

SCAN

DVD

biblem

elektromonter

Е. К. Иноземцев

**РЕМОНТ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
(ЧАСТЬ 2)**

**ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ
ЭНЕРГЕТИК**

Библиотечка электротехника

— приложение к журналу “Энергетик”

План выпусков

Первая половина 2001 г.

Курбангалиев У. К. **Самозапуск двигателей собственных нужд электростанций.**

Овчинников В. В. **Автоматическое повторное включение.**

Кузнецов А. П., Лукоянов В. Ю. и др. **Современные испытательные устройства для релейной защиты и автоматики.**

Шабад М. А. **Защита генераторов малой и средней мощности.**

Иноземцев Е. К. **Ремонт высоковольтных электродвигателей электростанций (две части).**

Вторая половина 2001 г.

Шкарин Ю. П. **Высокочастотные тракты каналов связи по линиям электропередачи.**

Безчастнов Г. А., Красильников А. М. и др. **Контроль состояния изоляции электрических машин.**

Овчаренко Н. И. **Аналоговые элементы комплексов релейной защиты и автоматики энергосистем.**

Конюхова Е. А., Киреева Э. А. **Надежность электроснабжения промышленных предприятий.**

Таубес И. Р., Удрис А. П. **Использование реле ДЗТ-21 и ДЗТ-23 для защиты трансформаторов.**

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу “ПРЕССА РОССИИ”. Том 1. Российские и зарубежные газеты и журналы.

Индексы “Библиотечки электротехника”

— приложения к журналу “Энергетик”

88983 — для предприятий и организаций;

88982 — для индивидуальных подписчиков.

Библиотечка электротехника

— приложение к журналу “Энергетик”

Основана в июне 1998 г.

Выпуск 6(30)

Е. К. Иноземцев

РЕМОНТ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

(часть 2)

Москва

НТФ “Энергопрогресс”, “Энергетик”

2001

УДК 621.313.13.004.67

ББК 30.82

И 67

Главный редактор журнала “Энергетик” А. Ф. ДЬЯКОВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

“Библиотечки электротехника”

В. А. Семenov (*председатель*), И. И. Батюк (*зам. председателя*),
Б. А. Алексеев, К. М. Антипов, Г. А. Безчастнов, А. Н. Жулев,
В. А. Забегалов, В. Х. Ишкин, Ф. Л. Коган, В. И. Кочкарев,
Н. В. Лисицын, Л. Г. Мамиконянц, Л. Ф. Плетнев, В. И. Пуляев,
Ю. В. Усачев, М. А. Шабад

Иноземцев Е. К.

И 67 Ремонт высоковольтных двигателей электростанций
(часть 2). — М.: НТФ “Энергопрогресс”, 2001. — 100 с.; ил.
[Библиотечка электротехника, приложение к журналу
“Энергетик”; Вып. 6 (30)].

Изложена технология ремонта высоковольтных электродвигателей с выполнением мероприятий по повышению надежности, применению современных электроизоляционных материалов и др. Приведены приспособления для выполнения работ с учетом передовых методов ремонта и технологий.

Для персонала электростанций, энергоремонтных, монтажных и пуско-наладочных организаций.

ISSN 0013-7278 © НТФ “Энергопрогресс”, “Энергетик”, 2001

Предисловие

Эксплуатационная надежность электростанций в значительной степени зависит от работы вспомогательных механизмов, приводами которых являются электродвигатели. Высоковольтные электродвигатели привода ответственных механизмов приравняются к основному оборудованию. В этой связи к ним предъявляются требования надежности, обеспечивающей их бесперебойную работу.

Исходя из реальной экономической ситуации в Российской Федерации в ближайшее время следует ожидать ограниченного ввода новых генерирующих мощностей. В этом случае обеспечение потребителей электрической энергией будет определяться надежностью действующего оборудования электростанций, а значит во многом своевременным и качественным ремонтом оборудования.

В настоящее время оборудование тепловых электростанций суммарной мощностью около 20 млн. кВт выработало свой проектный ресурс. К 2005 г. выработает свой ресурс уже 55 млн. кВт. На АЭС к 2005 г. отработает свой проектный ресурс оборудование общей мощностью 3,8 млн. кВт. В сложившейся ситуации для надежной работы оборудования тепловых, атомных и гидроэлектростанций первоочередное значение приобретает качество выполнения ремонта.

Отсутствие производственно-технической литературы по ремонту высоковольтных электродвигателей электростанций, а также необходимость дополнительной подготовки квалифицированного персонала послужило поводом для написания этой книги.

**Замечания и пожелания по брошюре
просим направлять по адресу:
109280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23.
Редакция журнала “Энергетик”.**

ГЛАВА ПЯТАЯ

Ремонт статоров электродвигателей

5.1. РАЗБОРОЧНО-СБОРОЧНЫЕ РАБОТЫ ПРИ РЕМОНТЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Разборка электродвигателей. При разборке электродвигателей измеряют: воздушный зазор между ротором и статором в четырех точках с обеих сторон; радиальные зазоры в подшипниках и натяги крышек подшипников на вкладыш у подшипников скольжения; зазоры по маслоуловителям и уплотнениям вала; осевой разбег ротора; совпадение магнитной оси статора и ротора; осевой и радиальные зазоры между вентилятором и диффузором; радиальный зазор между нагруженным уплотнением торцевого щита и валом ротора; уклон вала.

После проведения электрических измерений и испытаний разбирают электродвигатель. Демонтируют наружные, внутренние щиты и диффузоры. Для предохранения активных частей статора от повреждений в воздушный зазор под ротор заводят лист электрокартона толщиной 0,5 мм, а лобовые части обмотки закрывают листовой резиной. Если вывод ротора на месте установки электродвигателя невозможен, то электродвигатель демонтируют и устанавливают на ремонтной площадке.

Полумуфту снимают винтовым или гидравлическим съемником, подогревая ее при необходимости одной или двумя ацетиленовыми горелками. Для предотвращения нагрева вала его теплоизолируют. После сжатия и остывания полумуфты и вала электродвигателя зачищают их посадочные места и определяют натяг. Данные измерений сравнивают с данными по чертежу завода-изготовителя.

Если фактический натяг полумуфты на вал не соответствует требованиям, указанным в чертеже, то необходимо восстановить натяг. При ослабленной посадке полумуфту протачивают и запрессовывают втулку. Если натяг полумуфты на вал превышает

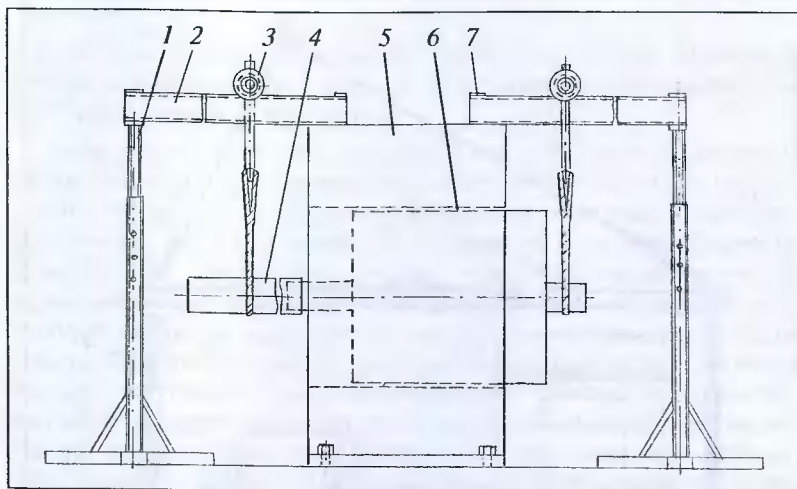


Рис. 30. Вывод ротора электродвигателя 12 и 13-го габаритов:

1 — стойка; 2 — балка; 3 — грузовой ролик; 4 — удлинитель; 5 — статор; 6 — ротор; 7 — накладка

допустимый, то полумуфту протачивают до необходимого размера. Необходимый натяг может быть восстановлен также способами, изложенными ниже.

Роторы электродвигателей 12 и 13-го габаритов выводят с помощью приспособления, показанного на рис. 30. Вал ротора со стороны полумуфты перед установкой удлинителя защищают от механического повреждения. Горизонтальное положение балки устанавливается регулировкой высоты стойки. Для обеспечения воздушного зазора между ротором и статором по всей окружности расточки при выводе регулируют положение тяг гайками. Приподняв ротор, убеждаются, что он свободен и не касается расточки статора. После этого выводят ротор, внимательно следя, чтобы он не задевал расточку статора или обмотку. Затем ротор опускают на временную выкладку или козлы, снимают стропы, удлинитель и разбирают приспособление.

Широкое распространение для вывода роторов электродвигателей получили скобы. Скобу устанавливают на посадочное место полумуфты ротора электродвигателя. Уравновесив ротор за счет перемещения серьги вдоль оси ротора, выводят последний из расточки статора. Недостаток этого способа состоит в том, что для электродвигателей различных типов и габаритов необходимо иметь неско-

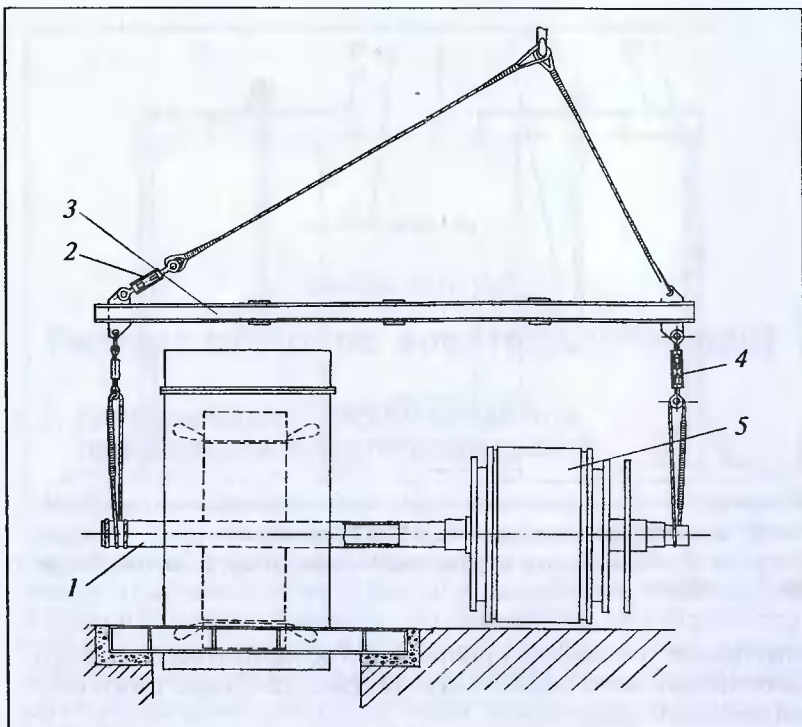


Рис. 31. Вывод ротора электродвигателя 15-го габарита и более:

1 — удлинитель; 2, 4 — талреп; 3 — траверса; 5 — ротор

лько скоб и промежуточных втулок в зависимости от диаметра посадочной поверхности вала ротора под полумуфту.

Роторы электродвигателей 15-го габарита и более выводят с применением траверсы (рис. 31). Использование талрепов 2, 4 позволяет быстро и точно выставить ротор в горизонтальное положение, что является важным условием качественного выполнения этой операции.

Сборка электродвигателей. Ротор заводят в статор с помощью тех же приспособлений, что и при его выводе. У электродвигателей с щитовыми подшипниками после заводки ротора устанавливают внутренние и наружные щиты.

У электродвигателей с выносными подшипниками после заводки ротора в статор приступают к установке корпусов подшипников

и нижних вкладышей под опорные шейки вала ротора. Измеряют зазоры по подшипниковым узлам, натяг крышек подшипников на вкладыши, осевой разбег ротора.

После сборки выносных подшипников проверяют, а при необходимости исправляют центровку ротора электродвигателя с полумуфтой механизма, устанавливая или удаляя подстуловые прокладки и смещая в сторону корпус подшипников. Затем проверяют горизонтальное положение ротора электродвигателя уровнем, устанавливая его поочередно на обе шейки вала. Проверяют воздушный зазор в четырех точках с обеих сторон электродвигателя. При необходимости выравнивают зазор, смещая статор или изменяя под ним толщину прокладки. Согласно "Объемам и нормам испытания электрооборудования" у электродвигателей мощностью 100 кВт и выше, у всех электродвигателей ответственных механизмов, а также у электродвигателей с выносными подшипниками и подшипниками скольжения, воздушные зазоры в местах, расположенных по окружности ротора и сдвинутых относительно друг друга на угол 90° , или в местах, специально предусмотренных при изготовлении электродвигателя, не должны отличаться больше чем на 10 % от среднего значения. Для некоторых типов электродвигателей существуют более жесткие требования заводов-изготовителей и неравномерности воздушных зазоров. У электродвигателей серии 2АЗМ и 4АЗМ, изготовленных ОАО "Элсиб", неравномерность воздушного зазора в точках измерения не должна быть более 5 % с учетом смещения ротора в подшипниках вверх по вертикали за счет всплытия на масляном клине на 0,1 мм. Проверяют совпадение магнитных осей статора и ротора, которое необходимо для нормальной работы торцевых поверхностей вкладышей подшипников скольжения. Для этого осевой разбег ротора в обе стороны от положения, которое последний занимает на холостом ходу электродвигателя, должен быть приблизительно одинаков. Это положение ротора, обусловленное совпадением магнитных осей ротора и статора, определяется при работе электродвигателя на холостом ходу или измерениями их взаимного аксиального положения. Эти измерения можно сделать при сборке: в собранном на подшипниках электродвигателе со снятыми щитами выставляют активную сталь ротора в аксиальном положении симметрично относительно торцов активной стали ротора, что соответствует положению ротора при работе электродвигателя на холостом ходу. Сдвинув ротор в одну и другую сторону до упора, измеряют значения осевого разбега, которые должны быть равны. При большой разнице указанных раз-

меров перемещают подшипники или статор в аксиальном направлении.

В соответствии с “Объемами и нормами испытания электрооборудования” осевой разбег ротора электродвигателя, не соединенного с механизмом, зависит от конструкции электродвигателя, приводится в технической документации на электродвигатель и должен составлять от 2 до 4 мм на сторону от нейтрального положения (если в инструкции по эксплуатации не оговорена другая норма), определяемого действием магнитного поля при времени ротора в установившемся режиме и фиксируемого меткой на валу.

Устанавливают внутренние щиты, диффузоры и наружные щиты. Проверяют зазоры по вентилятору и валу. Разъемы щитов уплотняют асбестовым шнуром на эмали. Результаты всех измерений заносят в формуляр.

Особенности разборочно-сборочных работ электродвигателей серии АТД 4 (см. рис. 7, ч. 1). Демонтируют крышки подшипников, верхние половины вкладышей и приподнимают ротор. Из расточки корпуса подшипников выводят нижние половины вкладышей. Снимают с посадочной поверхности наружные щиты, опускают ротор, снимают корпуса подшипников. Затем снимают щиты и выводят ротор из расточки статора. Демонтировав воздухоохладитель, снимают кожух воздухоохладителя, верхнюю и нижнюю половины кожуха статора.

Сборку электродвигателя выполняют в обратной последовательности, обратив особое внимание на то, чтобы толщина прокладок, регулирующих осевой разбег ротора со стороны полумуфты, соответствовала маркировке на щите. Крепление сердечника статора к щитам должно быть зафиксировано контрольными штифтами.

Особенности разборочно-сборочных работ электродвигателей ДВДА 260/99-20-24У4 (см. рис. 3, ч. 1). Отсоединяют и демонтируют маслоохладитель, щит, днище и перегородку нижней крестовины. Отсоединив термодатчики, снимают сегменты нижнего направляющего подшипника и кожух. Нижнюю крестовину снимают при демонтаже насоса. Затем демонтируют маслоохладитель верхней крестовины и верхний щит. Отсоединив термодатчики направляющего подшипника верхней крестовины, демонтируют его сегменты и гнездо направляющего подшипника. Застропив с помощью приспособления ротор и приподняв его на 5–10 мм, устанавливают ротор на домкраты и снимают приспособление. Отсоединив и сняв стопорное кольцо, спрессовывают с помощью съемника втулку подпятника, снимают сегменты подпятника. Затем снимают верхнее перекрытие крестовины, устанавливают при-

способлене для строповки ротора и выводят ротор из расточки статора. После окончания ремонта узлов и деталей собирают электродвигатель в последовательности, обратной разборке.

Втулку подпятника устанавливают на вал, предварительно нагрев ее горелками до температуры 100 °С и смазав посадочные места вала техническим вазелином ВТВ-1. До нагрева устанавливают направляющую шпонку и напрессовывают втулку подпятника с вращающимся диском до упора на вал при помощи приспособления.

Опробование электродвигателей на холостом ходу и под нагрузкой. После окончания ремонта электродвигатель устанавливают на фундамент и закрепляют гайками фундаментных болтов. Для электродвигателей серии 4АЗМ завод-изготовитель ОАО “Элсиб” рекомендует со стороны, противоположной приводу, между гайкой и лапами электродвигателя установить тарельчатые пружины. Тарельчатые пружины исключают возможность ослабления крепления электродвигателя к фундаментной плите в процессе эксплуатации, которое может произойти при осевых перемещениях лап электродвигателя за счет тепловых удлинений сердечника статора. В этом случае гайки со стороны, противоположной приводу, затягивают первоначально до полного выпрямления тарельчатых пружин, а затем отвинчивают на пол-оборота. Нарушение этого требования может привести к тепловой деформации электродвигателя при работе и увеличению вибрации выше допустимых норм.

Соединяемые между собой электродвигатель и приводимый механизм могут работать нормально только в том случае, если их валы будут сопрягаться в плоскости без смещения и изгиба линии вала. Установка валов в таком положении называется центровкой. Для выполнения центровки валов в конструкции электродвигателей предусмотрены резьбовые отверстия под отжимные болты для вертикальных перемещений электродвигателя. При центровке электродвигателя по высоте между лапами и монтажными плитами устанавливают прокладки. Их располагают по обе стороны от фундаментных болтов по длине лап двигателя. Суммарная толщина регулировочных прокладок между плитами и лапами электродвигателя не должна превышать 1,5 – 2 мм. Перед обтяжкой фундаментных болтов суммарный зазор между плоскостью лап электродвигателя, прокладками и опорной поверхностью плит должен быть не более 0,1 мм.

После проверки центровки электродвигателя окончательно затягивают все гайки фундаментных болтов. Затягивают гайки равномерно, желательно одновременно в нескольких местах или многократным обходом всех болтов с затяжкой каждого на небольшое

значение. Все лапы электродвигателя должны быть установлены на контрольные шпильки, а у электродвигателей 4АЗМ штифтуется лапы со стороны механизма. Водяные воздухоохладители электродвигателей соединяют с магистралью технической воды. К подшипникам электродвигателей с принудительной смазкой подсоединяют напорные и сливные маслопроводы и регулируют напор масла.

К электродвигателям подсоединяют заземление, кабель 6 кВ и кабели приборов теплового контроля. Вначале электродвигатель включают для работы на холостом ходу без механизма. Перед пуском проверяют степень затяжки крепежа, фундаментных болтов, заземления, крышек коробки выводов, болтов, крепящих подшипниковые узлы и др. После пуска проверяют направление вращения ротора, контролируют температурный режим, работу системы смазки и охлаждения, прослушивают работу подшипников с помощью стетоскопа или металлического стержня. В первые часы работы электродвигателя температура подшипниковых узлов может повыситься вследствие приработки элементов качения. Температуру подшипниковых узлов контролируют приборами штатного термоконтроля, а при их отсутствии — термометром, термощупом, тепловизором или наощупь. В период приработки допускается превышение температуры подшипников до 40 °С по отношению к окружающей среде. При больших превышениях температуры электродвигатель останавливают, выясняют и устраняют причину повышенного нагрева. При нормальной работе подшипников их шум должен быть ровный, жужжащий, без посторонних стуков. Наличие в шуме составляющих высокого тона свидетельствует об отсутствии или недостатке смазки или указывает на недостаточный зазор. Стуки при работе подшипников свидетельствуют, как правило, о повышенных зазорах между телами качения, наружным и внутренним кольцом и сепаратором. Скрежет свидетельствует о наличии в смазке пыли и абразивных частиц. Периодически изменяющийся шум свидетельствует о неудовлетворительном вибрационном состоянии ротора. Согласно “Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации” вертикальная и поперечная составляющие вибрации (среднее квадратичное значение виброскорости или удвоенная амплитуда колебаний), измеренные на подшипниках электродвигателей, сочлененных с механизмами, не должны превышать значений, указанных в заводских инструкциях. При отсутствии таких указаний в технической документации вибрация подшипников электродвигателей, сочле-

ненных с механизмами, не должна быть выше следующих значений:

Синхронная частота вращения, мин ⁻¹	3000	1500	1000	750 и менее
Удвоенная амплитуда колебаний подшипников, мкм	30	60	80	95

Для электродвигателей, сочлененных с углеразмольными механизмами, дымососами и другими механизмами, вращающиеся части которых подвержены быстрому износу, а также для электродвигателей, сроки эксплуатации которых превышают 15 лет, допускается работа агрегатов с повышенной вибрацией подшипников электродвигателей в течение времени, необходимого для устранения причины повышения вибрации.

Нормы вибрации для этих условий не должны быть выше следующих значений:

Синхронная частота вращения, мин ⁻¹	3000	1500	1000	750 и менее
Удвоенная амплитуда колебаний подшипников, мкм	50	100	130	160

Причины вибрации электродвигателей могут быть различные: нарушение закрепления электродвигателя на фундаменте, дефекты в полумуфтах или расцентровка полумуфт роторов электродвигателя и механизма, неуравновешенность ротора, дефекты подшипников и др. Если вибрация превышает норму, то исследуют причины и устраняют их. Если обследованием установлена неуравновешенность ротора, то приступают к его балансировке. С этой целью проводят пробные пуски электродвигателей и виброизмерительными приборами БИП-9, БИП-7 фирмы ДИАМЕХ и другими измеряют амплитуду и фазу вибрации. По данным измерений рассчитывают массу груза, разбирают электродвигатель и на ротор в специально предназначенном месте устанавливают балансировочный груз. При установке груза необходимо предусмотреть меры, предотвращающие отрыв груза при вращении ротора. Балансировку считают законченной, если измеренное значение вибрации меньше или равно допустимому.

После работы в течение нескольких часов при установившихся параметрах в системах смазки, охлаждения и других, при отсутствии отклонений в этих параметрах от норм электродвигатель от-

ключают от сети. Затем собирают полумуфту, опробуют электродвигатель с механизмом с нагрузкой до 100 % номинальной с тем же регламентом и контролем параметров.

5.2. РЕМОНТ АКТИВНОЙ СТАЛИ СТАТОРА

Проверка состояния сердечника статора и определение объема ремонта. После чистки активной стали статора осматривают и проверяют крепление сердечника, состояние сварных швов, крепление вентиляционных распорок и нажимных пальцев.

Слабо закрепленные вентиляционные распорки и нажимные пальцы приваривают к активной стали электродами марки СЗЛ-8 или ЦЛ-11 постоянным током обратной полярности. Сварку необходимо выполнять так, чтобы не замкнуть листы активной стали между собой и не создавать замкнутый контур.

Дефекты сварных швов конструктивных элементов устраняют подваркой электродами марки УОНИ 13/55 постоянным током обратной полярности. Каждый шов зачищают от шлака и проверяют его качество.

При осмотре поверхности статора проверяют отсутствие мест повышенных нагревов и оплавлений, нарушения межлистовой изоляции, коррозии, забоин и деформации пакетов и распорок, ослабления прессовки стали. Характерным признаком ослабления прессовки активной стали является наличие пыли кирпичного цвета, причем интенсивность ее зависит от степени ослабления. Плотность прессовки стали проверяют контрольным клиновым щупом шириной 20 мм и углом заточки 15° , изготовленным из стали марки ШХ 15 с твердостью HRC 55 — 60 и шероховатостью $R_a = 1,25$. Плотность прессовки считают удовлетворительной, если от усилия 30 — 35 кгс (300 — 350 Н) щуп не входит между сегментами глубже 3 мм всей плоскостью лезвия.

По результатам осмотра и испытаний активной стали статора определяют объем ее ремонта. В зависимости от характера и объема повреждений определяют способ ремонта активной стали статора в соответствии со следующими рекомендациями:

общее ослабление прессовки сердечника — обтянуть гайки стяжных шпилек;

местное (локальное) ослабление отдельных пакетов сердечника — установить уплотняющие стеклотекстолитовые клинья;

замыкание листов стали с нарушением лаковой планки на поверхности расточки — протравить азотной кислотой;

закрывание листов стали с нарушением лаковой пленки на значительную глубину — установить прокладки слюды на лаке БТ-99;

оплавление поверхности расточки или пазов — механически обработать оплавленные поверхности с последующим травлением азотной кислотой или установкой слюды;

выплавление отдельных пакетов на значительную глубину (не глубже дна паза) — удалить часть пакета и установить заполнитель из стеклотекстолита или из магнитодиэлектрика;

обширные выплавления пакетов на значительных площадях и при глубине, превышающей высоту паза — частично или полностью перешихтовать сердечник с заменой поврежденных сегментов сердечника новыми;

деформация отдельных пакетов в тангенциальном направлении вследствие задевания ротора — отрихтовать пакеты путем установки в пазы стальных встречных клиньев;

истирание лаковой пленки между сегментами по всему или значительному объему сердечника — перешихтовать сердечник с восстановлением лакового покрытия.

Устранение ослабления прессовки сердечника статора. Если при осмотре и проверке плотности активной стали статора выявлено общее ослабление пакетов сердечника, то его устраняют подтяжкой нажимного фланца. Для этого удаляют сварочные швы, стопорящие гайки стяжных шпилек от самоотвинчивания, и сварочные швы, фиксирующие съемное нажимное кольцо в аксиальном положении. После подготовительных работ проверяют возможность подтяжки четырех гаек, расположенных в диаметрально противоположных точках под углом 90° . Если гайки подтянулись, то производят обтяжку нажимного фланца по одной гайке в четырех диаметрально противоположных зонах последовательно в несколько обходов. Крутящий момент выбирается в зависимости от поперечного сечения сердечника исходя из удельного давления $12 - 15 \text{ кгс/см}^2$ ($1200 - 1500 \text{ кПа}$). Для контроля приложенного крутящего момента к гайке целесообразно использовать специальный динамометрический ключ. После окончания обтяжки восстанавливают сварочные швы, стопорящие гайки и нажимной фланец от аксиального смещения.

Если гайки нажимного фланца не подтягиваются или если в результате подтяжки полностью не устранено ослабление сердечника, неплотность сердечника устраняют установкой в зубцовую зону клиньев из стеклотекстолита марки СТЭФ-1. Для этого изготавливают стеклотекстолитовые клинья. Толщину и количество клиньев выбирают после оценки действительного ослабления пакета. Из

зоны ослабленных пакетов удаляют пазовые клинья. Поверхности прилегания сегментов активной стали и уплотняющих клиньев обезжиривают бензином Б-70, затем спиртом и подсушивают на воздухе. Поверхности склеивания сегментов и стеклотекстолитовых клиньев промазывают лаком БТ-99 или эпоксидным клеящим лаком ЭЛ-4. Лак имеет следующий состав, массовые части (м.ч.):

Смола ЭД-6 (или ЭД-5)	100
Полиэтиленполиамин	10
Полиэфир № 1	15
Ацетон	20

Для приготовления лака подогревают эпоксидную смолу в фарфоровом стакане до температуры 60 °С и вводят в нее при тщательном перемешивании вначале полиэфир, а затем ацетон. Охлаждают массу до температуры 30 — 35 °С, вводят в нее полиэтиленполиамин и тщательно перемешивают. Лак приготавливают порциями, которые должны быть использованы в течение его “срока жизни” — 3 — 3,5 ч.

При применении эпоксидного клеящего лака ЭЛ-4 промазанные поверхности выдерживают на воздухе в течение 15 мин для удаления ацетона, входящего в состав лака. На время подсушивания сегменты разводят с помощью распорки. Забивают стеклотекстолитовый клин между сегментами и выдерживают в покое при температуре 20 — 25 °С в течение 10 — 12 ч до полной полимеризации лака ЭЛ-4.

После установки стеклотекстолитового клина опиляют его заподлицо с профилем зубца. Повреждения прилегающих сегментов активной стали недопустимы. После установки клиньев проверяют плотность прессовки сердечника статора.

Углы радиальных вентиляционных каналов выправляют подбивкой углов зубцов по кромке для получения максимально возможной ширины вентиляционного канала. Если одновременно с ослаблением зубцов произошло нарушение лакового покрытия отдельных сегментов, прилегающих к месту установки клиньев на небольшую глубину от вершины зубца, то перед установкой клина между сегментами у коронки зубца вставляют прокладки из слюды на лаке БТ-99 на глубину 30 — 35 мм.

Место ремонта покрывают лаком БТ-99 и заклинивают обмотку пазовыми клиньями. Стыки пазовых клиньев не должны попадать на стеклотекстолитовый клин. При необходимости паз заклинивают специально изготовленными удлиненными пазовыми клиньями, перекрывающими установленный уплотняющий клин.

Устранение местных перегревов активной стали. Если при осмотре обнаружены местные замыкания на поверхности расточки статора, то их устраняют прокладкой лепестков слюды между сегментами активной стали статора или изолировкой жидким лаком БТ-99. Листы зубцов разводят специально заточенными узкими и тонкими стальными полосами необходимой длины.

Большие площади замыканий поверхности расточки статора устраняют травлением кислотой. В этом случае активная сталь греется за счет индукционных потерь. Индукция в сердечнике обычно должна быть 1,2 — 1,4 Тл. Значение индукции зависит от марки электротехнической стали, из которой изготовлены сегменты, характера и объема повреждений. Намагничивающую и контрольную обмотку наматывают таким образом, чтобы был свободный доступ к местам повреждений. Обеспечив температурный контроль в зоне повреждений, включают намагничивающую обмотку и повышают температуру поврежденных участков до 70 — 75 °С. Определяют и отмечают мелом границы участков повышенного нагрева. Близлежащие к месту ремонта пакеты активной стали, обмотку и вентиляционные каналы защищают от кислоты шпатлевкой и резиновыми ковриками. Расточку статора и зашпатлеванные поверхности обезжиривают бензином Б-70 и покрывают химически стойкой эмалью. В недоступных местах зачистку выполняют шабровкой вдоль листов активной стали статора. Образующуюся стружку и пыль выбирают пылесосом и обезжиривают зачищенные места спиртом. В зоне повреждения устанавливают термодатчики, включают намагничивающую обмотку и поднимают температуру в зоне повреждения до 75 — 105 °С. Отключают намагничивающую обмотку и протравливают зачищенные участки тампоном или кистью, смоченной в концентрированной азотной кислоте плотностью 1,42 г/см³.

При обработке кислотой не допускают растекания кислоты за пределы обрабатываемого участка. Большие площади повреждений обрабатывают кислотой последовательно несколькими участками.

При обработке активной стали азотной кислотой происходит активная химическая реакция с образованием солей азотнокислого железа и выделением водорода. Образующаяся соль затрудняет травление, поэтому после 5 — 6-кратной обработки кислотой одного и того же участка протирают его влажным тампоном или салфеткой, смоченной в дистиллированной воде, удаляя образовавшуюся соль. После промывки травленых участков через лупу осматривают изоляционную лаковую пленку между отдельными листами. Пленка должна просматриваться сплошными черными линиями, по ко-

торым определяют окончание травления. Если лаковая пленка просматривается в виде прерывистых линий, травление повторяют.

Обработку кислотой поврежденных участков выполняют как можно быстрее, так как понижение температуры активной стали приводит к ослаблению химической реакции.

Если температура ремонтируемого участка ниже 55°C , то травление прекращают. Затем повторяют нагрев и травление стали. При большой площади повреждения активной стали травление выполняют отдельными участками с повторением нагрева перед обработкой каждого участка. При контрольных нагревах контролируют местные нагревы на ранее обработанных травлением участках. После окончания травления остатки кислоты нейтрализуют. Для этого производят 4 — 5-кратную обработку протравленных мест ватными тампонами или салфетками, смоченными 10 %-ным раствором кальцинированной соды. Нейтрализованные участки промывают теплой дистиллированной водой ($40 - 60^{\circ}\text{C}$), протирают насухо салфетками и промывают спиртом. Удалив защитную обмазку из пазов, зазоров и вентиляционных каналов, вторично промывают отремонтированные участки спиртом.

Если в результате короткого замыкания в пазовой части катушки обмотки статора произошло оплавление стали, то для ремонта демонтируют катушки из этого паза. После механической обработки мест оплавлений и окончания ремонта стали для предотвращения вспучивания изоляции катушек удаленная полость заполняется эпоксидным компаундом холодного отверждения следующего состава, м.ч.:

Смола ЭД-6.	100
Метафенилендиамин.	13
Дибутилфталат	9

Эпоксидную смолу и дибутилфталат взвешивают в фарфоровом стакане, помещают смесь в печь и выдерживают при температуре 100°C до полного расплавления массы. Охлаждают смолу с дибутилфталатом. Необходимое количество метафенилендиамина взвешивают и небольшими порциями вводят его охлажденную смолу. Нагревают массу до температуры $(63 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ до полного расплавления метафенилендиамина и охлаждают полученный компаунд до $20 - 40^{\circ}\text{C}$.

В связи с тем, что срок жизни компаунда до начала затвердевания не более 2 ч, рекомендуется одновременно изготавливать компаунд в таком количестве, чтобы он мог быть использован за 1 — 1,5 ч. Полное отверждение компаунда происходит при темпе-

температуре 20 — 25 °С в течение 24 ч или при температуре 20 — 25 °С в течение 5 — 6 ч, а затем при температуре (60 ± 5) °С в течение 3 — 4 ч.

Если нагрев сердечника статора для ремонта стали травлением кислотой по каким-либо причинам осуществить невозможно, то травление производят раствором $(3\text{HCl} + \text{HNO}_3)$ при температуре стали, равной температуре окружающей среды.

Замена поврежденных участков сердечника статора заполнителями. Если в сердечнике есть повреждения, уходящие к корню зубца, то необходимо удалить часть этого зубца. В зависимости от глубины повреждения зубцов активной стали ремонт их с изготовлением заполнителей может выполняться без выемки или с выемкой катушек или стержней. Необходимость такого способа ремонта может возникнуть при глубоких оплавлениях и других повреждениях активной стали статора. В этом случае перед ремонтом поврежденных зубцов демонтируют обмотку в зоне повреждения. Поврежденный зубец статора в зоне повышенного нагрева просверливают на необходимую глубину. Затем удаляют поврежденные лепестки сегментов. В качестве режущего инструмента используют сверло диаметром 6 — 8 мм из стали Р18, в качестве привода — пневмосверлилку. Местные поверхностные замыкания сегментов в зоне удаленных лепестков устраняют зачисткой абразивом и травлением кислотой с последующей нейтрализацией. Затем испытывают активную сталь на потери и нагрев. В случае положительных результатов испытаний место удаленной части зубца заполняют стеклотекстолитом марки СТЭФ. Обработкой и подгонкой заполнителя обеспечивают плотную установку его в сердечнике. Большая плотность установки достигается применением составного клиновидного стеклотекстолитового заполнителя.

Места активной стали и заполнитель обезжиривают и просушивают. Перед установкой заполнитель и его посадочные места в сердечнике покрывают эпоксидным клеящим лаком ЭЛ-4. После установки заполнителя проверяют плотность пакета активной стали с обеих сторон заполнителя. При необходимости дополнительного уплотнения одновременно устанавливают стеклотекстолитовые клинья в зубцы пакетов, примыкающих к заполнителю. При установке заполнителя в крайний пакет сердечника его прикрепляют к нажимному пальцу с помощью скобы, изготовленной из немагнитной нержавеющей стали, и приваривают ее к нажимному пальцу.

При большой длине заполнителя изготавливают специальные удлиненные пазовые клинья из стеклотекстолита марки СТЭФ и при заклиновке обмотки устанавливают их таким образом, чтобы они перекрывали вставку и опирались обоими концами на неповреж-

денные участки сердечника не менее чем по 35 — 40 мм. Примыкающие два клина с обеих сторон от клина, крепящего заполнитель, устанавливают в пазы на клею № 88Н.

Положение крайних зубцов, деформированных, например, при задевании ротора, исправляют при помощи стальных клиньев. Надорванные у корня зубцов лепестки стали удаляют, а остальные рихтуют.

После окончания ремонта активной стали проводят ее испытания на потери и нагрев.

Применение магнитодиэлектриков при ремонте активной стали статора. По существующей и изложенной выше технологии ремонта сердечников на место удаленной части зубца устанавливают заполнитель из стеклотекстолита, что при больших объемах повреждения ухудшает энергетические характеристики электродвигателя вследствие перераспределения магнитного потока. В этом случае в участках зубцов активной стали, расположенных рядом с ремонтными, значительно увеличивается напряженность магнитного поля.

При наличии стеклотекстолитовых заполнителей магнитная проводимость зубцов уменьшается, вызывая несимметрию магнитного поля. В результате пульсаций появляются дополнительные потери мощности в активной стали статора и ротора, что способствует дополнительному нагреву активных частей электродвигателя. Вследствие этого увеличиваются общие потери мощности и уменьшается КПД. По изложенным причинам ухудшаются характеристики момента и пусковые характеристики электродвигателей.

Таким образом, в качестве заполнителя целесообразно применять материал, близкий по магнитным характеристикам к материалу сердечника статора. Этим материалом является магнитодиэлектрик, представляющий собой смесь ферромагнитного порошка с различными технологическими добавками.

Изменением массового соотношения ферромагнитного порошка получают магнитодиэлектрики, обладающие высокой магнитной проницаемостью, соизмеримой с магнитной проницаемостью электротехнической стали. Регулированием содержания железного порошка и других компонентов создаются магнитодиэлектрики с различными электромагнитными, диэлектрическими и прочностными свойствами.

Отраслевой лабораторией аэродинамики и теплопередачи Харьковского авиационного института разработан и изготовлен стекломагнитодиэлектрик марки СМД-1. Ферромагнитный материал обладает стойкостью к мгновенным тепловым ударам с перепадом

температуры от + 200 до 0 °С, к воздействию растворов солей, кислот, щелочей, масел, спиртов, керосина и бензина.

Перед установкой заполнителя стекломангнитодиелектрика на место удаленной части зубца его тщательно подгоняют, чтобы он плотно лежал между обмоткой и сталью. При этом до и после установки заполнителя испытывают активную сталь на нагрев.

Заполнитель устанавливают на эпоксидном компаунде холодного отверждения следующего состава, м.ч.:

Эпоксидная смола ЭД-6	106
Полиэтиленполиамин	10
Дибутилфталат	9
Порошки железной марки ПЖ2М2.	100

Компаунд должен быть использован в течение 3 — 3,5 ч, полное его отверждение происходит при температуре 20 — 25 °С в течение 24 ч. Перед установкой заполнителя его поверхность и прилегающую поверхность активной стали промазывают эпоксидным составом.

В настоящее время разработаны и существуют магнитодиелектрики различных классов негревостойкости, механических характеристик и магнитных свойств. Для класса негревостойкости В можно назвать тип ФМДМ (ТУ 16-739.256-8), для класса Н — Армапласт (ТУ 6-05-221-411-77), а для класса F — МДП.

5.3. РЕМОНТ ОБМОТКИ СТАТОРА

Осмотр обмотки и устранение обнаруженных дефектов. Перед осмотром загрязненный статор тщательно чистят от пыли, грязи и масла. При наличии толстого слоя пыли ее удаляют деревянными скребками. Форма скребков должна обеспечивать чистку статора в труднодоступных местах: в вентиляционных каналах сердечника статора и между лобовыми частями обмотки. Затем статор продувают сухим сжатым воздухом. Окончательную чистку сердечника статора и обмотки производят с применением специальных негорючих жидкостей.

При выборе жидкости для чистки статора исходят из конкретных условий и типа изоляции (микалентная компаундированная или термореактивная). После окончания чистки статор продувают сухим сжатым воздухом для ускорения сушки и удаления остатков моющей жидкости из труднодоступных мест.

При осмотре лобовых частей обмотки, схемных соединений, бандажных колец, изолированных кронштейнов определяют со-

стояние изоляции: монолитность, отсутствие трещин, вмятин, мест повышенного нагрева, внешних повреждений изоляции и отсутствие натиров. Проверяют крепление лобовых частей обмотки статора, соединительных и выводных шин, отсутствие деформаций, ослабления или обрывов шнуровых бандажей, выпадания или смещения дистанционных прокладок и распорок, проседания корзины.

Плотность заклиновки обмотки в пазах определяют на звук при простукивании клина по центру и по краям молотком массой 0,2 — 0,3 кг. Согласно техническим условиям ОАО “Электросила” для электродвигателей не допускается дребезжание и вибрации крайних клиньев. Проверке не подлежит выступающая из сердечника статора часть крайнего клина. Клинья отбраковывают и заменяют новыми, если имеются продольные трещины, вмятины глубиной более 1,5 мм и большие задиры. Разновысотность между клиньями в одном пазу допускается не более 1,5 мм. Разрешается выступание части пазовых клиньев над поверхностью сердечника статора до 1 мм для электродвигателей свыше 19-го габарита. Исключение составляют пазы в нижней части расточки статора. В этих пазах выступание пазовых клиньев не допускается. В электродвигателях менее 19-го габарита не допускается выступание пазовых клиньев над поверхностью сердечника статора. Разрешается неплотное прилегание средних клиньев к обмотке на длине не более 1/3 части клина:

для электродвигателей свыше 19-го габарита при длине сердечника статора 1200 мм и более — не более двух клиньев на паз с интервалом между ними не менее трех плотно установленных клиньев;

для электродвигателей с длиной сердечника статора до 1200 мм — не более одного клина на паз.

Для электродвигателей с двумя пазовыми клиньями при толщине клина до 4 мм разрешается неплотное прилегание клиньев на 1/3 длины сердечника статора. Допускается ослабление клиньев, установленных над преобразователями сопротивления. Через каждые 10 клиньев допускается зазор между ними, не превышающий 3 мм.

Перед началом переуклиновки на лобовые части обмотки статора в нижней части укладывают резиновые коврики. Переуклиновка производится с помощью выколотки, изготовленной из стеклотекстолита или текстолита. Ширина выколотки должна быть меньше ширины паза на 2 — 3 мм.

Выступающие за паз прокладки отрезают заподлицо с концевым клином. Для предотвращения выпадания клиньев при их ослаблении при работе электродвигателя целесообразно концевые клинья

с обеих сторон устанавливать на клею № 88 Н. У электродвигателей вертикального исполнения нижние клинья дополнительно закрепляют установкой шнуровых бандажей, узел которых фиксирует торец клина в аксиальном положении.

Ослабленные и оборванные шнуровые бандажные лобовых частей срезают, удаляют крючками остатки бандажей, продувают сухим сжатым воздухом и на их место устанавливают новые. Соседние нити шнуровых бандажей укладывают впритык без нахлеста. Сначала накладывают поперечные нити бандажной, а затем — продольные. Количество поперечных нитей определяется шириной расщелин, продольных — зазором между соседними катушками. Бандаж накладывают двумя параллельными нитями с использованием обмоточной иглы, изготовленной из стальной проволоки диаметром 1 мм. После установки бандажной нити конец нити закрепляется с целью предупреждения его ослабления в процессе эксплуатации действием электродинамических усилий.

При вязке бандажей обеспечивают максимально возможную их утяжку. Перед установкой шнур пропитывают лаком БТ-99 или другим, а после установки его покрывают эмалью ГФ-92-хс. Для шнуровых бандажей предпочтительно использовать лавсановый шнур.

В местах, где между катушками обмотки и бандажными кольцами имеется зазор, устанавливают индивидуальные вымостки из стеклотекстолита с последующей бандажировкой шнуром. Углы и грани стеклотекстолитовой прокладки тщательно обрабатывают для предупреждения повреждения изоляции и перед установкой покрывают лаком БТ-99. Прокладка должна быть плотно установлена в имеющийся зазор.

При осмотре проверяют плотность установки дистанционных колодок лобовых частей обмотки и соответствие их толщины расстоянию между лобовыми частями соседних катушек. Если дистанционная колодка тонкая, то ее заменяют более толстой, обеспечивающей плотность установки. Обнаруженные натиры микалентной изоляции в лобовых частях устраняют следующим образом. После определения места повреждения и его тщательного осмотра удаляют близлежащие шнуровые бандажные и колодки. С обеих сторон от места повреждения с катушки удаляют стеклотенту на длине 90 мм. Поверхность изоляции тщательно очищают салфеткой. Ножом выполняют разделку поврежденной изоляции в виде конуса. Место пробоя очищают от следов подгара. Если изоляция повреждена не на всю толщину, то место повреждения не углубляют. После подготовительных операций очищают и протирают изоляцию в месте ре-

монта. Разделку изоляции промазывают тонким слоем лака БТ-99 и изолируют микалентой ЛМЧ-ББ. Микаленту хорошо утягивают, чтобы место ремонта было плотным и монолитным, и накладывают таким слоем, чтобы толщина ремонтируемого участка была не меньше толщины соседних участков. Ремонтируемый участок изоляции обмотки покрывают слоем стеклотенты вполнахлеста, пропитывают лаком БТ-99 и покрывают эмалью. Устанавливают колодки и восстанавливают срезанные шнуровые бандажы. Обнаруженные дефекты в схемных соединениях устраняют аналогичным способом.

При осмотре коробки выводов проверяют крепление изоляторов, целостность фарфора изолятора и отсутствие нагрева контактных соединений. При обнаружении следов перегрева выясняют причину этого, зачищают поверхность наконечников, проверяют наличие пружинных шайб и контргаек и при отсутствии последних устанавливают новые. Проверяют качество пайки кабеля с наконечником. С целью повышения надежности соединения, паянные оловянистым припоем, перепаяивают твердым припоем. После пайки восстанавливают подгоревшую изоляцию выводов, устанавливают шнуровые бандажы, накладывают защитный слой стеклотенты и покрывают эмалью.

Если эмалевый покров обмотки находится в неудовлетворительном состоянии, то ее необходимо покрасить. При покраске обмотки применяют эмаль ГФ-92хс; она маслостойка и при попадании масла в электродвигатель предохраняет изоляцию от вредного воздействия масла. Обмотку покрывают эмалью из краскораспылителя, что облегчает равномерное покрытие и проникновение эмали в труднодоступные места.

Ремонт термореактивной изоляции лобовых частей обмотки статора. В последние годы ведущие электромашиностроительные заводы изготавливают обмотки с применением термореактивной изоляции. Технология ремонта повреждений этой изоляции значительно отличается от вышеприведенной и требует специальных методов в зависимости от технологии изготовления, принятой на электромашиностроительном заводе. Ниже рассмотрена технология ремонта термореактивной изоляции, разработанная ОАО ЦКБэнерго на основе рекомендаций электромашиностроительных объединений и заводов: “Электросила”, “Элсиб” и “Электротяжмаш”. По предлагаемой технологии можно устранить следующие виды повреждений изоляции в лобовых частях катушек и стержней обмоток статоров завода “Электротяжмаш” (при условии, что медь катушки или стержня не повреждена): механические повреждения, натирывания и пробой изоляции.

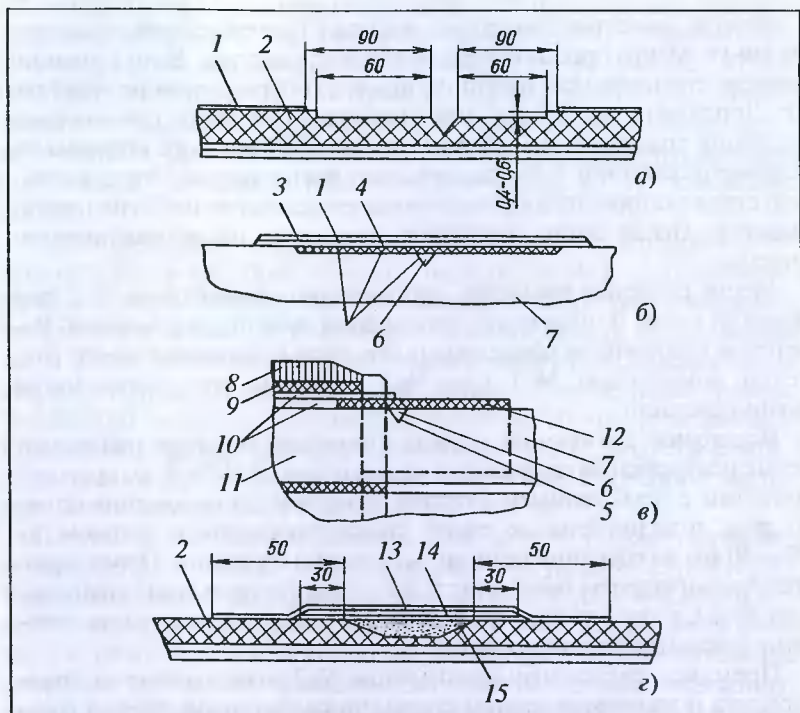


Рис. 32. Ремонт терморезистивной изоляции обмотки статора:

а — в — для электродвигателей производства завода “Электротяжмаш”; *г* — для электродвигателей производства ОАО “Элсиб”; 1 — стеклолента; 2 — корпусная изоляция; 3 — фторопластовая пленка; 4 — стекломикалента ЛМР-СС; 5 — компаунд № 2; 6 — компаунд № 1 или № 3; 7 — лобовая часть обмотки; 8 — сердечник статора; 9 — пазовый клин; 10 — прокладка; 11 — пазовая часть обмотки; 12 — изоляционная коробка; 13 — стеклослюдинитовая лента шириной 20 мм; 14 — стеклослюдинитовая лента шириной 100 мм; 15 — шпатлевка

После тщательного осмотра места повреждения удаляют близлежащие шнуровые бандажы и колодки. Если место повреждения находится вблизи торца активной стали статора, необходимо удалить из паза концевой клин и прокладку (рис. 32). С обеих сторон от места повреждения с катушки удаляют стеклоленту на длине 90 мм. Изоляцию обрабатывают напильником и абразивной бумагой. Место ремонта тщательно очищают салфеткой, смоченной спирто-бензиновой смесью (по 50 % объема спирта и бензина), и протирают сухой салфеткой.

Ножом выполняют местную разделку поврежденной изоляции на конус. Место пробоя очищают от следов подгара. Если изоляция повреждена не на всю толщину, то место повреждения не углубляют. Дополнительно разделявают место повреждения, снимая слой изоляции толщиной 0,4 — 0,6 мм на длине 60 мм в обе стороны по периметру катушки. Если повреждение расположено у торца активной стали статора, то дополнительная разделка изоляции не производится. После этого зачищают изоляцию на ремонтируемом участке.

Место разделки изоляции промазывают компаундом № 2 при помощи кисти и шпателя до заполнения всех пор в изоляции. Рецептура компаундов приведена ниже. Затем заполняют место разделки компаундом № 1 или № 3 с учетом его усадки после полимеризации.

Поверхность изоляции в дополнительной разделке изолируют встык несколькими слоями стекломикаленты ЛМР-СС до прежней толщины с необходимым натягом. Допускается наложение одного-двух дополнительных слоев стекломикаленты с заходом на 20 — 40 мм на соседние нетронутые участки изоляции. Перед наложением микаленты поверхность изоляции промазывают компаундом № 2. Стыки в соседних слоях должны быть разнесены на половину ширины стекломикаленты.

Промазав стеклоленту компаундом № 2, наматывают ее вполнахлеста и изолируют одним слоем фторопластовой пленки с нахлестом кромок. Плотная утяжка фторопластовой пленки должна гарантировать отсутствие пустот в изоляции. С этой же целью все слои изоляции накладываются в одну сторону.

После окончания изолировки необходимо высушить изоляцию в месте ремонта. Сушку производят при температуре 20 — 30 °С в течение 48 ч или при нагреве воздуха электрокалорифером, поддерживая температуру на поверхности изоляции в первые 2 ч сушки 50 — 60 °С, а в последующие 14 — 18 ч 80 — 90 °С. Температуру контролируют термopарами или термометрами; для стабильности температурного режима место ремонта теплоизолируют. Для контроля окончания сушки рядом с ремонтируемым местом помещают образцы компаундов. Переход их в твердое состояние свидетельствует о полимеризации компаунда и окончании сушки.

Если место ремонта находится вблизи сердечника статора, то вместо укладки слоев изоляции в местах разделки ставят изоляционную коробку. Изоляционную коробку делают в пресс-форме из пропитанной стеклоткани ПС-ИФ/ЭП или СЛПК-110. Нарезанные заготовки стеклоткани укладывают в подогретую до 160 °С (для

ПС-ИФ/ЭП) или холодную (для СЛПК-110) пресс-форму, предварительно покрытую (во избежание прилипания) триацетатной пленкой, а затем запекают при температуре 180 °С в течение 2 ч (для ПС-ИФ/ЭП) или 160 °С в течение 6 — 8 ч (для СЛПК-110). Полученная изоляционная коробка должна быть монолитной, без вмятин, вздутий, расслоений и волнистой поверхности. Внутреннюю поверхность зачищают абразивной бумагой до исчезновения глянца.

После механической обработки внутреннюю поверхность изоляционной коробки промазывают компаундом № 2. Заполнив разделанное место повреждения компаундом № 4, устанавливают поверх него изоляционную коробку. Передний выступ коробки вводят в паз, а боковые стороны — между наружной поверхностью стержня (катушки) и нажимными пальцами сердечника статора. Осаживают коробку до плотной посадки на катушку, укладывают прокладки в паз и устанавливают концевой клин. Подтеки компаунда на соседних катушках удаляют салфеткой, смоченной ацетоном. Затем сушат отремонтированный участок.

По технологии завода “Электросила” можно устранить указанные выше повреждения за исключением следующих: если при глубине повреждения до 0,5 мм расстояние до заземленной точки менее 30 мм; если при глубине повреждения более 0,5 мм расстояние до заземленной точки менее 50 мм. Выполняют подготовительные операции, аналогично приведенным выше, за исключением дополнительной разделки изоляции. На подготовленный к ремонту участок изготавливают изоляционную коробку с толщиной стенки 2 мм следующим способом. Из жести делают оправку, по форме воспроизводящую поврежденный участок катушки. При глубине повреждения до 0,5 мм и больше длина оправки должна превышать длину поврежденного участка соответственно на 80 и 120 мм. Оправку заполняют компаундом № 4 и сушат при температуре 110 — 120 °С в течение 3 ч. На оправку наносят два слоя фторопластовой ленты, а сверху наматывают 16 слоев пропитанной стеклослюдиновой ленты ЛС-40Р-К-223-25 × 0,13. Сверху накладывают два слоя фторопластовой ленты и два слоя самоусаживающейся лавсановой ленты вполнахлеста. Запекают изоляцию на оправке при температуре 160 °С в течение 10 ч. Разрезают и снимают изоляционную коробку с оправки.

Внутреннюю поверхность изоляционной коробки промазывают эпоксидным клеем ЭК-3, а углы заполняют компаундом № 4. Заполнив разделанное место повреждения компаундом № 4, устанавливают на него коробку и обжимают с помощью временных клинь-

ев или струбцины. Уплотняют зазор между изоляционной коробкой и катушкой компаундом № 4 по всему периметру. Сушат отремонтированный участок аналогично изложенному выше. Через 48 ч после окончания изоляционных работ проводят электрические испытания в соответствии с “Объемами и нормами испытания электрооборудования”.

Ремонт термореактивной изоляции электродвигателей, изготовленных ОАО “Элсиб”, выполняют в следующей последовательности. При забоинах на поверхности изоляции и ее пробое в лобовых частях обмотки на расстоянии более 50 мм от торца активной стали статора в месте повреждения зачищают поврежденную изоляцию в виде углубленного конуса, оголенную часть обезжиривают бензином “Галоша” и заделывают шпатлевкой, состоящей из смеси эпоксидного лака со слюдяной мукой. Консистенция шпатлевки должна обеспечивать при заделке отсутствие подтеков, пористостей и пустот. Шпатлевку следует готовить непосредственно перед употреблением.

Поверх шпатлевки укладывают четыре-пять простынок из стеклослюдинитовой ленты ЛС-40-ТТ-УТ (УП-2,5) $0,13 \times 100$ и бандажируют их двумя слоями ленты ЛС-40-ТТ-УТ (УП-2,5) $0,13 \times 20$ с перекрытием половины ширины. В этом случае укладывают четыре-пять слоев простынок со смещением последних слоев на половину ширины. При этом каждый слой промазывают эпоксидным лаком холодного отверждения. Если невозможно наложить ленту на одну катушку, ее накладывают на две рядом лежащие катушки одновременно, при условии что они принадлежат одной фазе. Совместная изолировка двух катушек на стыке фаз не рекомендуется. Полимеризация лака и шпатлевки при температуре 20°C происходит в течение 48 ч, при температуре 80°C в течение 6 ч. После окончания ремонта проводят высоковольтные испытания.

При пробое или обрыве межкатушечного или межгруппового соединения обмотки после пайки обрыва припоем Пср-15 и подготовки поврежденного места аналогично вышеизложенному восстанавливают изоляцию десятью слоями стеклослюдинитовой ленты размером $0,13 \times 20$ мм вполнахлеста и затем накладывают один слой стеклослюды с усилием 10 – 15 кгс (100 – 150 Н) вполнахлеста или встык с промазкой эпоксидным лаком.

При пробое изоляции в лобовой части верхней катушки на расстоянии менее 50 мм от сердечника статора (витковое замыкание в пазу) демонтируют поврежденную часть катушки, отрезав ее лобовую часть. Удаленную часть катушки заменяют частью, взятой от

резервной катушки, осуществляя пайку витков серебряным припоем встык. Места паяк соседних витков должны быть разнесены друг от друга на 10 — 15 мм. Стыковку проводников выполняют под углом 45°. Витковую изоляцию восстанавливают стеклослюдинитовой лентой вполнахлеста или установкой прокладок из миканита ГФС. Перед восстановлением корпусной изоляции производят корпусную разделку в местах стыковки. Для корпусной изоляции применяют стеклослюдинитовую ленту марки ЛС-40-ТТ-УТ (УП-2,5) необходимых размеров с последующим покрытием ее одним слоем стеклослюдинитовой лентой вполнахлеста. Затем восстанавливают шнуровые бандажы, заклинивают паз и приводят электрические испытания обмотки.

Приготовление эпоксидных компаундов и клея для ремонта термоактивной изоляции лобовых частей обмотки статора. Компаунды и клеи имеют следующий состав, м.ч.:

Компаунд № 1

Эпоксидная шпатлевка ЭП-00-10.	100
Полиэтиленполиамин.	5
Слюдинитовая пудра.	см. ниже

Компаунд № 2

Эпоксидная смола ЭД-16.	100
Полиэфир ТГМ-3.	30
М-фенилендиамин.	16
или	
Эпоксидная смола ЭД-20.	100
Полиэфир ТГМ-3.	25
М-фенилендиамин.	19

Компаунд № 3

Компаунд № 2.	см. ниже
Слюдинитовая пудра.	см. ниже

Компаунд № 4

Основа: эпоксидная смола ЭД-20.	60
Смола ДЭГ-1.	40
Белая сажа.	20
Каолин.	100
Отвердитель: смола Л-19.	80
Полиэтиленполиамин.	8
Наполнитель: тальк.	280 — 340

Слюдинитовую пудру готовят из слюдинитовой бумаги СБ-1. Для этого ее сушат при температуре 120 — 150 °С в течение 2 — 3 ч, после остывания растирают в ступке до получения тонкого однородного порошка. В компаундах № 1 и 3 можно заменять слюдинитовую пудру подсушенной тонкомолотой слюдой.

Для приготовления компаунда № 1 вливают полиэтиленполиамин в шпатлевку и тщательно размешивают смесь, добавляя небо-

льшими порциями слюдинитовую пудру в смесь шпатлевки с полиэтиленполиамином до получения консистенции замазки средней вязкости.

Для приготовления компаунда № 2 необходимо М-фенилендиамин раздробить и расплавить в полиэфире при 65 — 70 °С. Смесь вливают в смолу, тщательно перемешивают.

Для приготовления компаунда № 3 вводят в небольшое количество компаунда № 2 слюдинитовую пудру. Если вязкость компаунда велика, то добавляют к нему от 2 до 4 м.ч. ацетона.

Компаунд № 4 получают, смешивая основу с отвердителем до получения однородной массы. Затем, перемешивая, добавляют необходимое количество талька.

Компаунды № 1 и 3 используют для заполнения местной разделки, компаунд № 2 — для промазки изоляции, которую наносят в дополнительную разделку, и для изготовления изоляционных коробок, компаунд № 4 — для изготовления изоляционных коробок и заполнения местной разделки. Срок годности всех компаундов — не более 3 ч после приготовления.

Состав эпоксидного клея ЭК-3 следующий, м.ч.:

Основа: смола ЭИС-1 (ЭД-16)	51
Полиэфир ТГМ-3	9
Отвердитель: смола Л-20.	40

Для ремонта термореактивной изоляции электродвигателей завода ОАО “Элсиб” используют эпоксидный лак следующего состава, м.ч.:

Основа: смола ЭД-22 или ЭД-20	10
Полиамидная смола.	4 — 6
Спирт гидролизный	2
Этилцеллозольв	2

Допускается замена полиамидной смолы Л-19 и Л-20 гексаметилендиамином или полиэтиленполиамином в соотношении 1,2 м.ч. на 10 м.ч. смолы ЭД-22 или ЭД-20.

В смолу ЭД-22 или ЭД-20 добавляют спирт, этилцеллозольв и тщательно их перемешивают. Затем, перемешивая в течение 4 — 6 мин, добавляют полиамидную смолу или ее заменитель. Шпатлевку готовят на основе эпоксидного лака, добавляя слюдинную муку до требуемой густоты. Лак и шпатлевка годны к употреблению в течение 3 ч после их приготовления.

5.4. ПЕРЕМОТКА ОБМОТКИ СТАТОРА

До разборки обмотки статора (рис. 33) выполняют следующие измерения (и результаты записывают в формуляр): вылеты лобовых частей, расположение дистанционных распорок, шнуровых бандажей, бандажных колец, расстояние между головками, расположение соединительных и выводных шин, сверяют схему термоконтроля и электрическую схему соединений с заводскими данными. Пазы статора и все съемные элементы обмотки и детали ее крепления маркируют.

Изоляцию с мест соединений обмотки удаляют, а соединения распаивают, предварительно обложив эти места теплоизоляцией. Срезают шнуровые бандажы, демонтируют распорки и расклинивают пазы. Поднимают шаг обмотки, предварительно нагревая катушки во избежание повреждения микалентной изоляции до температуры 85 — 90 °С. При этой температуре изоляция катушек становится достаточно эластичной и хорошо выдерживает неизбежные при подъеме шага деформации. Подогревают катушку постоянным или переменным током. Ток регулируют так, чтобы нагрев катушки длился 15 — 20 мин. Катушки поднимают с обоих концов паза, продолжая нагрев. На катушку у самого края активной стали надевают для подъема петлю из нескольких витков киперной ленты, которую затем натягивают деревянным рычагом, опирая его на зубец статора. Во избежание изгиба пазовой части катушек в зазор между верхней и нижней катушками (в местах вентиляционных каналов стали статора) продевают киперную ленту и с ее помощью продолжают поднимать катушку. После выхода одной стороны катушки из паза ее продолжают поднимать, не допуская искривления головки при повороте лобовой части. Приподнятую катушку подвязывают киперной лентой к расположенным выше лобовым частям обмотки или к доске, уложенной в расточку статора. После подъема шага обмотки вынимают поочередно все катушки обмотки статора. Из пазов удаляют прокладки. Демонтируют бандажные кольца и детали их крепления.

Демонтаж обмоток статоров с термореактивной изоляцией из сердечника затруднен. Для повышения ремонтпригодности обмотки предприятие “Востокэнергоремонт” применяет технологию удаления изоляции обмоток статоров высоковольтных электродвигателей на основе метода гидrolитического разложения термореактивного связующего. Разложение связующего изоляции происходит в автоклаве, габариты которого обеспечивают погружение в него статора наиболее крупного электродвигателя, подлежащего

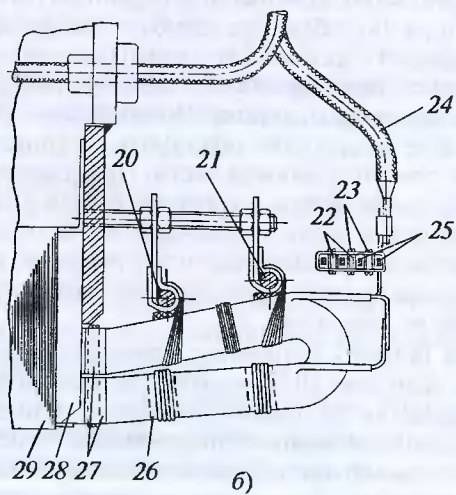
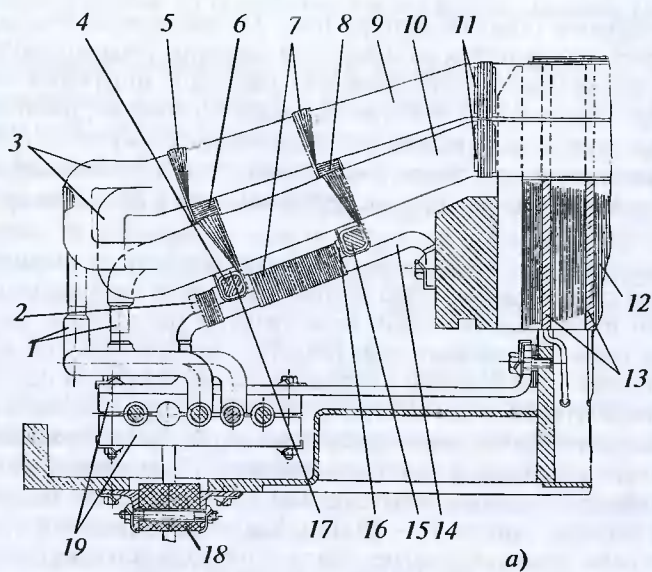


Рис. 33. Лобовые части стержневой (а) АВ-8000/6000УЗ и катушечной (б) обмоток статоров электродвигателей:

1, 24, 25 — шины; 2, 16 — упоры; 3 — головки; 4, 21 — наружное бандажное кольцо; 5, 7, 23 — бандаж шнуровой; 6, 8 — прокладки межслоевые; 9 — стержень верхний; 10 — стержень нижний; 11, 27 — распорки на выходе из паза; 12 — пакет активной стали статора; 13 — сегменты охлаждающие; 14 — кронштейны; 15, 20 — внутреннее бандажное кольцо; 17 — прокладка; 18 — зажим выводов; 19 — планки; 22 — колодки; 26 — прокладка; 28 — нажимной палец; 29 — пакет активной стали

ремонту. Технологический цикл разложения происходит при температуре рабочей среды 160 — 170 °С и при давлении в автоклаве 10 — 12 кгс/см² (1,0 — 1,2 МПа) в течение 20 ч. Обмотку с размеченной в автоклаве изоляцией удаляют из пазов статора обычными методами в условиях ремонтного цеха.

В зависимости от сроков ремонта электродвигателя и наличия резервного комплекта катушек определяют объем дальнейшего ремонта. Технологии укладки резервных катушек заводского изготовления и последующих операций аналогична технологии укладки катушек, переизолированных в условиях ремонтного предприятия в случае использования однотипных электроизоляционных материалов. После выемки обмотки статор продувают сухим сжатым воздухом и осматривают. Калибром и линейкой проверяют размеры пазов, сердечника статора и заполняют формуляр.

Активную сталь статора испытывают на потери и нагрев. При наличии отклонений, связанных с повреждениями, последние устраняют, пока не будут получены показатели, соответствующие нормам.

Расточку статора, нажимные пальцы и пазы покрывают тонким слоем лака БТ-99 с помощью краскораспылителя. Переизолированные бандажные кольца устанавливают на место.

При использовании резервных катушек последние укладывают на козлы и снимают защитный слой бумаги. Проверяют отсутствие в катушках повреждений защитного слоя изоляции. При наличии повреждений накладывают новую стеклоленту и покрывают ее лаком БТ-99. Калибром в нескольких точках по длине пазовой части проверяют высоту и ширину пазовой части катушки. Ширина катушки должна обеспечивать технологический зазор на укладку в пазы, равный 0,3 мм. Если ширина катушки меньше необходимой, то наложением дополнительного слоя стеклоленты обеспечивают требуемый размер. При размерах, превышающих номинальные, необходимо подпрессовать катушку в пресс-форме, нагревая до температуры 95 — 100 °С. Проверяют линейкой и шаблоном длину

прямолинейной части катушки до изгиба и правильность геометрии лобовых частей катушек. Испытывают витковую и корпусную изоляцию.

Резервные или переизолированные катушки с термопластичной изоляцией перед укладкой помещают в сушильный шкаф и нагревают до температуры 90 — 95 °С, затем пазовые части катушек натирают парафином и укладывают в паз. Вначале осаживают в пазы статора правые стороны катушек первого шага (если смотреть со стороны выводных концов катушек). Левые стороны этих катушек в пазы не осаживают, а осторожно отгибают внутрь статора. Аналогично (с осадкой только правых сторон) укладывают последующие катушки первого шага обмотки. Укладка должна производиться без особых усилий, вначале легкими ударами молотка через подкладочную подушку, затем через осадочную доску. Остальные катушки укладывают в пазы, одновременно осаживая правые и левые стороны.

Для удобства выполнения всех технологических операций целесообразно использовать кантователь, который дает возможность выполнять все технологические операции в нижней части статора. По мере укладки катушек устанавливают шнуровые бандажи. Правые стороны катушек последнего шага укладывают на дно пазов под низ левых сторон катушек первого шага. Затем осаживают левые стороны катушек первого шага. Устанавливают в пазы прокладки и пазовые клинья, собирают и запаивают соединения в схеме. Пайку выполняют внахлест меднофосфористым припоем марки МФ9 с применением флюса № 209 или припоем марки ПМФОЦр 6-4-0,03. Выполняют изолировку соединений обмотки согласно требованиям конструкторско-технологической документации. Обмотку покрывают эмалью ГФ-92хс. При укладке и после ее окончания проводят электрические испытания. В процессе перемотки выполняют мероприятия по усилению крепления обмотки статора, изложенные ниже.

Укладка катушек с термореактивной изоляцией имеет некоторые особенности. Катушки обмотки статора, изолированные стеклослюдинитовыми лентами, поступают для укладки в пазы статора электродвигателя со связующим, находящемся полностью или частично в неотвержденном состоянии, для того, чтобы можно было подгонять катушки к опорным конструкциям и деталям крепления при их укладке в статор.

Термореактивная изоляция в сыром или частично запеченном состоянии обладает способностью сохранять свою электрическую прочность только при незначительных деформациях. Это надо учи-

тывать при проведении обмоточных работ с такими катушками и при укладке не допускать больших деформаций, изгибов и ударов, что требует от исполнителей высокой квалификации, навыка и опыта.

Катушки укладывают в пазы без нагрева. Укладка выполняется аналогично укладке катушек с микалентной компаундированной изоляцией с учетом изложенных выше требований. Соединения в обмотке после пайки изолируют стеклослюдинитовой лентой. После заклиновки пазов и установки бандажей статор подготавливают к запечке, проверяя, нет ли в обмотке посторонних предметов. Способ нагрева статора выбирают исходя из конкретных условий. Для контроля температуры устанавливают шесть термодатчиков: по два датчика в лобовых частях с каждой стороны и два датчика на активной стали статора. Для этой цели можно использовать и штатный термоконтроль электродвигателя. Температурный режим запечки выбирают исходя из характеристик конкретных электроизоляционных материалов, использованных при перемотке и переизоляции катушек обмотки статора. По окончании запечки отключают нагрев и после остывания обмотки до температуры окружающего воздуха приступают к электрическим испытаниям.

Частичная перемотка и аварийный ремонт обмотки статора. При пробое обмотки статора электродвигателя поврежденную катушку заменяют. Для замены поврежденной катушки поднимают шаг обмотки статора. Перед подъемом шага расплаивают схемные соединения и расклинивают пазы, из которых будут вынуты катушки, изоляцию предварительно нагревают до 85 — 90 °С. После подъема демонтируют поврежденную катушку и на ее место укладывают новую. Опускают шаг, собирают схему, изолируют соединения и заклинивают пазы.

При отсутствии достаточного времени (аварийный ремонт) поврежденную катушку удаляют из схемы обмотки. В каждой фазе или параллельной ветви фазы допустимо исключить не более 10 % катушек. Выводные концы поврежденной катушки механически отсоединяют от схемных перемычек и изолируют. Схемные перемычки припаивают твердым припоем и изолируют. Головку поврежденной катушки с одной стороны разрезают, витки разводят и изолируют. Головку разрезают для того, чтобы не образовалось короткозамкнутого витка, прохождение тока по которому приводит к недопустимому нагреву рядом лежащих катушек пазы.

Завод-изготовитель ОАО “Элсиб” для электродвигателей серий АТД 2 и АТД 4 при пробое катушек с термореактивной изоляцией “Монолит”, “Монолит-2” и “Монолит-4” рекомендует выполнить

эту работу в следующем объеме. При удалении одной катушки в одной из фаз обмотки статора и при сохранении номинального момента на валу электродвигателя возникает несимметрия с увеличением тока в поврежденной фазе на 18 – 30 % выше номинального, что является недопустимым. В электродвигателях с двумя параллельными ветвями обмотки статора ($a = 2$), к которым относятся электродвигатели серии АТД 2 мощностью 3200 и 5000 кВт и серии АТД 4 мощностью 4000, 6300 и 8000 кВт, из-за циркуляции тока по контуру поврежденной фазы его значение на 100 – 120 % больше, чем в номинальном режиме. Исключение — по одной катушке из каждой фазы в электродвигателях с $a = 1$ и из каждой полуфазы в электродвигателях с $a = 2$ при условии симметричного расположения исключаемых катушек — сохраняет симметрию токов. В таком режиме работы у электродвигателей сохраняется КПД, тепловое состояние обмоток статора ухудшается незначительно, тепловое состояние роторов благодаря уменьшению скольжения несколько улучшается. Коэффициент мощности снижается на 3 – 7 %, а пусковые токи возрастают на 10 – 20 % для электродвигателя с $a = 1$ и на 25 % для электродвигателей с $a = 2$.

В связи с вышеизложенным для серии АТД 2 и АТД 4 при одной параллельной ветви в обмотке статора рекомендуется при необходимости исключения из схемы обмотки одной поврежденной катушки исключать еще две симметрично расположенные (через 120° по расточке статора) катушки. При этом допускается длительная эксплуатация электродвигателей без ограничения по нагрузке и параметрам питающей сети.

В электродвигателях серий АТД 2 и АТД 4 с двумя параллельными ветвями в обмотке статора при необходимости исключения из схемы обмотки одной поврежденной катушки рекомендуется исключить еще пять симметрично расположенных (через 60° по расточке статора) катушек. При этом допустима длительная работа электродвигателей при номинальной нагрузке.

Для электродвигателей 4АЗМ-8000/6000 рекомендуется ограничить допустимое увеличение напряжения на выводах обмотки статора до 5 % номинального значения вместо 10 %, определенных ГОСТ 183–74**. Это связано с тем, что электродвигатели этого типа имеют в исходном состоянии значительное насыщение сердечника статора магнитным потоком и при повышении напряжения может быть чрезмерный перегрев массивных ферромагнитных элементов конструкции.

5.5. УСИЛЕНИЕ КРЕПЛЕНИЯ ЛОБОВЫХ И ПАЗОВЫХ ЧАСТЕЙ ОБМОТКИ СТАТОРА

Эксплуатация высоковольтных электродвигателей выявила необходимость совершенствования существующих конструкций крепления обмотки статора электродвигателей, изготовленных в предыдущие годы.

Надежность обмотки статора зависит от способности конструкции крепления обеспечивать сохранность изоляции катушек и стержней при возникновении в обмотке усилий.

Применяемая ранее для высоковольтных электродвигателей конструкция крепления катушек и стержней в пазах и в лобовых частях статора недостаточно надежна, вследствие чего задача усиления крепления обмотки статора приобретает актуальное значение.

Ниже рассмотрены некоторые конструкторско-технологические решения, направленные на усиление крепления обмотки статора.

Усиление крепления обмотки статора электродвигателей АВ-8000/6000УЗ. К числу наиболее характерных повреждений обмотки статора следует отнести ослабление и обрывы шнуровых бандажей лобовых частей, что приводит к истиранию изоляции в местах установки дистанционных распорок и в местах крепления стержней к бандажным кольцам. После трехлетней эксплуатации электродвигателей имели место случаи истирания до меди изоляции лобовых частей нижних стержней о бандажные кольца; ослабление крепления стержней в пазовой части, что приводит к выпадению пазовых клиньев и подклиновых прокладок; междофазные замыкания в лобовых частях и головках стержней вследствие увлажнения изоляции из-за образования течи в системе водяного охлаждения ротора (в уплотняющем соединении радиальных водоподводящих трубок, в местах пайки стержня с наконечником или наконечника с короткозамыкающим кольцом); замыкания между головками, вызванные увлажнением, происходящие из-за недостаточного расстояния, обусловленного конструкцией обмотки (двухвитковый стержень).

Частые пуски электродвигателей способствуют развитию перечисленных выше дефектов.

С целью устранения отмеченных недостатков при выполнении полной перемотки статоров электродвигателей АВ-8000/6000УЗ целесообразно выполнить следующие мероприятия.

Производят бандажировку лобовых частей лавсановым шнуром диаметром 3 мм, пропитанным лаком ЭР1-30, что позволяет увеличить разрывное усилие бандажа в 3,6 раза по сравнению с завод-

ским, выполняемым льнопеньковым шнуром 1,5 мм. Кроме того лавсановый шнур, обладая при запечке с температурой 120 °С усадкой по длине на 6 %, повышает надежность бандажировки.

Для усиления крепления бандажных колец дополнительно с каждой стороны статора устанавливают по пять кронштейнов из стеклотекстолита толщиной 25 мм. Дистанционные распорки, выполненные из дерева, заменяются стеклотекстолитовыми, не имеющими усадки.

В местах установки распорок в лобовых частях между стержнями и на выходе из паза, в местах крепления стержней к бандажным кольцам применяют формующийся материал типа препрег. Способность препрега формоваться по месту использования при температуре окружающего воздуха и низких давлениях позволяет избежать при укладке обмотки зазоров между стержнями и деталями крепления. После термообработки прокладки прочно соединяют с сопрягаемыми поверхностями, способствуя созданию монолитной жесткой системы в лобовой части обмотки статора. Механическая прочность препрега ниже, чем стеклотекстолита марки СТЭФ, но достаточна для применения в конструкции крепления лобовых частей обмоток высоковольтных электродвигателей.

Взамен набора заводских дуговых прокладок из электрокартона чередуются слои препрега и стеклотекстолита. Стеклотекстолитовые дистанционные колодки перед установкой покрывают одним слоем препрега и стеклоткани, пропитанной в лаке ЭР1-30. В пазовой части также используется препрег (рис. 34). Для предотвращения прилипания прокладки препрег, укладываемые в пазы, покрывают фторопластовой пленкой.

После окончания работ, связанных с применением препрега, выполняют его термообработку путем запечки обмотки с помощью электрокалориферной установки с контролем температуры пазовой части штатным термоконтролем, а лобовых частей — временно установленными термопарами.

Концевые пазовые клинья устанавливают на клею № 88. Пайка элементарных проводников в головках выполняется встык припоем Пср-45, что улучшает качество пайки и увеличивает изоляционное расстояние между соседними головками.

Лобовые части обмотки, соединения в головках, кронштейны и соединительные шины покрывают компаундом КЛСЕ, который обладает высокими диэлектрическими свойствами и является надежной гидроизоляцией.

После переизоляции стержней, до покрытия лобовых частей защитным слоем стеклоленты, кистью наносят тонкий слой под-

слоя К10С или П12Э для лучшей адгезии компаунда КЛСЕ к изоляции. Компаунд КЛСЕ при необходимости разводят толуолом до вязкости, обеспечивающей нанесение его на поверхность стержня с добавлением в полученную смесь катализатора К-1 в массовом отношении 25 : 1. Нанеся тонкий слой полученной смеси на лобовые части стержня, ее покрывают стеклолентой толщиной 0,1 мм вполнахлеста и после вторичного покрытия смесью стержень сушат в течение 3 — 4 ч при нормальной температуре воздуха. Односторонняя толщина гидроизоляционного покрытия равна 0,85 — 0,9 мм.

Для механической защиты гидроизоляционного слоя его покрывают одним проходом стеклоленты встык и эмалью ГФ-92хс. По аналогичной технологии осуществляется гидроизоляция кронштейнов, соединительных шин и головок стержней.

При усилении крепления обмотки статора в пазах в настоящее время в генераторостроении находит применение волнистый стеклотекстолит. В этой связи является перспективной система радиального крепления стержней путем установки подклиновых прокладок из волнистого стеклотекстолита.

Система радиального уплотнения (по сравнению с тангенциальной) характеризуется улучшением заполнения паза, повышением ремонтпригодности и теплопередачи от обмотки к стали статора. Последнее обстоятельство особенно важно на электродвигателе АВ-8000/6000УЗ вследствие того, что в активной стали запрессованы охлаждающие сегменты водяного охлаждения.

Исследования, проведенные на пазовой модели статора гидрогенератора типа СВ 1500/174-84 показали, что для электрических ма-

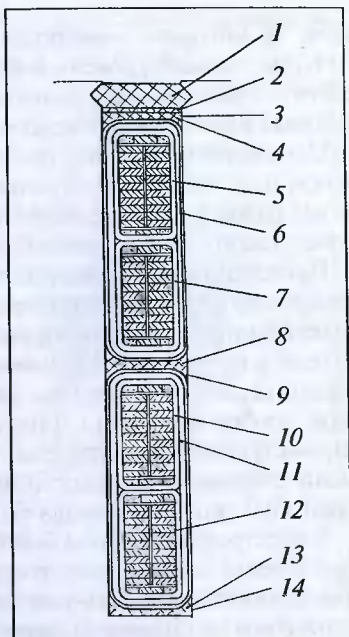


Рис. 34. Заполнение паза статора электродвигателя АВ-8000/6000УЗ:

1 — клин пазовый стеклотекстолитовый; 2 — прокладка стеклотекстолитовая; 3, 9, 14 — пленка фторопластовая; 4, 8, 13 — препрег; 5 — виток верхний; 6 — стержень верхний; 7 — виток нижний; 10 — виток верхний; 11 — стержень нижний; 12 — виток нижний

шин, в которых электродинамические усилия не превышают 10 Н/см, низкий уровень вибрации (менее 5 мкм) может быть достигнут применением радиального уплотнения с установкой под пазовый клин волнистого стеклотекстолита толщиной 0,8 мм.

Основываясь на этих исследованиях, Ростовэнергоремонт при перемотке статора электродвигателя АВ-8000/6000УЗ при заклиновке пазов в качестве подклинового багажа применил волнистый стеклотекстолит в комбинации с плоским.

Прокладки из волнистого стеклотекстолита готовились по максимальной длине листа поперек волн из плоского, обеспечивающего необходимую плотность заклиновки по длине клина. Заклиновка велась одновременно с обеих сторон паза от середины в сторону торцов сердечника статора. Клинья, выступающие в расточку статора, дообрабатывались и повторно укладывались в паз. Прокладки, выступающие за пределы паза, обрезались заподлицо с концевыми клиньями. Плоскости прилегания концевых клиньев к прокладкам и скосам пазов промазывались клеем марки № 88-Н.

В электродвигателях АВ-8000/6000УЗ при образовании течи ротора в месте пайки полого трапецеидального стержня с наконечником возникающая под действием давления и центробежных сил струя воды механически разрушает изоляцию всех верхних стержней обмотки статора на расстоянии 20 мм от торца активной стали статора.

В заводском исполнении пазовая часть стержня обмотки статора защищена клином, лобовая — бандажным кольцом ротора. Зона возможного повреждения расположена на длине 40 мм от места выхода стержня из паза.

Предприятием Ростовэнергоремонт произведена реконструкция с целью предотвращения подобных повреждений. Реконструкция заключается в установке на верхних стержнях в месте выхода из паза стеклотекстолитовых П-образных манжет длиной 65 мм и толщиной стенки 2 мм (рис. 35). Стеклотекстолитовые манжеты изготовлены Ростовэнергоремонтом из стеклоткани, пропитанной эпоксидно-резолтным лаком ЭР1-30.

Предложенная реконструкция полностью исключает возможность повреждения изоляции стержней.

Усиление крепления обмотки статора электродвигателя ДВДД-215/39-12/16. Для повышения надежности выполнена реконструкция крепления обмотки в пазовой и лобовой частях. Усиление крепления выполнено за счет применения препрега и лавсанового шнура, а также использования нового элемента в конструкции двигателя (пазовая гильза из пленкосинтокартона).

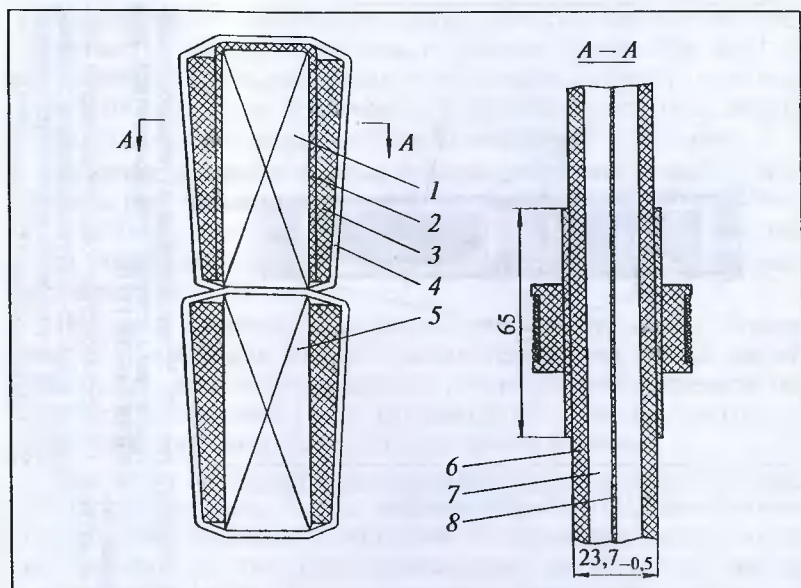


Рис. 35. Установка защитных стеклотекстолитовых манжет:

1 — стержень верхний; 2 — манжета; 3 — колодка; 4 — бандаж шнуровой; 5 — стержень нижний; 6 — изоляция; 7 — медь; 8 — прокладка

Сущность реконструкции состоит в заполнении формопластом препрег зазоров между катушками обмотки в местах установки дистанционных колодок, между обмоткой и бандажными кольцами, а также в замене бандажей из льнопенькового шнура бандажами из пропитанного лавсанового шнура. В качестве связующих прокладок между жесткими деталями (бандажными кольцами и дистанционными колодками) в лобовой части и поверхностью изоляции катушек обмотки статора применены прокладки из формопласта.

Формопласт и эпоксидный состав для пропитки лавсанового шнура имеют в своем составе связующие горячего отверждения. В результате запечки обмотки лобовым частям придается достаточная жесткость, монолитность и стойкость к вибрации.

С целью усиления жесткости крепления обмотки и динамической устойчивости при пусках и переходных режимах устанавливаются дополнительные текстолитовые распорки на выходе из паза (рис. 36). В пазы статора перед укладкой обмотки устанавливаются гильзы из пленкосинтокартона толщиной 0,19 мм (рис. 37), обладающего высокими диэлектрическими свойствами. Установка

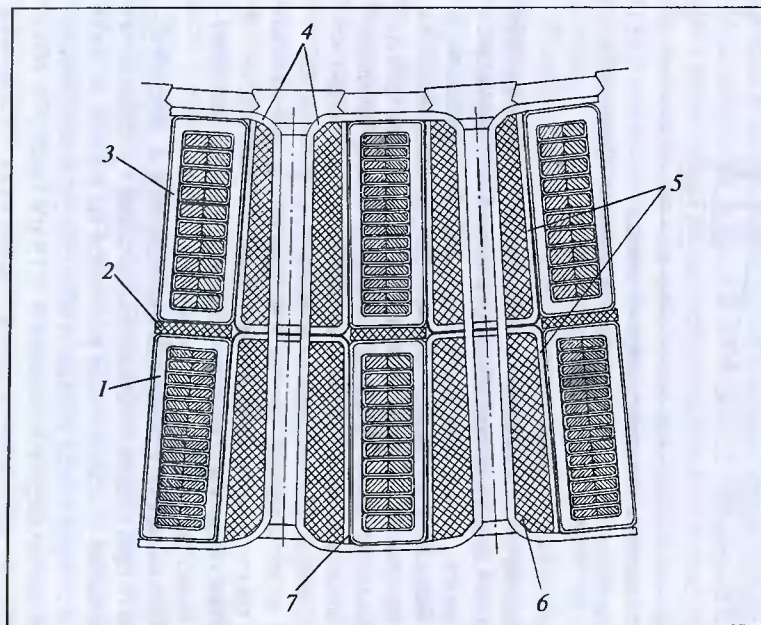


Рис. 36. Установка дополнительных распорок на выходе обмотки статора из паза в электродвигателе типа ДВДД-215/39-12/16:

1 — катушка обмотки с $2p=16$; 2 — стеклотекстолитовая прокладка; 3 — катушка обмотки с $2p=12$; 4 — шнуровой бандаж; 5 — препрег; 6 — распорка; 7 — лавсановая пленка

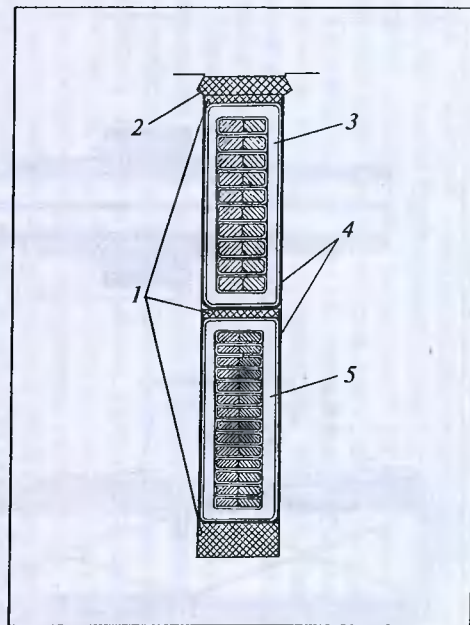


Рис. 37. Установка гильз из пленкосинтокартона в пазы статора электродвигателя типа ДВДД-215/39-12/16:

1 — стеклотекстолитовые прокладки; 2 — пазовый клин; 3 — катушка обмотки статора с $2p=12$; 4 — гильза из пленкосинтокартона; 5 — катушка обмотки статора с $2p=16$

гильз значительно повышает качество изоляции. Кроме того, предотвращается попадание турбинного масла из опорного и верхнего направляющего подшипника на пазовую часть катушек и уменьшается технологический зазор между стенкой паза и катушкой. Все это позволило создать виброустойчивую конструкцию обмотки.

Усиление крепления обмотки статора электродвигателей ДАЗО 2. С целью повышения надежности электродвигателей ДАЗО 2-16-59-4У ($P = 1250$ кВт, $U = 6$ кВ, $n = 1492$ мин⁻¹) при перемотке обмотки статора предприятием Ростовэнергоремонт выполнены следующие мероприятия.

Шпильки крепления бандажных колец заменены кронштейнами, изготовленными из двух взаимно перпендикулярных сваренных между собой и приваренных к нажимной плите отрезков листовой стали толщиной 10 мм. По сравнению с заводским количеством шпилек число кронштейнов увеличено в 2 раза.

Благодаря замене шпилек кронштейнами по данным измерений жесткость бандажных колец увеличилась в 7 раз. Увеличено число шнуровых бандажей лобовых частей обмотки (три ряда вместо двух по заводской конструкции) с применением цепной вязки и заменой льнопенькового шнура диаметром 1,5 мм лавсановым шнуром диаметром 3 мм.

В качестве прокладок на дне пазов, в пазах между катушками и под пазовыми клиньями использованы полоски формирующегося материала препрег. Для предотвращения прилипания препрега к катушкам и к сердечнику прокладки обернуты фторопластовой пленкой.

Для обеспечения плотного прилегания лобовых частей обмотки статора к дистанционным распоркам и бандажным кольцам в местах бандажировки проложены прокладки из препрега. Создание большей жесткости лавсанового шнура достигалось пропиткой его эпоксидно-резольным лаком ЭР1-30. После выполнения всех работ произведена запечка обмотки статора.

5.6. ПЕРЕИЗОЛИРОВКА КАТУШЕК И СТЕРЖНЕЙ ОБМОТКИ СТАТОРА

В настоящее время при переизоляции катушек и стержней обмотки статора применяют, в основном, термореактивную изоляцию, для которой разработаны ленты нескольких типов. Ниже рассматривается технология переизоляции катушек и стержней с

использованием старогодной меди и с применением термореактивной изоляции.

С поступивших на участок переизолировки катушек удаляют корпусную изоляцию с пазовой и лобовой частей, а также с выводных концов. После удаления корпусной изоляции удаляют витковую изоляцию. Затем провод катушки протирают салфеткой и для наложения новой витковой изоляции помещают ее на изолировочные стойки и раскладывают витки на поперечины. Осматривают поверхность витков катушки. Она должна быть без царапин, рисок, забоин, раковин, заусенцев и надрывов, поскольку это может привести к повреждению накладываемой изоляции или уменьшить сечение проволоки. Острые кромки проволоки могут повреждать изоляцию при изолировке, поэтому она должна иметь закругленные углы.

В качестве витковой изоляции используют ленты, определяемые технологическими процессами. Номинальная толщина нанесенной витковой изоляции должна соответствовать данным, указанным в технической документации. Витковая изоляция из электроизоляционных лент должна быть наложена плотно, без складок и расщепления листов слюды, поверхность ее должна быть ровной. Лента на проволоку может быть наложена одним или двумя слоями либо через виток. При использовании стеклослюдинитовой ленты ЛСК-110-СТ перед наложением всю поверхность проволоки промазывают тонким слоем компаунда К-110. При отсутствии этого компаунда допускается применять смесь бакелитового и глифталевого ГФ-95 лаков в соотношении 1 : 1 или эпоксидно-резольный лак ЭР1-30, состав которого приведен ниже, м.ч.:

При применении этилового (гидролизного) спирта:

Смола ЭД-6	34,6
Лак бакелитовый	30,4
Спирт этиловый (гидролизный)	17,5
Толуол	17,5

При применении изопропилового спирта:

Смола ЭД-6	38,0
Лак бакелитовый	35,0
Спирт изопропиловый	13,5
Толуол	13,5

Смолу ЭД-6 нагревают до 50 — 70 °С и растворяют в спирто-толуольной смеси. Полученный раствор тщательно перемешивают с бакелитовым лаком. Полученный лак должен соответствовать следующим требованиям: вязкость при 20 °С по вискозиметру ВЗ-4 не более 20; содержание нелетучих — не менее 40 %; скорость полимеризации на плите при 160 °С — в пределах 100 — 150 с.

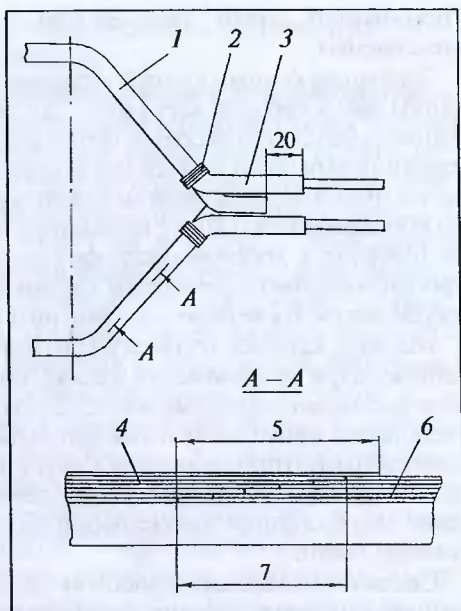


Рис. 38. Изолировка лобовых частей катушек:

1 — лобовая часть; 2 — шнуровой бандаж; 3 — выводные концы; 4 — изоляция лобовой части; 5 — обратный конус; 6 — изоляция головки; 7 — прямой конус

После наложения витковой изоляции катушку с собранной в столбик медью и с наложенной витковой изоляцией промазывают эпоксидно-резольным лаком ЭР1-30 и закрепляют витки киперной лентой вразбежку. Катушку укладывают в пресс-форму и запекают лак ЭР1-30 при температуре 120 — 130 °С в течение 2 ч. Для наложения корпусной изоляции катушку укладывают на изолировочные стойки и промазывают компаундом К-110. Подготавливают ролик стеклослюдинитовой ленты к изолировке: лента не должна иметь посторонних включений, сквозных отверстий, разрывов слюдинитовой бумаги или полиэтилентерефталатной пленки, плохо пропитанных мест, а также морщин и складок. Снимают нитки с торца ролика ленты. В дальнейшем при наложении изоляции необходимо следить, чтобы нитки не попадали поперек накладываемой ленты. Катушки и стержни, промазанные компаундом К-110, изолируют лентой вполнахлеста, натягивая ее в процессе изолировки усилием не менее 5 кгс (49Н) и утягивая рукой. Число слоев ленты определяется по чертежу.

Ленту ЛСК-110СПл накладывают на изолируемую катушку или стержень пленкой наружу, а последний (верхний) слой — пленкой внутрь. Наружную поверхность изолированной катушки (стержни)

промазывают слоем лака ЭР1-30 и накладывают один слой стеклоленты.

Выводные концы катушки изолируют не менее чем до половины длины плеча лобовой части (рис. 38). Переход изоляции выводных концов в изоляцию лобовых частей должен иметь вид конуса. Слои изоляции выводных концов накладывают в направлении к лобовой части с равномерным сдвигом каждого последующего слоя так, чтобы образовавшийся конус изолированного выводного конца плотно прилегал к лобовой части катушки. Выводные концы следует прибандажировать к лобовым частям стеклолентой, а в местах изгиба наложить четыре — восемь ниток шнурового бандажа.

Головки катушек изолируют лентой шириной 20 мм согласно чертежу. При изолировании головок со стороны выводных концов слои изоляции в лобовых частях сводят на конус в том месте, где сведены на конус слои изоляции выводных концов. Оба конуса должны плотно прилегать друг к другу. Наложение изоляции на обе головки выполняют в одном направлении. Корпусная изоляция пазовой части катушки должна переходить не менее, чем на $1/3$ длины лобовой части.

Соединение изоляции лобовой части с изоляцией, ранее нанесенной на головки, выполняют постепенным заходом каждого слоя на подготовленный конус. При наложении последнего слоя изоляции прямой конус полностью закрывают. Если головки, пазовая часть и лобовая части изолируются однотипной лентой, то при ручной изолировке головку со стороны, противоположной выводным концам, изолируют одновременно с пазовой частью без переходов в виде конуса. Направление изолировки лобовой и пазовой частей катушки, а также головки должно совпадать. В процессе изолировки необходимо постоянно утягивать наложенную ленту усилием руки или наложением стеклоленты. Количество накладываемых слоев на пазовую часть определяется толщиной ленты и шириной паза. Количество слоев изоляции лобовой части уменьшается на один слой по сравнению с пазовой частью. Поверхность изолируемой катушки и каждый предыдущий слой ленты промазывают лаком. После окончания изолировки, настроив пресс-форму на требуемый шаг между пазовыми частями катушек и необходимый угол развала, опрессовывают их. Опрессовку выполняют с нагревом. После опрессовки поперечное сечение пазовой части должно иметь вид монолитного столбика. Проверяют соответствие размеров катушки чертежу. На катушку накладывают слой стеклоленты, обеспечивая максимальную ее утяжку. На прямолинейных участках катушки стеклоленту накладывают встык, а в лобовых частях и голов-

ках — вполнахлеста. После выполнения изолировочных работ выполняют электрические испытания.

Слюдосодержащие ленты, применяемые при изолировке катушек и стержней обмотки статора. Номенклатура серийных слюдосодержащих лент состоит из предварительно пропитанных: ЛСЭН-526Т, ЛСМ, ЛСУ и др. В последние годы все более широкое распространение получила термореактивная изоляция на основе стеклослюдинитовых лент марок ЛСК-110-СТ, ЛСК-110-ТТ. Слюдаинитовая лента — это гибкий электроизоляционный материал, представляющий собой композицию из одного или нескольких слоев слюдинитовой бумаги, склеенной с двух сторон с подложками и пропитанной электроизоляционным лаком или компаундом. В наименовании марок лент буквы и цифры означают: Л — лента; С — слюдинитовая; К-110 — марка эпоксидно-полиэфирного компаунда; Б — подложка из микалентной бумаги; Пл — подложка из пленки; С — односторонняя подложка из стеклоткани разреженной структуры (сетка); СС — двусторонняя подложка из стеклоткани разреженной структуры (сетка); Т — односторонняя подложка из стеклоткани; ТТ — двусторонняя подложка из стеклоткани. Лента должна храниться в упаковке завода-изготовителя в сухом закрытом помещении при температуре от + 5 до 35 °С и относительной влажности не более 80 %. Перед применением лента должна не менее 24 ч находиться при температуре не ниже + 10 °С.

Слюдосодержащая лента марки ЛСУ по конструкции аналогична существующим пленкослюдосодержащим лентам, а система изоляции на ее основе — требованиям сохранения достаточной эластичности витковой изоляции и изоляции лобовых частей и головок. Изоляция, выполненная лентой ЛСУ, способна выдержать деформации кручения без дополнительного подогрева, при этом электрическая прочность падает незначительно. Электрофизические свойства изоляции, изготовленной из ленты ЛСУ, находятся на уровне свойств пропитанных слюдосодержащих лент с термореактивным связующим. Лента ЛСУ пригодна для изготовления витковой изоляции катушек обмоток статоров электродвигателей напряжением 6 кВ. Лента ЛСУ пропитана смесевым эпоксидно-полиэфирным лаком. На начальной стадии термообработки она обладает хорошей адгезией связующего к меди и пленке. При комнатной температуре адгезия связующего достаточна для надежного скрепления витков. При нагревании изоляции связующее размягчается, становится эластичным, что позволяет деформировать провод без существенного повреждения диэлектрического барьера.

ВНИИЭИМ разработана ремонтпригодная система изоляции обмоток статора высоковольтных электродвигателей на основе предварительно пропитанных лент с термореактивным связующим: слюдинитовые ленты марок ЛСМ — на основе жесткой в отвержденном состоянии эпоксисоволачной смолы и ЛСГ — на основе эластичного в отвержденном состоянии состава типа АС. В этой системе прямолинейные пазовые части катушек с прилегающими к ним лобовыми частями имеют жесткую термореактивную изоляцию из ленты ЛСМ с высокими электрофизическими параметрами. Головки и примыкающие к ним лобовые части катушки имеют высокоэластичную, особенно в подогретом состоянии, изоляцию в отвержденном состоянии на основе термореактивного акрилатного связующего. Соединение жесткой и эластичной изоляции осуществляется на лобовой части в виде конуса.

На основании исследований кинетики процессов отверждения связующего в лентах ЛСМ и ЛСГ выбраны температурно-временные режимы прессования изоляции: предварительный разогрев изоляции при 90 °С, опрессовка при 100 °С в течение 0,5 — 1 ч, термообработка при 150 °С в течение 12 ч.

5.7. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И УЛУЧШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСЛЕ ЗАМЕНЫ ПАЗОВЫХ КЛИНЬЕВ ОБМОТКИ СТАТОРА МАГНИТНЫМИ

Электродвигатели типа ДАЗО 13-50-4 ($P = 550$ кВт, $U = 6$ кВ, $n = 1492$ мин⁻¹) используются в качестве привода мельничных вентиляторов блоков 300 МВт.

В связи с высокой температурой окружающего воздуха в котельном отделении актуальным является вопрос снижения температуры активных частей электродвигателя с целью увеличения срока службы изоляции обмотки статора и повышения ее надежности. Поэтому для уменьшения температуры активных частей перспективным является применение магнитных клиньев крепления обмотки статора.

Применение магнитных клиньев улучшает энергетические характеристики электродвигателей за счет уменьшения магнитного сопротивления воздушного зазора и потерь, снижения температуры обмотки и активной стали статора и повышения КПД. Однако в зависимости от магнитной проницаемости материала пазового клина уменьшается пусковой ток и соответственно пусковой мо-

мент электродвигателя. Для сохранения необходимого пускового момента и улучшения остальных энергетических характеристик оптимальная магнитная проницаемость должна быть равна 4 — 10.

Магнитные клинья находятся непосредственно у воздушного зазора, т.е. в наиболее чувствительном месте, влияющем на формирование магнитного поля. Они частично выравнивают впадины кривой магнитного поля в зазоре в тех местах, где находятся пазы. Эффект применения магнитных клиньев можно оценить как уменьшение ширины закрытия паза. Магнитные клинья одновременно уменьшают напряженность магнитного поля в зубцах сердечника статора.

Снижение температур активных частей электродвигателя происходит за счет уменьшения потерь. Полные потери в электродвигателе уменьшаются за счет уменьшения всех составляющих потерь за исключением механических. Потери в стали уменьшаются за счет снижения поверхностных потерь, которые зависят от неравномерности кривой распределения индукции в воздушном зазоре. Добавочные потери уменьшаются за счет снижения пульсаций кривой поля. Основные потери в обмотке статора уменьшаются из-за уменьшения потребляемого тока статора.

Применяемые магнитные клинья должны обладать не только магнитными свойствами, но при установке в паз не должны замыкать пакет активной стали статора с целью предотвращения местных нагревов.

Отраслевой лабораторией аэродинамики и теплопередачи в электрических машинах (ОЛАТЭМА) Харьковского авиационного института разработаны и изготовлены стекломagnитодиэлектрические пластины толщиной 4 мм. Пластины изготовлены из стекломagnитодиэлектрической массы, армированной четырьмя слоями стеклоткани. Стеклоткань вводится для улучшения механических свойств материала. Magnитодиэлектрическая масса состоит из эпоксидной смолы, отвердителя и наполнителя — железного порошка марки ПЖ2М2. Magnитную проницаемость листового стекломagnитодиэлектрика при изготовлении можно регулировать путем изменения весового отношения железного порошка и остальных компонентов.

В связи с тем, что магнитный порошок распределен в эпоксидном составе равномерно, полученный материал обладает достаточными диэлектрическими характеристиками, препятствующими замыканию листов активной стали статора. Из полученной массы и стеклоткани прессуют пластины с применением глубокого вакуума.

Из изготовленных таким образом листов путем механической обработки изготавливают клинья. Технология заклиновки магнитодиэлектрических клиньев не отличается от обычной. Магнитодиэлектрические клинья имеют высокие механические характеристики. Однако в процессе эксплуатации на магнитные клинья действуют дополнительные силы, вызывающие уменьшение срока их службы. Эти силы являются следствием взаимодействия магнитных полей с вихревыми токами в клине, механических воздействий на магнитный клин зубцов статора и др. Все эти силы вызывают дополнительные циклические нагрузки на заплечики клиньев. В связи с изложенным при установке клиньев предусмотрены мероприятия, предотвращающие смещения их по пазу и выпадение. Такими мероприятиями являются установка клиньев на клею № 88-Н и закрепление их путем наложения шнуровых бандажей.

Установка клиньев на клею выполняется по следующей технологии. Для этого укладывают один слой стеклотекстолитовых прокладок на катушку. Остальные уплотняющие прокладки под клином клеят между собой и приклеивают к прокладке, уложенной на катушку. При забивке клиньев промазывают скосы паза под клин и прокладку, установленную под клином, клеем № 88-Н. Затем проверяют плотность установки клиньев простукиванием.

Для предотвращения перемещения клиньев в процессе эксплуатации в аксиальном направлении по оси статора на выходе из пазов с обеих сторон устанавливают шнуровые бандажы из лавсанового шнура. Каждый бандаж состоит из нескольких витков шнура, охватывающих верхнюю и нижнюю половины секций одного паза и заканчивается узлом, установленным в торце концевого клина.

Для определения влияния магнитных клиньев на температуры активных частей электродвигателя был установлен температурный контроль обмотки, активной стали и пазовых клиньев статора, холодного и горячего воздуха.

Температура пазовых клиньев и обмотки в каждой фазе контролировалась медными термосопротивлениями, уложенными под клином и между верхними и нижними сторонами катушек. Температура активной стали статора контролировалась термопарами. В зубцовую зону (коронки зубцов) было установлено шесть термопар и две термопары на спинку. Термопары установлены между соседними листами пакета активной стали через прокладку слюды для предотвращения их замыкания. Температура холодного и горячего воздуха внутреннего цикла вентиляции контролировалась четырьмя медными термосопротивлениями.

Испытания проводились в режимах холостого хода (без механизма), при нагрузке 200 и 300 кВт с немагнитными и магнитными клиньями. Испытания при номинальной нагрузке не проводилась в связи с невозможностью обеспечения нагрузки вентилятора выше 300 кВт. Снижение температуры обмотки статора при нагрузке 300 кВт составило 4,7 °С.

За счет снижения температуры обмотки статора срок службы изоляции увеличивается. Эта зависимость описывается уравнением:

$$T_2 = T_1 \exp[-B(\theta_2 - \theta_1)],$$

где T_1 — срок службы изоляции при температуре θ_1 ; T_2 — срок службы изоляции при температуре θ_2 ; B — коэффициент, зависящий от типа изоляции, равный 0,07 для слюдяной изоляции.

Принимая средний срок службы обмотки статора электродвигателя ДАЗО 13-50-4 до замены изоляции с текстолитовыми клиньями 15 лет и среднее уменьшение превышения температуры обмотки после замены клиньев на магнитные при нагрузке 300 кВт, равное 4,7 °С, получаем:

$$T_2 = 15 \exp[-0,07 \cdot 4,7] = 20,84 \approx 21 \text{ год},$$

т.е. применение магнитных клиньев увеличивает срок службы изоляции обмотки с 15 до 21 года.

ВНИИЭ при участии ПРП Ростовэнерго на Новочеркасской ГРЭС провело исследования для выявления влияния магнитных клиньев и сравнение характеристик электродвигателя ВА-12-41-4 мощностью 500 кВт конденсатного насоса блока 300 МВт. Магнитные клинья были изготовлены из ферромагнитодиэлектрической массы (ФМДМ), разработанной Харьковским авиационным институтом.

Исследования включали в себя снятие рабочих и пусковых характеристик, определение потерь и КПД, нагрева активных частей электродвигателя, выявление возможности самозапуска электродвигателя при перерыве питания. Проведенные исследования показали, что применение магнитных клиньев привело к изменению некоторых параметров электродвигателя. Так, ток статора уменьшился на 3,2 % за счет увеличения реактивного сопротивления рассеяния статора, а намагничивающий ток снизился на 8,4 %.

Суммарные потери электродвигателя уменьшились на 21 %, причем потери в стали уменьшились на 24,8 % за счет снижения поверхностных потерь, обусловленных неравномерностью кривой

распределения индукции в воздушном зазоре, потери ХХ снизились на 13 %, добавочные потери — на 34,8 %, потери на нагрев обмотки статора уменьшились на 13 %, а короткозамкнутой обмотки ротора — на 11 %.

Уменьшение суммарных потерь привело к уменьшению потребляемой из сети мощности на 1,7 % и увеличению КПД на 1,4 %. Скольжение электродвигателя при номинальной нагрузке уменьшилось на 10 %, а $\cos \phi$ увеличился на 2,4 %.

Перегревы обмотки и зубцов статора оказались ниже соответственно на 4,4 и 8 °С за счет уменьшения греющих потерь. Температура спинки статора практически не изменилась в связи с тем, что изменение пульсации и распределение магнитного потока при наличии магнитных клиньев происходит, в основном, в зубцовой зоне статора.

Уменьшение кратности начального пускового тока электродвигателя на 6 % оказывает положительное влияние на уровень напряжения на шинах собственных нужд (СН) блока, что особенно важно при групповом самозапуске электродвигателей, хотя при уменьшении пускового тока несколько снижается и пусковой момент. Уменьшение кратности начального пускового момента на 5,5 % в данном случае является допустимым, так как не оказывает существенного влияния на работу электродвигателя. Об этом свидетельствует проведенный опыт перерыва питания длительностью 8,5 с при нагрузке электродвигателя 95 % номинальной мощности.

Сопоставление экспериментальных кривых зависимостей вращающего момента от скольжения показало, что более равномерное распределение индукции в воздушном зазоре электродвигателя с магнитными клиньями приводит к увеличению кратности минимального момента с 0,71 отн. ед. до 0,92, т.е. на 30 % при $s = 0,9$ отн. ед. Кратность максимального момента электродвигателя с магнитными клиньями увеличилась на 4,5 %.

Таким образом применение магнитных клиньев в электродвигателе типа ВА-12-41-4 мощностью 500 кВт повышает его КПД на 1,4 %, что приводит к экономии электроэнергии, потребляемой на собственные нужды электростанции. Снижение нагревов обмотки и стали статора, а также снижение электродинамического воздействия на обмотку из-за уменьшения тока статора при пуске приводит к увеличению срока службы обмотки статора.

Замена немагнитных клиньев магнитными для исследуемого электродвигателя экономически целесообразна, так как улучшает его энергетические показатели.

5.8. РЕМОНТ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

Ремонт воздухоохладителей. При работе электродвигателя с замкнутым циклом вентиляции нагретый воздух поступает в воздухоохладитель и, омывая оребренную поверхность охлаждающих трубок, передает тепло хладагенту, в них циркулирующему. Хладагентом в воздухоохладителях служит воздух или вода. По количеству ходов, которые совершает циркулирующий хладагент в воздухоохладителе за один цикл, различают одно- и многоходовые воздухоохладители. Оребрение трубок, служащее для увеличения поверхности теплопередачи, бывает двух видов — проволоочное и цельнокатаное. Трубки в охладителе располагаются в шахматном порядке.

После разборки воздухоохладителя приступают к его чистке. Оребрение на трубках продувают сухим сжатым воздухом. Сильно загрязненные и замасленные ребра воздухоохладителя промывают горячей водой. Внутреннюю поверхность трубок чистят шомполами, щеткой из неметаллических материалов или сильной водо-воздушной струей. Одновременно с чисткой внутренней поверхности воздухоохладителя проверяют антикоррозийное покрытие крышек и трубных стенок. Продукты коррозии удаляют, поверхность зачищают до металлического блеска и покрывают двумя-тремя слоями водостойкой эмали. Завод-изготовитель рекомендует производить чистку и подкраску внутренних поверхностей воздухоохладителя через 4000 ч его работы. Однако периодичность можно скорректировать в зависимости от условий эксплуатации и чистоты теплообмениваемых сред.

После каждой чистки необходимо проводить гидравлические испытания воздухоохладителя избыточным давлением $2 - 2,5 \text{ кгс/см}^2$ ($0,2 - 0,25 \text{ МПа}$) в течение $5 - 10$ мин (если отсутствуют другие указания завода-изготовителя). Такие требования предусмотрены "Объемом и нормами испытания электрооборудования".

При заполнении воздухоохладителя водой для гидравлических испытаний необходимо предварительно вывернуть пробки, расположенные в крышках, и выпустить воздух из воздухоохладителя. Течи при гидравлических испытаниях недопустимы. Обнаруженные течи в местах вальцовки устраняют путем дополнительной подвальцовки. Если подвальцовка не устраняет течи, разрешается заглушить поврежденные трубки с обеих сторон трубных досок металлическими конусными пробками (конусность пробки $1 : 100$).

Дефектную трубку, расположенную в средней части воздухоохладителя, обнаруживают, поочередно опрессовывая с помощью

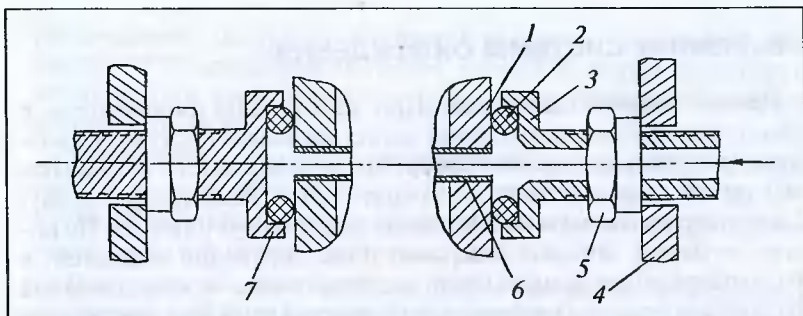


Рис. 39. Гидравлические испытания трубок воздухоохладителя:

1 — трубная стенка; 2 — резиновая кольцевая прокладка; 3 — напорный штуцер; 4 — шнеллер-упор (прикреплен к торцу воздухоохладителя); 5 — гайка упорная специальная; 6 — трубка воздухоохладителя; 7 — штуцер-заглушка

приспособления подозрительные трубки (рис. 39). Разрешается глушить до 2 % количества трубок на один ход и до 1,5 % при числе ходов более одного. В воздухоохладителе, число трубок которого на один ход не превышает 50, не допускается заглушать более одной трубки на ход и более двух на весь воздухоохладитель.

При сборке воздухоохладителя прокладки, потерявшие эластичность, заменяют новыми из теплостойкой резины. После сборки и подсоединения напорного и сливного трубопроводов в воздухоохладитель подают воду под рабочим давлением и проверяют отсутствие течей по фланцам.

Ремонт системы охлаждения статора электродвигателя АВ-8000/6000УЗ. При осмотре системы охлаждения статора особое внимание обращают на состояние охлаждающих и соединительных элементов: трубок, штуцеров и коллекторов. Элементы системы водяного охлаждения не должны иметь трещин, коррозии и следов нагрева. Места соединительных трубок, которые из-за касания ребер поперечной стенки корпуса статора оказались частично перетертыми, разрезают, устанавливают хомут и припаивают припоем Пср-15. При пайке трубок с хомутиками предусматривают меры по предупреждению затекания припоя внутрь трубок.

Для предотвращения повреждения трубок целесообразно закреплять их группами по 5 шт., обертывая полосками из препрега шириной 30 мм с установкой стеклотекстолитовых распорок и лавсанового шнура. После запечки этого узла конструкция становится монолитной и менее подверженной вибрационным воздействиям (рис. 40).

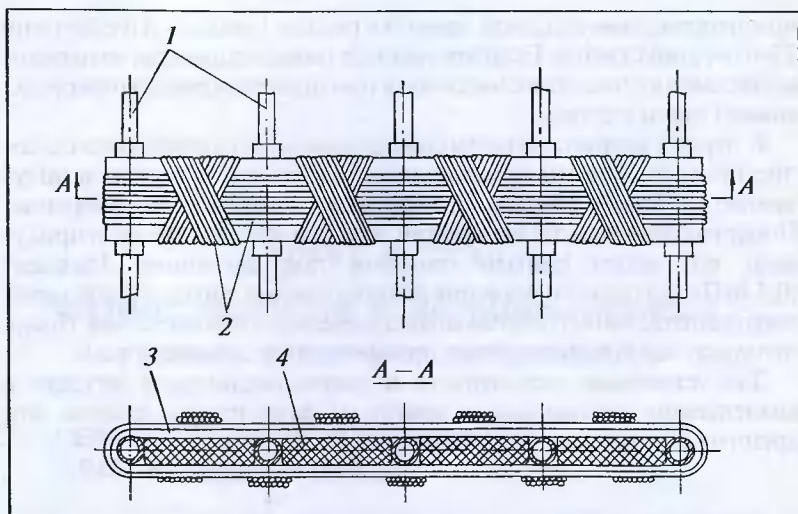


Рис. 40. Усиление крепления трубок системы охлаждения статора электродвигателя АВ-8000/6000УЗ:

1 — трубка; 2 — бандаж из лавсанового шнура; 3 — препрег; 4 — колодка

При ремонте проверяют отсутствие закупорки всех 25 рядов охлаждающих сегментов. Для этого вывинчивают штуцера на напорном или сливном коллекторе и сегменты продувают воздухом и промывают водой. Закупоренный сегмент исключают из схемы охлаждения (шунтируют) и соединительные трубки соседних сегментов спаивают.

Герметичность системы водяного охлаждения статора проверяют давлением воды 10 кгс/см^2 (1 МПа) в течение 30 мин. При обнаружении в сегментах течи и невозможности устранения ее вышедший из строя сегмент исключается из гидравлической системы.

Сектор считается выдержавшим испытание, если отсутствуют течи и отпотевания, а измеренный расход воды через статор не менее $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ при давлении воды на входе в статор 5 кгс/см^2 (0,5 МПа).

Количество отключенных (зашунтированных) охлаждающих сегментов статора не должно превышать 10 % общего количества сегментов. Количество зашунтированных сегментов в одном ряду не ограничивается. В рядах с 6-го по 20-й допускается отключать сегменты, расположенные в аксиальном направлении на одной прямой, если между ними есть работающие сегменты. Отключение двух и более охлаждающих сегментов, расположенных в аксиаль-

ном направлении на одной прямой в рядах с 1-го по 5-й и с 21-го по 25-й, не допускается. Если эти условия не выполняются, то необходима замена сегментов с частичной или полной перешихтовкой активной стали статора.

В период ремонта рекомендуется измерить гидравлическое сопротивление системы охлаждения активной стали статора и полученное значение сравнить с результатом предыдущего измерения. После гидравлических испытаний воду сливают из статора и продувают его сухим сжатым воздухом под давлением 3 кгс/см^2 (0,3 МПа) до полного удаления воды из каждой параллельной ветви статора в отдельности путем отсоединения их от коллектора. После продувки параллельные ветви присоединяют к коллекторам.

Для устранения неплотности в местах соединения штуцера с коллектором устанавливают шайбу из фторопласта, свинца или другого уплотняющего материала.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

Ремонт роторов и подшипниковых узлов электродвигателей

6.1. РЕМОНТ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Осмотр и ремонт роторов производится на козлах, имеющих в верхней части две пары катков, облегчающих проворачивание ротора. При осмотре ротора проверяют керновку балансировочных грузов, состояние стали и ее крепление к валу, осматривают вентиляторы и короткозамкнутую обмотку.

Плотность прессовки стали ротора проверяют так же, как и плотность прессовки стали статора. При осмотре состояния крепления стали основное внимание обращают на состояние сварных швов и крепежа. При обнаружении дефектов сварных швов их устраняют подваркой. Осматривают вентиляторы, проверяют крепление и целостность всех лопаток путем простукивания молотком массой 0,2 – 0,4 кг.

При осмотре короткозамкнутой обмотки ротора проверяют плотность посадки стержней в пазу, качество и состояние паек стержней к короткозамыкающему кольцу, отсутствие трещин, обрывов стержней и короткозамыкающего кольца, а также следов нагрева.

Плотность посадки стержней в пазах ротора проверяют чеканкой стержней при помощи специально заточенного зубила, рабочая часть которого имеет прямоугольную форму. Ширина заточенной части должна быть меньше ширины паза ротора на 1,0 – 1,5 мм. Дребезжание и перемещение стержня при чеканке свидетельствует о слабости посадки стержня в пазу. Чеканка ослабленных стержней производится по всей длине активной части. Стержень чеканят так, чтобы верхняя прямоугольная часть расклепалась и заполнила все

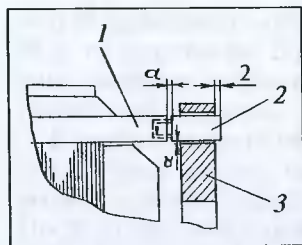


Рис. 41. Установка заполнителя для пайки:

1 — стержень; 2 — заполнитель; 3 — короткозамыкающее кольцо

неплотности между стержнем и стенками паза. Чаще всего образование трещин и обрывов стержней происходит в местах крепления стержня с короткозамыкающим кольцом и на выступающих концах. Поэтому эти места тщательно осматривают на отсутствие трещин и проверяют существующими методами, например, методом микрометра. Для измерения используют игольчатые шупы, подключаемые к концам стержней и к микрометру типа М-246 вблизи паек у короткозамыкающего кольца. В случае исправных паяк прибор

измеряет полное сопротивление всех параллельно включенных стержней ротора. При обрыве стержня в месте пайки прибор измеряет активное сопротивление одного стержня, при плохой пайке — промежуточное значение в зависимости от качества пайки. Пайка считается некачественной, если сопротивление выше нормального в 1,5 раза.

При обнаружении трещин на выступающих концах стержней их ремонтируют следующим образом. В месте образования трещины стержень разрезают, а оставшуюся часть стержня от места разреза до наружного торца короткозамыкающего кольца высверливают (рис. 41). В торце оставшейся части стержня просверливают отверстие глубиной 6 — 7 мм диаметром, равным половине диаметра высверленного стержня. На место высверленной части стержня устанавливают заполнитель, изготовленный из меди марки М1 и М2. Односторонний радиальный зазор в месте пайки стержня с короткозамыкающим кольцом и зазор между торцом стержня и заполнителем должен быть при пайке медно-фосфористым припоем 0,2 мм, а при пайке серебряным припоем 0,1 — 0,15 мм. Для электродвигателей, работающих в тяжелых условиях пуска, при больших температурных напряжениях в месте соединения стержня с короткозамыкающим кольцом, а также для электродвигателей с окружной скоростью ротора 50 м/с и более применяют серебряный припой Пср-45.

Для пайки беличьих клеток электродвигателей со сравнительно легкими условиями пуска (окружная скорость ротора ниже 50 м/с) применяют медно-фосфористый припой.

При ремонте обмоток статоров и роторов высоковольтных электродвигателей находит широкое применение бессеребряный мед-

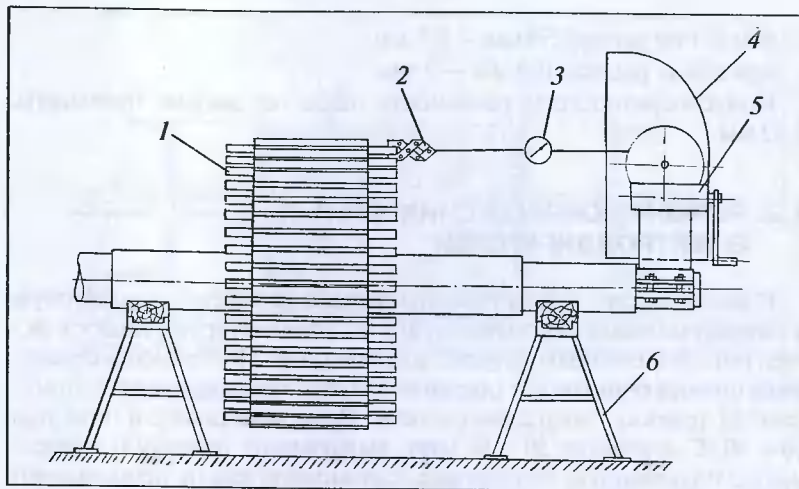


Рис. 42. Демонтаж стержней короткозамкнутой обмотки ротора:

1 — стержни роторов; 2 — захват типа “лягушка”; 3 — динамометр; 4 — защитный кожух; 5 — лебедка; 6 — подставка

но-фосфористый припой марки ПМФОЦр 6-4-0,03, паяные соединения которого по механическим характеристикам (пределу прочности на растяжение и срез) не уступают паяным соединениям, выполненным припоем Пср-45, и в большинстве случаев превосходят аналогичные характеристики меди. Химический состав припоя ПМФОЦр 6-4-0,03, % по массе: 5,3 — 6,3 фосфора; 3,5 — 4,5 олова; 0,01 — 0,05 циркония; остальное — медь. Температура плавления припоя 640 — 680 °С. Пайка выполняется с флюсом № 209.

При массовых повреждениях элементов короткозамкнутой обмотки ее необходимо заменить новой. Для этого механическим путем или распайкой отсоединяют кольца. Затем приступают к демонтажу стержней из пазов ротора. После чистки пазов устанавливают новый комплект стержней и кольца (рис. 42), подготавливают и выполняют пайку. При этом неплоскостность торцевых поверхностей короткозамыкающих колец не должна превышать: для диаметра до 1000 мм — 1,5 мм, а для диаметра от 1000 до 2000 мм — 2 мм. Несоосность отверстий короткозамыкающих колец относительно осей стержней не должна превышать:

при длине вылета стержня от бочки ротора до короткозамыкающего кольца равной 20 мм — 1 мм;

при длине равной 50 мм — 1,5 мм;

при длине равной 100 мм — 3 мм.

Конусообразность и овальность шеек не должна превышать 0,02 мм.

6.2. РЕМОНТ РОТОРОВ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В зависимости от технического состояния заменяют корпусную и витковую изоляцию полюсов, для чего демонтируют полюс с основания ротора и снимают катушку с сердечника. Поверхность сердечника полюса очищают от старой изоляции, обезжиривают и, поместив на тележку, закатывают в печь. Выдержав полюс в печи при 70 — 80 °С в течение 50 — 60 мин, выкатывают тележку и поверхность, подлежащую изолировке, с помощью кисти промазывают лаком ЭР1-30.

Приклеив конец стеклоткани ПСЭР к промазанной лаком поверхности сердечника полюса по всей ее высоте, наматывают по периметру сердечника необходимое количество слоев стеклоткани, утягивая каждый из них. При наложении стеклоткани обращают внимание на отсутствие морщин, складок и других дефектов изоляции. Изолированный сердечник обматывают двумя слоями триацетатной пленки.

Установив изолированный сердечник полюса в приспособление, затягивают пресс-болты и устанавливают его на тележку (рис. 43). Закатив тележку в печь и подняв температуру до 80 — 90 °С, выдерживают сердечник полюса при этой температуре в течение 1 ч. Затем выкатывают тележку и затягивают пресс-болты, обеспечив удельное давление 1 — 2,5 МПа.

Запечку изоляции выполняют в печи при 140 + 10 °С. Время запечки определяется из условия: 2 ч на 1 мм толщины изоляции. После запечки и остывания разбирают приспособление и осматривают изоляцию сердечника полюса. Удаляют наплывы лака и проверяют размеры изолированного сердечника.

Для удаления старой витковой изоляции с катушки полюса готовят в ванне 5 — 7 %-ный водный раствор тринатрийфосфата. Загрузив катушку в ванну, закатывают ее на тележке в печь. Поднимают температуру в печи до 90 — 95 °С и выдерживают ванну 22 — 24 ч. По окончании прогрева дают остыть печи до 60 — 65 °С и выкатывают из нее тележку с ванной. Вынимают катушку из ванны, дают стечь раствору и укладывают катушку на приспособление для

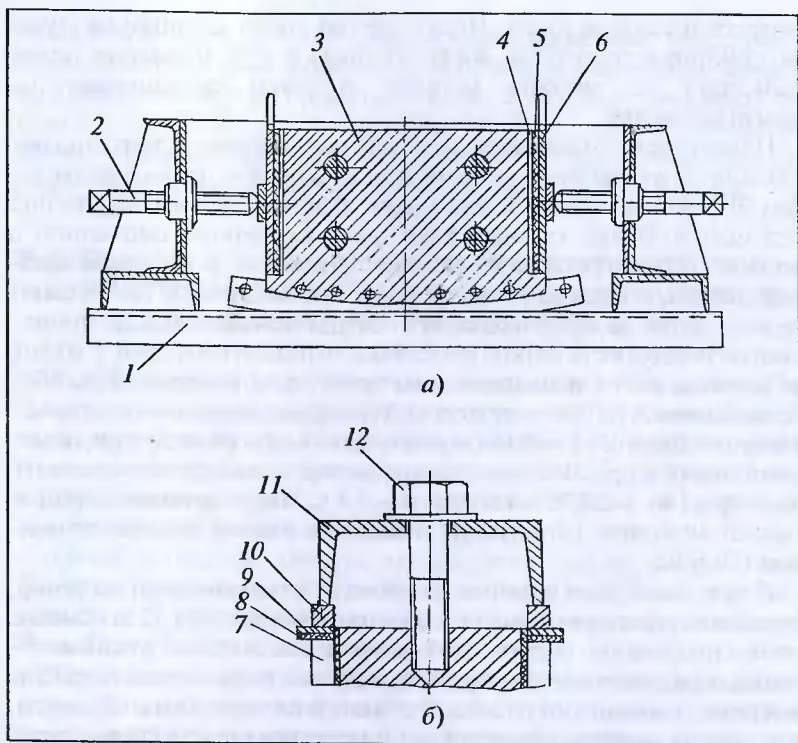


Рис. 43. Приспособление для опрессовки корпусной (а) и витковой (б) изоляции полюсов:

1 — рама; 2 — пресс-болт; 3 — сердечник полюса; 4 — корпусная изоляция; 5 — стеклотекстолитовая прокладка, обернутая триацетатной пленкой; 6 — металлические прокладки; 7 — катушка; 8, 9, 10 — изоляционная, стальная и нажимная шайбы; 11 — швеллер; 12 — болт

развешивания витков при чистке. Смыть остатки раствора водой из шланга, очищают витки от остатков изоляции скребками и металлическими щетками. Окончательную чистку витков выполняют шлифмашинкой со щетками после высыхания катушки.

В процессе чистки осматривают состояние поверхности меди катушек и межкатушечных перемычек. Медь витков должна быть без трещин, подплавлений, зарубин и других дефектов. Дефекты устраняют пайкой припоем Пср-45. Если поврежденных пластин межполюсных соединений более 10 % общего количества, их заменяют. Перемычки к катушкам крепят заклепками и пайкой. При необхо-

димости пластины лудят. После чистки витки катушки рихтуют на стеклотекстолитовой доске киянками или молотком через прокладку из мягкого металла, а затем развешивают на приспособлении.

Поверхность сердечника полюса, на которую устанавливают изоляционную шайбу, и поверхность этой шайбы промазывают лаком ЭР1-30 и укладывают ее на полюс. В шайбах делают вырезы под перемычки. Витки катушки протирают салфеткой, смоченной в бензине, и приступают к их укладке. Покрыв сторону изоляционной шайбы, обращенную к катушке, лаком ЭР1-30, укладывают первый виток на изоляционную шайбу. Устанавливают на промазанную поверхность витков прокладки витковой изоляции. Уложив на верхний виток изоляционную, стальную и нажимную шайбы, устанавливают на полюс приспособление для опрессовки витковой изоляции (рис. 43, б). Опрессовав катушку обтяжкой болтов, помещают полюс с приспособлением на тележку и запекают изоляцию в печи при 140 — 150 °С в течение 4 — 4,5 ч. После остывания испытывают витковую и корпусную изоляцию, а затем покрывают эмалью ГФ-92хс.

После окончания ремонта полюсов их устанавливают на ротор, соединяют пусковую обмотку и обмотку возбуждения. При осмотре ротора необходимо обратить внимание на соединения пусковой обмотки, межполюсных соединений, катушек и крепления полюсов. Болтовые соединения пусковой обмотки должны быть обтянуты, контактная поверхность залужена и не должна иметь следов перегрева. В местах пайки стержней пусковой обмотки с сегментами проверяют отсутствие дефектов. Межполюсные соединения не должны иметь следов перегрева и дефектов изолировки. Плотность установки катушек проверяют простукиванием в торце изоляционной шайбы молотком массой 0,3 — 0,5 кг. Ослабление посадки катушек устраняют обтяжкой болтов крепления полюса. Если обтяжка болтов не устраняет ослабление посадки катушки, устанавливают дополнительную прокладку.

При осмотре токоподвода, соединяющего катушки полюсов с контактными кольцами, обращают особое внимание на качество пайки и плотность затяжки болтов, крепящих токоподвод к контактному кольцу. Щеточный аппарат перед осмотром продувают сжатым воздухом. Изношенные щетки заменяют новыми, предварительно притертыми к поверхности кольца. Зазор между щеткой и обоймой щеткодержателя должен быть в пределах 0,2 — 0,5 мм, а зазор между щеткодержателем и контактной поверхностью кольца — 2 — 2,5 мм. Поверхность контактных колец шлифуют мелкой

стеклянной бумагой № 00. При осмотре проверяют целостность изоляционных втулок и при необходимости их заменяют. Давление на щетку, создаваемое пружиной щеткодержателя, должно соответствовать давлению, рекомендованному ГОСТ для данной марки щетки. Нажатие щеток проверяют динамометром, закрепленным за рычажок щеткодержателя, прижимающий щетку к кольцу.

6.3. РЕМОНТ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РОТОРОВ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВОДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТИПА АВ-8000/6000УЗ

Ремонт роторов с непосредственным водяным охлаждением. Для контроля гидравлической плотности и прочности ротор опрессовывают давлением воды 70 кгс/см^2 (7 МПа) в течение 30 мин. Течи в радиальных трубках устраняют подтяжкой гаек. Если имеется течь около бандажного узла и точное местонахождение ее установить невозможно, то бандаж снимают.

После остывания короткозамыкающего кольца (после снятия бандажа) давление воды поднимают до 70 кгс/см^2 (7 МПа) и отыскивают течь. Обнаруженное место течи устраняют подпайкой припоем Пср-45.

Течи в местах пайки стержней с короткозамыкающими кольцами устраняют после установки ротора в вертикальное положение. Крейцмейселем удаляют втулку на стержнях, имеющих течь. Для предупреждения повреждения стержня удары по крейцмейселю должны быть направлены вдоль оси в сторону короткозамыкающего кольца.

В местах восстановления пайки снимают фаску размером 4×45 и обезжиривают поверхность. Близко расположенные резиновые уплотняющие кольца перед пайкой удаляют из радиальных узлов. Пайку выполняют ацетиленовой горелкой № 5 или 6 припоем Пср-45 и использованием флюса № 209.

После пайки и сборки резиновых уплотнений проводят гидравлические испытания системы охлаждения ротора давлением 70 кгс/см^2 (7 МПа) в течение 30 мин и после этого собирают бандажные узлы. При контрольных испытаниях расход воды через ротор должен быть не менее $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ при частоте вращения от 0 до 2960 мин^{-1} . В первом случае давление воды на входе должно быть 2 кгс/см^2 (0,2 МПа), во втором случае — 4 кгс/см^2 (0,4 МПа).

До сборки бандажные кольца осматривают. Осмотр поверхности бандажных колец производится до и после их чистки мелкой шли-

фовальной бумагой. Обнаруженные при осмотре дефекта отмечают мелом. Места, вызывающие подозрения, проверяют методом цветной дефектоскопии, химического травления или электроиндуктивным методом. Допускается только незначительный ремонт бандажных колец, который сводится к удалению механическим путем обнаруженных забоин, подгаров и неглубоких трещин. Заварка обнаруженных трещин или других дефектов на бандажных кольцах категорически запрещена. При наличии глубоких трещин, сколов металла и других дефектов, заметно ослабляющих механическую прочность бандажа, его заменяют.

Обнаруженные при осмотре мелкие трещины, незначительные оплавления и подгары удаляют местной выборкой металла пневматической шлифмашинкой. Выборку металла продолжают до полного удаления дефектов. Вопрос о дальнейшем использовании бандажа решается в каждом конкретном случае на основании проведенных механических расчетов. Для снятия и надевания бандажного кольца его нагревают до 220 — 250 °С с помощью индуктора.

Повышение надежности роторов с непосредственным водяным охлаждением. В условиях длительной эксплуатации надежность устройств подвода охлаждающего дистиллята определяется стабильностью физико-механических свойств применяемой резины. Вследствие высоких термомеханических нагрузок ресурсные характеристики применяемой для уплотнения резины (упругость в сочетании с малой усадкой, устойчивость к тепловым воздействиям и механическим деформациям статического и динамического характера и вибраций) не обеспечивают высокой надежности эксплуатации электродвигателей.

Нарушение герметичности системы непосредственного водяного охлаждения (СНВО) ротора в районе радиальных водоподводов приводит к аварийным или неплановым остановам электродвигателя с большими объемами повреждений обмотки статора из-за увлажнения и, как следствие, связанных с этим КЗ в лобовых частях и головках (рис. 44).

Учитывая необходимость повышения надежности и увеличения межремонтного периода для замены уплотняющих колец, целесообразно выполнить реконструкцию радиальных водоподводов на электродвигателях типа АВ-8000/6000УЗ путем установки тарельчатых пружин (рис. 45).

Цель реконструкции состоит в обеспечении постоянного давления на резиновые уплотняющие кольца путем использования тарельчатых пружин и металлических шайб независимо от их усадки.

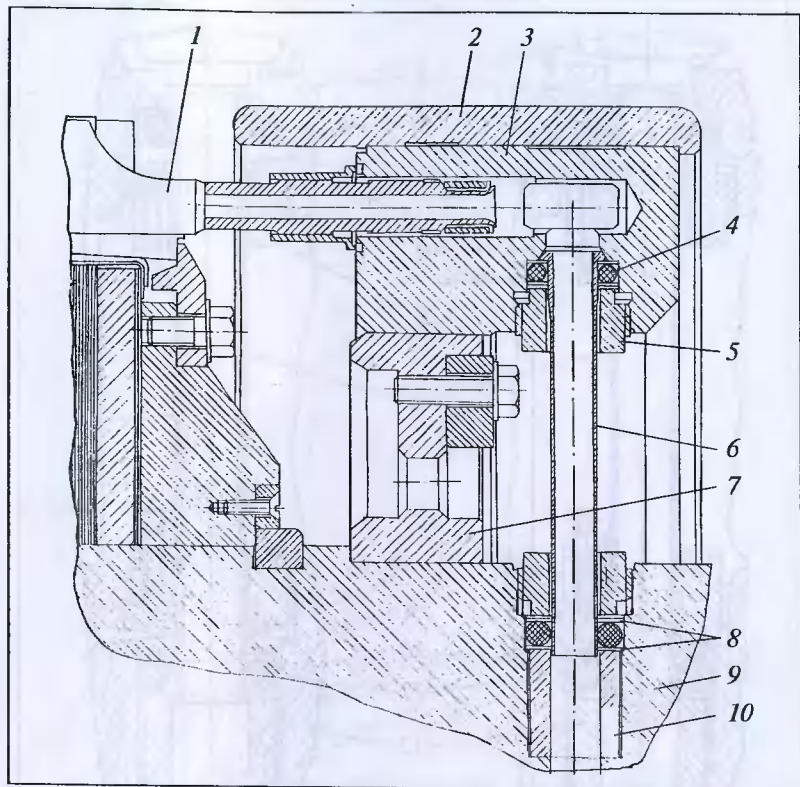


Рис. 44. Узел бандажного кольца ротора электродвигателя типа АВ-8000/6000УЗ:

1 — стержень; 2 — бандажное кольцо; 3 — короткозамкнутое кольцо; 4 — уплотняющее кольцо; 5 — гайка; 6 — трубка; 7 — центрирующее кольцо; 8 — фторопластовые шайбы; 9 — вал; 10 — вкладыш

Тарельчатые пружины при относительно малых габаритах позволяют обеспечить постоянно действующее значительно осевое усилие.

При проработке проекта реконструкции были рассмотрены четыре варианта применения тарельчатых пружин по ГОСТ 3057-90 двух типов: II-1-2-40 × 20 × 2 × 1 и II-1-2-40-25 × 2,5 × 0,8, изготовленных из рессорно-пружинной стали марки 60С2А (пружины класса II, типа 1, второй группы точности, с наружным диаметром пружины 40 мм, внутренним диаметром 20 и 25 мм, при толщине металла 2 и 2,5 мм и высоте внутреннего конуса 1 и 0,8 мм соответственно).

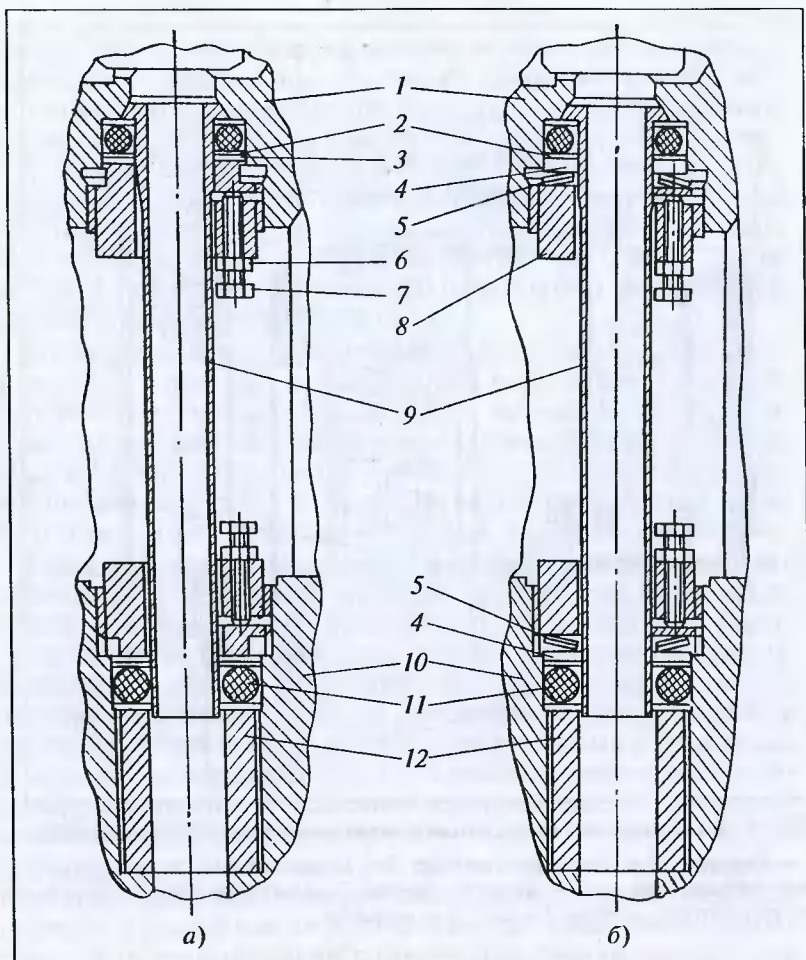


Рис. 45. Радиальный узел водоподвода ротора электродвигателя типа АВ-8000/6000УЗ:

a — существующая конструкция; *б* — реконструированный по предложению автора; 1 — короткозамыкающее кольцо; 2 — шайбы фторопластовые; 3 — шайбы латунные; 4 — шайбы из немагнитной нержавеющей стали 1Х18Н9Т; 5 — тарельчатые пружины П-1-2-40 × 20 × 2 × 1; 6 — гайка М6; 7 — болт М6; 8 — гайка М48 × 2; 9 — трубка; 10 — вал; 11 — уплотняющее кольцо; 12 — вкладыш

При окончательном выборе наилучшего варианта учитывалась необходимость получения максимально возможного значения осе-

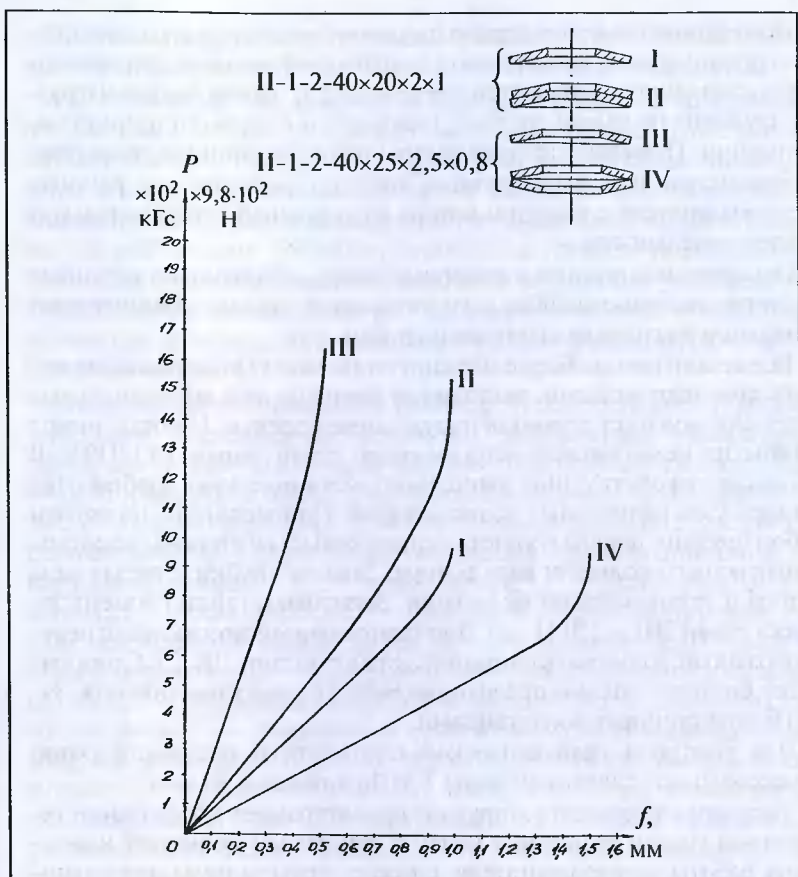


Рис. 46. Экспериментальные зависимости осевой деформации от приложенной силы P для четырех вариантов установки тарельчатых пружин (I – IV):

I — установка одной пружины типа $\Pi-1-2-40 \times 20 \times 2 \times 1$; II — установка двух пружин того же типа; III — установка одной пружины типа $\Pi-1-2-40 \times 25 \times 2,5 \times 0,8$; IV — установка двух пружин того же типа

вого перемещения пружин при сжатии для компенсации усадки резины с одновременным большим осевым усилием.

На рис. 46 показаны результаты испытаний четырех вариантов пружин. Усредненные значения сжатия пружин в зависимости от приложенного осевого усилия получены путем измерений при сжатии и растяжении пружин. Наилучшие результаты дает вариант II.

До установки в ротор каждая пружина подвергалась заневоливанию (статическому испытанию в сжатом состоянии до полного соприкосновения поверхностей в течение 12 ч). После снятия нагрузки пружины не имели трещин, надрывов и следов остаточной деформации. Пружины должны иметь антикоррозионное покрытие.

Реконструкцию выполняют в период капитального ремонта электродвигателя с выводом ротора в следующей технологической последовательности.

Отвернув контргайки и вывернув гайки, демонтируют латунные и фторопластовые шайбы и уплотняющие кольца. Демонтируют вкладыши из гнезд вала ротора и трубки.

Все детали при разборке маркируют по месту. Уплотняющие кольца заменяют новыми, выполняют ревизию деталей радиальных водоподводов и устраняют обнаруженные дефекты. Изготавливают шайбы из немагнитной нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т. В процессе реконструкции выполняют механическую дообработку деталей узла радиальных водоподводов. Устанавливают на трубки набор пружин, шайбы и уплотняющие кольца со стороны короткозамыкающего кольца и вала ротора. Заводят трубки в гнезда вала ротора и устанавливают вкладыши. Затягивают гайки (момент затяжки равен $200 - 230 \text{ Н} \cdot \text{м}$). Для тарированной затяжки гаек целесообразно использовать динамический ключ типа ДК-25. Стопорят гайки болтами с целью предотвращения их самоотвинчивания. Затем болты стопорят контргайками.

Для контроля гидравлической плотности и прочности ротор опрессовывают давлением воды 7 МПа в течение 30 мин.

Установка тарельчатых пружин предотвращает образование течей из-за усадки резиновых колец и тем самым повышает надежность работы электродвигателя, снижает затраты труда при плановых ремонтах за счет увеличения межремонтного периода.

6.4. РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ С ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ

Условные обозначения и типы подшипников качения, применяемые в электродвигателях. В электродвигателях с подшипниками качения применяется следующая конструктивная схема их крепления: со стороны привода — подвижная опора, со стороны свободного конца вала — фиксированная опора. Подшипники классифицируются по ряду признаков. По направлению воспроизводимой ими нагрузки они делятся на радиальные, радиально-упорные

и упорные; по форме тел качения — на шариковые и роликовые с цилиндрической, конической и сферической формой роликов.

По количеству тел качения радиальные и радиально-упорные подшипники делятся на однорядные и многорядные. Подшипники, наружные кольца которых имеют возможность перекашиваться относительно внутренних, называют самоустанавливающимися. Подшипники со съемным наружным и внутренним кольцом называются разборными. Радиально-упорные и упорные подшипники, у которых зазор между телами качения и дорожками устанавливаются при сборке, называются регулируемыми. Основные типы подшипников качения, установленных на электродвигателях, представлены на рис. 47.

Обозначение подшипников включает в себя основное и дополнительное. Расшифровка основного обозначения подшипника следующая (принятая далее нумерация цифр справа налево). Первая и вторая цифры определяют внутренний диаметр подшипника: число из первых двух цифр (с 04 по 99), умноженное на 5, дает внутренний диаметр. Третья цифра определяет серию подшипника по наружному диаметру: 8, 9 — сверхлегкая; 1, 7 — особо легкая; 2 — легкая; 5 — легкая широкая; 3 — средняя; 6 — средняя широкая; 4 — тяжелая. Четвертая цифра определяет тип подшипника: 0 — радиальный шариковый; 1 — радиальный шариковый сферический двухрядный; 2 — радиальный роликовый с короткими цилиндрическими роликами; 3 — радиальный роликовый сферический двухрядный; 4 — радиальный с длинными цилиндрическими роликами или иглами; 5 — радиальный с витыми роликами; 6 — радиально-упорный шариковый одно- или многорядный; 7 — радиально-упорный с коническими роликами одно-, двух- или четырехрядный; 8 —

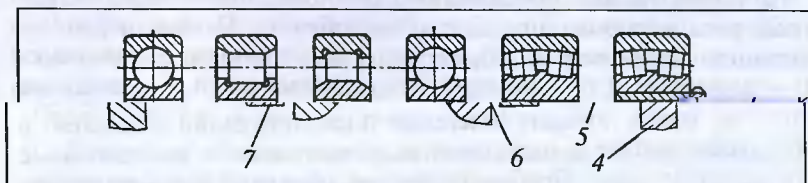


Рис. 39. Гидравлические испытания трубок воздухоохладителя:

1 — трубная стенка; 2 — резиновая кольцевая прокладка; 3 — напорный штуцер; 4 — шнеллер-упор (прикреплен к торцу воздухоохладителя); 5 — гайка упорная специальная; 6 — трубка воздухоохладителя; 7 — штуцер-заглушка

приспособления подозрительные трубки (рис. 39). Разрешается глушить до 2 % количества трубок на один ход и до 1,5 % при числе ходов более одного. В воздухоохладителе, число трубок которого на

упорный шариковый одинарный или двойной; 9 — упорный или упорно-радиальный роликовый одинарный или двойной. Пятая и шестая цифры определяют конструктивные особенности подшипников: значение цифр неодинаково для подшипников различных типов. Седьмая цифра характеризует серию подшипников по ширине и высоте: 0,7 — узкая; 1 — нормальная; 2 — широкая; 3 — 6 — особо широкая.

Дополнительные обозначения расположены справа и слева от основного. Обозначения, расположенные справа, характеризуют материал колец и сепараторов и их конструктивные особенности; специальные требования к температуре отпуска колец; сорт пластичной смазки, которой заполняют подшипники закрытого типа; пониженный уровень вибрации и ее порядок. Они расшифровываются так: Б — сепаратор из безоловянистой бронзы; Л — сепаратор из латуни; Е — сепаратор из текстолита или пластмассы; К — сепаратор стальной штампованный для подшипников с короткими цилиндрическими роликами; Г — массивный из черных металлов; Д — сепаратор из алюминиевых сплавов; Р — детали из теплостойкой стали.

Конструктивные исполнения подшипников: Ш — специальные требования по шуму; С — подшипник закрытого типа, заполненный смазкой; Т — температура отпуска деталей; У — специальные требования к параметрам шероховатости, радиальному зазору и осевой игре, к технологии изготовления (свинцевание, анодирование, кадмирование) колец из стали ШХ 15 или штампованных сепараторов из стали 10 или 20. Детали: Х — из цементируемой стали; Э — из стали со специальными присадками (ванадий, кобальт и др.); Ю — из коррозионно-стойкой стали; Я — из редко применяемых материалов (стекла, керамики и т.д.).

Дополнительные обозначения, расположенные перед основным, расшифровываются следующим образом. Первая цифра (нумерация справа налево) определяет класс точности подшипника: 0 — нормальный; 6 — высокий; 5 — прецизионный; 4 — сверхпрецизионный; 2 и Т — точный и сверхточный. Вторая цифра определяет дополнительный ряд радиального зазора для радиальных подшипников различных типов. Третий знак — буква М — характеризует регламентированный момент трения. Четвертая и пятая цифры характеризуют норму момента трения.

Примеры расшифровки обозначений наиболее употребительных типов подшипников: 2-6-307 — подшипник шариковый радиальный однорядный (307) класса точности 6 с радиальным зазором по ряду 2; 3-0-2216 — подшипник роликовый радиальный с корот-

кими цилиндрическими роликами (2216) класса точности 0 с радиальным зазором по ряду 3; 1-0-2097732 — подшипник роликовый конический двухрядный (2097732) класса точности 0 с осевой игрой по дополнительному ряду 1; 3614 — подшипник роликовый сферический двухрядный класса точности 0 с радиальным зазором по основному ряду; 326 — шарикоподшипник радиальный однорядный средней серии с внутренним диаметром 130 мм; 2328 — шарикоподшипник радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами средней серии с внутренним диаметром 140 мм, наружное кольцо без буртов; 46330 — шарикоподшипник радиально-упорный однорядный средней серии с углом контакта 26° и внутренним диаметром 150 мм; 66330 — то же с углом контакта 36° ; 3530 — роликовый подшипник радиальный сферический двухрядный легкой широкой серии с асимметричными роликами с внутренним диаметром 150 мм; 13530 — тот же подшипник на закрепительной втулке; 76-317ЕШ1 — шарикоподшипник радиальный однорядный средней серии с внутренним диаметром 85 мм с текстолитовым сепаратором и регламентированным уровнем вибрации высокого класса точности и дополнительным рядом радиального зазора.

Рассмотрим основные типы подшипников, применяемые в электродвигателях. Шарикоподшипники радиальные однорядные воспринимают радиальные и осевые нагрузки, действующие в обоих направлениях вдоль вала и не превышающие 70 % неиспользованной допустимой радиальной нагрузки. Для восприятия чисто осевой нагрузки рекомендуется применять шарикоподшипники с увеличенными радиальными зазорами между шариками и дорожкой качения. По сравнению с другими типами подшипников качения радиальные однорядные шарикоподшипники работают с минимальными потерями на трение и, следовательно, допускают наибольшую частоту вращения. Допустимый перекас наружных колец относительно внутренних равен 10 — 15'.

Сепараторы радиальных однорядных шарикоподшипников в основном штампованные с центрированием на телах качения. В некоторых случаях применяют сепараторы из антифрикционных материалов: бронзы, латуни, текстолита, алюминиевых сплавов и др. Массивные сепараторы обычно центрируются по бортам наружных колец.

Роликоподшипники радиальные с короткими цилиндрическими роликами воспринимают только радиальные нагрузки. Они обладают большей радиальной грузоподъемностью по сравнению с

грузоподъемностью радиальных шарикоподшипников равных габаритных размеров, но по скоростным характеристикам им уступают. Подшипники с цилиндрическими роликами чувствительны к перекосам внутренних колец относительно наружных, так как при перекосах возникает концентрация напряжений у краев ролика. Для уменьшения этих напряжений изготавливают подшипники специальных модификаций — с выпуклыми (бомбинированными) роликами или дорожками качения. В этом случае в дополнительном условном обозначении, следующим за основным, стоит буква М. Роликоподшипники 2000 — без бортов на наружном кольце; 32000 — без бортов на внутреннем кольце. Подшипники 2000 и 32000 допускают в процессе монтажа и эксплуатации двустороннее осевое перемещение внутреннего кольца относительно наружного. Эти подшипники воспринимают только радиальную нагрузку.

У однорядных подшипников с короткими цилиндрическими роликами сепараторы штампованные или массивные, изготовленные из стали, латуни, бронзы или алюминиевых сплавов. Центрируются массивные сепараторы, как правило, по двухбортовому кольцу.

Роликоподшипники радиальные двухрядные сферические типа 3000 и 13000 предназначены для работы при радиальных нагрузках, но могут одновременно воспринимать и осевую нагрузку, действующую в обоих направлениях и не превышающую 25 % неиспользованной допустимой радиальной нагрузки. Они могут эксплуатироваться и при чисто осевой нагрузке, однако в этом случае воспринимать ее будет лишь один ряд роликов. Подшипники имеют два ряда бочкообразных роликов. Дорожка качения на наружном кольце имеет сферическую поверхность. Подшипники могут работать при перекосе оси внутреннего кольца относительно оси наружного, равного $2 - 3^\circ$.

Сепараторы у большинства сферических роликоподшипников массивные, изготовленные из бронзы или латуни.

Шарикоподшипники радиально-упорные неразъемные со скосом на наружном кольце типа 36000, 36000К6, 46000, 66000 предназначены для восприятия радиальных и осевых нагрузок. Их способность воспринимать осевую нагрузку зависит от угла контакта α , представляющего собой угол между плоскостью центров шариков и прямой, проходящей через центр шарика и точку касания шарика с дорожкой качения. С увеличением угла контакта осевая грузоподъемность возрастает вследствие уменьшения радиальной. По скоростным характеристикам радиально-упорные подшипники не уступают радиальным однорядным. Увеличение угла контакта приво-

дит к снижению допускаемой частоты вращения и увеличению воспринимаемой подшипниками односторонней осевой нагрузки:

Тип подшипника	36000	36000K6	46000	66000
Угол контакта α , град.	12	15	26	36
Допустимая осевая нагрузка F_a	$0,7F_r$	—	$1,5F_r$	$2,0F_r$

Примечание. F_r — неиспользованная допустимая радиальная нагрузка.

Разборка и осмотр подшипниковых узлов. Для осмотра подшипников снимают наружную и внутреннюю крышки и корпус капсуля. Потемневшая и пересохшая смазка свидетельствует о том, что периодичность замены смазки недостаточна. Заводы-изготовители указывают в сопроводительных документах электродвигателя тип смазки и периодичность ее замены. Для обеспечения нормальной работы подшипников рекомендуется, как правило, заменять смазку через 4000 ч работы электродвигателя, но не реже 1 раза в год, так как смазка с течением времени ухудшает свои свойства.

Подшипниковый узел электродвигателя ДАЗО 4-450 состоит из подшипника № 2-24 со стороны рабочего конца вала и подшипника № 324 — с противоположной стороны. Для электродвигателя ДАЗО 4-400 — это соответственно подшипники № 2322 и № 322. Завод-изготовитель рекомендует использовать смазку Литол-24, заполняя весь объем подшипника, и 2/3 объема между подшипником и крышками. Допускается замена смазки на ЦИАТИМ-201. Смешивание различных смазок недопустимо. Масса закладываемой смазки в подшипниковый узел со стороны привода $0,6 \pm 0,1$ кг для ДАЗО 4-400 и $0,8 \pm 0,1$ кг для ДАЗО 4-450, в подшипниковый узел со стороны противоположной приво-ду соответственно $0,9 \pm 0,1$ кг и $1,2 \pm 0,1$ кг. Добавление 50 г смазки в подшипниковые узлы необходимо производить (по рекомендации завода-изготовителя) через 1000 ч работы. Через девять пополнений подшипник необходимо промыть и заменить смазку.

Если при осмотре в смазке обнаружится стружка от сепаратора, то это признак неправильной его работы и подшипник необходимо заменить. Для осмотра подшипник очищают от смазки. Чистка подшипника производится на валу. Нецелесообразно для чистки подшипника снимать его с вала, так как эта технологическая операция требует значительных затрат и не дает гарантии снятия подшипника без повреждения. Удаляют смазку из подшипника лопаткой, после чего подшипник промывают бензином, смешанным с 6 % масла. Для слива бензина и смазки под подшипник устанавливают противень. Для обеспечения качественной промывки под-

шипник вращают за наружное кольцо или сепаратор. После полного удаления остатков смазки подшипник вытирают чистой салфеткой и осматривают.

При осмотре подшипника проверяют: состояние рабочих и посадочных поверхностей колец и тел качения (отсутствие трещин, сколов, забоин, царапин, коррозии, ложного бринеллирования — лунок и ожогов); состояние сепаратора (отсутствие трещин, износа, механических повреждений, дефектов клепки и сварки, защемления тел качения); величину радиальных зазоров, осевой игры; легкость вращения и отсутствие шума при вращении; маркировку подшипника; плотность установки подшипника на посадочном месте; наличие остаточного магнетизма.

Легкость вращения подшипников проверяют вращением наружных колец. Подшипники должны вращаться легко, свободно, без повышенного шума, торможения, с медленной остановкой без стуков, рывков и заеданий. Рывки свидетельствуют о наличии в подшипниках механических или абразивных частиц, резкое торможение — о малом радиальном зазоре, стуки — о вмятинах и коррозионных раковинах на телах и дорожках качения, о больших зазорах в гнездах сепараторов и их износе. В нагруженной зоне все тела качения должны вращаться.

Не установленные на вал ротора подшипники контролируют, когда они поставлены на образующие наружных колец. К дальнейшей эксплуатации не допускаются подшипники со следующими дефектами: трещины на кольцах, телах качения и сепараторах; сколы на кольцах, рабочих бортах колец и телах качения; цвета побежалости на кольцах или телах качения; забоины, вмятины и шелушение на дорожках и телах качения; сепараторы с нарушениями клепки и сварки, с недопустимым провисанием и неравномерным шагом окон, неполные комплекты шариков или роликов; коррозионные раковины на рабочих поверхностях тел и дорожек качения и вмятины ложного бринеллирования на дорожках качения, продольные лыски на роликах; тугое вращение или чрезмерно большой зазор; остаточный магнетизм.

Значительную группу с низким сроком службы составляют подшипники с различными видами разрушения сепараторов. Одной из причин разрушений является относительный перенос колец. Шарiki однорядных радиальных и радиально-упорных шарикоподшипников в этом случае катятся с различным смещением относительно оси симметрии желоба и имеют различные линейные скорости. Сначала сепараторы изнашиваются, а затем разрушаются.

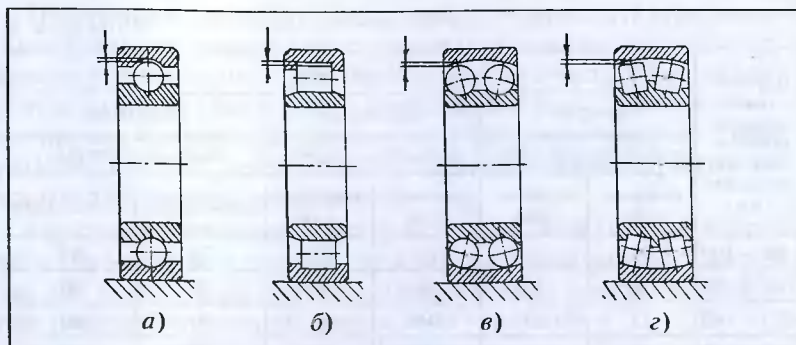


Рис. 48. Радиальные зазоры в радиальных подшипниках:

а — шариковом однорядном; *б* — роликовом однорядном с цилиндрическими роликами; *в* — шариковом двухрядном сферическом; *г* — роликовом двухрядном сферическом

Роликовым подшипникам с цилиндрическими роликами серии 2000 свойственен серповидный износ сепаратора, вызванный наличием начального их дисбаланса. Вибрация увеличивает серповидный износ.

Шарики и ролики подшипников, работающих с высокой частотой вращения и с небольшой радиальной нагрузкой, в ненагруженной зоне перемещаются юзом и разрушают масляную пленку; таким образом возникает гранность шариков и роликов. Затем они нарушают точность и плавность вращения валов и усиливают шумность. При обнаружении хотя бы одного из вышеописанных дефектов подшипник подлежит замене.

Широко распространенный дефект подшипников — коррозия. При обнаружении на подшипнике следов незначительной коррозии подшипник полируют сукном или войлоком с пастой ГОИ до полного удаления ржавчины. Пятна коррозии, образовавшиеся на монтажных поверхностях подшипников, удаляют мелкой шлифовальной бумагой, после чего риски полируют мелкозернистой пастой ГОИ или порошка окиси хрома, смешанного с минеральным маслом. Рабочие поверхности подшипника (дорожки качения, шарики, ролики) зачищать шлифовальной бумагой нельзя. Если сле-



Рис. 49. Осевая игра в подшипнике шариковом радиальном однорядном

Таблица 2

Внутренний диаметр подшипников в пределах, мм	Зазоры, мкм					
	Радиальные однорядные шарикоподшипники		Радиальные однорядные роликоподшипники		Радиальные сферические двухрядные роликоподшипники	
	наибольший	наименьший	наибольший	наименьший	наибольший	наименьший
80 — 100	40	16	80	35	70	45
100 — 120	46	20	90	40	80	50
120 — 140	53	23	100	45	90	60
140 — 160	58	23	115	50	100	65

ды коррозии на рабочих поверхностях глубокие, то подшипники заменяют.

При осмотре проверяют правильность установки стопорного кольца и плотность посадки внутреннего кольца подшипника на вал. Посадку внутреннего кольца подшипника проверяют следующими двумя способами: вручную проверяют возможность перемещения кольца; если перемещение не наблюдается, то плотность посадки проверяют легкими ударами молотка через медную выколотку, поставленную на внутреннее кольцо подшипника.

Плотность посадки наружного кольца подшипника в корпус проверяют при снятии корпуса. Ослабленный корпус легко снимают с кольца, а приложение больших усилий при снятии свидетельствует о большом натяге. При нормальной посадке снятие корпуса капсула обеспечивается легкими ударами молотка массой 1 кг через медную выколотку. На посадочной поверхности ослабленного корпуса капсула могут быть следы коррозии.

Измерение зазоров. После осмотра подшипника измеряют радиальный зазор (рис. 48) и проверяют осевую игру подшипника (рис. 49). Радиальный зазор между кольцами и телами качения обуславливает некоторую свободу взаимного перемещения колец относительно друг друга в радиальном направлении, а осевая игра — осевое перемещение кольца подшипника из одного крайнего положения в другое при неподвижном первом кольце. У радиальных двухрядных сферических подшипников зазор в радиальном направлении не совпадает по величине с зазором в направлении контакта. Однако разностью этих зазоров можно пренебречь, так как она не превышает 3 % поля допуска.

Измерение радиального зазора можно производить пластинчатым щупом, пластину которого заводят между телами качения и поверхностью внутреннего кольца в нижней его части. При измерении индикатором радиального зазора подшипника, установленного на вал, ножку индикатора помещают на верхнюю точку наружного кольца, затем рычагом или рукой перемещают наружное кольцо в радиальном направлении.

При измерении осевой игры ножку индикатора упирают в торец вала или наружного кольца подшипника и перемещают аксиально вал или кольцо в обе стороны. Штатив с жестко закрепленной на нем головкой индикатора должен быть устойчивым.

Щупом радиальные зазоры измеряют независимо от того, установлены или не установлены подшипники на вал. Измеренный зазор достоверен, если щуп свободно с небольшим усилием (от руки) проходит между телами и дорожками качения по всей длине ролика или по большей его части. У роликоподшипников радиальных сферических двухрядных зазоры измеряют в обоих рядах, когда ролики прижаты к среднему борту. Радиальный зазор равен среднеарифметическому значению зазоров обоих рядов. Если подшипники опираются на наружное кольцо, то радиальные зазоры щупом измеряют обычно в верхней зоне. У подшипников безбортовых роликовых и подшипников с бортами на наружном кольце, установленных на валу, нет необходимости приподнимать наружное кольцо: радиальный зазор измеряют в нижней зоне между дорожкой качения внутреннего кольца и нижним роликом.

У неустановленных на вал роликоподшипников перед измерением зазора в нижней зоне необходимо рукой приподнять внутреннее кольцо вверх до контакта роликов с дорожкой качения наружного кольца; тогда щуп необходимо пропускать под роликами с некоторым усилием (от руки), так как на него действует масса ролика. В нижней зоне можно измерять зазоры и у двухрядных сферических роликоподшипников, установленных на валах. При измерении запрещается накатывание роликов на пластины щупа. Замеры выполняют в четырех — шести положениях через каждые 120 — 180° поворота колец, на полном обороте сепаратора, чему соответствует примерно два оборота внутреннего кольца. За результат измерения принимают максимальное значение. Радиальный зазор равен среднеарифметическому значению измерений. Измеренный зазор сравнивают с допустимым по табл. 2.

Если зазоры в подшипниках соответствуют допустимым, то подшипник пригоден к дальнейшей эксплуатации. Если зазоры превы-

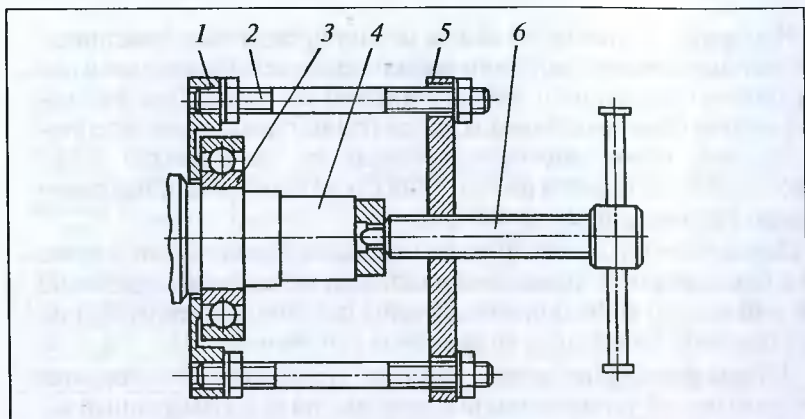


Рис. 50. Винтовой съёмник:

1 — диск; 2 — тяга; 3 — подшипник; 4 — вал; 5 — плитка; 6 — винт

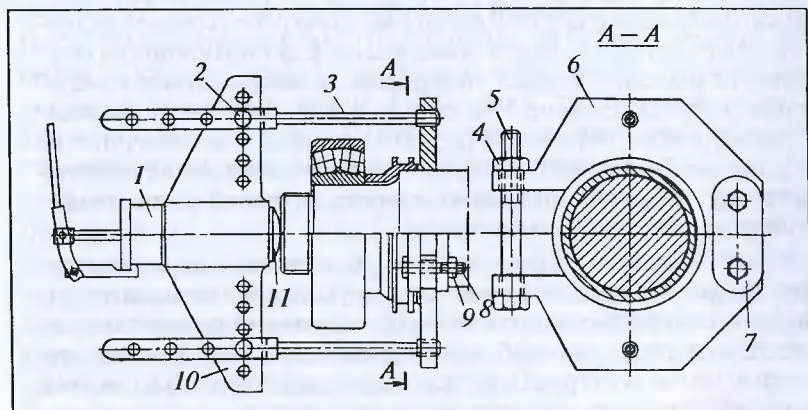


Рис. 51. Съёмник универсальный с гидроприводом:

1 — гидропривод ручной; 2 — палец; 3 — тяга; 4, 9 — гайки; 5, 8 — болты; 6 — скоба из двух половин; 7 — пластина; 10 — траверса; 11 — пята

шают допустимые и имеет место большая осевая игра, то рассматривают вопрос о необходимости его замены.

В процессе установки подшипников с коническим отверстием осевое перемещение внутреннего кольца с отверстием, имеющим конусность 1 : 12 относительно шейки вала или втулки, вызывает

уменьшение начального радиального зазора, равное примерно 1/15 перемещения.

Подшипники, предназначенные для нормальных условий эксплуатации, должны иметь радиальный зазор, соответствующий основному — нормальному ряду. Основная область применения подшипников с увеличенными радиальными зазорами — опоры со значительными колебаниями рабочих температур, а также опоры, в которых кольца подшипника вследствие больших динамических нагрузок устанавливают на вал и корпус со значительными посадочными натягами. Радиальные однорядные шарикоподшипники, предназначенные для восприятия только осевых усилий, также должны иметь увеличенный радиальный зазор, позволяющий увеличить угол контакта в подшипнике, т.е. повысить его осевую грузоподъемность. Радиальные самоустанавливающиеся подшипники с увеличенным радиальным зазором применяют также при недостаточной соосности посадочных мест. Подшипники с уменьшенным радиальным зазором устанавливают в опорах, допускающих ограниченное радиальное или осевое биение вала, работающего с умеренной частотой вращения или эффективном охлаждении.

Демонтаж подшипников и контроль посадочных мест. Для снятия подшипников используют различные виды съемников (рис. 50, 51). Осевое усилие при снятии подшипника должно быть приложено к внутреннему кольцу и должно передаваться вдоль оси вала без перекоса колец относительно посадочного места. Для демонтажа подшипников широкое распространение получили винтовые универсальные съемники. Универсальность съемнику могут придавать комплект тяг различной длины и возможность их радиального перемещения по пазам скобы или шайбы. Для облегчения вращения наконечник винта может иметь сферическую поверхность. Винт в съемнике можно заменить гидравлическим, винтовым или реечным домкратом. Если усилие для снятия нельзя передать через кольцо подшипника, то для этой цели используют детали за подшипником. Широкое распространение получили и гидравлические съемники различного исполнения. Для снятия внутреннего кольца подшипника с вала можно использовать простейшее приспособление с применением индукционной катушки. Катушка должна иметь равномерный по окружности зазор 0,5 — 1,0 мм. На кожухе смонтирована панель управления для включения катушки и две рукоятки. Существуют комбинированные приспособления, состоящие из электроиндукционного нагревателя и механического съемника. Кольца и валы размагничивают тем же индукционным нагревателем, установленным от них на расстояние 1 — 2 м. Перед

снятием непригодного подшипника демонтируют или отвинчивают стопорное кольцо и устанавливают съемник. Непригодный к дальнейшей эксплуатации подшипник допускается снимать предварительно нагрет его горелкой.

Демонтаж подшипника с вала путем приложения усилия к наружному кольцу используют лишь в исключительных случаях, когда конструкция подшипникового узла не дает возможность снять подшипник с вала за его внутреннее кольцо или подшипник дефектный. Такой метод требует особой осторожности. Усилие для снятия подшипника должно быть приложено равномерно, без рывков, строго перпендикулярно к торцу наружного кольца подшипника.

Промытые и протертые салфетками посадочные места на валу, в капсуле или корпусе осматривают. Обнаруженные при осмотре механические повреждения, забоины, вмятины и коррозию устраняют.

Диаметры трех сечений по длине посадочной поверхности измеряют в трех направлениях, расположенных относительно друг друга под углом 120° . По полученным данным вычисляют средний фактический диаметр посадочных мест. Диаметр вала контролируют микрометром, а диаметры в капсуле и в корпусе индикаторными или микрометрическими нутромерами. Овальность посадочного места вала или корпуса определяется как разность наибольшего и наименьшего диаметров в одном сечении. Конусность посадочной поверхности вала или корпуса определяется как разность диаметров в крайних сечениях посадочного места. Полученные размеры диаметров посадочных мест не должны выходить за пределы поля допуска, указанного на чертеже. Овальность и конусность посадочной поверхности не должны превышать половины допуска на диаметр. Шероховатость посадочных поверхностей и заплечиков должна быть равна 2,5 и определяется обычно на глаз.

Торцевое биение заплечников проверяют индикатором часового типа, которое при диаметре вала в пределах 50 — 120 мм не должно превышать 25 мкм, а при диаметре вала 120 — 250 мм — 30 мкм. Высота заплечиков должна быть равна половине толщины внутреннего кольца подшипника, а радиус галтели должен быть несколько меньшим, чем радиус фаски подшипника.

Восстановление посадочных мест. Недостаточный натяг можно восстановить несколькими способами: электродуговой наплавкой, электроискровым методом или установкой втулки. Электродуговая наплавка заключается в том, что под действием высокой температуры электрической дуги, горящей между электродом и посадочным местом вала, к которому подведен ток, электродный и основной ме-

талл расплавляется, создавая на поверхности изделия общую ванну. С отдалением электрической дуги расплавленный металл затвердевает, образуя наплавленный валик. Для получения минимальной глубины проплавления основного металла электрод наклоняют в сторону, обратную направлению наплавки. Ручную наплавку выполняют электродами диаметром 2 — 6 мм на постоянном токе обратной полярности.

Перед наплавкой посадочное место протачивают на токарном станке, снимая слой металла. Наплавку производят путем нанесения сварочных швов вдоль вала. Эти швы, перекрывая друг друга, создают слой металла и увеличивают диаметр посадочного места. При наплавке вала изменяется структура поверхностного слоя основного металла, могут возникнуть местные напряжения к деформации вала. Поэтому эта работа должна выполняться высококвалифицированным электросварщиком, имеющим опыт выполнения этой работы.

Перед наплавкой необходимо проверить плавность перехода мест с разными диаметрами, так как неправильно выполненный переход (отсутствие закругления в месте перехода) способствует концентрации напряжений. При наложении валика сварочного шва этот участок вала, нагреваясь, удлиняется и вызывает деформацию изгиба вала. Для предотвращения изгиба вала последовательно накладываемые швы должны располагаться диаметрально.

После выплавки группы швов они зачищаются от шлака и производится последовательная наплавка до получения толщины наплавленного металла, обеспечивающей проточку вала до необходимого диаметра. Часть валиков выполняется длиннее, чем посадочное место, и располагается по окружности равномерно. Эта дополнительная мера позволяет уменьшить напряжения в металле и придаст плавный характер структурным изменениям. Строгое соблюдение технологии позволяет получить наплавленный вал без резких изменений в структуре металла. После наплавки производят токарную обработку и шлифовку ремонтируемого участка вала.

При использовании метода электроискрового восстановления посадочное место восстанавливают с помощью переносной установки “Элитрон-22А”, состоящей из генератора и вибратора. Генератор служит для генерирования технологического тока, питания обмотки вибратора, контроля и управления технологическим процессом и выполнен в виде настольного прибора. Вибратор предназначен для коммутирования разрядной цепи вибрирующим электродом. При его нормальной работе обеспечиваются оптимальная

производительность и высокое качество обработанной поверхности вала.

Перед началом работы с обрабатываемой поверхностью удаляют смазку, ржавчину, загрязнения. Переключатель режима работы устанавливают в одно из девяти положений, которое регламентирует толщину накладываемого слоя металла. Установка обеспечивает наложение слоя металла толщиной от 0,03 до 0,12 мм. Восстановление посадочной поверхности производят электродом из материала, близкого по составу к материалу наплавляемого вала. Процесс восстановления натяга целесообразно совместить с одновременным упрочнением поверхности. Для этого в качестве электрода используют сплав Т15К6, металло-керамические сплавы групп ВК и др. Если натяг подшипника соответствует норме, следует выполнить только упрочнение посадочной поверхности без увеличения ее диаметра с применением графита в качестве электрода. В этом случае упрочнение происходит за счет науглероживания и одновременно своеобразной закалки поверхностных слоев металла. В качестве электрода для упрочнения или увеличения диаметра можно применять также хром, феррохром, вольфрам и др.

Восстановить посадочный натяг можно путем установки промежуточной втулки на вал в месте посадки. Для этого место посадки протачивают до диаметра, обеспечивающего толщину стенки 4 — 5 мм (при диаметре вала 100 — 120 мм). Натяг втулки на вал должен составлять 0,25 — 0,3 % диаметра вала. Чтобы избежать затруднений при установке втулки ее необходимо нагреть до температуры 350 — 450 °С. После установки втулку протачивают до необходимого диаметра. Этот метод можно использовать только для восстановления посадочных поверхностей, расположенных со стороны свободного конца вала, так как прочность вала при этом значительно снижается.

Втулку в корпус капсулы устанавливают аналогично изложенному выше. Для исключения возможности проворачивания втулки в корпусе последняя стопорится тремя шпильками, равномерно расположенными по окружности касания. После восстановления посадочного места одним из способов, изложенных выше, выполняют необходимые измерения посадочных мест.

При ремонте подшипниковых узлов необходимо руководствоваться чертежами и рекомендациями заводов-изготовителей. В их отсутствии руководствуются следующим. При частоте вращения электродвигателя 1500 мин⁻¹ и ниже применяют посадку I подшипников на валу и посадку II в капсуле или в корпусе (торцевом щите) (табл. 3), при частоте вращения 3000 мин⁻¹ — обеспечиваю-

Таблица 3

Номинальный диаметр вала, мм	Отклонение внутреннего диаметра подшипника, мкм		Посадка I				Посадка II			
			Предельное отклонение диаметра вала, мкм		Натяг, мкм		Предельное отклонение диаметра вала, мкм		Натяг, мкм	Зазор, мкм
	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	максимальный	минимальный	верхнее	нижнее		
80 — 120	0	−20	+ 26	+ 3	46	3	+ 12	− 12	32	12
120 — 180	0	− 25	+ 30	+ 4	55	4	+ 14	− 14	39	14
180 — 250	0	− 30	+ 35	+ 4	65	4	+ 16	− 16	46	16

Таблица 4

Номинальный диаметр вала, мм	Отклонение наружного диаметра подшипника, мкм		Посадка III				Посадка IV			
			Предельное отклонение диаметра отверстия, мкм		Наибольшая разница в диаметрах отверстия и подшипника, мкм		Предельное отклонение диаметра отверстия, мкм		Наибольшая разница в диаметрах отверстия и подшипника, мкм	
	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	натяг	зазор	верхнее	нижнее	натяг	зазор
80 — 120	0	−15	+ 23	− 12	12	38	+ 35	0	0	50
120 — 150	0	− 18	+ 27	− 14	14	45	+ 40	0	0	58
150 — 180	0	− 25	+ 27	− 14	14	52	+ 40	0	0	65
180 — 250	0	− 30	+ 30	− 16	16	60	+ 45	0	0	75

шие меньший натяг посадку III на вал и посадку IV в капсуле (табл. 4) или в корпусе (торцевом щите). В отдельных случаях используют посадку III на вал и посадку IV в торцевом щите при частоте вращения электродвигателя 1500 мин^{-1} и ниже.

Сборка подшипниковых узлов. Перед установкой на вал подшипник нагревают до температуры 100°C в масле. Бак для масла изготавливают из листовой стали толщиной 2 — 3 мм. На высоте 50 — 70 мм от дна бака устанавливают решетку, на которую укладывают подшипники. Для подвески подшипников в баке также могут быть использованы крючки. Подшипники укладывать на дно бака не рекомендуется, так как в них может попасть осевшая на дно грязь. При применении для нагрева масла горелок, температура дна

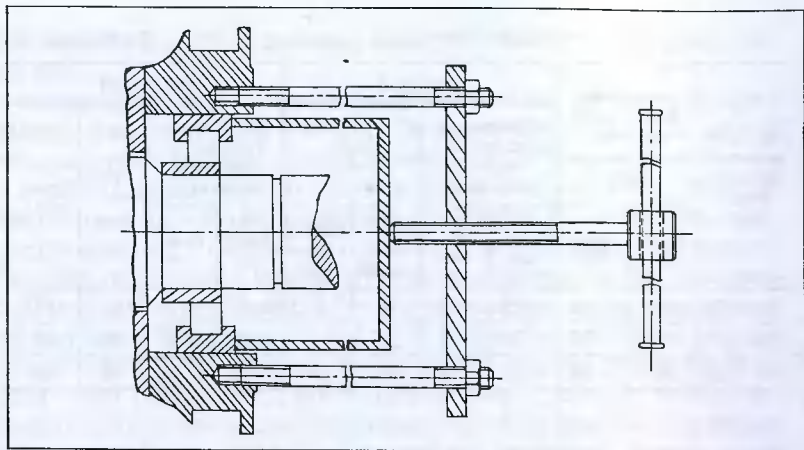


Рис. 52. Приспособление для установки наружного кольца роликоподшипника типа 32000

бака будет значительно выше температуры масла, что может привести к недопустимым температурным перепадам и перегреву подшипника. В процессе нагрева должен быть обеспечен температурный контроль. Для установки на вал подшипник нагревают до температуры не выше 100°C . У разборных подшипников нагревают только внутреннее кольцо. Наружное кольцо устанавливают только после полного остывания внутреннего.

На рис. 52 показана конструкция одного из возможных приспособлений для установки наружного кольца роликоподшипника типа 32000. При замене подшипников для их нагрева находят применение ванны с электродвигателями. В этом случае нагрев ванны осуществляется с помощью проволочных спиралей из нихрома или трубчатых нагревателей. Для предотвращения перегрева применяют автоматическое регулирование температуры масла в заданном температурном интервале.

Подшипник нагревают также с помощью специального трансформатора с разъемным магнитопроводом. В качестве вторичной обмотки трансформатора используют кольца подшипника, установленные на сердечник. При посадке подшипников в капсулу или корпус со значительным натягом рекомендуется нагревать капсулу или корпус.

В зависимости от конструкции закрепления колец подшипников от осевого смещения на посадочном месте устанавливают пружин-

ное стопорное кольцо в разведенном состоянии в кольцевые канавки на валу. Торцевые шайбы закрепляют к торцу вала болтами. Упорные гайки после завинчивания предохраняют от самоотвинчивания стопорной шайбой.

У электродвигателей вертикального исполнения с радиально-упорными подшипниками и у электродвигателей, конструкция крепления корпусов подшипников которых не обеспечивает самоустановку нагруженного кольца, необходимо проверить точность его установки (рис. 53). Для этого с помощью хомута устанавливают на валу индикатор часового типа так, чтобы его измерительный стержень упирался в торцевую поверхность наружного кольца подшипника. Вместо рабочей устанавливают технологическую крышку. Проворачивая ротор, измеряют осевое биение наружного кольца относительно оси вала. Допустимая величина последнего зависит от габаритов и типа подшипника и должна лежать в пределах 0,03 — 0,08 мм. Ориентировочные значения допускаемых углов перекоса для подшипников различного типа следующие:

радиальных шариковых однорядных с нормальным радиальным зазором	8'
радиальных шариковых двухрядных сферических	4°
радиальных однорядных с короткими цилиндрическими роликами:	
нормальных серий 1, 2, 3 и 4	4'
широких серий 5 и 6	2'
радиальных роликовых двухрядных сферических	2°
радиально-упорных однорядных конических	2'
упорных роликовых сферических	3°

После проверки и доведения осевого биения наружного кольца подшипника до необходимых пределов снимают технологическую крышку и устанавливают рабочую.

После окончания установки подшипника подшипниковый узел заполняют смазкой в соответствии с рекомендациями завода-изго-

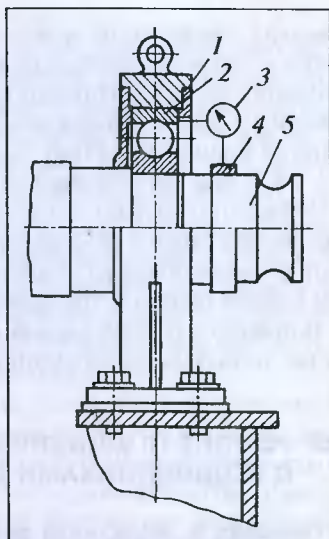


Рис. 53. Проверка осевого биения наружного кольца шарикоподшипника:

1 — технологическая крышка; 2 — наружное кольцо; 3 — индикатор часового типа; 4 — хомут; 5 — вал ротора

товителя (промежуток между шариками и роликами, крышку и канавки уплотнений в крышке подшипников). При отсутствии рекомендаций завода-изготовителя необходимо руководствоваться следующим. Смазка должна заполнять не более $2/3$ свободного объема капсулы подшипника при частоте вращения 750 мин^{-1} и менее и $1/3 - 1/2$ при частоте вращения от 1000 до 3000 мин^{-1} , т.е. большим частотам должно соответствовать меньшее количество смазки. Смешивать смазки разных марок не рекомендуется, так как полученная смесь обладает худшими эксплуатационными свойствами, чем каждая смазка в отдельности.

В процессе сборки нельзя оставлять подшипник на длительное время открытым во избежание попадания в него пыли.

6.5. РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ С ПОДШИПНИКАМИ СКОЛЬЖЕНИЯ

Проверка и дефектация подшипниковых узлов. После разборки подшипникового узла, последовательность которой зависит от конструктивного исполнения, детали промывают в керосине и протирают. Осмотр и оценку состояния вкладыша и деталей корпуса подшипника выполняют в следующем объеме. Проверяют отсутствие следов наклепа на опорных поверхностях вкладыша и расточки корпуса подшипника под вкладыш. Следы наклепа удаляют, с помощью краски проверяют плоскости прилегания вкладыша и расточки в корпусе и устанавливают натяг в соответствии с требованиями технической документации завода-изготовителя.

Проверяют расположение следа работы шейки вала на баббите вкладыша. След работы шейки вала должен располагаться на нижней половине равномерно по всей длине вкладыша. В поперечном сечении след должен располагаться на дуге до 60° . Если след работы шейки вала располагается на дуге несколько более 60° , то при удовлетворительной работе подшипника нет необходимости уменьшать дугу контакта. Если след дуги значительно больше 60° и подшипник работает неудовлетворительно, то дугу контакта доводят до 60° путем шабрения заливки за счет развития вглубь бокового зазора.

При удовлетворительном контакте для удаления шероховатости зачищают поверхность баббита вкладыша, на которой работает вал. Неправильный контакт по длине вкладыша устраняют подгонкой вкладыша к шейке. Баббитовую заливку вкладыша проверяют на отсутствие трещин, отставания баббита и других дефектов заливки. Проверка на отставание баббита производится в следующей после-

довательности. Места соединения баббита со сталью зачищают шабером и вкладыш устанавливают в положение, удобное для проверки. Верхнюю и нижнюю половины вкладыша укладывают разъемом вверх, смачивают керосином по разьему в стыке баббита с телом вкладыша и выдерживают 10 — 15 мин. Вкладыш протирают салфетками, и легкими ударами деревянной киянкой массой 0,5 кг обстукивают наружную поверхность вкладыша. В местах отставания баббита появляются керосин и воздушные пузырьки, вкладыш поочередно устанавливают на оба торца и проверяют остальные места. Проверку на отставание баббита можно производить также обстукиванием киянкой с проверкой на звук. В дефектных местах будет слышен неравномерный дребезжащий звук.

Для повышения достоверности проверки вкладыша керосиновой пробой целесообразно после смачивания керосином и протирки салфетками на сухую плоскость, на которую выходит линия стыка баббита со сталью, нанести тонкий слой меловой обмазки. В местах, где отсутствует сцепление, на белой поверхности высыхающего мела появляются тонкие темные полосы керосина.

При отставании заливки от корпуса вкладыша на значительной площади, наличии трещин в заливке или значительного подплавления вкладыш подшипника перезаливают. При незначительных повреждениях, исключая трещины, допускается исправление заливки путем наплавки дефектных мест при условии, что повреждения носят местный характер и пораженная поверхность не превышает 10 % площади заливки половины вкладыша.

При осмотре вкладыша обращают внимание на его торцы. Торцы вкладыша изнашиваются раньше, чем рабочая поверхность, если радиус галтели вала больше радиуса закругления вкладыша. Торцевая выработка вкладыша может образоваться из-за недостаточного осевого разбега ротора, несимметрии осевого положения ротора в статоре электродвигателя, значительного уклона вала ротора, возникновения осевых усилий, передаваемых через полумуфту и др. Торцевые выработки способствуют повышенному нагреву, а иногда и выплавлению баббита. В период ремонта необходимо определить и устранить причину торцевой выработки.

Ремонт подшипниковых узлов электродвигателей горизонтального исполнения. После проверки и, при необходимости, шабровки разъемов измеряют зазоры между верхней половиной вкладыша подшипника и шейкой вала ротора, а также боковые зазоры (рис. 54). Зазоры между верхней половиной вкладыша и валом, а также боковые зазоры должны соответствовать требованиям технической документации завода-изготовителя, а при их отсутствии —

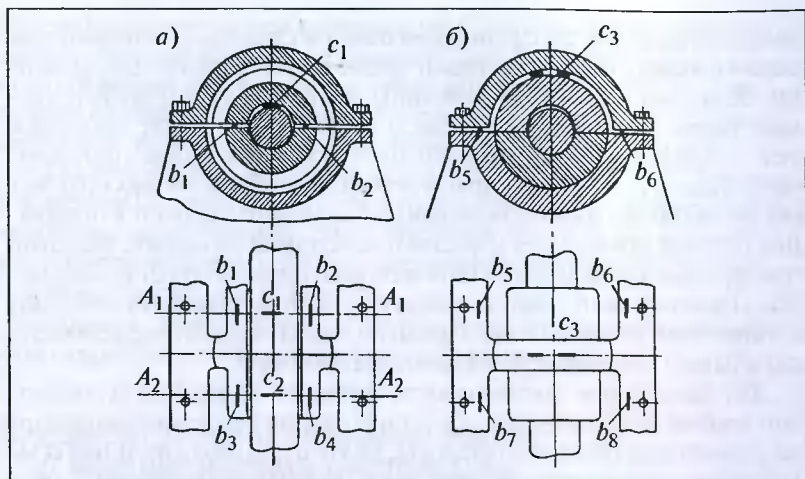


Рис. 54. Измерение зазоров и натягов:

a — между шейкой вала и вкладышем; *б* — между крышкой подшипника и верхней половиной вкладыша

“Объему и нормам испытания электрооборудования” (табл. 5). Боковые зазоры должны составлять половину верхнего зазора на одну сторону.

Зазор измеряют с помощью свинцовой проволоки диаметром 1 мм, длиной 40 — 50 мм. Кусочки проволоки укладывают на плоскости разъемов нижней половины вкладыша с обеих сторон, а также на вал. Установив верхнюю половину вкладыша и крышку подшипника, затягивают болты, в результате чего проволоочки сплющиваются. По их толщине, измеренной микрометром, определяют

Таблица 5

Номинальный диаметр, мм	Зазор, мм, при частоте вращения, мин ⁻¹		
	до 1000	от 1000 до 1500 (включительно)	свыше 1500
81 — 120	0,08 — 0,16	0,12 — 0,235	0,23 — 0,46
121 — 180	0,10 — 0,195	0,15 — 0,285	0,26 — 0,53
181 — 260	0,12 — 0,225	0,18 — 0,3	0,3 — 0,6
261 — 360	0,14 — 0,25	0,21 — 0,38	0,34 — 0,68
361 — 600	0,17 — 0,305	0,25 — 0,44	0,38 — 0,76

верхний зазор между шейкой вала и верхней половиной вкладыша. Эти зазоры a_1 и a_2 в поперечной плоскости A_1A_1 и A_2A_2 будут соответственно равны:

$$a_1 = c_1 - \frac{b_1 + b_2}{2}; \quad a_2 = c_2 - \frac{b_3 + b_4}{2},$$

где c_1, c_2, b_1, b_2, b_3 и b_4 — толщины соответствующих проволочек.

Боковые зазоры измеряют пластинчатым щупом, при этом ротор должен находиться в подшипниках. Если верхний зазор окажется больше допустимого, то его уменьшают путем удаления металла с разьема вкладыша или перезаливкой вкладыша. Если верхний зазор необходимо увеличить, то рабочую баббитовую поверхность верхней половины вкладыша пришабривают, обеспечивая необходимый зазор.

Боковые зазоры при необходимости увеличивают шабрением. Для уменьшения боковых зазоров вкладыш необходимо наплавить или перезалить. Если при осмотре поверхности вкладыша и шаровой поверхности обнаружены дефекты, то после промывки и протирки вкладыша и расточки в корпусе поврежденные места зачищают для удаления следов наклепа. На шаровую поверхность вкладыша наносят тонкий слой краски и собирают подшипник. Во вкладыш устанавливают бобышку с диаметром, равным размеру внутренней расточки вкладыша с рычагом длиной 0,8 — 1,0 м. Вкладыш проворачивают с помощью рычага и проверяют наличие отпечатков краски на крышке. Если вкладыш не зажат и следы краски на крышке отсутствуют, то проверяют зазор между вкладышем и крышкой при помощи свинцовых оттисков (рис. 54, б). Он может быть определен при помощи таких же отрезков свинцовой проволоки, укладываемых между крышкой подшипника и верхней половиной вкладыша и в плоскости разьема между верхней крышкой подшипника и корпусом подшипника. Зазор между крышкой подшипника и вкладышем будет равен:

$$a_3 = c_3 - \frac{b_5 + b_6 + b_7 + b_8}{4},$$

где c_3, b_5, b_6, b_7, b_8 — толщины соответствующих сплюснутых проволочек.

После замеров при необходимости шабруют разъем крышки до получения необходимого натяга. Сначала шабруют разъем крышки по плите. Затем подгоняют разъем крышки к корпусу по краске,

проверяя натяг. Исправление считается законченным, если получен необходимый натяг.

Если вкладыш сильно зажат крышкой подшипника, то в разъем крышки устанавливают прокладку для обеспечения плавного поворота вкладыша. Вкладыш проворачивают на 5 — 10 мм, подшипник разбирают и вынимают вкладыш. Расточку корпуса шабруют по отметкам краски, добиваясь равномерного распределения краски по шаровой поверхности расточки корпуса. Шаровую поверхность вкладыша шабрить запрещается.

Допускается отсутствие прилегания вкладыша к расточке на глубину от разреза до 0,1 и 0,15 длины окружности соответственно для нижней и верхней половин вкладыша при условии полного прилегания остальной опорной поверхности. Проверяют натяг крышки подшипника и при допустимом натяге вкладыша корпус промывают керосином и смазывают турбинным маслом.

В процессе ремонта выполняют ревизию смазочных колец с измерением эллипсности, которая должна быть не более 0,05 мм. Обнаруженные забоины и царапины удаляют зачисткой и рихтовкой.

Проверяют кольца на нарушение концентричности в местах разреза. Неконцентричность допускается не более 0,05 мм. Проверяют надежность соединения половин колец. Для предотвращения самопроизвольного вывинчивания соединительных винтов их закернивают. Внешним осмотром проверяют отсутствие трещин, забоин и вмятин в лабораторных уплотнениях. Обнаруженные дефекты устраняют. При невозможности устранения обнаруженного дефекта устанавливают новые уплотнения с подготовкой по месту.

Измеряют диаметры расточки уплотнения. Профиль канавок восстанавливают “продоразиванием” зубцов фасонным шабером. При значительном износе усиков, выходящем за пределы допуска, лабиринтное уплотнение заменяют. Проверяют плотность прилегания половин уплотнения между собой и их прилегание к корпусу подшипника. Обнаруженные дефекты устраняют шабровкой поверхностей.

Отсутствие течей масляной камеры подшипника контролируют путем заливки керосина. Обнаруженные течи устраняют.

Согласно “Объема и норм испытания электрооборудования”, измерение сопротивления изоляции подшипников электродвигателей напряжением 3 кВ и выше, подшипники которых имеют изоляцию относительно корпуса, производится мегаомметром 1000 В (сопротивление изоляции не нормируется). Согласно рекомендаций заводов-изготовителей, сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм.

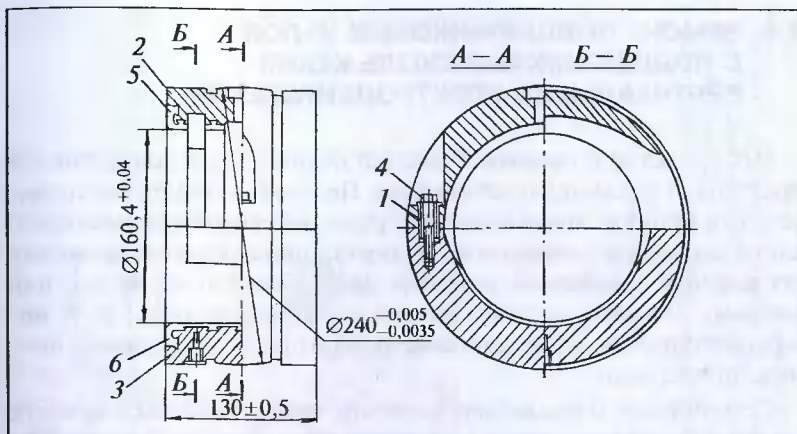


Рис. 55. Вкладыш подшипника электродвигателя 4АЗМ-5000/6000УХЛ4:

1 — втулка; 2 — верхняя половина вкладыша; 3 — нижняя половина вкладыша; 4 — болт М10 × 45; 5 — баббит Б-16; 6 — баббит Б-83

Замена вкладыша резервным. Отбракованный вкладыш для сокращения срока ремонта электродвигателя заменяют резервным, который промывают керосином, осматривают и выполняют необходимые измерения. Проверяют отсутствие дефектов и повреждений во вкладыше, а также соответствие его размеров данным чертежа (рис. 55).

Проверяют прилегание нового вкладыша к поверхности расточки корпуса, при необходимости восстанавливая необходимый натяг. Проверяют зазор в аксиальном направлении между корпусом и вкладышем и совпадение отверстий для подвода масла во вкладыше и корпусе подшипника.

Верхнюю половину вкладыша устанавливают на нижнюю и проверяют прилегание разъемов вкладыша, а также совпадение расточек обеих половин. Проверяют правильность положения стопорного пальца в гнезде вкладыша. Проверяют расточку вкладыша путем наложения последнего на шейку вала. Если припуск на подгонку более 0,2 — 0,3 мм на диаметр, вкладыш необходимо расточить на токарном станке.

Проверяют верхний и боковые зазоры во вкладыше и натяг крышки подшипника. Полученные значения зазоров и натягов заносят в формуляр.

6.6. РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ С ПОДШИПНИКАМИ СКОЛЬЖЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

После чистки и промывки деталей подпятника и подшипников приступают к осмотру и дефектации. Проверяют отсутствие значительных натиров, геометрические размеры скосов для масляного клина сегментов направляющего подшипника. При обнаружении отклонений и дефектов сегменты пришабривают по втулке или шаблону. Площадь касания должна составлять не менее 80 % поверхности трения. Проверку сегментов по втулке выполняют с применением краски.

Осматривают и проверяют сегменты подпятника. При осмотре опорных винтов подпятника обращают внимание на сферическую поверхность опорного винта и состояние резьбы. При невозможности восстановления сферической поверхности и резьбы дефектные винты подпятника заменяют. При осмотре медных прокладок проверяют отсутствие вмятин, трещин и изломов. В случае обнаружения таких дефектов прокладки заменяют. Втулку подпятника проверяют на отсутствие забоин и рисок на рабочих поверхностях, верхнем и нижнем торце. Осматривают и проверяют поверхность вращающегося диска. Обнаруженные дефекты устраняют. Забоины и риски зачищают наждачной бумагой, смоченной турбинным маслом, и шлифуют пастой ГОИ. При значительных повреждениях необходима проточка диска на станке.

Измеряют сопротивление изоляции сегментов направляющего подшипника и втулках подпятника, которое должно быть не менее 0,3 МОм. При снижении сопротивления изоляции определяют и устраняют причину путем разборки узла, промывки бензином или замены дефектных электроизоляционных деталей.

После окончания ремонта подпятника и подшипников приступают к сборке, которую рассмотрим на примере электродвигателя ВАЗ 215/109-6АМО5 (рис. 56). Перед сборкой промывают внутренние поверхности масляных ванн, крестовин и маслобака, посадочные поверхности разъемов, поверхности трения вала, втулок, подшипников и уплотнений. Перед поворотом ротора валоповоротным устройством баббитовые поверхности сегментов подпятника и направляющих подшипников смазывают тонким слоем несоленого топленого говяжьего или свиного сала. После заводки ротора в статор устанавливают маслоотражательное кольцо ротора, закрепив

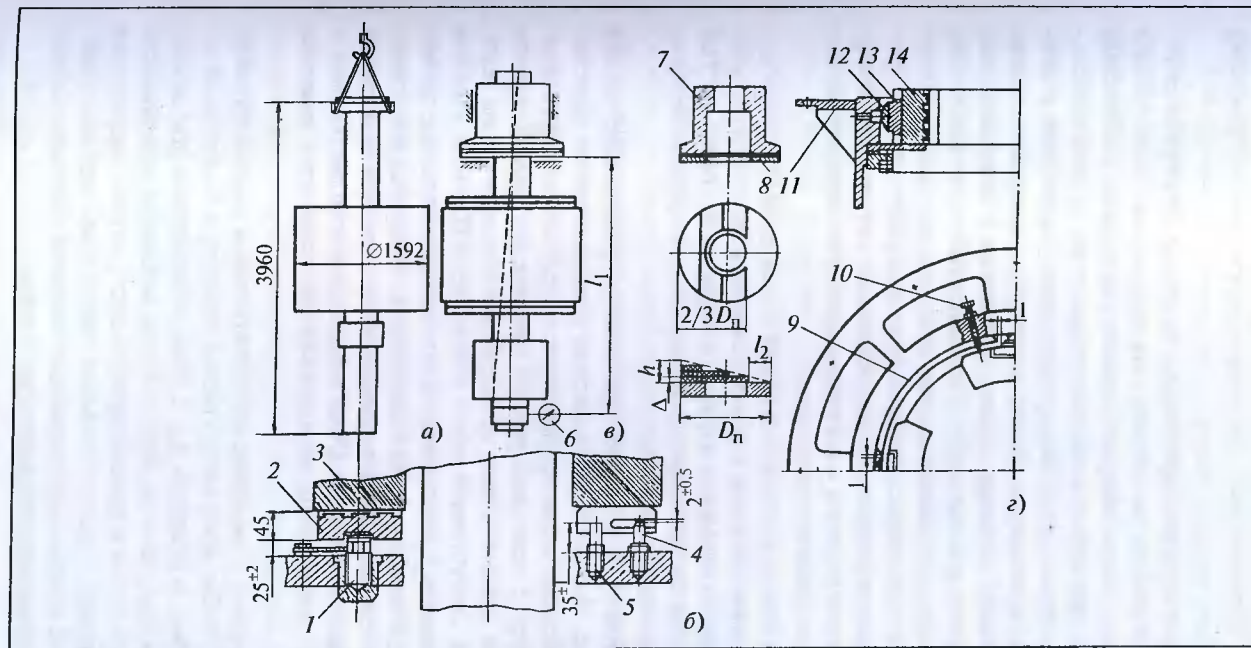


Рис. 56. Сборка электродвигателя ВА3 215/109-6АМ05:

а — строповка ротора для ввода в статор; *б* — установка болтов подпятника; *в* — устранение неперпендикулярности вращающегося диска к оси вала с помощью клиновых прокладок; *г* — сборка верхнего направляющего подшипника; 1 — опорный винт; 2 — сегмент подпятника; 3 — вращающийся диск; 4 — ограничительный винт; 5 — упорный винт; 6 — индикатор; 7 — втулка подпятника; 8 — клиновая прокладка; 9 — тангенциальный упор; 10 — отжимной болт; 11 — направляющее гнездо подшипника; 12 — сухарь; 13 — колонка сухаря; 14 — сегмент подшипника

его запорными полукольцами, наклеив уплотнительную прокладку под кольцо.

Устанавливают верхнюю крестовину на статор. Центруют ее относительно вала ротора по заточке под радиальное уплотнение с точностью 0,2 мм. Затем собирают верхнее радиальное уплотнение. При его сборке проверяют свободное перемещение уплотнительного кольца относительно обоймы уплотнения. Закрепляют уплотнение в расточке крестовины. Контролируют равномерность зазора между уплотнением и валом. Далее, установив в опорный диск опорные винты подпятника на 2 — 3 мм ниже рабочего положения, вворачивают ограничительные винты, не заводя выступы Т-образных головок винтов в пазы сегментов. Устанавливают медные прокладки в сегменты подпятника и устанавливают сегменты на опорные винты. Наносят тонкий слой ртутной мази на посадочные поверхности втулки подпятника и вала.

Напрессовав втулку подпятника на вал с помощью приспособления, устанавливают запорное кольцо, которое должно плотно войти в заточку вала. Зазор между втулкой и кольцом недопустим. Перед посадкой допускается нагревать втулку до температуры не выше 100 °С индукционным способом.

Затем, установив на верхнюю крестовину приспособление для монтажа ротора, фиксируют положение ротора винтами приспособления. Проверяют и при необходимости регулируют вертикальность вала ротора с помощью винтов приспособления. Контроль вертикальности осуществляют уровнем, установленным на верхнем конце вала. Допустимый уклон составляет 0,02 мм/м. Прижав сегменты подшипника к поверхности вращающегося диска, проводят равномерную подбивку опорных винтов, добиваясь равномерного прижатия всех сегментов к вращающемуся диску и не нарушая при этом вертикальность вала. Ослабляют винты приспособления и убеждаются в сохранении вертикальности вала при помощи уровня.

Затем регулируют положение ограничительных винтов на опорном диске так, чтобы зазор между пазом сегмента и Т-образной головкой винта был в пределах 2 — 2,5 мм, обеспечивая тем самым игру сегментов при работе и, вместе с тем, исключая возможность прилипания сегментов к вращающемуся диску втулки подпятника при подъеме ротора. Ограничительные винты снабжают контргайками, а опорные винты — стопорными планками. В сегменты подпятника устанавливают термопреобразователи.

Для проверки перпендикулярности зеркала подпятника к оси вала устанавливают ротор в геометрическую ось приспособления для монтажа ротора с помощью винтов, перемещая его по подпятнику. Фиксируют положение ротора винтами.

Проверяют биение нижнего конца вала ротора и, при необходимости, регулируют перпендикулярность вала относительно зеркала втулки подпятника. Проверку биения выполняют с помощью приспособления для монтажа и проворота ротора. Устанавливают приспособление для проворота ротора и индикатор на нижний конец вала. Проворачивают ротор и записывают показания индикатора через каждые 45° . Радиальное биение определяют как максимальную алгебраическую разность двух показаний индикаторов в диаметрально противоположных точках, которая не должна превышать 0,06 мм. Если это значение неперпендикулярности зеркала подпятника к оси вала превышает допустимое, необходимо установить латунную прокладку между втулкой подпятника и вращающимся диском или дополнительные клиновые прокладки.

Дополнительные прокладки изготавливают из медной, латунной фольги или тонкой калиброванной жести. Высоту клиновой шабровки или толщину клиновой прокладки определяют по формуле:

$$h = \frac{D_n b_{\max}}{2l_1},$$

где D_n — диаметр вращающегося диска, м; b_{\max} — максимальное биение конца вала, мм; l_1 — расстояние от контрольного пояса до зеркальной поверхности вращающегося диска, м.

Изготовив прокладку на глубину не менее $2/3$ диаметра диска для обеспечения равномерной опоры втулки подпятника на вращающийся диск, определяют точную глубину установки прокладки l_2 по формуле:

$$l_2 = \frac{\Delta D_n}{h},$$

где Δ — толщина материала прокладки, мм.

Сборка направляющего подшипника начинается с установки в верхнюю крестовину гнезда направляющего подшипника со смон-

тированным на нем торцевым уплотнением. Проверяют отсутствие зазора между торцом уплотнения и втулкой подпятника.

Далее устанавливают на гнездо нижней крестовины нижнюю крышку с уложенным в нее изоляционным кольцом. При сборке нижнего радиального уплотнения необходимо убедиться в возможности перемещения уплотняющего кольца относительно обоймы уплотнения. Контролируя равномерность зазора между валом и уплотнением, устанавливают снизу уплотнение на крышку гнезда направляющего подшипника. Согласно маркировке, устанавливают в крестовины сегменты верхнего и нижнего направляющих подшипников. Прижав сегменты подшипников к втулкам с помощью отжимных болтов, измеряют щупом зазоры между сферической головкой сухаря и гнездом направляющего подшипника. Диаметральный зазор должен быть равен $0,2 - 0,3$ мм. Далее, выставив равномерно зазоры между сухарями сегментов и гнездами, прижимают к валу сегменты верхнего и нижнего направляющих подшипников с помощью отжимных болтов. Измеряют воздушный зазор в четырех точках между сердечниками статора и ротора сверху и снизу электродвигателя.

Зазоры в направляющих подшипниках регулируют медной фольгой, устанавливаемой в заточке колодки сухаря, или шлифовкой сопрягаемой с колодкой поверхности сухаря. После окончания регулировки зазоров в направляющих подшипниках выворачивают отжимные болты на 2 — 3 оборота, устанавливают гайки.

Устанавливают термопреобразователи в сегменты направляющих подшипников, а также крышку поддона верхней крестовины, верхнюю и нижнюю крышку нижней крестовины и нижнее силиконовое уплотнение, осуществляя контроль равномерности зазора между валом и уплотнением. Для проверки маслоплотности сварных швов и разъемных соединений крестовин устанавливают заглушки на трубы дренажа и слива верхней и нижней крестовин. Затем в камеры слива крестовин заливают 25 литров керосина (до $1/2$ их высоты) и проверяют отсутствие течей в течение 3 часов. Для измерения расхода масла через радиальное уплотнение вала в верхней и нижней крестовинах используют нагретое до 50°C турбинное масло марки Т22 или Тп-22. В камеру верхней крестовины заливают ориентировочно 35 л, в нижнюю — 15 л. Снимают заглушки с труб дренажа верхней и нижней крестовин и определяют расход масла через уплотнения крестовин, измеряя его в трубках дренажа верхней и нижней крестовин. Предельно допустимый расход масла че-

рез каждое уплотнение составляет 2 л/мин. Повышенный расход масла может быть вследствие увеличенных зазоров между валом и уплотнением или при недостаточно обжатых резиновых кольцах.

Сборку и регулировку системы маслопровода начинают с установки маслобака на верхнюю крестовину. Сначала внутренние поверхности маслобака очищают уайт-спиритом и устанавливают заглушки. Резиновые прокладки на фланцах присоединяют на клею. Электродвигатель устанавливают на подставку насоса и собирают схему масло- и водоснабжения.

При установленном полном расходе масла через подшипники приступают к регулировке расхода масла на электродвигатель.

При температуре входящего масла 40 °С давление в маслобаке электродвигателя должно быть не менее 0,6 кгс/см² ($0,6 \cdot 10^5$ Па), а при температуре масла 20 °С и максимально допустимом давлении масла на входе в насос, давление в маслобаке должно быть не более 1,1 кгс/см² ($1,1 \cdot 10^5$ Па). При необходимости регулировку расхода выполняют дроссельной шайбой, установленной на напорном патрубке перед маслобаком. При необходимости регулировку масла между верхним и нижним подшипниковыми узлами выполняют дроссельными шайбами, установленными на патрубках подачи в верхнюю и нижнюю крестовины.

При полном расходе масла на электродвигатель, при максимальной температуре входящего масла и максимальном давлении на напоре проверяют отсутствие течи в сварных швах и стыковых соединениях масляных ванн, крестовин и в системе патрубков в течение 24 часов.

6.7. ЖИДКИЕ МАСЛА И КОНСИСТЕНТНЫЕ СМАЗКИ ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ

Для смазки подшипников качения и скольжения обычно применяются смазки, рекомендованные заводом-изготовителем: жидкие масла и консистентные смазки. Основное назначение смазки — уменьшить степень износа и снижение потерь на трение скольжения или качения. Подбор смазки влияет на износ, надежность и долговечность подшипниковых узлов. Смазка охлаждает тело качения, снижает шум, защищает от коррозии. Пластичная смазка также герметизирует подшипниковый узел.

Жидкие масла малой вязкости более стабильны при эксплуатации и могут быть полностью заменены без разборки подшипнико-

вого узла, однако их применение требует более сложных уплотняющих устройств. Консистентные смазки обладают большей вязкостью, что позволяет применять простые уплотнения. Недостатком консистентных смазок является большая зависимость их вязкости от температуры и способность густеть в процессе эксплуатации, что приводит к ухудшению их смазывающих характеристик.

Минеральные масла и пластичные смазки изготавливают из нефтяного сырья. Минеральные масла классифицируются по областям применения: моторные, промышленные, турбинные и др. В подшипниковых узлах электродвигателей находят применение следующие турбинные масла: Турбинное Т22, Т30, Т46, Т57, Тп-22, Тп-30 и Тп-46.

Физико-химические свойства масел определяются вязкостью, температурой вспышки, отсутствием механических примесей, воды, их коксуемостью, зольностью и др.

Вязкость масла определяет меру его текучести. Чем больше вязкость масла, тем меньше его текучесть. Поэтому для каждого электродвигателя завод-изготовитель рекомендует масло определенной вязкости. Недостаточная вязкость масла приводит к повышенному трению, нагреву и ускоренному износу баббита. Большая вязкость приводит к увеличению потерь мощности на трение и, соответственно, к снижению КПД электродвигателя.

Пластичная смазка состоит из жидкого масла, загустителя и присадок, улучшающих их стабильность, водостойкость и другие характеристики. В зависимости от применяемого загустителя пластичные смазки делятся на кальциевые, натриевые, натриево-кальциевые и литиевые. В электродвигателях находят применение следующие консистентные смазки: 1 — 13 жировая, консталин-1, консталин-2, ВНИИНП-242, ЦИАТИМ-201, ЦИАТИМ-202, ЦИАТИМ-221, ЛЗ-31, Литол-24, ЛДС-1, ЛДС-2 и др.

Температура, при которой происходит падение первой капли смазки, нагреваемой в капсуле специального прибора при определенных условиях, называется температурой каплепадения. Для кальциевых, натриевых и углеводородных смазок по температуре каплепадения можно ориентировочно судить о верхней температурной границе применения смазки. Для этих смазок можно принять, что смазка не будет расплавляться и вытекать из подшипникового узла, если ее температура будет на 15 — 20 °С ниже температуры каплепадения.

Предел прочности характеризует минимальное усилие, при приложении которого смазка меняет форму, сдвигается один слой смазки относительно другого и нарушается коллоидная структура. Смазки, которые имеют малый предел прочности, сбрасываются с повышением температуры, предел прочности смазки понижается. Вязкость смазки определяет уровень потерь на трение в подшипниках качения.

Пенетриция — показатель степени консистенции смазки и чем выше показатель, тем мягче смазка. При работе электродвигателя происходит нагрев подшипниковых узлов, вследствие чего смазка частично уплотняется. В результате термоупрочнения у смазки повышается предел прочности, и она перестает поступать к рабочим поверхностям, что приводит к быстрому выходу из строя трущихся поверхностей.

Список литературы

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. РД 34.20.501-95. — М.: СПО ОРГРЭС, 1996.
2. Правила организации технического обслуживания и ремонт оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей. РДПр 34-38-030-92. — М.: СПО ОРГРЭС, 1994.
3. Объем и нормы испытания электрооборудования. — М.: НЦ ЭНАС, 1998.
4. Котеленец Н. Ф., Кузнецов Н. Л. Испытания и надежность электрических машин. — М.: Высшая школа, 1988.
5. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. — М.: Наука, 1965.
6. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. — М.: Высшая школа, 1979.
7. Бергер А. Я. Вопросы экономики при проектировании электрических машин. — М.: Высшая школа, 1967.
8. Стародубцев В. В. Об оценке старения электрической изоляции. — В кн.: Вопросы надежности, автоматического контроля и защиты мощных синхронных генераторов. — Л., 1978.
9. Козырев Н. А. Изоляция электрических машин и методы ее испытания. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962.
10. Белова Л. А., Мамиконянц Л. Г., Тутубалин В. Н. Типовые кривые вероятности аварийных пробоев изоляции обмоток статоров генераторов // Электричество, 1979. № 5. С. 54 — 58.
11. Долина В. И., Аббасова Э. М., Иноземцев Е. К. Экспериментальное определение характеристик двигателя насоса блока 300 МВт // Электрические станции, 1983. № 11. С. 40 — 45.
12. Ярошеня Е. И., Пак В. М., Окнин Н. С., Погодина Ж. П. Разработка и исследование терморезистивной системы изоляции высоковольтных электрических машин // Электротехника, 1997. № 12. С. 40 — 45.
13. Шульга П. Г. Об опыте эксплуатации электродвигателей ДАЗО // Энергетик, 2000. № 7. С. 33.
14. Козырев Б. И., Мушегьянц Х. А. Восстановление обмотки статора электродвигателя питательного насоса // Электрические станции, 1998. № 3. С. 54 — 56.
15. Григорьев Ю. Д., Марков В. Е. О применении металлопластмассовых сегментов для упорных подшипниковых узлов крупных вертикальных электродвигателей // Электротехника, 1997. № 6. С. 29 — 31.
16. Кирейцев В. В., Климовицкий В. Д., Смывнина Н. В., Черенцов Б. В. О работе мощных асинхронных турбодвигателей с неполным числом катушек обмотки статора // Электрические станции, 1988. № 10. С. 88.
17. Мелешенко В. Н., Пак В. М. Опыт применения обмоточного провода слюдосодержащей изоляцией // Электротехника, 1999. № 3. С. 56 — 58.
18. Опыт эксплуатации подшипников со слоем нового антифрикционного материала / Н. М. Первушина, А. Е. Языков, Т. Н. Куликовская и др. // Энергетик, 1999. № 3. С. 23 — 24.
19. Беспалов В. Я., Попов В. В. Послеаварийное восстановление магнитопроводов синхронных генераторов // Электротехника, 1999. № 12. С. 17 — 21.
20. А.с. 799081 СССР. Устройство для подвода и отвода охлаждающей жидкости / Е. К. Иноземцев // Открытия. Изобретения, 1981. № 3.

Содержание

Часть 2

Предисловие	107
Глава пятая. Ремонт статоров электродвигателей	108
5.1. Разборочно-сборочные работы при ремонте электродвигателей	108
5.2. Ремонт активной стали статора	116
5.3. Ремонт обмотки статора	123
5.4. Перемотка обмотки статора	133
5.5. Усиление крепления лобовых и пазовых частей обмотки статора	139
5.6. Переизолировка катушек и стержней обмотки статора	145
5.7. Повышение надежности и улучшение техничко-экономических показателей электродвигателей после замены пазовых клиньев обмотки статора магнитными	150
5.8. Ремонт системы охлаждения	155
Глава шестая. Ремонт роторов и подшипниковых узлов электродвигателей	159
6.1. Ремонт роторов асинхронных электродвигателей	159
6.2. Ремонт роторов синхронных электродвигателей	162
6.3. Ремонт и повышение надежности роторов с непосредственным водяным охлаждением электродвигателей типа АВ-8000/6000УЗ	165
6.4. Ремонт подшипниковых узлов с подшипниками качения	170
6.5. Ремонт подшипниковых узлов с подшипниками скольжения	188
6.6. Ремонт подшипниковых узлов с подшипниками скольжения вертикальных электродвигателей	194
6.7. Жидкие масла и консистентные смазки для подшипников	199
Список литературы	202

Библиотечка электротехника

Приложение к производственно-массовому журналу "Энергетик"

ИНОЗЕМЦЕВ ЕВГЕНИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ

Ремонт высоковольтных электродвигателей электростанций (часть 2)

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

109280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23

Телефоны: (095) 275-19-06, тел. 275-00-23 доб. 22-47; факс: 234-74-21

Научный редактор **В. В. Овчинников**

Редакторы: **Л. Л. Жданова, Н. В. Оlyphанская**

Худож.-техн. редактор **Т. Ю. Андреева**

Корректор **З. Б. Драновская**

Сдано в набор 14.05.2001 г. Подписано в печать 14.06.2001 г.

Формат 60×84¹/₁₆. Печать офсетная.

Печ. л. 6,0. Тираж 1084 экз. Заказ БЭТ/06(30)-2001

Макет выполнен издательством "Фолиум": 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Отпечатано типографией издательства "Фолиум": 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Вниманию специалистов

В редакции журнала “Энергетик” можно приобрести следующие вышедшие в свет выпуски

“Библиотечки электротехника”:

Алексеев Б. А., Борозинец Б. В. **Определение местных перегревов в турбогенераторах по продуктам пиролиза в охлаждающем газе.**

Бажанов С. А. **Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств.**

Удрис А. П. **Панель релейной защиты типа ЭПЗ-1636 для ВЛ 110 – 220 кВ (часть 1 — устройство защиты, часть 2 — обслуживание защиты).**

Яковлев Л. В. **Вибрация на ВЛ и методы защиты проводов и грозозащитных тросов.**

Торопцев Н. Д. **Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором.**

Киреева Э. А. **Рациональное использование электроэнергии в системах промышленного электроснабжения.**

Антонов В. И., Лазарева Н. М., Пуляев В. И. **Методы обработки цифровых сигналов электроэнергетических систем.**

Конюхова Е. А. **Режимы напряжений и компенсации реактивной мощности в цеховых электрических сетях.**

Курбангалиев У. К. **Самозапуск двигателей собственных нужд электростанций.**

Овчинников В. В. **Автоматическое повторное включение.**

Кузнецов А. П., Лукоянов В. Ю. и др. **Современные испытательные устройства для релейной защиты и автоматики.**

Шабад М. А. **Защита генераторов малой и средней мощности.**

Иноземцев Е. К. **Ремонт высоковольтных электродвигателей электростанций (часть 1).**

Адрес редакции
журнала “Энергетик”:

109280, Москва, ул. Автозаводская, д. 14/23.

Телефон (095) 275-19-06

E-mail: pni@mail.magelan.ru

Об авторе



**Евгений Константинович
Иноземцев —**
*инженер, специалист
по ремонту турбогенераторов
и других электрических машин,
а также в области надежности
высоковольтных мощных
электродвигателей электростанций.
Руководил производственными
ремонтными участками на ряде
отечественных и зарубежных ТЭС.*

Е. К. Иноземцев — автор нескольких книг и внедренных изобретений, соавтор “Справочника по ремонту крупных электродвигателей” (1985 г.), автор многих статей, посвященных вопросам ремонта, надежности и модернизации турбогенераторов и других электрических машин. В настоящее время работает начальником участка по ремонту турбогенераторов и электрооборудования в ПРП Ростовэнерго.

Высокое качество ремонта
высоковольтных электродвигателей —
основа надежной эксплуатации
энергетических блоков электростанций