1—2* первой фазы и поочередно меняют местами выводы *3—4* второй фазы (рис. 7, *в*) и выводы *5—6* третьей фазы (рис. 7, *г*). Все четыре указанных соединения возможны, причем только одно из них является правильным. Так как опыт производится при соединении обмоток звездой, то при правильном включении обмоток в нулевой точке окажутся одноименные выводы; это и позволит правильно определить начала и концы фаз и в случае необходимости включить обмотки треугольником.

Если же ни при одном из вышеуказанных переключений неисправность не будет устранена, значит «перевернута» не полная фаза, а одна или несколько катушек.

При фазном роторе проверка правильности включения статорной обмотки может быть произведена, если двигатель питать со стороны ротора (при разомкнутом статоре) напряжением, не превышающим номинальное напряжение ротора, указанное на щитке двигателя. При таком питании двигатель, оставаясь неподвижным, подобен трансформатору, первичной обмоткой которого является ротор, а вторичной — статор. Включив ток в ротор, измеряют напряжение на зажимах статора. Правильным будет то соединение, при котором напряжения на зажимах статора будут симметричными.

Во время испытаний необходимо учитывать, что при питании одной из обмоток на второй может появиться опасное напряжение.

Двигатель с нагрузкой плохо разворачивается и не развивает номинальной скорости вращения; двигатель гудит, ток в статоре сильно пульсирует, наблюдается повышенное нагревание ротора, а иногда также и статора

Причиной неисправности является плохой контакт в цепи ротора.

Если неисправность появляется при работе двигателя, то его скорость вращения даже при небольшой нагрузке становится ниже номинальной.

Ток в статоре при этой неисправности пульсирует с частотой скольжения. При увеличении нагрузки, а следова-

от 2020
тельно, и скольжения, частота пульсаций также увеличивается. Пульсации при холостом ходе бывают малы и имеют малую периодичность. Одновременно с пульсацией тока происходит и колебание скорости вращения двигателя с той же частотой. Если, например, скорость вращения ротора шестиполюсного двигателя колеблется в пределах 920—960 *об/мин* (скорость вращения поля статора составляет 1000 *об/мин*), то число колебаний тока составит 80—40 в минуту. Эти колебания можно заметить по стрелке амперметра в цепи статора. К колебаниям тока часто присоединяются периодические вибрации и гудение, частота которых также повышается с увеличением скольжения. При вращении ротора с увеличением нагрузки резко падает.

В короткозамкнутом роторе плохой контакт может появиться в местах соединений стержней ротора с короткозамыкающими кольцами из-за плохой пайки или сварки; иногда наблюдается отрыв стержней от короткозамыкающих колец или разрыв колец в одном или нескольких местах. Разрыв отдельных стержней ротора может появиться и в пазовой части ротора. Следует отметить, что разрыв стержней чаще бывает в роторах с глубокими пазами, когда в последних помещаются узкие стержни. Причинами разрывов стержней являются механические напряжения и недоброкачественная заливка роторов (в случае обмоток, заливаемых алюминием).

При фазных роторах плохой контакт в роторной цепи также может наблюдаться:

а) в щеточном аппарате;

б) в контактах механизма для короткого замыкания ротора и подъема щеток вследствие механической неисправности, загрязнения или попадания масла на контактные поверхности; по которым скользят замыкающие щетки.

в) в контактах пускового сопротивления (реостата);

г) в соединениях между контактными кольцами и пусковым сопротивлением или реостатом;

д) в соединениях обмотки с контактными кольцами;

е) в пайках лобовых частей, обмотки, а также в переходных соединениях между нижними и верхними стержнями.

Для того чтобы убедиться в наличии плохого контакта или обрыва в роторной цепи двигателей небольшой мощности, производят следующий опыт. Ротор затормаживают и к статорной обмотке подводят напряжение 20—25% номинального. Затем ротор медленно поворачивают и наблю-

(во всех 3-х фазах)
дают за величиной тока в одной, двух или трех фазах. При исправном роторе ток в статоре во всех положениях ротора будет одинаковым, токи почти одинаковым, а при плохом контакте или обрыве в обмотке ротора ток будет изменяться в зависимости от положения ротора. относительно фазных полюсов

Для выявления плохих контактов в стержнях роторов и короткозамыкающих кольцах, а равно и в роторной цепи фазных роторов, необходим тщательный осмотр. Плохой контакт в пайках лобовых частей обмотки фазного ротора (в хомутиках) можно определить, пользуясь методом па-

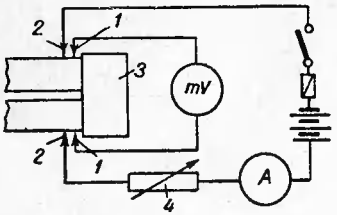
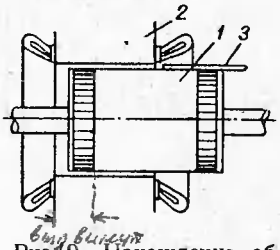


Рис. 8. Нахождение недоброкачественных паек в хомутиках роторной обмотки.
по наличию напряжения в месте плохой пайки.



выдвинут

Рис. 9. Нахождение обрыва в пазовой части стержня обмотки короткозамкнутого ротора.

дения напряжения. Он основан на том, что при плохой пайке увеличивается падение напряжения в месте контакта. с коротко замыкающим кольцом пазовых перемычек.

Для нахождения недоброкачественной пайки в хомутиках производится поочередное питание их постоянным током по схеме, указанной на рис. 8. Двумя щупами *2* подается постоянный ток от аккумуляторной батареи к двум стержням обмотки вблизи хомутиков *3*, а другой парой щупов *1* измеряют падение напряжения при помощи милливольтметра. Для ограничения и регулирования тока в цепь включен реостат *4*. Ток выбирается такой, чтобы можно было получить достаточные по величине показания милливольтметра. но не перегружающего его

Указанным методом исследуются все хомутики и производится сравнение результатов измерений. Плохие пайки будут иметь увеличенное падение напряжения (при одном и том же токе). Пайки могут считаться удовлетворительными, если падение напряжения в них не более чем на 10% ÷5% превышает падение напряжения паек с наименьшими показаниями.

Наличие обрыва в пазовой части стержня короткозамкнутого двигателя может быть установлено следующим образом.

Ротор *1* несколько выдвигается из статора *2* (рис. 9) и надежно предохраняется от проворачивания (например, путем забивки небольших деревянных клиньев в зазор между ротором и статором); в обмотку статора подается пониженное напряжение, 20—25% от номинального. На каждый паз выступающей части ротора поочередно накладывается стальная пластинка *3*, перекрывающая два зубца ротора. Когда пластинка перекрывает пазы со стержнями без обрывов, она притягивается и дребезжит; как только пластинка перекроет паз со стержнем, имеющим обрыв, притяжение и дребезжание исчезают или становятся значительно слабее. сильно ослаблено магнитное поле, из-за отсутствия тока в стержне вследствие обрыва цепи, пайки

Скорость вращения двигателя ниже номинальной при номинальной нагрузке

Причинами такой неисправности являются:

а) пониженное напряжение на зажимах статора;

б) соединение обмотки статора звездой вместо соединения треугольником;

в) слишком большое сопротивление в цепи фазного ротора (длинные или слишком тонкие провода между ротором и пусковым сопротивлением, невыключенное полностью пусковое сопротивление; (чаще всего).

г) плохой контакт в цепи ротора (см. стр. 11).

Ошибочное соединение обмотки статора звездой вместо соединения треугольником приспосабливают обмотку для включения на напряжение в 1,73 раза большее. Например, если двигатель при соединении обмоток треугольником работает от сети 220 *в*, то при соединении его обмоток звездой номинальным напряжением для двигателя становится 380 *в*; в этом случае напряжение сети 220 *в* является для двигателя пониженным. а вращающий момент сильно ослаблен.

По внешнему виду соединений в коробке выводов статора можно определить, выполнено ли соединение обмотки статора звездой или треугольником. Дело в том, что в коробке зажимов двигателей, предназначенных для работы при соединении треугольником или звездой (для напряжений 127/220 или 220/380 *в*), имеется шесть выводов, представляющих собой начала и концы обмоток трех фаз. При соединении звездой (рис. 10, *а*) соединяются между собой

перемычками три верхних или нижних зажима, образующих нулевую точку, а к трем другим подводится ток питающей сети; при соединении обмотки треугольником (рис. 10, *б*) перемычками соединяются попарно зажимы по вертикали, к которым и подводится ток сети.

На рис. 10 начала фаз (условно) в соответствии со стандартом обозначены через *С1*, *С2* и *С3*, а концы — соответственно через *С4*, *С5* и *С6*.

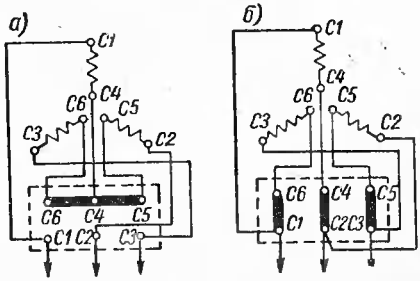


Рис. 10. Схема расположения выводов статорной обмотки при соединении звездой (*а*) и при соединении треугольником (*б*).

Увеличение сопротивления цепи фазного ротора увеличивает потери в нем, что, как известно, увеличивает скольжение двигателя (разность между скоростью вращения поля статора и механической скоростью ротора, выраженная в процентах от скорости вращения поля статора), т. е. уменьшает скорость вращения ротора. Для уменьшения сопротивления роторной цепи двигателя необходимо максимально приблизить пусковое сопротивление к двигателю, увеличить сечение проводов между щетками ротора и пусковым сопротивлением, уменьшив его возможного минимума.

Двигатель разворачивается и хорошо работает при номинальной нагрузке, но величина тока в фазах различна, а скорость вращения ниже номинальной

Причиной неисправности является обрыв одной фазной обмотки статора при соединении фаз треугольником (рис. 11, *а*).

В этом случае получается так называемый открытый треугольник, при котором образуется вращающее поле и двигатель хорошо разворачивается. Но так как работают две фазы, то мощность двигателя понижается, а ток в действующих обмотках увеличи

При этой неисправности ток в одной из фаз, при номинальной нагрузке двигателя, на 73% больше, чем в двух других. Нагревание двигателя при малой нагрузке может оставаться в пределах допустимого. Обмотка одной фазы (имеющей обрыв) остается холодной. (О поведении дви-

гателя в случае внутреннего обрыва в одной фазе статорной обмотки и соединения фаз звездой — см. стр. 4).

Фазу, имеющую обрыв, можно найти при помощи мегомметра лишь тогда, когда все шесть концов фаз выведены наружу. В этом случае разъединяют общую точку обмотки (рис. 11, *б*) и производят измерение сопротивления каждой фазы мегомметром. омметром

При измерениях на выводах фаз, не имеющих обрывов, мегомметр покажет нуль («земля»), а на зажимах фазы, имеющей обрыв,— большую величину (сопротивление изоляции между обмотками).

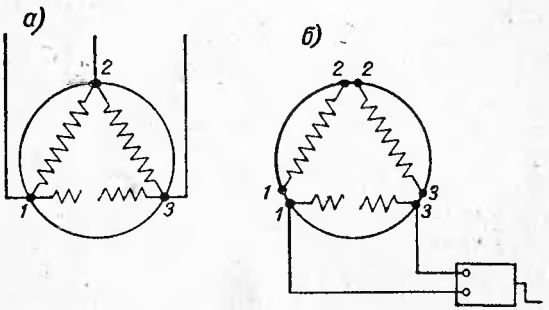


Рис. 11. Обрыв в одной фазе обмотки статора (*а*) и его нахождение (*б*).

При производстве измерений мегомметром следует учесть, что на зажимах фаз может появиться опасное напряжение и поэтому необходимо принять меры предосторожности. (при работе мегомметра в измеряемую цепь от мегомметра появится в обмотку напряжение более 250 вольт).

Если же обмотка статора имеет три вывода, то найти фазу, имеющую обрыв, при помощи мегомметра (без разборки двигателя) не представляется возможным. В этом случае поврежденная фаза может быть найдена лишь путем измерения сопротивления обмоток измерительным мостиком или по методу амперметра и вольтметра при питании каждой фазы постоянным током. При измерении между точками *1—2*, а также между точками *2—3* (рис. 11, *а*) величины сопротивлений будут одинаковы, в то время как между точками *1—3* (концы фазы, имеющей обрыв), сопротивление будет равно сумме сопротивлений обмоток двух фаз. поэтому лучше измерения производить мостовым методом, а не мегомметром

Чтобы установить фазу, имеющую обрыв, при отсутствии мостика и источника постоянного тока, нужно пооче-

редно питать обмотку каждой фазы переменным током номинального напряжения и при каждом опыте измерять величину потребляемого тока. При подключении питания к зажимам *1—2* и зажимам *2—3* (рис. 11, *а*) ток будет больше, чем при подключении питания к зажимам *1—3*.

Так называемый „токовый" метод измерений.

Двигатель с фазным ротором разворачивается при разомкнутой цепи ротора

Причиной этого дефекта является короткое замыкание в обмотке ротора.

Иногда двигатель разворачивается и при исправной обмотке ротора от вращающего усилия, создаваемого за счет гистерезиса и вихревых токов, индуктируемых вращающимся полем в активной стали ротора. Происхождение их то же, что и токов в обмотке ротора. Поэтому от взаимодействия их с вращающимся полем статора получается некоторое усилие.

вращающего момента на роторе.

Это усилие незначительно, так как вихревые токи в активной стали ротора, состоящей из отдельных листов, также незначительны, но они могут оказаться достаточными для того, чтобы заставить ротор вращаться вхолостую. Вполне понятно, что если неисправность является следствием только указанной причины, то она не представляет никакой опасности. Основными признаками, по которым может быть установлено наличие этой причины, являются: остановка двигателя при легком торможении и отсутствие каких-либо ненормальных явлений в двигателе при включении статора в сеть.

Если же причиной неисправности является короткое замыкание в обмотке ротора, то при пуске двигателя с нагрузкой он медленно разворачивается и обмотка ротора сильно нагревается. Нагрев обмотки объясняется тем, что в замкнутых накоротко витках вращающимся полем статора наводится ток большой величины.

вследствие очень большого скольжения поля ротора.

Короткие замыкания могут быть между хомутиками лобовых частей обмотки, между отдельными стержнями или фазами в случае пробоя изоляции или в случае заземления обмотки ротора в двух местах.

Чтобы установить, что причиной неисправности является короткое замыкание в обмотке, необходимо тщательно обследовать ротор и проверить, не касаются ли друг друга соседние хомутики лобовых соединений; нет ли соединения между хомутиками от припоя, оставшегося после пайки

обмотки; измерить сопротивление изоляции мегомметром (для того чтобы убедиться, нет ли замыкания обмотки на корпус в двух местах). Если внешний осмотр и измерение сопротивления изоляции дают удовлетворительные результаты, то наличие замыкания в обмотке может быть установлено по неравномерному нагреванию обмотки ротора, определяемому на ощупь при питании током обмотки статора и заторможенном роторе.

Ощупывание следует производить только при отключенном статоре, так как в роторе даже низковольтного двигателя может появиться высокое напряжение, опасное для жизни.

2. ЧРЕЗМЕРНОЕ НАГРЕВАНИЕ АКТИВНЫХ ЧАСТЕЙ ДВИГАТЕЛЯ

Равномерное сильное нагревание частей двигателя

Причинами недопустимого равномерного превышения температуры обмоток статора и ротора или сердечника статора могут явиться:

а) перегрузка;

б) отклонение напряжения от номинального;

в) ухудшение условий охлаждения.

При перегрузке двигателя возрастает потребляемый им из сети ток, что вызывает повышенное нагревание обмотки, причем температура увеличивается в значительно большей степени, чем ток, так как нагревание любого проводника пропорционально I^2r, где I — величина тока, а r — сопротивление проводника, т. е. нагрев проводника пропорционален квадрату тока.

Наиболее чувствительной к нагреванию частью является изоляция. Практикой установлено, что для сохранения свойств изоляционных материалов в течение 10—15 лет рабочая температура не должна превышать 100° С для изоляции класса А и 120° С для изоляции класса В.

К изоляции класса А относятся хлопчатобумажные ткани, шелк и бумага, пропитанные лаком, а также эмаль, служащая для изоляции проводников. К изоляции класса В относятся изделия из слюды, асбеста и стекловолокна, содержащие органические вяжущие или пропитывающие вещества обычной нагревостойкости. Сюда относятся: миканит, микалента, микафолий. и др.

При продолжительном нагревании сверх указанной температуры происходит резкое сокращение срока службы двигателя или же повреждение изоляции и авария. Так как изоляция нагревается от меди обмотки и от стали сердечника, то ГОСТ 183-55 устанавливает предельное превышение температуры указанных частей электрической машины при ее работе с номинальной нагрузкой.

В табл. 1 указаны допустимые превышения темпера-

Таблица 1

Пределы превышений температур отдельных частей асинхронных двигателей

Наименование частей двигателя	Допустимое превышение температуры, °С относительно окружающей среды	
	Изоляция класса А	Изоляция класса Б
Обмотки статора	60	75
Стальные сердечники и другие части, соприкасающиеся с обмотками (например, сталь статора)	65	85
Контактные кольца	70	90
Подшипники скольжения (с кольцевой смазкой)	45	45
Подшипники качения (шариковые и роликовые)	60	60

тур при определении их по показаниям термометра. Для того чтобы определить превышение температуры, необходимо из величины измеренной температуры вычесть величину температуры охлаждающего воздуха.

Если, например, измеренная температура обмотки составляет 80° С, а температура охлаждающего воздуха 30° С, то превышение температуры составит 50° С.

Определение температуры обмотки и активной стали можно произвести ртутным или спиртовым термометром. Конец термометра, обернутый фольгой, прикладывается к нагретой части машины. Поверх фольги накладывается кусок ваты для предохранения термометра от охлаждения потоком воздуха. Измерение температуры обмоток высоковольтных машин следует производить при выключенной машине.

Для более точного измерения температуры термометр должен устанавливаться вертикально. При измерении температуры обмоток с большой величиной тока или температуры стали рекомендуется применять спиртовой термо-

в термометре
метр, так как под действием вихревых токов ртуть нагревается, а это искажает показания ртутного термометра.

Если двигатель предназначен для кратковременного и повторно-кратковременного режима работы (например, в крановых установках), то увеличение продолжительности работы двигателей против номинальной ведет к их перегрузке и, следовательно, к перегреву.

При кратковременном и повторно-кратковременном режимах работа машины состоит из рабочих периодов, когда машина включена в сеть и производит работу, и пауз, когда машина отключена от сети.

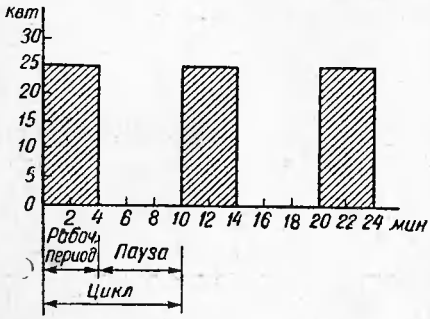


Рис. 12. График повторно-кратковременного режима работы электродвигателя.

При кратковременном режиме рабочий период настолько короток, что при неизменной температуре окружающего воздуха превышение температуры отдельных частей двигателя не достигает установившегося значения, которое могло бы иметь место при продолжительной нагрузке, а период покоя настолько длителен, что за это время двигатель успевает полностью охладиться.

При номинальном кратковременном режиме двигатель должен работать в течение времени, указанного на его щитке, причем превышения температур отдельных частей не должны выходить за допустимые пределы. ГОСТ 183-55 устанавливает следующие продолжительности кратковременной работы: 15, 30, 60 и 90 *мин*.

При повторно-кратковременном режиме работы двигателя кратковременные рабочие периоды чередуются с кратковременными периодами отключения — паузами. На рис. 12 такой режим показан графически: по горизонтальной оси отложено время в минутах, а по вертикальной — нагрузка в киловаттах. Машина работает в течение 4 *мин* и несет нагрузку 25 *квт*, а затем выключается из сети на 6 *мин*, после чего снова включается на 4 *мин*, снова выключается на 6 *мин* и т. д.

Режим повторно-кратковременной работы машин ха-

рактеризуется относительной продолжительностью рабочего периода или относительной продолжительностью включения, под которой понимают отношение времени рабочего периода к продолжительности рабочего цикла (суммарной продолжительности рабочего периода и паузы). Относительная продолжительность рабочего периода обозначается через *ПВ*. Для указанного на рис. 12 случая рабочий период длится 4 *мин*, пауза — 6 *мин*, весь цикл — 10 *мин*. Следовательно, относительная продолжительность рабочего периода будет:

$$ПВ = \frac{4}{10} = 0{,}4, \text{ или } 40\%.$$

При номинальном повторно-кратковременном режиме машина может работать с относительной продолжительностью включения, указанной на ее щитке, неограниченное время, причем превышение температур отдельных частей машины не должно выходить за допустимые пределы (см. табл. 1).

ГОСТ 183-55 устанавливает следующие относительные продолжительности включения: 15, 25, 40 и 60%; при этом продолжительность одного цикла не должна превышать 10 *мин*.

Недопустимое превышение температуры обмоток и сердечника может иметь место также при значительном отклонении напряжения от номинального.

В случае пониженного напряжения при нагрузке двигателя на номинальную мощность он оказывается перегруженным током, как это следует из формулы

$$P = \sqrt{3} U \cdot I \cdot \cos\varphi,$$

где P — мощность;

U — линейное напряжение на зажимах двигателя;

I — потребляемый ток;

$\cos\varphi$ — коэффициент мощности.

При неизменной мощности P и уменьшении напряжения U ток I должен увеличиться (без учета изменения $\cos\varphi$). При значительном снижении напряжения наблюдается уменьшение скорости вращения двигателя, а при большой нагрузке двигатель может остановиться. это недопустимо

К таким же результатам может привести и неправильное включение обмоток двигателя при выведенных шести концах — включение звездой вместо треугольника; тогда

напряжение на двигателе будет в 1,73 раза ниже номинального.

Как в случае перегрузки, так и в случае пониженного напряжения обмотки статора и ротора будут нагреваться равномерно, а от них будут нагреваться и сердечники.

При повышенном напряжении и номинальной нагрузке ток обмотки статора имеет повышенное значение.

Увеличенное напряжение на зажимах двигателя приводит к увеличению магнитного потока и намагничивающей составляющей тока статора. Увеличение магнитного потока и связанное с этим увеличение индукции в стали статора приводит к повышению температуры стали, а возросший ток статора увеличивает температуру меди обмотки. и всей массы двигателя.

Соединение обмотки статора треугольником вместо соединения звездой равносильно увеличению напряжения на зажимах двигателя в 1,73 раза, что резко увеличивает намагничивающий ток двигателя; даже при холостом ходе ток у такого двигателя может превысить номинальное значение. от чего обмотка двигателя очень быстро перегреется.

Если наблюдается повышенная температура активных частей двигателя, то прежде всего следует проверить напряжение, подведенное к двигателю и правильность включения обмотки двигателя (Y или △).

Замеченное отклонение напряжения от номинальной величины необходимо устранить, например, путем переключения зажимов первичной обмотки трансформатора. питающ
Допускаемое отклонение напряжения составляет ±5% от номинального. Если нет возможности отрегулировать напряжение в указанных пределах, то нагревание двигателя может быть снижено путем уменьшения нагрузки с таким расчетом, чтобы ток двигателя не превышал номинального значения.

В случае перегрузки двигателя или отклонения режима работы от указанного на щитке двигателя требуется уменьшить нагрузку. Если этого сделать нельзя, то необходимо заменить двигатель более мощным. В некоторых случаях превышение температуры двигателя можно снизить за счет усиления его вентиляции, например путем установки вентилятора. дополнительно охлаждающего его двигатель

Если нагрузка двигателя не превышает номинальную, напряжение на его зажимах находится в допускаемых пределах и все же наблюдается недопустимое превышение температуры активных частей двигателя, то следует вни-

мательно обследовать условия охлаждения двигателя. Причинами ухудшения вентиляции двигателя могут быть: высокая температура окружающего воздуха (свыше 35° С), засорение вентиляционных каналов машины и фильтров, покрытие обмотки и активной стали теплоизолирующей пылью, мелкими волокнами и пр., недостаточное сечение или большое число изгибов воздушных каналов или трубопроводов (у машин с подводом охлаждающего воздуха извне).

Замеченные недостатки вентиляции необходимо устранить.

Покрытие обмотки или активной стали теплоизолирующей пылью наблюдается главным образом в двигателях, установленных в цехах текстильных, деревообрабатывающих и цементных фабрик и заводов. Теплоизоляция ухудшает теплоотдачу и этим вызывает повышение температуры частей машины.

Для предотвращения перегрева двигателя по этой причине надо периодически очищать его от пыли и продувать чистым и сухим сжатым воздухом (без паров масла и воды, давлением не более 1,5—2 *ат*).

При продувке необходимо следить за тем, чтобы действительно выдуть пыль, а не перегнать ее из одной части машины на другую.

В тех случаях, когда перегрев двигателя происходит из-за неправильного направления вращения (при вентиляторах с наклонными лопатками), необходимо либо переставить вентилятор, либо изменить направление вращения двигателя, если осуществление этого окажется допустимым. Для изменения направления вращения трехфазного асинхронного двигателя достаточно поменять местами два любых проводника, подводящих питание к статору.

Местное сильное нагревание обмотки статора

Если при местном значительном перегреве обмотки происходит сильное гудение и резко снижается скорость вращения двигателя, причем величина тока в отдельных фазах неодинакова, то причинами этих явлений могут быть:

а) замыкание между витками в одной фазе обмотки статора (рис. 13, *а*);

б) короткое замыкание между двумя фазами обмотки статора (рис. 13, *б*);

в) замыкание обмотки на корпус в двух местах (рис. 13, *в*);

г) неправильное присоединение выводов одной фазы (одна фаза «перевернута» — см. рис. 4 и 5), либо одна или несколько катушек или катушечных групп в одной из фаз неправильно соединены между собой («перевернуты» — рис. 13, *г*).

В обмотках при коротких замыканиях образуются замкнутые контуры, в которых наводится э. д. с. вращающимся магнитным потоком и поэтому в таких контурах при

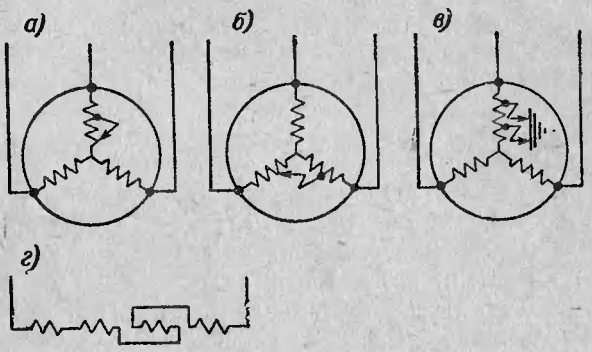


Рис. 13. Неисправности в статорной обмотке: замыкание между витками (*а*); замыкание между фазами (*б*); замыкание на корпус в двух местах (*в*); неправильное соединение катушек (*г*).

хорошем контакте в месте замыкания может циркулировать ток большой величины, зависящей только от полного сопротивления замкнутых накоротко витков или катушек. Этот ток сильно нагревает обмотку (вплоть до появления дыма и расплавления паек), а продолжительная работа машины с неисправной обмоткой может вызвать перегорание обмотки и повреждение листов активной стали.

При коротких замыканиях значительного числа витков обмотки пуск двигателя в ход оказывается невозможным из-за чрезмерно большого тока, вследствие чего двигатель отключается защитной аппаратурой — автоматами, плавкими предохранителями. Если же, несмотря на значительный ток, пуск все же удается, то скорость вращения двигателя при номинальной нагрузке сильно снижается и двигатель может остановиться. от малого вращающего момента.

Основным признаком замыкания между витками является чрезмерное нагревание короткозамкнутого контура. В некоторых случаях короткозамкнутая часть обмотки может быть определена по внешнему виду — по обуглившейся изоляции. Если машина находится в холодном состоянии, то для определения расположения короткозамкнутых витков следует включить и быстро выключить двигатель. Короткозамкнутую часть обмотки можно определить, ощупывая рукой лобовые части обмотки статора: она будет более нагретой, чем остальная часть.

Если же при пробном включении двигателя возникает большой ток и защита срабатывает, то к статору следует подводить пониженное напряжение. В том случае, когда двигатель имеет фазный ротор, опыт определения замыкания между витками рекомендуется производить при разомкнутой цепи ротора. Но следует учитывать, что на контактных кольцах может появиться опасное напряжение.

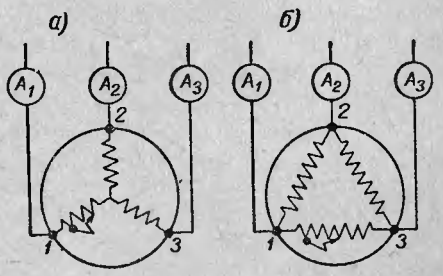


Рис. 14. Замыкания в обмотках: при соединении звездой (*а*) и при соединении треугольником (*б*).

Фаза, имеющая замыкание, может быть найдена по тому признаку, что ток, потребляемый из сети каждой фазой, неодинаков. При соединении обмотки звездой (рис. 14, *а*) в фазе, имеющей замыкание, ток (A_1) будет больше, чем в двух других фазах. При соединении обмотки треугольником (рис. 14, *б*) в двух фазах сети, к которым присоединена дефектная фаза, токи (A_1 и A_3) будут больше, чем в третьей фазе A_2. Опыт определения поврежденной фазы следует производить при пониженном напряжении; если асинхронный двигатель имеет фазный ротор, то обмотка последнего может быть разомкнута, а при асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором последний может вращаться но и быть заторможенным.

Фаза, имеющая замыкание, может быть определена и по величине ее сопротивления, измеренного мостиком, или по методу амперметра и вольтметра; меньшее сопротивление будет иметь фаза с короткозамкнутыми витками. Если же фазы нельзя разъединить, то производят измере-

ния трех междуфазных (линейных) сопротивлений. В случае соединения фаз звездой (рис. 14, *а*) наибольшим будет междуфазное сопротивление, измеренное на концах фаз, не имеющих замыкания; два других сопротивления равны между собой и меньше первого. При соединении фаз треугольником (рис. 14, б) наименьшее сопротивление будет на концах фазы, имеющей замыкание; два других измерения дадут бо́льшую величину сопротивления, причем оба они будут одинаковы.

Катушечные группы или катушки, имеющие замыкания, можно найти, если питать током всю обмотку или только поврежденную фазу и определить величину падения напряжения на концах катушек или катушечных групп. Падение напряжения на поврежденных частях обмотки будет меньше, чем на исправных (при измерении напряжения удобно пользоваться острыми щупами, которыми прокалывают изоляцию соединительных проводов). Определение фазы или катушки, имеющей замыкание, методом падения напряжения может производиться и при питании обмотки переменным током.

Местное сильное нагревание обмотки фазного ротора

Если при наличии сильного местного перегрева обмотки двигатель идет в ход при разомкнутой обмотке фазного ротора, а при пуске с нагрузкой медленно разворачивается, то причиной неисправности является короткое замыкание в обмотке фазного ротора. (Установление наличия коротких замыканий — см. стр. 17).

Местное сильное нагревание активной стали статора при холостом ходе двигателя и при номинальном напряжении сети

Причинами такой неисправности являются:

а) местные замыкания между отдельными листами активной стали вследствие образования заусенцев из-за неправильной обработки или вследствие задевания ротором статора во время работы двигателя (см. разд. 5);

б) оплавление или выгорание зубцов активной стали вследствие коротких замыканий в обмотке статора или пробоя обмотки на корпус.

Устранение замыкания отдельных листов активной стали производится путем обработки мест замыканий острыми наждачкой

напильника, либо проточкой стали, причем снимают минимальный слой стружки (0,1 *мм*); соединяющиеся листы стали по возможности разъединяют и покрывают изоляционным лаком.

При значительном выгорании или оплавлении зубцов стали статора необходим капитальный ремонт активной стали с ее перешихтовкой. При незначительном оплавлении неисправность может быть устранена путем вырубки поврежденных мест с последующим снятием заусенцев; между отдельными листами стали прокладывают бумагу, а затем отремонтированное место покрывают изоляционным лаком.

3. НЕИСПРАВНОСТИ ЩЕТОК И КОНТАКТНЫХ КОЛЕЦ

Искрение щеток и обгорание контактных колец

Причинами неисправности являются:

а) загрязнения контактных колец и щеток (попадание на контактные кольца смазки или масла из подшипника);

б) слабое нажатие щеток; регулируется нажатием пружин.

в) плохая пришлифовка щеток;

г) биение контактных колец; устраняется проточкой и шлифовкой

д) отсутствие надежного контакта щеток с кольцами вследствие защемления щеток в щеткодержателях;

е) недостаточное количество щеток или слишком малое их сечение.

ж) неравномерное распределение тока между отдельными щетками.

з) несоответствующий сорт щеток.

При слабом нажатии щеток необходимо отрегулировать его в соответствии с данными завода-изготовителя. Удельное давление, выраженное числом граммов, приходящихся на 1 $см^2$ рабочей поверхности щетки, устанавливается в зависимости от марки щеток. Для асинхронных двигателей обычно рекомендуют щетки марок МГС, МГ4 и ЭГ4; удельное давление для этих щеток лежит соответственно в пределах 180—230, 200—250 и 150—200 $Г/см^2$. Проверка нажатия щеток производится динамометром (рис. 15), закрепляемым за рычаг щеткодержателя, прижимающим щетку к контактному кольцу. Величина нажатия может быть определена, если между щеткой и контактным кольцом проложить лист тонкой бумаги и производить

постепенное натяжение динамометра; показание динамометра, при котором бумага может быть легко вынута, определит нажатие щетки на контактное кольцо.

Пришлифовка щеток производится стеклянной бумагой (шкуркой). Для этого под щетки подкладывают стеклянную бумагу, обращенную рабочей стороной к щеткам, и производят передвижение бумаги взад и вперед при нормальном давлении пружин на щетки. Для правильной притирки щеток концы бумаги нужно отогнуть вниз (рис. 16, *а*), так как при отгибании их вверх (рис. 16, *б*) края щеток будут опилены и уменьшится площадь контакта щеток с кольцом.

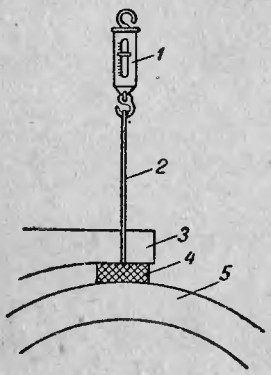


Рис. 15. Проверка нажатия щеток.

1 — динамометр; *2* — крючок; *3* — щеткодержатель; *4* — щетка; *5* — контактное кольцо.

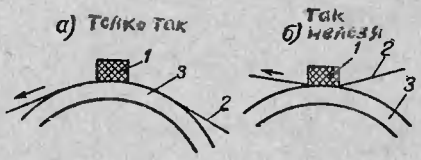


Рис. 16. Пришлифовка щеток: правильная (*а*) и неправильная (*б*).

1 — щетка; *2* — стеклянная бумага; *3* — контактное кольцо.

Биение контактных колец устраняется путем проточки и шлифовки.

Чтобы избежать зажатия щеток в щеткодержателе, следует применять щетки такого размера, который позволил бы им свободно передвигаться в щеткодержателях. Нормальные зазоры между щеткодержателем и щеткой 0,2—0,3 *мм*. В случае надобности щетки припиливаются и пришлифовываются для получения указанных зазоров.

Неравномерное распределение тока между щетками происходит вследствие плохого контакта в цепи щеткодержателей и токоподводов, неодинакового нажатия щеток на контактные кольца или применения щеток различных марок. Для устранения этих неисправностей необходимо проверить все контакты траверсы, токоподводов, щеткодержателей и щеток, отрегулировать нажатие щеток в соответствии с применяемым сортом щеток. Следует применять щетки только одной марки. В случае невозможности

применения одинаковых щеток для всей машины рекомендуется распределить щетки таким образом, чтобы на каждом кольце были установлены щетки только одной марки, и создат давление на них согласно рекомендации по марке.

Перегрев контактных колец и щеток

Причинами неисправности являются:

а) слишком сильное нажатие щеток на контактные кольца;

б) слабая вентиляция контактных колец и щеток (у двигателей с закрытыми контактными кольцами);

в) искрение щеток. (плохое прилегание устранить).

Перекрытие контактных колец электрической дугой

Эта неисправность обычно проявляется при пуске двигателя в ход. У реверсивных двигателей (работающих при изменении направления вращения) и у двигателей с регулировкой скорости вращения перекрытие контактных колец иногда происходит и во время работы двигателя.

Причинами неисправности могут быть:

а) загрязнение щеточного аппарата и контактных колец смазкой или маслом (попадающим от подшипников), медноугольной пылью (от щеток);

б) влажный или насыщенный кислотными или щелочными парами воздух;

в) обрыв в соединениях между ротором и пусковым сопротивлением (реостатом).

Кроме указанных причин, возможно и перекрытие между кабельками или токоотводами щеток соседних фаз.

Следует указать, что при отсутствии названных причин в роторе в момент включения двигателя не могут появляться опасные перенапряжения, которые служили бы причиной перекрытия контактных колец электрической дугой.

Чтобы не допустить загрязнения контактных колец и щеточного аппарата, необходим тщательный уход за ними. Мероприятия по устранению попадания масла — см. стр. 51—53.

При большом напряжении на контактных кольцах ротора, при разомкнутой обмотке ротора и включенном статоре, особенно если воздух влажен и насыщен токопроводящими парами, рекомендуется дополнительно изолировать все открытые токоведущие части щеточного аппарата и траверсы, например путем покрытия лаком.

Кроме этого, рекомендуется: не включать двигатель при разомкнутом пусковом сопротивлении, а устанавливать щетки металлического реостата на первый контакт, соответствующий полностью введенному сопротивлению, а в случае жидкостного пускового реостата следует немного погрузить электроды в жидкость. В схемах автоматического пуска асинхронных двигателей с фазным ротором предусматривается их включение в сеть при полностью введенном пусковом сопротивлении.

Необходимо проверить соединения между контактными кольцами и пусковым сопротивлением, а также убедиться в отсутствии обрыва в самом сопротивлении, его целости и исправности.

Чрезмерный износ щеток и контактных колец

Износ щеток зависит от многих причин и для различных марок щеток различен; он зависит от окружной скорости, удельного давления, плотности тока, характера нагрузки, материала контактных колец и пр.

Для щеток отечественного производства, обычно применяемых в асинхронных двигателях, нормальным считается (в соответствии с данными завода-изготовителя) износ щеток за 1000 *ч* работы при окружной скорости контактных колец 15 *м/сек* для щеток марок МГС и МГ4 — 6 *мм*, для щеток ЭГ4 — 5 *мм*, а для щеток Г3 — 4 *мм*.

Причины повышенного износа щеток следующие:

а) неравномерное распределение тока между отдельными щетками (см. стр. 28);

б) слишком большое давление щеток на контактные кольца (рекомендуемое удельное давление щеток и его проверку — см. стр. 27);

в) слишком большая плотность тока в щетках;

г) неровная поверхность контактных колец; признак

д) большое искрение;

е) загрязнение контактных колец угольной пылью от щеток, песчаной, цементной и прочей пылью;

ж) неподходящий сорт щеток (слишком мягкие щетки; щетки, не соответствующие окружной скорости контактных колец);

з) вибрация ротора. устранят замену изношенных подшипников и балансировку ротора.

Основными причинами чрезмерного и неравномерного износа контактных колец являются:

а) неподходящий сорт щеток: слишком твердые щетки, плохое качество щеток; плохое их прилегание, затирание их в щеткодержателях

б) слишком большое давление щеток на контактные кольца (рекомендуемое удельное давление щеток и его проверку — см. стр. 27);

в) неподходящий материал контактных колец.

Кроме этого, на износ контактных колец влияют и другие причины, указанные выше для случая износа щеток.

При соответствующем материале колец, правильном подборе и хорошем качестве щеток, при правильно установленном давлении щеток на поверхности контактных колец через короткое время образуется тончайшая оксидная пленка — «политура», поверхность полируется, а рабочие поверхности щеток и колец становятся гладкими. В этом случае кольца и щетки длительное время работают хорошо. Учитывая необходимость сохранения политуры, без особой надобности не рекомендуется производить шлифовку контактных колец стеклянной бумагой, лучше протереть их сухой неволокнистой тряпкой. (твердым волокном)

Иногда наблюдается неравномерный износ щеток и контактных колец, который характеризуется появлением на их рабочих поверхностях дорожек или тончайших волосных бороздок. Причинами этих бороздок являются: пористое литье и плохо обточенные контактные кольца, плохое качество щеток (неоднородность материала), неправильное давление щеток и неблагоприятные условия трения щеток, попадание песка, цементной пыли и пр.

Кольца с изношенной рабочей поверхностью следует обточить и отполировать, после чего нужно проверить правильность установки щеток (давление, зазоры между щеткодержателями и щетками, отсутствие вибраций и т. д.).

Если в щеточном аппарате недостатков не будет обнаружено, рекомендуется переменить сорт щеток.

Образование пятен на рабочей поверхности контактных колец

На контактных кольцах неработающих машин часто появляются пятна матового оттенка, а иногда и окись под щетками. При работе машины такие пятна вызывают искрение щеток, эти места обгорают и становятся шероховатыми, вследствие чего искрение щеток усиливается. Пятна возникают под влиянием электрохимических явлений в контакте между щеткой и кольцом после более или менее длительного простоя машины. Дело в том, что при остановке машины, находящейся в сыром помещении, угольная

щетка и влажный воздух между щеткой и контактным кольцом создают гальванический элемент, посылающий ток через замкнутую цепь, образованную щеткой, контактным кольцом, обмоткой и пр. При этом происходит перенос током частиц металла с контактного кольца на щетку.

Пятнообразование на контактных кольцах особенно заметно в случае стальных колец или при применении некоторых марок угольно-графитных щеток.

Для предотвращения рассмотренной неисправности необходимо при продолжительной остановке машины во время хранения ее на складе и при транспортировке, прокладывать между щетками и контактными кольцами картон или другой изоляционный материал.

Чтобы уничтожить имеющиеся пятна и устранить связанное с ними искрение, необходимо контактные кольца тщательно проточить и отшлифовать.

4. НЕИСПРАВНОСТИ ПАЕК В ОБМОТКАХ И БАНДАЖАХ РОТОРОВ. СИЛЬНЫЙ НАГРЕВ КОНТАКТОВ

Распайка обмоток, междукатушечных соединений и кабельных наконечников

Эта неисправность является следствием:

а) плохо выполненной пайки;

б) неподходящего припоя для данного режима работы или пуска машины;

в) короткого замыкания в обмотке.

Распайка хомутиков стержневой обмотки фазных роторов может произойти из-за слишком большой плотности тока в месте пайки при недостаточных размерах хомутиков.

Для пайки обмоток и кабельных наконечников применяют оловянистые припои ПОС30, ПОС40 и ПОС60 (цифры указывают процентное содержание олова). Чем выше содержание олова в припое, тем он легче проникает в зазоры между спаиваемыми поверхностями, но ~~(зато)~~ температура его расплавления понижается. Для лучшего закрепления наконечников рекомендуется также опрессовка и сварка их. В случае недостаточной теплостойкости паек обмоток при тяжелом режиме работы рекомендуется замена оловянистых припоев фосфористыми (9—12% фосфора и 91—88% меди). Для паек короткозамкнутых роторов крупных машин могут применяться и серебряные припои.

Распайка проволочных бандажей фазных роторов

Эта неисправность, кроме плохого выполнения паек или слишком легкоплавкого припоя (рекомендуется припой ПОС30), может явиться следствием чрезмерно больших потерь в бандажах из-за вихревых токов и гистерезиса. Эти потери появляются из-за пропайки бандажей по всей ширине, что создает хороший контакт между рядом лежащими проволоками, т. е. образуются пути для вихревых токов с малым сопротивлением. Наибольшие потери имеют место при пуске двигателя в ход и при его длительной работе с большим скольжением (при малой скорости вращения). Это объясняется тем, что при таких режимах работы увеличивается частота магнитного потока в роторе.

Для предотвращения повышенных потерь в бандажах небольших и тихоходных машин производят пайки бандажей не по всей ширине, а лишь у бандажных скрепок, или же разделяют один широкий бандаж на два более узких.

Сильный нагрев контактов на зажимах машины

Эта неисправность является следствием слабой затяжки гаек контактных болтов или недостаточной площади контактных поверхностей и (в редких случаях) — недостаточного сечения болтов. Одновременно с чрезмерным нагревом может наблюдаться распайка кабельных наконечников. Для устранения этой неисправности рекомендуется на контактных болтах применять контргайки, пружинящие шайбы и другие устройства.

5. ЗАДЕВАНИЕ СТАТОРА РОТОРОМ

Причины этой неисправности следующие:

а) нарушение правильности зазора между ротором и статором из-за износа подшипников, смещения подшипниковых щитов, неправильной установки подшипников на фундаментной плите (у машин со стояковыми подшипниками), деформации стали статора или ротора, чрезмерного изгиба вала, вследствие слишком большого натяжения ремня;

б) одностороннее притяжение ротора к статору из-за витковых замыканий в обмотке статора;

в) сильные вибрации ротора.

Характерным признаком задевания ротором статора яв-

ляется гудение, сопровождаемое вибрацией двигателя, появление дыма, запаха гари и искр. Кроме этого, активная сталь статора и ротора в местах касания выглядит полированной со следами побежалости.

При износе подшипников скольжения или при повреждении подшипников качения происходит оседание ротора, что является непосредственной причиной задевания статора ротором.

Деформация стали статора и ротора происходит главным образом в машинах средней и большой мощности, когда активная сталь собирается из отдельных сегментов при недостаточной опрессовке статорных или роторных пакетов. В мелких машинах, активная сталь которых состоит из целых дисков, этот дефект встречается редко.

Чрезмерный изгиб вала может произойти от слишком большого натяжения ремня, а также от деформации вала при сборке или от неправильной обработки.

При замыканиях в статорной обмотке нарушается симметрия магнитного потока и ротор подвергается одностороннему притяжению. Это происходит потому, что в одной из частей активной стали, охватываемой короткозамкнутыми витками, магнитный поток будет ослаблен размагничивающим действием короткозамкнутой части обмотки и поэтому в этой части магнитной цепи притяжение между ротором и статором будет слабее, чем в диаметрально противоположной части. Это наблюдается также и при неправильном соединении некоторых катушек.

Чтобы установить причину неисправности, следует измерить зазоры между шейками вала и вкладышами (в подшипниках скольжения) или между телами качения и наружным кольцом (в подшипниках качения), а также зазоры между ротором и статором.

Измерение зазора между ротором и статором производят щупом (рис. 17), состоящим из набора калиброванных пластин, вводимых в зазор. Для получения более точных измерений щуп направляют параллельно оси машины; он должен соприкасаться со сталью статора и ротора в местах, свободных от лака и грязи, и не должен попадать на пазовый клин статора или бандаж ротора.

Зазор измеряется с обеих сторон машины в четырех местах, сдвинутых друг относительно друга на 90° (рис. 18).

В некоторых двигателях закрытого типа измерение зазора производят в трех местах, через три специальных лючка, куда вводят щуп.

Измерения повторяют 2—3 раза, каждый раз сдвигая ротор на 90—120°. За величину зазора в каждой точке принимают среднеарифметическую величину всех зазоров в данной точке. Допустимые отклонения величин зазоров в любой точке не должны превышать ±10% от средней измеренной величины. Если измеренные величины зазоров между ротором и статором не превышают указанной величины и если зазоры в подшипниках также находятся в допустимых пределах, то эти причины неисправности исключаются.

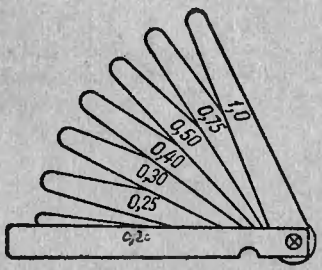


Рис. 17. Щуп для измерения зазоров.

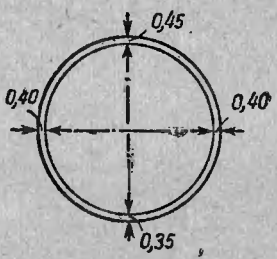


Рис. 18. Зазоры между ротором и статором.

Замыкания между витками можно обнаружить по сильному местному нагреву (см. стр. 23).

Чтобы проверить, является ли неисправность следствием чрезмерного изгиба вала от большого натяжения ремня, ослабляют ременную передачу или вовсе снимают ремень, производят измерения зазоров между ротором и статором и сравнивают результаты измерений с данными, полученными при надетом ремне. и нормально натянутым

Если же неисправность является следствием смещения подшипниковых щитов (например, из-за износа посадочных мест), то после регулировки зазора между ротором и статором рекомендуется для предотвращения смещения щитов в дальнейшем установить два контрольных штифта в подшипниковых щитах в двух диаметрально противоположных точках.

6. ОСЕВОЙ СДВИГ РОТОРА

Осевой сдвиг ротора чаще всего происходит при эластичных муфтах. При жестких муфтах осевые усилия могут восприниматься другой машиной агрегата.

Во время работы двигателя магнитная ось стали статора (перпендикулярная оси вращения двигателя) совпадает с такой же осью ротора (рис. 19,*а*), вследствие взаимного притяжения между ротором и статором. При правильном монтаже двигателя и совпадении магнитных осей статора и ротора между внутренними торцами вкладышей и заточками вала у машин с подшипниками скольжения имеются зазоры для того, чтобы при удлинении вала ротора из-за нагревания он не задевал за торцы вкладышей.

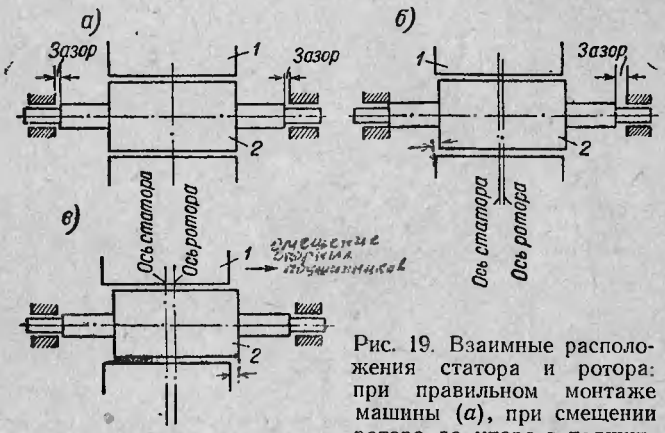


Рис. 19. Взаимные расположения статора и ротора: при правильном монтаже машины (*а*), при смещении ротора до упора в подшипник (*б*) и при неподвижном состоянии в случае несовпадения магнитных осей статора и ротора (*в*).
1 — статор; *2* — ротор.

В двигателях с подшипниками качения (шариковые и роликовые подшипники) для свободного удлинения вала, вследствие его нагревания, внешнее кольцо одного из подшипников закрепляется для предотвращения его перемещения в осевом направлении (см. левую часть рис. 20), а внешнее кольцо второго подшипника имеет осевой зазор с обеих сторон (см. правую часть рис. 20), т. е. этот подшипник является «плавающим».

Наличие осевых зазоров можно легко определить у небольших машин с подшипниками скольжения. Если нажать деревянной палочкой на центр торца вала вращающегося двигателя, то при наличии осевого зазора ротор сдвинется в сторону нажатия. При наличии осевых зазоров с обеих сторон ротор будет сдвигаться в обе стороны или, как говорят, будет иметь разбег в обе стороны.

Осевой разбег для подшипников скольжения обычно находится в пределах 2—4 *мм*. Для подшипников качения зазор по обеим сторонам внешнего кольца одного из подшипников составляет обычно 2—3 *мм* (второй подшипник закрепляется без зазоров в осевом направлении). Условно жестко

Если после пуска двигателя в ход происходит устойчивое смещение ротора, иногда до упора в один из подшипников (рис. 19, *б*), в одну и ту же сторону как при холостом ходе, так и при нагрузке, а при вращении на выбеге (после

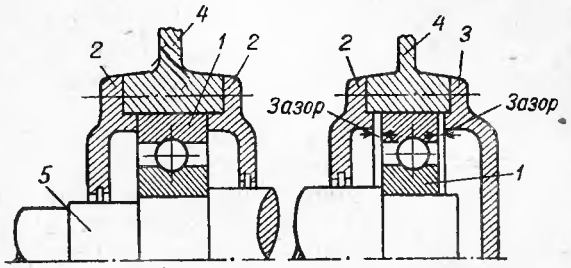


Рис. 20. Установка шарикоподшипников.
1 — шарикоподшипник; *2* — крышка с уплотнением; *3* — крышка без уплотнения; *4* — подшипниковый щит; *5* — вал.

отключения) имеется нормальный осевой разбег в обе стороны, то причиной неисправности является несовпадение магнитных осей статора и ротора (рис. 19, *в*) из-за неправильного монтажа двигателя.

Для устранения этой неисправности следует установить статор в такое положение, чтобы при работе двигателя ротор имел равномерный разбег в обе стороны при совпадении магнитных осей статора и ротора (рис. 19,*а*). Для этого необходимо передвинуть статор (при подшипниках, устанавливаемых на фундаментной плите) в сторону, противоположную сдвигу ротора (см. стрелку на рис. 19, *в*), либо сдвинуть вкладыши обоих подшипников в сторону сдвига ротора. Неисправность в подшипниках качения может быть устранена увеличением зазоров между внешним кольцом и бортиком крышек.

Иногда осевой сдвиг ротора появляется не сразу после пуска двигателя в эксплуатацию, а лишь после некоторого времени исправной его работы; причем по временам сдвиг увеличивается или уменьшается, иногда совершенно исчезает, а затем появляется вновь. Осевые колебания ротора

увеличиваются при уменьшении нагрузки и достигают наибольшей величины при вращении ротора на выбеге, т. е. при отсутствии воздействия каких-либо электромагнитных усилий. Во всех этих случаях причинами осевых сдвигов являются:

а) значительное нарушение центровки агрегата вследствие, например, нарушений установки одной из машин, износа подшипников и пр.;

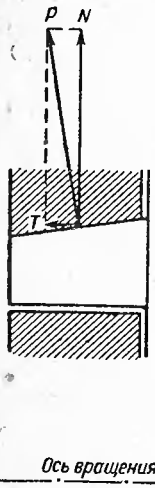


Рис. 21. Неравномерное срабатывание рабочих поверхностей полумуфт.

б) неравномерный износ соприкасающихся частей в зубчатой, пальцевой или пружинной муфтах, наличие забоин или заусенцев на рабочих поверхностях полумуфт.

При указанных неисправностях появляется осевое усилие, сдвигающее ротор. Так, например, при неравномерном износе рабочих поверхностей муфты происходит их скашивание (рис. 21) и они становятся непараллельными оси вращения двигателя. В данном случае сила P, действующая между полумуфтами, будет неперпендикулярна оси вращения. Эту силу можно разложить на две составляющие, из которых одна — N — будет перпендикулярна оси вращения, а другая — T — параллельна этой оси. Сила T и производит осевой сдвиг ротора.

Осевой сдвиг и осевые колебания ротора двигателя происходят также из-за неисправности приводимого механизма. В этих случаях для безошибочного определения причины неисправности надо разъединить машины агрегата и пустить в ход только двигатель. Если двигатель будет работать нормально, то причиной сдвига ротора явится дефект приводимого механизма. Если же сдвиг является следствием несовпадения магнитных осей статора и ротора, то он будет наблюдаться и при работе одного двигателя. *без нагрузки*

7. ВИБРАЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Вибрация двигателя может вызвать нарушение всех механических соединений, перегрев подшипников и даже задевание ротором статора.

Вибрация может возникнуть по самым разнообразным

причинам механического и электромагнитного характера.

Механические причины. К причинам механического характера относятся:

а) неуравновешенность вращающихся частей;

б) смещение обмотки фазного ротора, вследствие слабой ее бандажировки (наблюдается чаще у быстроходных двигателей), или ослабления обмотки в пазах, вследствие усыхания изоляции;

в) нарушение центровки агрегата при соединении двигателя с приводимой машиной при помощи муфты;

г) ослабление посадки вращающихся частей на валу, например, ротора, шкива, полумуфты;

д) дефекты соединительной муфты: неправильная насадка на вал (с перекосом), биение одной или двух полумуфт, неправильная установка пальцев или их износ (в пальцевой муфте);

е) дефекты в зубчатой передаче: неправильное зацепление, несоответствующая обработка зубцов или дефекты в приводных ремнях (утолщенные места сшивки, неправильное выполнение сшивки относительно направления вращения двигателя, когда набегание сшивки вызывает удары);

ж) искривление вала, овальность шеек вала;

з) слишком мал или слишком велик зазор между шейками вала и вкладышами;

и) слишком низкая температура входящего масла (у машин с принудительной смазкой под давлением);

к) недостаточно прочное закрепление машины на фундаменте, ослабление затяжки болтов, крепящих подшипниковые щиты к корпусу или подшипниковые стояки к фундаментной плите;

л) недостаточная жесткость подшипников щитов, фундаментной плиты, фундамента в целом или отдельных его частей;

м) колебания фундамента или металлической конструкции, на которой установлен двигатель, вследствие передачи вибраций от соседних машин, или же передача вибраций от других машин агрегата при жестком их соединении;

н) задевание уплотнений в щитах (в машинах закрытого типа) или в подшипниках за вал;

о) резонансные явления.

Кроме указанных причин, вибрации могут появиться из-за повреждения подшипников качения.

Влияние неуравновешенности ротора на вибрацию машины может быть пояснено следующим образом. Возьмем правильно обработанный диск *1* (рис. 22), изготовленный из однородного материала и насаженный на вал. Пусть диск вращается в подшипниках *2* и *3* вокруг оси, проходящей через центр диска. Разобьем мысленно диск на несколько одинаковых секторов, каждый из которых испытывает действие центробежных сил. Так как все секторы диска совершенно одинаковы и имеют одинаковый вес, то испытываемые ими центробежные силы также одинаковы и взаимно уравновешены, т. е. на диск в целом не действуют никакие внешние силы, а каждый элемент испытывает внутренние напряжения. При вращении такого диска подшипники будут подвергаться только действию силы тяжести диска, направленной вниз. Если теперь одна сторона диска окажется тяжелее другой благодаря грузу *4*, то при вращении диска центробежные силы, развиваемые отдельными частями его, не уравновесятся. Центробежная сила части диска с добавочным грузом будет больше, чем других частей. Разность между центробежными силами действует в сторону груза *4*. В те моменты, когда груз *4* находится вверху, центробежная сила прижимает вал к верхним крышкам подшипника, а когда внизу, то эта сила направлена вниз, причем к действию центробежной силы прибавляется еще вес диска и, таким образом, в этот момент подшипники будут испытывать наибольшее давление. В промежуточных положениях подшипники испытывают еще и боковое давление. Эта меняющая свое направление сила и создает вибрацию, передающуюся через подшипники машине. и месту его закрепления на фундамент

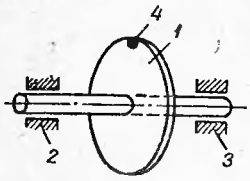


Рис. 22. Неуравновешенность вращающихся частей.

Неуравновешенность вращающихся частей может явиться следствием наличия раковин в литых частях, неоднородности материала, недостатков конструкции, выражающихся в неравномерном и несимметричном распределении вращающихся масс, например, при неодинаковом заполнении всех пазов обмоткой, несимметричной укладке лобовых частей обмотки и т. д.

Так как точно уравновешенных (абсолютно не вибрирующих) вращающихся частей практически не существует.

то устанавливают допустимые пределы вибраций; эти пределы указаны в табл. 2 в зависимости от скорости вращения двигателя. Вибрации измеряются специальными приборами — виброметрами.

Таблица 2

Допустимые вибрации электрических машин

Скорость вращения, *об/мин*	Удвоенная амплитуда колебаний, *мм*	Скорость вращения, *об/мин*	Удвоенная амплитуда колебаний, *мм*
500	0,16	1000	0,10
600	0,14	1500	0,08
750	0,12	3000	0,05

Неуравновешенность вращающихся частей устраняется путем их искусственного уравновешивания — балансировкой, т. е. установкой дополнительного груза определенного веса в соответствующих точках торцевых частей ротора.

Признаками ослабления посадки вращающихся частей (ротора, шкива, полумуфты) на валу служит появление на посадочных местах налетов ржавчины (из-за контактной коррозии), а также возрастание вибрации с течением времени, что объясняется прогрессирующим характером неисправности. Значительное ослабление посадки может быть установлено по покачиванию деталей на валу при нажатии на них.

Влияние увеличенного зазора между шейками вала и вкладышем на вибрацию двигателя особенно сказывается у быстроходных машин. При большом зазоре (в верхней части вкладыша) происходит «наползание вала». Вал при этом приподнимается, вследствие вязкости тонкого масляного слоя (масляного клина) между валом и вкладышем, и снова падает под действием собственного веса ротора; это явление периодически повторяется. Число возникающих при этом колебаний не совпадает со скоростью вращения ротора, обычно оно значительно меньше. Колебания зависят от величины зазора во вкладыше, массы ротора, неуравновешенности последнего, даже незначительной, и вязкости масла, а так как вязкость сильно зависит от температуры, то также и от температуры масла. Поэтому, если после искусственного повышения температуры масла вибрации уменьшаются или совершенно исчезают, можно с уве-

ренностью сказать, что причиной вибрации является слишком большой зазор между шейкой вала и вкладышем. В таких случаях следует по возможности уменьшить зазор во вкладышах в вертикальном направлении.

После уменьшения верхнего зазора во вкладыше часто наблюдается повышение температуры масла и подшипников. В таких случаях необходимо несколько увеличить боковые зазоры.

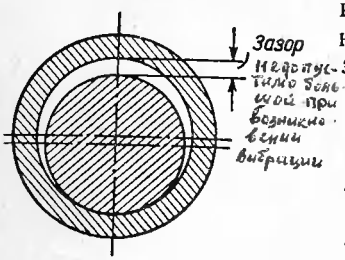


Рис. 23. Зазор в неразъемном вкладыше подшипника.

Необходимо также обратить внимание на то, чтобы в разъемных подшипниках верхний вкладыш плотно прижимался крышкой подшипника, так как при наличии зазора между вкладышем и крышкой подшипника вибрация вала будет продолжаться, несмотря на уменьшение зазора во вкладыше.

Нормальные зазоры (рис. 23) в неразъемных вкладышах подшипников указаны в табл. 3.

Размеры верхних вертикальных зазоров в разъемных вкладышах подшипников указаны в табл. 4.

В подшипниках с принудительной смазкой верхние за-

Таблица 3

Размеры зазоров в неразъемных вкладышах подшипников

Диаметр вала, *мм*	Верхний зазор (вертикальный) при числе *об/мин*		
	до 1000	1000—1500	свыше 1500
	Пределы, *мм*		
18—30	0,04—0,093	0,060—0,130	0,140—0,280
30—50	0,05—0,112	0,075—0,160	0,170—0,340
50—80	0,065—0,135	0,095—0,195	0,200—0,400
80—120	0,080—0,160	0,120—0,235	0,230—0,460

Таблица 4

Размеры верхних вертикальных зазоров в разъемных вкладышах подшипников

Диаметр вала, *мм*	Пределы верхних зазоров, *мм*	Диаметр вала, *мм*	Пределы верхних зазоров, *мм*
50—80	0,15—0,20	180—260	0,35—0,45
80—120	0,20—0,25	260—360	0,45—0,55
120—180	0,25—0,35		

зоры обычно находятся в пределах 0,25—0,40% от диаметра шейки вала, а в некоторых случаях доходят до значительно бо́льших величин.

В подшипниках качения рекомендуется не допускать увеличения зазора свыше: *заменой подшипника качения.*

0,1 *мм* для валов диаметром . . . . . до 25 *мм*;
0,2 *мм* » » » . . . . . до 100 *мм*;
0,3 *мм* » » » . . . . . свыше 100 *мм*

Зазор в подшипниках качения может быть измерен щупом, для чего пластинка его вводится между элементами качения (шарики, ролики) и наружным кольцом в ненагруженной части подшипника.

Электромагнитные причины. К электромагнитным причинам вибраций относятся:

а) короткие замыкания или неправильные соединения в обмотках статоров или фазных роторов (см. стр. 23, 8);

б) обрыв в стержнях ротора или в замыкающих кольцах короткозамкнутого двигателя (см. стр. 11);

в) биение или деформация стали ротора;

г) возникновение вибраций зубцов статора и ротора двигателя при неудачном соотношении между числом зубцов статора и ротора (см. стр. 46).

Короткие замыкания в обмотках или их неправильное соединение создают несимметрию магнитной системы машины, в результате чего взаимное притяжение ротора и статора становится неравномерным. (Нахождение коротких замыканий в обмотках — см. стр. 25—26). При коротких замыканиях в обмотке фазного ротора двигатель может вибрировать в такт со скольжением.

В результате биения или деформации стали ротора зазор между ротором и статором при вращении машины все время меняется, магнитный поток в зазоре становится несимметричным, появляется вращающаяся сила одностороннего притяжения (см. разд. 5) между ротором и статором, вызывающая изгиб вала и его колебания или колебательные движения статора при недостаточной жесткости конструкции последнего. В связи с относительно малым зазором колебания ротора могут вызвать и задевание ротора о статор.

Для устранения биения активной стали ротора его необходимо обточить или отшлифовать наждачным кругом.

Чтобы установить причину вибрации, необходимо обследовать двигатель и идти путем исключения отдельных

причин. В процессе обследования рекомендуется быстро отключать двигатель от сети и наблюдать за его вибрацией. Немедленное исчезновение вибрации подшипников или корпуса статора после отключения двигателя при одинаковой величине тока во всех фазах (до отключения) свидетельствует о том, что причиной вибрации является слишком большой зазор между шейками вала и вкладышами (другой метод установления этой причины — см. стр. 42), биение стали ротора или короткое замыкание в обмотке фазного ротора.

Если вибрация исчезает немедленно после отключения двигателя, но до отключения величина тока во всех фазах различна и двигатель сильно гудит, то причиной вибрации является короткое замыкание или неправильное соединение в обмотке статора. Если же сразу после отключения двигателя вибрация продолжается и исчезает только после значительного снижения скорости вращения его, а ток во всех фазах до отключения одинаков, то вибрация является следствием механических причин (в том числе и слишком малого зазора между шейкой вала и вкладышем) или же обрыва в отдельных стержнях или в короткозамыкающих кольцах двигателей с короткозамкнутым ротором.

По частоте вибраций во многих случаях можно определить их причину. Если частота вибраций равна двойной частоте вращения, то причиной вибрации является неправильная центровка агрегата, неисправность соединительной муфты или овальность шеек вала.

Если же причиной вибраций является слишком большой зазор между шейкой вала и вкладышем («наползание» вала), то частота вибраций ниже частоты вращения. При неуравновешенности вращающихся частей частота вибрации соответствует частоте вращения, а отношение амплитуд вибраций при различных скоростях вращения равно отношению квадратов скоростей.

8. НЕНОРМАЛЬНЫЙ ШУМ В ДВИГАТЕЛЕ

Нормально работающий двигатель издает некоторое «магнитное» гудение, присущее всем электромагнитным устройством переменного тока вследствие так называемых магнитострикционных явлений. Они заключаются в том, что процесс намагничивания ферромагнитных тел сопровождается микроскопическим изменением их объема. При вращении ротора его зубцы перемещаются относительно

зубцов статора; это вызывает периодические изменения магнитного потока в зубцах, что, в свою очередь, вызывает периодические объемные изменения зубцов и гудение, которое тем сильнее, чем больше зубцов у двигателя.

Ненормальный шум в двигателе возникает по причинам электромагнитного или механического характера.

Гудение низкого тона при нормальной работе двигателя

Электромагнитные причины. К ним относятся:

а) слабая запрессовка активной стали, вызывающая магнитный шум вследствие периодического сжатия и ослабления пакетов стали под влиянием переменного магнитного потока;

б) наличие параллельных ветвей в обмотке статора при неравномерности зазора между ротором и статором.

Для устранения слабой затяжки активной стали необходима ее перепрессовка, что требует перемотки обмотки статора.

Для уменьшения шума при наличии параллельных ветвей следует тщательно отрегулировать зазор между ротором и статором (допустимые зазоры, см. разд. 5).

Гудение из-за наличия параллельных ветвей никакой опасности для машины не представляет.

Механические причины. К ним относятся:

а) вибрации двигателя (см. стр. 39);

б) дефекты в подшипниках качения (см. стр. 49);

в) вибрирующие дистанционные распорки (ветряницы) между пакетами активной стали статора, вибрирующие крайние листы стали;

г) ослабление клиньев в пазах;

д) случайно выступающая изоляция (отклеившаяся лента, картон и т. п.) и выступающие клинья.

Двигатель работает нормально; ток во всех фазах одинаков, гудение высокого тона, иногда сопровождающееся сильной вибрацией

Основной причиной сильного гудения (шума) высокого тона является вибрация зубцов статора и ротора под действием сил, возникающих при неудачном соотношении между числом пазов статора и ротора.

Вибрация зубцов в упругой среде (в воздухе) и создает звук, интенсивность которого зависит от величины вибра-

ции, упругих свойств материала, акустических свойств машины и пр.

Устранение такого шума весьма сложно; радикальным методом является установка нового ротора с другим числом пазов.

Чтобы уменьшить шум, иногда производят обточку ротора, увеличивая таким образом зазор между ротором и статором, но это ухудшает коэффициент мощности двигателя. Обточку ротора рекомендуется согласовать с заводом — изготовителем двигателя. но он должен быть минимальным.

Шум может быть также ослаблен эластичной установкой машины.

Кроме электромагнитных причин, гудение высокого тона может быть вызвано неблагоприятными условиями поступления воздуха в вентиляционные каналы быстроходных и сильно вентилируемых машин (наличие острых краев, изогнутых вентиляционных путей и резких изменений их сечения); звуковые колебания могут также возникнуть из-за колебаний воздуха в пустых пространствах, щелях или каналах (как у сирены).

Сильное гудение двигателя; величина тока во всех фазах различна; нагрев обмотки статора неравномерный

Причинами неисправности являются: (2е часть)

а) короткое замыкание в обмотке статора (см. стр. 23);

б) неправильное соединение обмотки статора — одна фаза обмотки «перевернута» (см. стр. 8);

в) различное число витков в отдельных катушках обмотки статора при наличии параллельных ветвей в обмотке или при соединении фаз треугольником; при последовательном соединении катушек и при соединении фаз звездой гудения нет, но ток в фазах различный.

Чтобы обнаружить катушку с уменьшенным числом витков, необходимо разъединить все три фазы и параллельные ветви.

При наличии параллельных ветвей в каждую из них подается переменный ток и измеряется вольтметром падение напряжения на каждой катушечной группе (по схеме, аналогичной рис. 3). На катушечных группах, имеющих меньшее число витков, напряжение будет меньше, чем на катушечных группах с нормальным числом витков. пропорционально числу витков

Наибольшая допустимая разность напряжений на отдельных катушечных группах не должна превышать 5% от 5%

Затем, чтобы найти катушку с меньшим числом витков, производят измерение падения напряжения на зажимах каждой катушки дефектной катушечной группы. Здесь также на зажимах катушки с меньшим числом витков будет меньшее напряжение.

Испытание можно производить как при вставленном, так и при вынутом роторе. При вставленном и разомкнутом фазном роторе испытание производят при номинальном напряжении на зажимах параллельной ветви; при вынутом роторе или при вставленном короткозамкнутом роторе напряжение, подводимое к параллельной ветви, не должно превышать 15—20% от номинального.

Если двигатель имеет фазный ротор, то проверку числа витков катушек статора и измерения напряжения на концах катушечных групп или катушек можно произвести, если питать двигатель со стороны ротора. В этом случае двигатель подобен трансформатору, первичной обмоткой которого является обмотка ротора, а вторичной — обмотка статора, и в ней индуктируется э. д. с., пропорциональная числу витков. Напряжение, подводимое к ротору, не должно превышать то напряжение, которое появляется на контактных кольцах при неподвижном роторе и включенной на номинальное напряжение обмотке статора.

Вибрация дистанционных распорок и крайних листов стали устраняется подклиниванием немагнитными клиньями (гетинакс, фибра). Выступающие клинья необходимо опилить, а ослабевшие клинья заменить новыми. Выступающую изоляцию следует подрезать.

9. НЕИСПРАВНОСТИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Перегрев подшипника

Допустимое превышение температуры подшипников указано в табл. 1 (стр. 19). Причины перегрева:

а) загрязнение подшипника попавшей в него пылью, грязью или какими-либо другими мелкими частицами;

б) избыток смазки в подшипнике, создающий большие потери на трение;

в) чрезмерное трение уплотняющей набивки подшипника о вал;

г) износ или разрушение деталей подшипника;

д) слишком большая нагрузка на подшипник — непра-

вильный выбор подшипника, слишком туго натянутый ремень (при ременной передаче);

е) плохая центровка электродвигателя с приводимой машиной;

ж) неправильная установка подшипника.

К недостаткам установки подшипника, вызывающим его перегрев, относится отсутствие осевого зазора (рис. 24) в одном из подшипников, необходимого для компенсации температурного удлинения вала при работе машины (см. правую часть рис. 20), вследствие чего внешнее кольцо подшипника упирается в бортик крышки. Другим дефектом установки подшипника, вызывающим его перегрев, является слишком тугая посадка внешнего кольца подшипника в подшипниковом щите. В обоих случаях увеличивается осевое давление в подшипнике, что вызывает его перегрев или повреждение подшипникового узла.

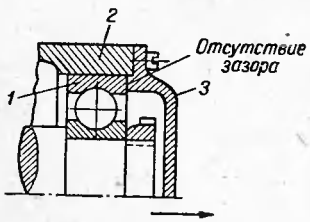


Рис. 24. Неправильная установка шарикоподшипника.
1 — шарикоподшипник; *2* — корпус подшипника; *3* — крышка.

Признаком этой неисправности является легкое проворачивание ротора, когда подшипник в холодном состоянии, и «заедание» в том случае, если он нагрет.

Для получения необходимых осевых зазоров следует установить прокладки между крышкой подшипника и его корпусом или проточить бортик крышки подшипника.

При слишком тугой посадке внешнего кольца необходимо слегка расшабрить посадочное место в подшипнике.

Ненормальный шум в подшипнике, часто сопровождаемый повышением температуры подшипника

К причинам неисправности относятся:

а) загрязнение подшипника;

б) чрезмерный износ подшипника, выкрашивание дорожек и тел качения (шариков, роликов);

в) задевание сепаратора о сопряженные с подшипником детали;

г) неплотная посадка внутреннего кольца подшипника на валу;

д) удары и толчки, вызванные дефектами в приводимых машинах и в зацеплении (зубчатая передача);

е) плохая центровка машин.

Выбрасывание масла из подшипника

Причины неисправности:

а) слишком большое заполнение подшипника смазкой;

б) износ уплотнений подшипника; *чаще всего*

в) несоответствующий сорт смазки для данной температуры окружающей среды (слишком низкая температура каплепадения смазки). *мала жидкотекучесть смазки.*

10. НЕИСПРАВНОСТИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ. ПОПАДАНИЕ МАСЛА ВНУТРЬ ДВИГАТЕЛЯ

Перегрев подшипников

Допустимый перегрев подшипников указан в табл. 1.

Причинами перегрева подшипников являются:

а) недостаточная подача масла;

б) загрязнение масла пылью или попадание воды в масляные камеры;

в) недостаточное охлаждение масла в маслоохладителе (в машинах с принудительной смазкой — от маслонасоса) из-за недостаточного количества охлаждающей воды или слишком высокой ее температуры;

г) несоответствующий сорт масла;

д) слишком мал зазор между шейкой вала и вкладышем или плохая пригонка вкладыша (допустимые зазоры — см. табл. 3 и 4);

е) шероховатость шейки вала;

ж) несоответствие материала заливки (баббита) подшипника условиям его работы, недоброкачественная заливка вкладыша; *подшипников скольжения.*

3) неправильная центровка двигателя, дающая несовпадение осей валов у полумуфт;

и) искривление вала или его шеек;

к) слишком большое давление на подшипник из-за сильного натяжения ремня, от одностороннего притяжения между ротором и статором (см. раздел 5);

л) осевое давление на подшипник вследствие осевого сдвига ротора при отсутствии необходимых зазоров (между торцами вкладышей подшипников и заточками вала) для свободного теплового расширения вала (см. рис. 19, *а*).

Недостаточная подача масла у машин с кольцевой

смазкой может произойти от заклинивания (защемления) смазочных колец, слишком медленного их вращения или полной остановки (легкие кольца, сгустившееся масло), неправильной (некруглой) формы колец или из-за низкого уровня масла в подшипнике.

У машин с принудительной смазкой недостаточная подача масла может произойти от засорения маслопровода, масляного фильтра, неисправности маслонасоса, слишком малого отверстия в каком-либо фланцевом соединении или в диафрагме нагнетательного маслопровода, понижения уровня масла в напорном баке.

Перегрев подшипников вызывается также вибрацией ротора.

Задевание за вал уплотнений или маслоуловителей может вызвать местный нагрев подшипника.

Разбрызгивание и вытекание масла из подшипника с кольцевой смазкой

Причинами неисправности являются:

а) слишком обильная смазка (уровень масла выше указанного по маслоуказателю), вследствие чего масляная камера переполняется и масло постепенно распространяется вдоль вала;

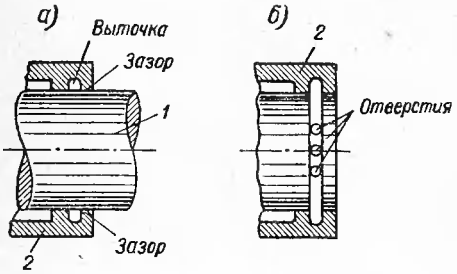


Рис. 25. Дефекты во вкладышах подшипников: увеличенный зазор (*а*); недостаточные отверстия для стока масла (*б*).

б) недостаточное уплотнение подшипников (слишком большие зазоры в торцах вкладышей) (рис. 25, *а*) за маслособирающими кольцевыми выточками;

в) недостаточное сечение отверстий или недостаточное количество их (рис. 25, *б*) в маслособирающих выточках (в нижней части вкладыша) для стока масла в камеру;

г) сильное вентилирующее действие вращающихся частей машины (шкива, крестовины ротора, вентилятора и

пр.), вследствие чего воздух продувается через подшипник и прогоняет масло по валу.

Для предотвращения слишком обильной смазки рекомендуется наливать масло в подшипники до черты на маслоуказателях и только при неподвижной машине, так как при ее вращении уровень масла в маслоуказателе может понизиться из-за того, что смазочные кольца забирают часть масла.

Наливать масло следует постепенно, так как его уровень, вследствие вязкости, устанавливается не сразу.

В случае недостаточности уплотнений подшипников рекомендуется установить дополнительное уплотнение. На рис. 26 показано простейшее уплотнение, состоящее из стальной шайбы *1* толщиной 1—2 *мм* с зазором между шайбой и валом 0,5 *мм*. Между этой шайбой и подшипником устанавливается фетровое кольцо *2*. Уплотнение прикрепляется к подшипнику винтами *3*. Удовлетворительные результаты может дать уплотнение, состоящее только из одной латунной шайбы *1* толщиной 2 *мм*, прикрепляемой к подшипнику винтами и имеющей заостренный край, плотно пригоняемый по валу.

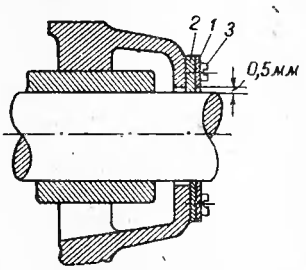


Рис. 26. Уплотнение подшипника.

Разбрызгивание и вытекание масла из подшипника с принудительной смазкой

Причинами неисправности являются:

а) слишком обильная подача масла вследствие слишком высокого давления масла в напорном маслопроводе, слишком малое отверстие для стока масла в нижней половине вкладыша или в сливном патрубке;

б) плохая пригонка или износ уплотнений подшипника;

в) просачивание масла в стыке крышки и стояка подшипника, в стыке верхних и нижних частей уплотнений;

г) недостаточное количество уплотнений или плохая конструкция их, не обеспечивающая удовлетворительную работу;

д) повышение давления внутри подшипника и создание препятствий выходу масляных паров.

При слишком обильной подаче масла ее следует отрегулировать путем уменьшения отверстия диафрагмы напорного патрубка так, чтобы температура выходящего масла не превышала 70° С при температуре входящего масла в 35—45° С; понизить давление масла до величины, предписанной заводом-изготовителем (обычно давление масла перед подшипником порядка 0,25 *ат*); увеличить отверстия для стока масла в нижнем вкладыше, соединив все отверстия в одно, и уменьшить или совершенно срубить в сливном патрубке «козырьки» (при их наличии).

Отрегулировав подачу и слив масла, можно приступить к выяснению и устранению других причин разбрызгивания и вытекания масла.

Попадание масла или масляных паров внутрь машины

Причинами неисправности являются:

а) засасывание масла или масляных паров из подшипников вентилятором или вентилирующим действием других вращающихся частей;

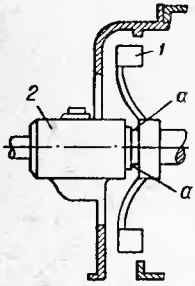


Рис. 27. Засасывание масла внутрь машины вентилятором.

б) засасывание масляных паров от других машин, находящихся в одном помещении с двигателем (например, от редуктора, соединяющего двигатель с приводимой им машиной).

Засасывание масла особенно часто происходит в закрытых сильно вентилируемых машинах, имеющих подшипниковые щиты. В этом случае часть подшипника находится внутри машины, и при работе вентилятора *1* (рис. 27) в местах *а* создается разрежение, что при обилии масла в подшипнике способствует засасыванию его внутрь машины.

В некоторых случаях для определения причины попадания масла и масляных паров внутрь машины необходимо вести длительное и тщательное наблюдение за работой подшипников и за путями распространения масла.

Для предотвращения попадания масла или масляных паров внутрь машины следует устранить соответствующие дефекты в подшипниках (см. выше); другими мероприя-

тиями (при закрытых машинах) являются: улучшение работы существующих уплотнений, установка дополнительных уплотнений, уплотнение стыков частей (например, между щитами и корпусом) суриковой или глетовой замазкой.

11. ПОВРЕЖДЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК

В результате повреждения изоляции обмоток могут произойти замыкания обмотки на корпус, замыкания между витками отдельных катушек или между фазами.

Основными причинами повреждения изоляции обмоток являются:

а) отсыревание обмоток;

б) загрязнение машины;

в) попадание посторонних предметов, металлических стружек, металлической и абразивной пыли (например, при проточке и шлифовке контактных колец);

г) насыщение охлаждающего воздуха кислотными или щелочными парами или газами (химическая промышленность);

д) сильный и длительный перегрев машины, вследствие чего изоляция становится хрупкой и гигроскопичной;

е) естественный износ (старение) изоляции.

Отсыревание обмоток может произойти из-за продолжительного хранения двигателя в сыром, неотапливаемом помещении; при длительных остановках машин, особенно в сырое время года; от действия водяных паров или воды при их непосредственном попадании в машину (например, при прорыве паровых и водопроводных труб, при пожаре, наводнении и пр.).

Для предупреждения отсыревания обмоток во время хранения машин на складе необходима хорошая вентиляция складского помещения, в которое не должны проникать едкие газы, угольная пыль и т. п.

Во время продолжительных остановок машин с искусственной вентиляцией при сырой туманной погоде следует закрывать все задвижки воздушных каналов как для поступающего, так и для выходящего воздуха. Наоборот, при хорошей сухой погоде все задвижки надо держать открытыми.

Загрязнение двигателя происходит от чрезмерного износа щеток и контактных колец (у двигателей с фазным ротором), от попадания загрязненного воздуха, а также

угольной и металлической пыли внутрь машины. Пыль в рабочих помещениях настолько мелка и легка, что оседает не только на наружных частях обмотки, но проникает и внутрь машины. Эта пыль образует токопроводящие мостики, которые могут вызвать перекрытие или замыкание обмотки на корпус.

Для предотвращения повреждения обмоток из-за загрязнения необходим соответствующий уход за машиной. Двигатель нужно содержать в чистоте, строго соблюдать сроки осмотров и профилактических ремонтов.

Для увеличения срока службы изоляции рекомендуется вести тщательное наблюдение за ее состоянием для того, чтобы в необходимых случаях своевременно произвести мелкий ремонт изоляции или покрытие обмотки лаком. для дополнительной защиты обмоток.

Следует указать, что сопротивление изоляции обмоток электродвигателей не нормируется.

Практически сопротивление изоляции обмоток считается удовлетворительным, если его величина составляет не менее 1000 *ом* на 1 *в* номинального напряжения, но не ниже 0,5 *Мом* при температуре обмотки, близкой к рабочей.

Методы нахождения замыканий в обмотках были рассмотрены выше (см. стр. 25). Здесь же мы рассмотрим методы нахождения замыкания обмотки на корпус.

Фаза обмотки, имеющая замыкание на корпус, определяется мегомметром; для этого фазы предварительно разъединяют (при наличии шести выводов у статорных обмоток) или распаивают. Определение места замыкания производится «прожиганием» или методом питания обмотки постоянным током. В сложных случаях замыкания на корпус применяется метод последовательного деления обмотки на части. (на пазовые секции)

Чтобы найти замыкание методом «прожигания», конец дефектной фазы нужно присоединить к одному полюсу сети, а второй полюс — к корпусу через предохранитель 30—40 *а*. При прохождении тока из места замыкания на корпус появится дым и запах горелой изоляции.

В машине высокого напряжения «прожигание» может производиться приложением низкого напряжения или от специальной испытательной установки. конденсаторный метод прожигания.

Метод постоянного тока (рис. 28) заключается в том, что к обоим концам фазы, соединенной с корпусом, присоединяется один из зажимов сети постоянного тока или батареи аккумуляторов. Другой зажим источника тока

присоединяется к корпусу машины. Для возможности регулирования и ограничения тока в цепь включается реостат. Источник постоянного тока не должен иметь заземления, а если один полюс его заземлен, то его следует присоединить к корпусу машины.

При наличии соединения обмотки с корпусом направления токов в двух частях обмотки, разграниченных точкой соединения с корпусом, будут противоположны. Если поочередно касаться двумя проводами, присоединенными к милливольтметру, концов каждой катушечной группы,

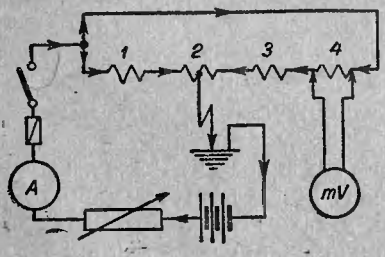


Рис. 28. Нахождение замыкания обмотки на корпус.

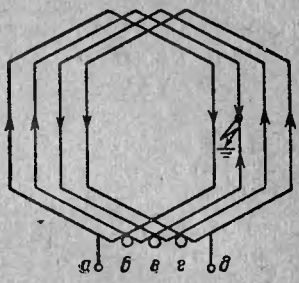


Рис. 29. Замыкание на корпус катушки двухслойной обмотки.

то стрелка прибора будет отклоняться в одном направлении до тех пор, пока концы от прибора не минуют концов катушечной группы, имеющей соединение с корпусом. После этого отклонение стрелки изменится на обратное. На концах дефектной катушечной группы это отклонение зависит от того, к какому концу ближе находится место соединения с корпусом. Кроме того, величина падения напряжения на концах катушечной группы, имеющей соединение с корпусом, будет меньше, чем у других катушек, если соединение с корпусом не находится вблизи концов этой катушки.

Для нахождения дефектной катушки поступают аналогично предыдущему, т. е. измерение падения напряжения производят на концах катушки.

На рис. 29 показан случай замыкания на корпус одной из катушек двухслойной обмотки. Оставив неизменной схему питания постоянным током (см. рис. 28), измеряют последовательно падения напряжения попарно между точками *а—б, б—в, в—г, г—д* и наблюдают за направлением отклонения стрелки прибора. Отклонение в точках *а* и *б*

будет противоположно отклонениям в точках *в—г* и *г—д*, в точках же *б—в* направление отклонения зависит от места нахождения корпусного соединения, а величина падения напряжения будет меньше, чем на зажимах других катушек. При измерениях падения напряжения можно либо зачистить соединительные проводники, либо пользоваться острыми щупами, прокалывающими изоляцию.

Найти соединение с корпусом можно также при помощи магнитной стрелки, если перемещать ее вдоль каждого паза; как только стрелка пройдет мимо искомого места, она изменит направление отклонения на обратное. Но чтобы выполнить это испытание, необходима разборка машины.

Следует учесть, что для получения хорошего результата при методе постоянного тока необходим металлический контакт в месте замыкания на корпус. Это может быть достигнуто «прожиганием».

Метод деления на части состоит в том, что фазу, имеющую замыкание на корпус, делят пополам путем распайки междукатушечных соединений, а затем мегомметром определяют часть обмотки, имеющую соединение с корпусом. Подобное деление продолжают до тех пор, пока не будет найдена дефектная катушечная группа или катушка. Одновременно с проверкой мегомметром рекомендуется шевелить катушки. Изменение отклонений мегомметра укажет на наличие замыкания на корпус в перемещаемой части катушки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин, Госэнергоиздат, 1960.
2. Ривлин Л. Б. Электродвигатели и их эксплуатация, Госэнергоиздат, 1950.
3. Ривлин Л. Б. Обслуживание цехового электрооборудования, Госэнергоиздат, 1956.
4. Шпизер Р. Болезни электрических машин, ОНТИ, Харьков — Киев, 1936.

Цена 12 коп.

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

Иевлев В. И. и Скляров П. В., Из опыта монтажа силовых трансформаторов напряжением 110—220 *кв* (*Вып. 58*).

Фридкин И. А., Прокладка кабельных линий в земле (*Вып. 59*).

Гомберг А. Е., Измеритель заземления (*Вып. 60*).

Демчев В. И. и Царьков В. М., Прожекторное освещение (*Вып. 61*).

Минин Г. П., Измерение мощности (*Вып. 62*).

Каетанович М. М., Как работают провода, изоляторы и арматура линий электропередачи (*Вып. 63*).

Злобин Б. В., Испытания силовых трансфоматоров при монтаже (*Вып. 64*).

Рубо Л. Г., Изоляционные лаки и их применение (*Вып. 65*).

Мусаэляи Э. С., Проверки и испытания при монтаже турбогенераторов (*Вып. 66*).

Карпов Ф. Ф. и Козлов В. Н., Простейшие схемы автоматизации (*Вып. 67*).

Волоцкой Н. В., Люминесцентные лампы и схемы их включения в сеть (*Вып. 68*).

Гриберг Г. С. и Дейч Р. С., Применение электромонтажных изделий (*Вып. 69*).

Минскер Э. И. и Соколов Н. Г., Электрические проводки металлорежущих станков (*Вып. 70*).

Андриевский В. Н., Эксплуатация деревянных опор линий электропередачи (*Вып. 71*).

Дормакович П. А., Михалков А. В., Петров А. В., Изготовление и обслуживание газосветных установок (*Вып. 72*).

Пономарев Б. А., Схемы измерений в сетях переменного тока промпредприятий (*Вып. 73*).

Белоцерковец В. В., Применение строительно-монтажного пистолета СМП (*Вып. 74*).