

С.Н. Павлович Б.И. Фираго

РЕМОНТ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для учащихся учреждений,
обеспечивающих получение
профессионально-технического образования
по электротехническим учебным специальностям .

4-е издание



Минск
«Вышэйшая школа»
2009

УДК 621.31(075.32)

ББК 31.29-5-08я722

П12

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» Белорусского государственного технологического университета *Е.В. Папок*; методическая комиссия Минского государственного профессионально-технического училища № 9 машиностроения

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

ISBN 978-985-06-1688-3

© Павлович С.Н., Фираго Б.И., 2001

© Павлович С.Н., Фираго Б.И.,
2005, с изменениями

© Издательство «Вышэйшая школа»,
2005

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электрическая энергия в силу своих преимуществ по сравнению другими видами энергии (легкость преобразования в механическую, тепловую и световую, простота передачи на большие расстояния, большая скорость распространения, приближающаяся к скорости света, и др.) эффективно используется на промышленных предприятиях. Поэтому в электроустановках таких предприятий (например, МАЗ, БелАЗ, БМЗ и др.) задействовано большое количество разнообразного электрооборудования, как низковольтного (напряжением 0,4 кВ), так и высоковольтного (напряжением 10 кВ и выше). Чтобы обеспечить нормальное и эффективное функционирование промышленных предприятий, необходимо не только правильно обслуживать электрооборудование во время эксплуатации, но и проводить своевременно ремонт.

Ремонт должен выполняться в сжатые сроки, качественно и с небольшими затратами, что возможно при высоком уровне организации ремонтных работ и наличии высококвалифицированных слесарей. Многолетняя практика функционирования электроремонтных цехов предприятий и электроремонтных заводов показывает, что более 70% поступающего в ремонт поврежденного электрооборудования составляют трансформаторы, электрические машины и коммутационные аппараты.

В учебном пособии описываются основные слесарные операции ремонта трансформаторов, электрических машин, коммутационных аппаратов и электрооборудования распределительных устройств а также рассматриваются вопросы организации, планирования электроремонтных работ и охраны труда. Современные технологии позволяют достигать максимального уровня качества, надежности (увеличение срока службы, наработки до отказа и др.) и энергосбережения, являющихся важнейшими факторами снижения потребления энергоресурсов, затрат и себестоимости выпускаемой продукции.

Главы 1, 3–6 данного учебного пособия написал С.Н. Павлович, главы 2 – Б.И. Фираго.

Для облегчения контроля усвоения изучаемого материала после каждой главы даются контрольные вопросы.

В конце книги помещен список основных сокращений.

Учебное пособие предназначено для учащихся профессионально-технических учебных заведений. Оно также может быть использовано рабочими при профессиональном обучении на предприятии, слесарями по ремонту электрооборудования, учащимися средних специальных учебных заведений.

Авторы

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

1.1. Виды и причины износа электрооборудования

В процессе работы электрооборудования происходит его постепенное изнашивание. Применительно к любым техническим объектам различают два вида износа: физический и моральный. Под *физическим износом* понимается изменение размеров, формы, массы технического объекта или состояния его поверхности вследствие остаточной деформации от постоянно действующих нагрузок либо из-за разрушения поверхностного слоя при трении. Применительно к электрооборудованию выделяют механический, электрический и моральный износы. Показатели надежности оборудования (срок службы до износа, интенсивность отказов и др.) зависят от физического износа. Поэтому во время периодических ремонтов наиболее изношенные детали и узлы заменяют новыми.

Механический износ электрооборудования происходит из-за длительных переменных или постоянных воздействий на его отдельные детали или сборочные узлы. В результате изменяется их первоначальная форма или ухудшаются качества, например на поверхности коллектора электрических машин постоянного тока образуются глубокие дорожки. Причиной быстрого механического износа коллектора может быть продолжительное воздействие на него щеток, прижатых с усилием, превышающим допустимое, или неправильный выбор вида щеток, например, более твердых, чем те, на которые рассчитан коллектор. В электрических машинах из-за трения механически изнашиваются, кроме коллектора, шейки валов, подшипники, контактные кольца роторов.

Электрический износ – это потеря электроизоляционными материалами электрооборудования изоляционных качеств. Например, электрически изнашиваются пазовая изоляция электрических машин, изоляция проводов обмоток и др. Электрический износ изоляции чаще всего является результатом длительной эксплуатации электрооборудования, воздействия на изоляцию

высоких температур или химически агрессивных веществ. Эти факторы приводят к быстрому «старению» изоляции (потере изоляционных свойств) и как следствие – к витковым замыканиям в обмотках и катушках, пробую изоляции и появлению потенциалов опасной величины на частях электрооборудования, обычно не находящихся под напряжением, т. е. к повреждениям, устранение которых требует капитального ремонта электрооборудования.

Моральный износ – это устаревание исправного электрооборудования, дальнейшая эксплуатация которого нецелесообразна из-за создания нового, технически более совершенного или более экономичного электрооборудования аналогичного назначения. Однако иногда эксплуатация морально изношенного электрооборудования может быть технически и экономически целесообразной, если при его капитальном ремонте осуществляется модернизация.

1.2. Системы плано-предупредительного ремонта

Ремонт электрооборудования на промышленных предприятиях проводится в соответствии с принятой в нашем государстве системой плано-предупредительного ремонта (ППР). Периодичность и объем ремонтов устанавливаются системой ППР в зависимости от режимов работы, технического состояния и условий эксплуатации электрооборудования. Таким образом, система ППР – это система организационных и технических мероприятий, выполнение которых обеспечивает продолжительную и безаварийную работу электрооборудования.

Существуют три основные системы организации ППР электрооборудования промышленных предприятий: централизованная, децентрализованная и смешанная.

При **централизованной системе** ремонт выполняют несколько ремонтных служб, специализированных по видам электрооборудования или работ. Эти службы подчинены главному энергетiku предприятия. Персонал, обслуживающий электрооборудование цеха или подстанции, выполняет только работы по надзору и мелкому текущему ремонту.

Децентрализованная система характеризуется отсутствием специализированных ремонтных служб. Все электроремонтные работы выполняет персонал электроремонтных мастерских или бригад, находящихся в административном подчинении соответствующего начальника, например начальника цеха.

Смешанная система характеризуется тем, что в структуре предприятия имеются как электроремонтные мастерские и бригады, выполняющие небольшие по объему и сложности ремонтные

работы, так и специализированные ремонтные службы, осуществляющие сложные и большие по объему работы.

В настоящее время для проведения технической диагностики (определения состояния оборудования и выявления неисправностей) и ремонта все более широко используются средства вычислительной и микропроцессорной техники (установки, стенды, устройства для диагностики и испытания электрооборудования), позволяющие сокращать сроки проведения ремонтов, уменьшать затраты на ремонт и повышать эффективность эксплуатации электрооборудования.

Одним из направлений повышения безопасности выполнения работ при диагностике воздушных линий электропередач высоковольтного напряжения (ВН) является применение приборно-программного комплекса (ППК), устанавливаемого на легких летательных аппаратах. Такие комплексы широко используются энергокомпаниями Америки, Австралии и ряда стран Западной Европы. Подобные комплексы целесообразно использовать и в энергосистеме Беларуси, например, при регулярных осмотрах воздушных ЛЭП (напряжением 35–330 кВ и протяженностью 1845 км) в Борисовских электросетях, которые проводятся на легком самолете.

1.3. Виды ремонтов

Положением о ППР электрооборудования промышленных предприятий предусмотрено выполнение нескольких видов ремонта (текущего и капитального, среднего и капитального или текущего, среднего и капитального). На практике широко используется система, предусматривающая осуществление для большей части электрооборудования двух видов ремонта: текущего и капитального.

При *текущем ремонте* после осмотра всего электрооборудования устраняют мелкие дефекты, регулируют механизмы и выполняют ряд других небольших по объему работ (например, перезарядку предохранителей с заменой плавких вставок, зачистку подгоревших контактов аппаратов, замену изношенных щеток), позволяющих обеспечить нормальную работу электрооборудования до следующего планового ремонта. Текущие ремонты производят обычно без разборки электрооборудования в период кратковременных остановок производственного оборудования.

Средним считают ремонт, при котором предупреждают чрезмерный износ наиболее ответственных деталей и узлов электрооборудования. В этом случае заменяют отдельные детали, устраняют дефекты изоляции лобовых частей обмоток электродвигате-

лей, ремонтируют щеткодержатели (меняют пружины и гибкие связи), шлифуют контактные кольца электродвигателей с фазным ротором и т. п.

При *капитальном ремонте* восстанавливают или заменяют отдельные основные детали и узлы электрооборудования. Например, к этому виду ремонта относят перемотку статорных или роторных обмоток электрических машин, перезаливку подшипников скольжения электродвигателей, изготовление и установку новых обмоток силовых трансформаторов.

Капитальный ремонт обычно производится при частичной или полной разборке электрооборудования. Иногда при капитальном ремонте электрических машин, трансформаторов и коммутационных аппаратов осуществляют их модернизацию, т. е. совершенствуют конструкцию, улучшают эксплуатационные показатели, повышают надежность и другие характеристики. Главная цель модернизации заключается в приближении технических показателей ремонтируемого электрооборудования к техническим показателям нового, более совершенного оборудования. При этом затраты времени, средств и материалов на модернизацию электрооборудования должны быть оправданы теми техническими или экономическими результатами, которые будут достигнуты после его модернизации.

Если при капитальном ремонте осуществляется модернизация с изменением конструкции и основных технических параметров оборудования, то такой ремонт называют *капитально-реконструктивным*.

1.4. Планирование ремонтных работ

Ремонты электрооборудования планируют исходя из межремонтных периодов, ремонтных циклов и их структуры (рис. 1.1).

Межремонтный период – период работы электрооборудования между двумя очередными плановыми ремонтами, например соседними текущими, текущим и капитальным или текущим и средним.

Ремонтный цикл – промежуток времени работы электрооборудования между двумя очередными капитальными ремонтами или с момента ввода его в эксплуатацию до первого капитального ремонта.

Структура ремонтного цикла представляет собой совокупность текущих и средних ремонтов на протяжении одного ремонтного цикла.

Основой для определения продолжительности межремонтного периода и ремонтного цикла служит расчетное (или действитель-

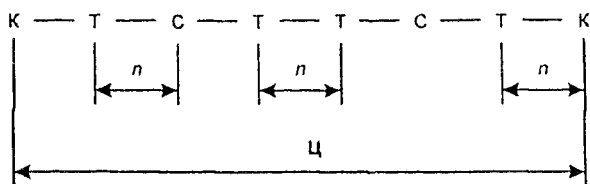


Рис. 1.1. Структура ремонтного цикла Ц:

К – капитальный ремонт; Т – текущий ремонт; С – средний ремонт; n – межремонтный период

ное) время, в течение которого электрооборудование может нормально работать в заданных режимах. При этом ориентируются на продолжительность нормальной работы наиболее быстро изнашивающихся деталей и узлов электрооборудования.

Ремонты электрооборудования предприятий планируют на один год с разбивкой по кварталам и месяцам. Такое планирование ремонтов называется *текущим* (планирование ремонтов электрооборудования на более длительный период называется *перспективным*).

Существует также *оперативное планирование ремонта* электрооборудования с помощью сетевых графиков, которые могут быть общими или локальными. *Общий сетевой график* предусматривает ремонт определенного комплекса электрооборудования (отдельной электроустановки, подстанции, цеха), а *локальный* – ремонт отдельной крупной единицы электрооборудования (мощного электродвигателя, силового трансформатора).

Модель сетевого графика представлена на рис. 1.2 (стрелками обозначены виды работ, а кружками – события). Под *видом работ* понимается определенный производственный процесс ремонта, требующий затрат времени, материалов, применения различных инструментов или приспособлений. *Событие* представляет собой промежуточный или конечный результат одного или нескольких видов работ. Таким образом, сетевой график – это схематичное изображение операций и элементов производственного процесса ремонта, а также связей между ними, порядка и технологической последовательности их выполнения.

Составление сетевых графиков ремонта электрооборудования начинают после установления взаимосвязей между видами работ согласно технологической последовательности их выполнения. На графиках линии со стрелками идут слева направо: номер события, из которого выходит линия, меньше номера события, куда она входит; номера событий не должны повторяться, а все события, кроме завершающего, должны иметь продолжение (в виде линий со стрелками).

1.5. Структура электроремонтного цеха и состав его оборудования

На промышленных предприятиях существует определенная структура электроремонтных подразделений, которая, кроме цехов (с технологическими отделениями) по ремонту крупных единиц конкретного вида электрооборудования (например, цех по ремонту электрических машин, цех по ремонту трансформаторов), включает ряд производственных участков, где специализированные бригады выполняют определенные виды ремонтных работ.

Структура электроремонтного цеха и состав его оборудования определяются различными факторами, основными из которых являются количество, номенклатура, габаритные размеры и сложность ремонтируемого электрооборудования. Электроремонтный цех предприятия средней мощности с небольшим объемом ремонтируемого электрооборудования имеет следующие производственные отделения: разборочно-дефектировочное, ремонтно-механическое, обмоточное, сушильно-пропиточное, комплектовочное, сборочное, испытательную станцию, а также отдельные участки, на которых выполняются конкретные виды работ по ремонту трансформаторов, электрических машин и коммутационных аппаратов.

В *разборочно-дефектировочном отделении* ремонтируемое оборудование очищают от грязи, сливают масло из трансформаторов и маслонаполненных аппаратов, выполняют предремонтные испытания, разбирают электрооборудование, проводят дефектовку (определяют состояние и степень износа отдельных частей, а также объем предстоящего ремонта, оформляют дефектационную ведомость и маршрутную карту ремонта, навешивают маркировочные бирки на детали, подлежащие ремонту, принимают меры по сохранению исправных частей электрооборудования), передают неисправные детали на ремонтные участки, а исправные – в комплектовочное или сборочное отделение.

Разборочно-дефектировочное отделение оснащается подъемно-транспортными средствами, испытательной станцией или стендами для проведения предремонтных испытаний поврежденного электрооборудования, моечными ваннами, съёмниками, приспособлениями и инструментом для разборки ремонтируемого электрооборудования.

В *ремонтно-механическом отделении* ремонтируют и при необходимости изготавливают новые детали электрооборудования (валы, коллекторы, щеточные механизмы, подшипники скольжения), производят перешихтовку сердечников роторов и статоров

электрических машин, расшихтовывают магнитопроводы трансформаторов, выполняют необходимые слесарные работы. Это отделение оснащено подъемно-транспортными средствами, металлообрабатывающими станками, прессами, сварочными аппаратами, инструментами и специальными приспособлениями.

При необходимости выполнения работ по хромированию и никелированию деталей в отдельном помещении устанавливаются гальванические ванны.

Кроме перечисленного оборудования в ремонтно-механическом отделении имеются слесарные верстаки, стеллажи и шкафы для хранения деталей и инструмента.

В *обмоточном отделении* ремонтируют поврежденные (восстанавливают изоляцию) и изготавливают новые обмотки электрических машин, трансформаторов и катушек электрических аппаратов. Отделение оснащается станками для намотки и изолировки обмоток и катушек, станком для изготовления клиньев, гильотинными ножницами для резки изоляционных материалов, станками для бандажирования роторов и якорей электрических машин, сварочным и паяльным инструментом для соединения проводов обмоток, испытательной установкой для пооперационного контроля изоляции изготавливаемых обмоток, а также аппаратами контроля правильности соединения схем обмоток. При необходимости устанавливают (в отдельном помещении с наличием вентиляционных устройств и средств пожаротушения) печь для отжига проводов, ванну для их травления и станок для волочения и калибровки проводов старой обмотки.

Сушильно-пропиточное отделение служит для пропитки и сушки изготовленных обмоток. В состав его оборудования входят пропиточные ванны, печи для сушки и запечки пропитанных обмоток, подъемно-транспортные средства для транспортировки массивных обмоток и емкости для хранения пропиточных лаков и растворителей в количествах, обеспечивающих не более чем точную потребность в них. Учитывая вредность паров и летучих частиц лаков и растворителей, их большую пожаро- и взрывоопасность, помещения этого отделения обеспечивают вытяжными вентиляционными устройствами и средствами пожаротушения.

Комплектовочное отделение является местом, куда доставляют все отремонтированные, а также исправные и некоторые новые сборочные единицы и детали ремонтируемого оборудования. Отделение оборудуется верстаками, стеллажами, необходимым инструментом, приспособлениями и подъемно-транспортными средствами. Полностью укомплектованное электрооборудование передается затем в сборочное отделение.

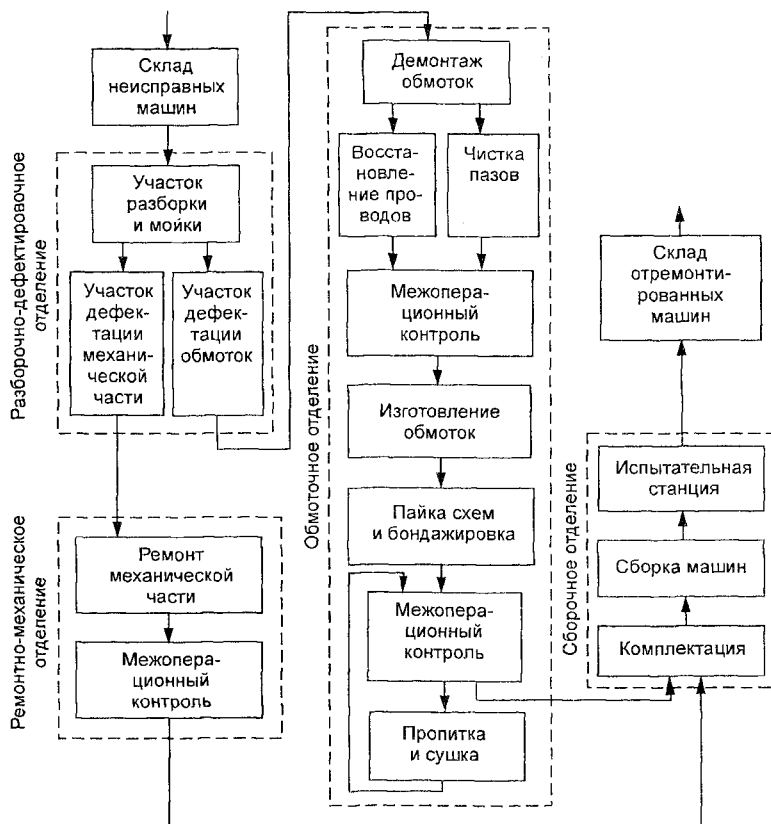


Рис. 1.3. Структурно-технологическая схема цеха по ремонту электрических машин

В *сборочном отделении* производят общую сборку ремонтируемого оборудования. Отделение оснащается сборочными инструментами и приспособлениями, верстаками и стеллажами, приспособлениями для статической и динамической балансировки роторов и якорей электрических машин, испытательным стендом для выполнения всего комплекса послеремонтных испытаний.

Испытательная станция располагается в отдельном помещении и содержит высоковольтные испытательные электроустановки, стенды, различные приборы и средства защиты.

Электроремонтный цех имеет склады для хранения ремонтного фонда (отдельные узлы и сборочные единицы электрооборудования: обмотки высокого и низкого напряжения трансформаторов, комплекты контактной системы к выключателям и т. п.) и тре-

монтированного оборудования, инструментальные и материальные кладовые, подсобные и бытовые помещения, а также другие помещения, число которых и назначение определяются в каждом конкретном случае принятой технологией и условиями ремонта.

Наиболее распространенная структурно-технологическая схема электроремонтного цеха, например по ремонту электрических машин, приведена на рис. 1.3.

1.6. Организация рабочего места по ремонту электрооборудования

Рабочее место (ГОСТ 19605–74) – зона, оснащенная необходимыми техническими средствами, в которой совершается трудовая деятельность исполнителя или группы исполнителей, совместно выполняющих одну работу или операцию.

Организация рабочего места – система мероприятий по оснащению рабочего места средствами и предметами труда и их размещение в определенном порядке.

Рабочее место включает: основное и дополнительное оборудование (станки, механизмы, установки), технологическую оснастку, приспособления, инструмент и необходимый инвентарь (установочные столы, верстаки, стеллажи, шкафы).

Рабочее место может быть расположено вблизи ремонтируемого оборудования или в электроцехе предприятия. Вблизи ремонтируемого электрооборудования рабочее место организуют при ремонте крупногабаритных трансформаторов или электрических машин, транспортировка которых в ремонтный цех по каким-либо причинам невозможна или нецелесообразна. В таких случаях рабочим местом электрослесаря временно служит ремонтная площадка, надежно отгороженная от остального оборудования и оснащенная всем необходимым для обеспечения безопасности труда при выполнении всех видов ремонтных работ.

При ремонте сравнительно небольших по габаритам и массе деталей и сборочных узлов рабочее место располагается на территории ремонтного цеха и оборудуется инструментальным шкафом и слесарным верстаком.

При организации рабочего места должны соблюдаться требования ГОСТов по созданию здоровых и безопасных условий труда электрослесарей (освещенность, средства индивидуальной защиты, первичные средства пожаротушений и др.).

Соблюдение необходимых требований охраны труда и выполнение всех мероприятий по оснащению рабочего места средствами,

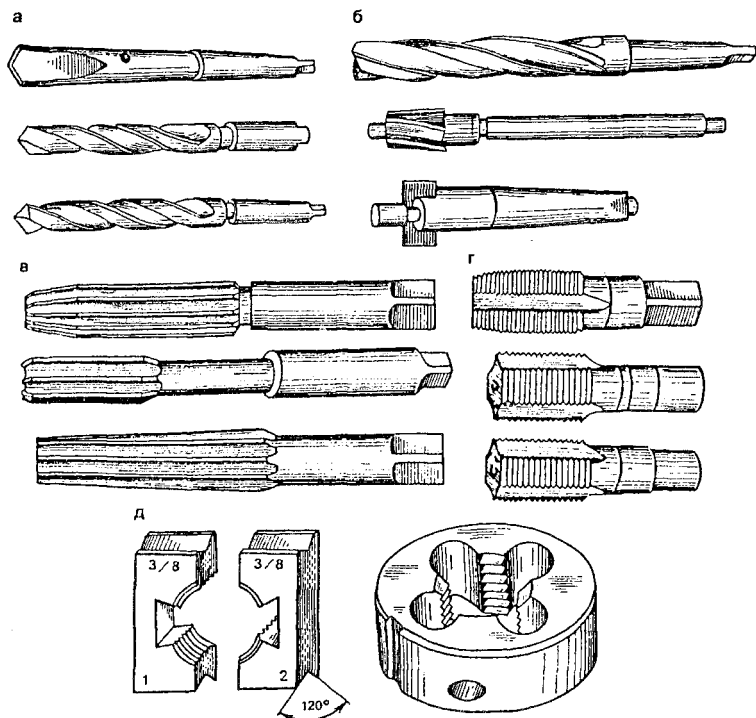


Рис. 1.4. Набор металлорежущего инструмента:
 а – сверла; б – зенкеры; в – развертки; г – метчики; д – плашки

предметами труда и их рациональному размещению обеспечивают высокую его производительность, качественный ремонт оборудования и сохранение здоровья работающих. В свою очередь, рабочие, согласно Трудовому кодексу Республики Беларусь, должны: соблюдать технологическую дисциплину, установленные нормативными правовыми документами требования по охране труда и безопасному ведению работ, пользоваться средствами индивидуальной защиты; поддерживать свое рабочее место, оборудование и приспособления в исправном состоянии, порядке и чистоте и т. д.

Слесарные операции при ремонте электрооборудования выполняются с помощью слесарных, металлорежущих и измерительных инструментов. В набор основных слесарных инструментов входят молотки, зубила, напильники, отвертки, гаечные ключи, ручные ножовки. Из металлорежущих инструментов в первую очередь используют сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки (рис. 1.4). Из измерительных инструментов при разметке, обра-

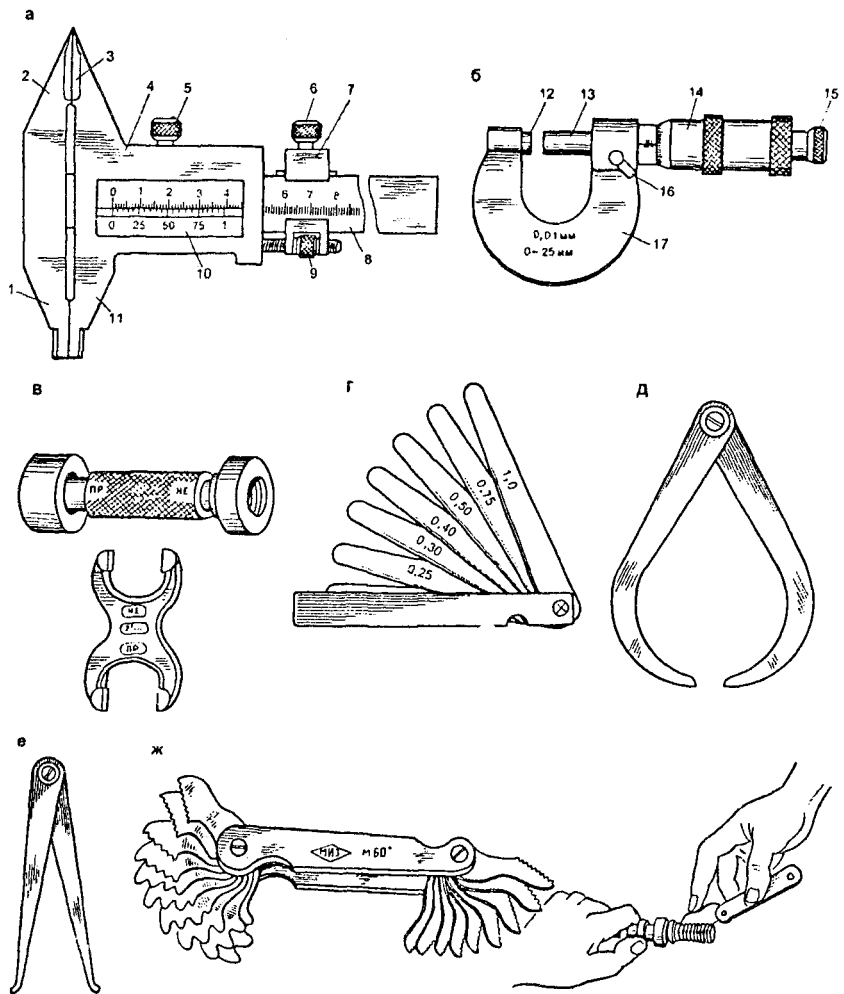


Рис. 1.5. Измерительные слесарные инструменты:

а – штангенциркуль; *б* – микрометр; *в* – двусторонние калибры; *г* – пластинчатые щупы; *д* – кронциркуль; *е* – нутромер; *ж* – резьбомер (проверка шага резьбы); 1, 2 – нижняя и верхняя неподвижные губки; 3, 11 – верхняя и нижняя подвижные губки; 4 – рамка штангенциркуля; 5, 6 – стопорные винты рамки с нониусом и микрометрического устройства; 7 – рамка микрометрического устройства; 8 – штанга; 9 – винт микрометрической подачи; 10 – нониус; 12 – пятка; 13 – микрометрический винт; 14 – барабан; 15 – трещотка; 16 – стопор; 17 – скоба

ботке и изготовлении заготовок и деталей применяют штангенциркули, микрометры, калибры, щупы, кронциркули, нутромеры, резьбомеры (рис. 1.5).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие основные причины вызывают механический, электрический и моральный износ электрооборудования?
2. Что собой представляет система ППР?
3. Как организуются централизованные, децентрализованные и смешанные системы ППР?
4. Чем различаются текущий и капитальный ремонты электрооборудования?
5. Что такое межремонтный период и ремонтный цикл?
6. Что собой представляет сетевой график ремонта электрооборудования?
7. Какое оборудование должно быть в разборочно-дефектировочном отделении?
8. Какие ремонтные работы выполняют в ремонтно-механическом отделении электроремонтного цеха?
9. Какие требования предъявляются к рабочему месту?
10. Чем должно быть укомплектовано рабочее место?

РЕМОНТ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

2.1. Общие сведения

Классификация машин. Электрические машины широко используются в разных отраслях промышленности, сельского хозяйства, энергетике, авиации, на транспорте, морском и речном флоте, в медицине, домашнем хозяйстве и т. д. На заводах электрические машины применяют для привода металлорежущих станков, прессов, молотов, конвейеров, насосов, компрессоров, вентиляторов, подъемно-транспортных машин и др. В металлургической промышленности – для привода прокатных станов, ножниц для резки металла, рольгангов и других механизмов и машин. Электрические машины вращают обжиговые печи при производстве цемента, дробилки при изготовлении строительных материалов, приводят в движение подъемные машины на шахтах и водооткачивающие насосы.

Широкое использование электрических машин обусловлено их высокими энергетическими показателями, удобством обслуживания и простотой управления.

По назначению электрические машины делятся на следующие виды:

- электромашинные генераторы, которые преобразуют механическую энергию в электрическую. Их устанавливают на электрических станциях и различных транспортных средствах – автомобилях, самолетах, тепловозах, кораблях, передвижных электростанциях и т. д. На электростанциях генераторы приводятся в движение паровыми и гидравлическими турбинами, а на транспортных средствах – с помощью двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин;
- электрические двигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую. Они приводят в движение различные машины и механизмы и являются главной частью электрического привода;
- электромашинные преобразователи, которые преобразуют переменный ток в постоянный и наоборот, изменяют напряжение переменного и постоянного тока, частоту, число фаз и др.;

- электромашинные компенсаторы, осуществляющие генерирование реактивной мощности в электрических установках для улучшения энергетических показателей источников и приемников электроэнергии;
- электромашинные усилители, используемые для управления объектами относительно большой мощности с помощью сигналов управления;
- электромеханические преобразователи сигналов (микромашины, информационные машины), которые генерируют, преобразуют и усиливают различные сигналы. Информационные электрические машины используются в системах автоматического управления, измерительных и счетно-решающих устройствах в качестве датчиков, дифференцирующих и интегрирующих элементов и регулирующих органов.

По роду тока электрические машины делятся на машины переменного и постоянного тока. Машины переменного тока в зависимости от принципа действия делят на асинхронные, синхронные и коллекторные. К ним относят также трансформаторы, хотя трансформатор – это не машина, а статический электромагнитный аппарат.

Трансформаторы применяют для преобразования напряжения, а также при электрических измерениях (измерительные трансформаторы) и функциональных преобразованиях (вращающиеся трансформаторы).

Асинхронные машины используют главным образом в качестве электрических двигателей трехфазного тока. Это основной тип электрических двигателей. В системах автоматического управления широко применяют одно- и двухфазные управляемые асинхронные двигатели, асинхронные тахогенераторы, а также сельсины.

Синхронные машины используют в качестве генераторов переменного тока промышленной частоты на электрических станциях и генераторов повышенной частоты в автономных источниках питания (на самолетах, кораблях, большегрузных автомобилях).

В электроприводах синхронные двигатели применяют для привода вентиляторов, насосов, компрессоров и других механизмов. В автоматике используют различные синхронные машины малой мощности (реактивные, с постоянными магнитами, гистерезисные, шаговые, индукторные и др.).

Коллекторные машины переменного тока в настоящее время применяются главным образом в электробытовых приборах (пылесосы, дрели, соковыжималки, смесители и т. д.).

Машины постоянного тока используют как генераторы и электродвигатели в электроприводе, где необходимо регулировать скорость в широких пределах: металлорежущие станки, прокатные станы, электрический транспорт и др.

По мощности электрические машины разделяют на микромашины (от долей ватта до 500 Вт), машины малой (0,5–10 кВт), средней (10–200 кВт) и большой (свыше 200 кВт) мощности.

Самый маленький электродвигатель изготовлен для наручных часов. Его мощность 1 мкВт и питается он от батарейки напряжением 1,5 В. Самыми мощными электрическими машинами являются турбогенератор (500МВ · А) и гидрогенератор (800МВ · А).

Размеры электрических машин колеблются в широких пределах. Существуют машины, которые можно поместить в наперстке, а есть машины, диаметр которых превышает 16 м. Машины большой мощности иногда называют крупными электрическими машинами.

Электрические машины бывают тихоходные – с частотой вращения до 1000 об/мин, быстроходные – свыше 1000 об/мин, сверхбыстроходные – более 6000 об/мин.

Частота вращения микромашин достигает 100 000 об/мин, средней и большой мощности – 3000 об/мин.

По степени защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями, которые находятся внутри машины, а также от попадания внутрь нее твердых посторонних предметов и воды электрические машины классифицируют в соответствии с международными стандартами. Вид исполнения машин обозначают латинскими буквами IP (International Protection) и двумя цифрами. Первая цифра (от 0 до 6) показывает степень защиты от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями, которые находятся внутри машины. Вторая цифра (от 0 до 8) характеризует степень защиты машины от проникновения в нее влаги.

Различают следующие виды исполнения электрических машин: открытое, защищенное, каплезащищенное, брызгозащищенное, водозащищенное, пылезащищенное, закрытое, герметичное, взрывозащищенное, влагоустойчивое, морозоустойчивое, тропикоустойчивое.

При открытом исполнении (IP00) машина не имеет специальных устройств, которые препятствуют попаданию внутрь посторонних предметов и случайному соприкосновению обслуживающего персонала с токоведущими и вращающимися частями.

В защищенном исполнении (IP21, IP22) у машины есть специальные устройства, например крышки, кожухи, сетки. При этом между крышками и щитами или станиной машины оставляют щели для циркуляции воздуха, который охлаждает машину. Такие машины могут устанавливаться только в закрытых помещениях, так как они не защищены от дождя.

В *брызго- и каплезащищенном исполнении* (IP23, IP24) машины имеют приспособления, которые предохраняют токоведущие и вращающиеся части от капель и брызг воды. Все отверстия в верхней части корпуса и подшипниковых щитах закрыты глухими крышками; отверстия, находящиеся сбоку, обычно защищают кожухами, крышками и жалюзи, а расположенные снизу – сетками. Такие машины можно устанавливать на открытом воздухе.

В *водозащищенном исполнении* (IP55, IP56) струи воды не могут попасть внутрь машины. Предусмотрены уплотнения, сделанные из резины, и сальники. Вода, случайно попавшая в машину, вытекает из нее или выводится с охлаждающим воздухом. Подобные машины применяют главным образом на судах.

В *пылезащищенном исполнении* (IP65, IP66) машины защищены от попадания внутрь пыли в опасных для нормальной работы количествах.

В *закрытом исполнении* (IP44, IP54) внутреннее пространство машины изолировано от внешней среды. Такие машины применяют в пыльных помещениях, на движущихся транспортных средствах (автомобилях, железнодорожных вагонах, локомотивах), в авиации и др.

Машины в *герметичном исполнении* (IP67, IP68) особенно надежно изолированы от внешней среды. Такие машины могут работать под водой (водонепроницаемые машины), в наполненных газом камерах (газонепроницаемые машины) и других средах.

Взрывозащищенные машины работают во взрыво- и пожароопасной среде, так как изоляция их токоведущих и вращающихся частей от внешней среды исключает взрыв и загорание газов в окружающей среде при искрении и других явлениях. При взрыве газов внутри машины пламя не может проникнуть во внешнюю среду.

Машины во *влагоустойчивом исполнении* работают в условиях большой влажности, а *морозоустойчивом* – при очень низких температурах и возможности появления инея.

Для работы в тропических условиях предусматривается *тропикоустойчивое исполнение* электрических машин.

Климатическое исполнение и условия размещения машин. Эксплуатация электрических машин в нормальных климатических условиях предполагает: температуру внешней среды 25 ± 10 °С, относительную влажность воздуха 35–80%, атмосферное давление 84–106 кПа.

В зависимости от климатических условий предусматривается различное исполнение электрических машин. Электрические двигатели, предназначенные для эксплуатации на суше и в воде в умеренном климате, имеют обозначение У, в холодном – ХЛ, во влаж-

ных тропиках – ТВ, только в сухих тропиках – ТС, как в сухих, так и влажных тропиках – Т, во всех макроклиматических районах на суше (общеклиматическое исполнение) – О.

Электродвигатели, предназначенные для морских судов в районах с умеренным морским климатом, имеют обозначение М, с тропическим морским – ТМ, неограниченного района плавания – ОМ, всех районов на суше и море – В.

В зависимости от условий размещения предусматривается различное исполнение электрических двигателей, которые также имеют определенное обозначение. Электродвигатели, которые могут устанавливаться на открытом воздухе, обозначаются цифрой 1; в закрытых помещениях, температура и влажность воздуха которых мало отличается от наружного, – 2; в закрытых помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха значительно меньше наружного, – 3; в помещениях с искусственным климатом, например в отапливаемых, – 4; в помещениях с повышенной влажностью, например в подземных неотапливаемых и невентилируемых, – 5.

Так, электродвигатели, которые могут работать в районах с прохладным климатом на открытом воздухе, обозначаются ХЛ1; в районах с умеренным климатом в закрытых помещениях – У3 или У4.

Способы охлаждения машин. Для отвода теплоты, которая выделяется при работе машины, используют различные способы. Способ охлаждения машины зависит от вида ее исполнения и мощности. Для машин большой мощности необходимо увеличивать интенсивность ее охлаждения. Электрические микромашины обычно не имеют искусственного охлаждения. Отвод теплоты от нагретых частей осуществляется за счет естественной теплоотдачи внешней среде (машины с естественным охлаждением).

Вращающиеся электрические машины малой, средней и большой мощностей выполняют с искусственным охлаждением. В этом случае с помощью специальных устройств достигается увеличение скорости движения охлаждающей среды. Для большинства электрических машин охлаждающей средой является воздух, но иногда для этой цели используют водород. Такие машины называют *вентилируемыми*. Вентилируемые машины, в которых воздух или другой газ проходит через их внутреннее пространство, называют *продуваемыми*. Если воздух охлаждает только внешнюю поверхность, то машина называется *обдуваемой*.

Системы охлаждения электрических машин имеют международную классификацию, которая в обозначении содержит две латинские буквы IC (International Cooling) и две цифры: первая (от 0 до 6) обозначает построение цепи для циркуляции охлаждающей среды, вторая (от 0 до 7) – способ ее перемещения.

Вращающиеся электрические машины малой и средней мощности обычно выполняют с самовентиляцией. В этом случае охлаждение нагретых частей осуществляется с помощью вентилятора, который насаживается на вал ротора. В некоторых машинах вентиляторами являются лопасти или другие приспособления, прикрепляющиеся к торцевой части сердечника ротора.

Машины закрытого исполнения обычно изготавливают обдуваемыми. Вентилятор обдувает внешнюю поверхность корпуса, способствуя более интенсивному отводу от него теплоты. Система охлаждения таких машин обозначается IC01. Для увеличения поверхности охлаждения станины обычно изготавливают с внешними ребрами. Иногда на валу ротора ставят внутренний вентилятор, который обеспечивает дополнительную циркуляцию воздуха и лучший теплообмен.

В машинах большой мощности часто применяют независимую вентиляцию, когда охлаждающий воздух прогоняется вентилятором, имеющим свой электропривод (система охлаждения IC17). В машинах с широким диапазоном регулирования скорости (например, электродвигатели постоянного тока серии 4ПБ) применяют естественное охлаждение без вентилятора (система охлаждения IC00).

В машинах открытого, защищенного, брызго-, капле- и водозащищенного исполнений охлаждающий воздух обычно прогоняется вентилятором около обмоток и по вентиляционным каналам, которые имеются в статоре, роторе и коллекторе. В табл. 2.1 приведены примеры исполнения электродвигателей с учетом способов их охлаждения и защиты.

Система вентиляции может быть осевой и радиальной. При осевой вентиляции охлаждающий воздух проходит через машину в направлении оси вала, а при радиальной – в радиальном направлении.

В зависимости от места установки радиатора осевая система вентиляции может быть вытяжной или нагнетательной. При *вытяжной* вентиляции вентилятор устанавливается в месте выхода воздушного потока из машины, при *нагнетательной* – в месте входа его в машину. Применяют и комбинированную радиально-осевую систему вентиляции.

В машинах большой мощности в качестве охлаждающего агента иногда используют водород. Это позволяет уменьшить потери мощности в результате трения частей машины и потока охлаждающего газа и улучшить отведение теплоты, поскольку водород имеет меньшую плотность и большую теплопроводность, чем воздух.

В машинах с жидкостным охлаждением охлаждающая жидкость (трансформаторное масло, дистиллированная вода) пропус-

Таблица 2.1. Примеры исполнения электродвигателей

Исполнение электродвигателя	Обозначение исполнения	Обозначение электродвигателя	Степень защиты от внешней среды	Способ охлаждения
Закрытый электродвигатель с независимой вентиляцией	Ф	4ПФ	IP44	IC05 IC06
Закрытый электродвигатель без принудительного охлаждения	Б	4ПБ	IP44	IC00
Закрытый самовентилируемый электродвигатель	О	4ПО	IP44	IP44
Самовентилируемый электродвигатель защищенного исполнения	Н	2ПН	IP23	IC01

кается через пустотелые проводники обмотки ротора и статора или специальные охлаждающие каналы. Если охлаждение осуществляется за счет испарения жидкости, система охлаждения называется *испарительной*.

Трансформаторы малой мощности изготавливают с естественным воздушным охлаждением. Это так называемые сухие трансформаторы. Трансформаторы средней и большой мощности обычно имеют жидкостное охлаждение, при котором сердечник и обмотки помещают в бак, заполненный трансформаторным маслом или негорючим жидким диэлектриком.

Установка и крепление машин. Для установки и крепления электрической машины в ее конструкции предусмотрены лапы на станине и фланцы на подшипниковом щите или на станине.

В зависимости от способа установки и крепления, направления оси вала и конструкции подшипниковых узлов электрические машины делят на 9 групп. Каждая группа состоит из видов, которые включают несколько форм исполнения. Все они имеют соответствующие обозначения, состоящие из латинских букв IM (International Mounting) и четырех цифр: первая определяет конструктивную группу, вторая и третья – способ монтажа, четвертая (от 0 до 8) – форму конца вала.

Существуют следующие группы электрических машин: IM1 – машина на лапах с подшипниковыми щитами; IM2 – с подшипниковыми щитами и фланцем на одном щите; IM3 – без лап, с подшипниковыми щитами и фланцем на одном щите; IM4 – без лап, с подшипниковыми щитами и фланцем на станине; IM5 – без подшипниковых щитов (встраиваемые или пристраиваемые); IM6 – на лапах, с подшипниковыми щитами и стоячковыми подшипника-

ми; IM7 – на лапах, со стоячковыми подшипниками; IM8 – с вертикальным валом; IM9 – специального назначения.

Концы валов электрических машин могут иметь цилиндрическую, коническую или фланцевую форму. Установлены следующие обозначения машин в зависимости от исполнения концов вала: 0 – без конца вала; 1 – с одним цилиндрическим; 2 – с двумя цилиндрическими; 3 – с одним коническим; 4 – с двумя коническими; 5 – с одним фланцевым; 6 – с двумя фланцевыми; 7 – с фланцевым концом вала на приводной стороне двигателя и цилиндрическим концом вала на противоположной стороне машины; 8 – другие исполнения вала. Например, IM2101 означает машину на лапах с подшипниковыми щитами, с фланцем на подшипниковом щите, с горизонтальным размещением вала, конец которого имеет цилиндрическую форму.

Способы поставки электрических машин зависят от их мощности и габаритных размеров. Они могут поставляться в собранном виде (машины малой мощности, быстроходные средней мощности и отдельные виды крупных машин) или в разобранном.

Электрические машины малой и средней мощности, которые поставляются в собранном виде, в ряде случаев устанавливаются на общую фундаментную плиту вместе с приводимыми ими в движение машинами и механизмами (преобразовательные агрегаты, насосные установки и др.).

Шумы. В электрических машинах возникают механические, вентиляционные и магнитные шумы.

Механические шумы возникают из-за вибрации отдельных частей машины в результате неточной балансировки ротора, трения в подшипниках и т. д. Чтобы уменьшить такие шумы, необходимо выполнять точную динамическую балансировку ротора, применять высококачественные подшипники, тщательно притирать щетки и использовать коллектор с цилиндрической и гладкой поверхностью.

Вентиляционные шумы обусловлены колебаниями давления воздушного потока, который охлаждает машину, и вихрями на отдельных участках охлаждения. Этот шум можно снизить путем повышения жесткости вентилятора, тщательной его балансировки и если оставить достаточно большой зазор между вентилятором и подшипниковым щитом.

Магнитные шумы появляются в результате вибрации отдельных частей магнитной системы электрической машины под действием переменных электромагнитных сил, которые возникают в результате изменения магнитной проводимости воздушного зазора при вращении зубчатого якоря (явление магнитострикции),

а в машинах переменного тока и трансформаторах – из-за периодического перемагничивания магнитопровода.

Допустимые уровни шума электрических машин нормированы. Для оценки уровня шума используют средний (для нескольких точек) уровень звука A , измеренный на расстоянии 1 м от контура машины. Уровень звука измеряется в децибеллах (дБ) и определяется по формуле

$$A = 20 \lg \frac{p}{p_0},$$

где p – звуковое давление в данной точке, Па; p_0 – звуковое давление, которое соответствует порогу слышимости: $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па.

По уровню шума электрические машины подразделяются на 5 классов (например, для машин класса 1 уровень шума в режиме холостого хода не должен превышать 64–109 дБ):

- класс 0 – машины, которые работают в кратковременном и повторно-кратковременном режимах с принудительной вентиляцией от отдельного вентилятора, многополюсные с количеством полюсов более 12; некоторые типы однофазных и индукторных генераторов; сварочные генераторы и преобразователи; многоскоростные асинхронные двигатели; двигатели с повышенным пусковым моментом и повышенным скольжением;
- класс 1 – машины постоянного тока; асинхронные и синхронные машины; коллекторные машины нормального исполнения;
- класс 2 – машины с малошумными подшипниками, со специальными малошумными вентиляторами;
- класс 3 – закрытые машины; машины с глушителями вентиляционного шума;
- класс 4 – машины со звукорегулирующим кожухом или другими специальными узлами, снижающими шум.

Коллекторные машины постоянного и переменного тока являются источниками радиопомех. Искрение под щетками создает импульсные колебания тока и напряжения с непрерывным частотным спектром. В результате возникают помехи: резкий треск или непрерывный шум во всем диапазоне частот радиосвязи. Уровень помех определяют по максимальному напряжению (в микровольтах), которое измеряют с помощью антенны, установленной на определенном расстоянии от машины. Эту величину называют уровнем поля.

Уменьшения радиопомех достигают снижением искрения, экранированием машины и проводов и применением фильтров, препятствующих распространению высокочастотных колебаний по

проводам электрической сети, к которой присоединена электрическая машина. Наиболее простыми являются емкостные фильтры.

Номинальные данные электрических машин. Каждая электрическая машина имеет паспортную табличку в виде металлической пластины, прикрепленной к корпусу. На ней указаны тип машины и ее номинальные данные, характеризующие основные электрические показатели и условия работы. К номинальным данным относятся: мощность, напряжение, ток, частота вращения, частота переменного тока, коэффициент полезного действия, число фаз, коэффициент мощности и режим работы. Кроме того, в паспортной табличке приведены: завод, который изготовил машину, год выпуска, класс изоляции, а также дополнительные данные, необходимые для монтажа и эксплуатации машины (масса, схема включения обмоток и др.).

Термин «номинальный» можно применять и к величинам, не указанным в паспортной табличке, но относящимся к номинальному режиму, например номинальный вращающий момент, номинальное скольжение и т. д.

Номинальной мощностью электрической машины называют мощность, на которую рассчитана данная машина по условиям нагрева и безаварийной работы на протяжении установленного срока службы. Для электрических двигателей под номинальной мощностью понимают полезную механическую мощность на валу, выраженную обычно в киловаттах; для генераторов постоянного тока – полезную электрическую мощность на зажимах машины (в киловаттах); для генераторов переменного тока – полную электрическую мощность на зажимах машины (в киловольт-амперах). Номинальные мощности всех видов машин и трансформаторов, а также номинальные частоты вращения электрических машин стандартизованы.

Производство и эксплуатация новых видов электрических машин нормируются техническими условиями, которые согласуются и утверждаются организациями, проектирующими, изготавливающими и эксплуатирующими эти машины.

Хотя электрические машины обратимы, т. е. они могут работать и в генераторном, и в двигательном режимах, обычно они предназначены для преимущественной работы в каком-то одном режиме. Это позволяет лучше приспособить машину к требованиям эксплуатации, не делая ее слишком тяжелой и дорогой.

Напряжения электрических машин согласованы со стандартными напряжениями электрических сетей. Стандартные напряжения генераторов примерно на 5–10% выше, чем электродвигателей (220 В для электродвигателя, 230 В для генератора). Разни-

ца в напряжениях генераторов и электродвигателей обусловлена потерями напряжения в электрических сетях, к которым присоединены генераторы и электродвигатели.

В трансформаторах стандартные напряжения на первичных обмотках принимаются равными «двигательным», а на вторичных обмотках – «генераторным».

Машины переменного тока предназначены, как правило, для работы с синусоидальным напряжением, которое симметрично по фазам. Отклонения регламентируются ГОСТом, например, напряжение может отклоняться от стандартного на $+10$ и -5% , коэффициент искажения синусоидальной кривой не должен превышать 5% и т. д.

Режимы работы электрических машин с несинусоидальными напряжениями вентильных преобразователей регламентируются специальными техническими условиями.

2.2. Асинхронные двигатели трехфазного переменного тока

Асинхронные двигатели, которые преобразуют электрическую энергию в механическую, являются наиболее распространенными. Они широко применяются в электроприводах большинства механизмов. Это объясняется простотой их конструкции, надежностью и высоким коэффициентом полезного действия.

Принцип действия асинхронного двигателя основан на создании вращающегося магнитного поля при питании обмотки статора трехфазным током. Если скорость ротора меньше скорости вращения магнитного поля, то силовые линии вращающегося магнитного поля будут пересекать проводники обмотки ротора и индуцировать в них ЭДС. Поскольку обмотка ротора замкнута, то в проводниках будут протекать токи. На проводники с током, находящиеся в магнитном поле, действуют электромагнитные силы, направление которых определяется правилом левой руки. Суммарное усилие, приложенное ко всем проводникам ротора, образует электромагнитный момент, который увлекает ротор за вращающимся магнитным полем. Но этот момент возникает только тогда, когда скорость ротора не равна скорости вращения поля, т. е. синхронной скорости. Поэтому машина называется асинхронной, что означает «несинхронная».

Асинхронные двигатели выпускаются едиными сериями. В 70-х годах XX в. была разработана и внедрена единая серия 4А асинхронных двигателей. Она и сейчас используется во многих странах

СНГ и Европы. Серия включает двигатели мощностью 0,06–400 кВт. Серия 4А имеет 25 модификаций: с короткозамкнутым ротором (4А), с фазным ротором (4АК), с повышенным пусковым моментом (4АР), с повышенным скольжением (4АС), многоскоростные (4АМ), специализированные, малозумные (А...Н), лифтовые (4А...НЛБ), сельскохозяйственные (4А...СХ) и др. Каждая модификация имеет ряд исполнений. Так, серия 4А включает около 30 000 исполнений.

Определяющим размером в серии является стандартная высота оси вращения h (Н) (рис. 2.1), составляющая для серии 4А 50–355 мм. Для каждой высоты вращения изготавливаются машины, которые отличаются длиной станины: S – короткая (от англ. short); M – средняя (medium); L – длинная (long).

Асинхронные двигатели рассчитаны на частоту электрического тока источника питания 50 Гц, напряжение 220, 380, 660 В, синхронную частоту вращения 500 об/мин, 600, 750, 1000, 1500 и 3000 об/мин.

Расчетный срок службы двигателя 20 лет.

Асинхронные двигатели единой серии 4А напряжением свыше 1000 В (высоковольтные) имеют мощность более 400 кВт.

Асинхронные двигатели по конструкции бывают двух основных типов: с короткозамкнутым ротором и с фазным ротором (их также называют двигателями с контактными кольцами). Статоры этих двигателей одинаковые.

Двигатель с короткозамкнутым ротором состоит из следующих основных узлов: статора, ротора, переднего и заднего подшипниковых щитов, вентилятора, коробки выводов.

Сердечник статора, представляющий собой полый цилиндр, набирается из отдельных листов, которые штампуют из электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Перед сборкой листы изолируют путем оксидирования или лакирования, иногда используют сталь с изоляционным покрытием. На внутренней поверхности статора выштамповывают пазы, в которые укладывают обмотку.

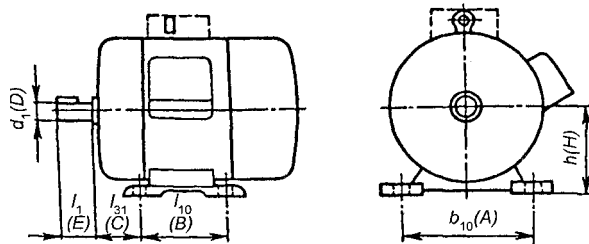


Рис. 2.1. Основные установочные размеры электрических машин на лапах и их обозначение по РС и МЭК-72 (в скобках)

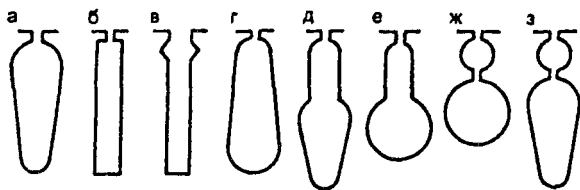


Рис. 2.2. Формы пазов роторов асинхронных электродвигателей:
а-г – глубокие; д-з – фигурные

Сердечник статора закрепляется в корпус. Сердечник ротора также собирают из листов электротехнической стали. В короткозамкнутых роторах применяют полузакрытые или закрытые пазы овальной, прямоугольной или фигурной формы (рис. 2.2). Сердечник ротора напрессовывается на вал ротора и закрепляется шпонкой, накаткой или с помощью переходной втулки.

Обмотка ротора выполняется в виде «беличьей клетки», она является короткозамкнутой и никаких выводов не имеет. Клетка состоит из медных или алюминиевых стержней, замкнутых коротко с торцов двумя кольцами (рис. 2.3). Стержни обмотки вставляют в пазы сердечника ротора без изоляции. В двигателях до 100 кВт обмотка ротора выполняется заливкой пазов расплавленным алюминием. Одновременно заливаются и замыкающие кольца с вентиляционными крыльями, которые необходимы для лучшего охлаждения двигателя. В замыкающих кольцах с обеих сторон

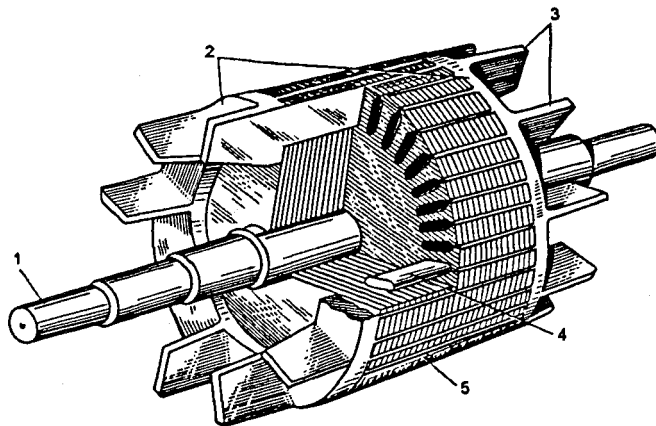


Рис. 2.3. Короткозамкнутый ротор асинхронного двигателя с алюминиевой литой клеткой:
1 – вал; 2 – торцевые замыкающие кольца; 3 – вентиляционные лопатки;
4 – стержень; 5 – сердечник

сердечника ротора расположены пазы для крепления балансировочных грузов.

В подшипниковых щитах имеются центральные отверстия для размещения роликового (со стороны выводного конца вала) и шарикового (с другой стороны) подшипников. В двигателях малой мощности устанавливают два шариковых подшипника.

На станине сделано отверстие с резьбой, в которое закручивают болт для соединения шины заземления. На конце вала находится шпонка для крепления полумуфты.

Охлаждение двигателя осуществляется вентилятором, установленным снаружи на конце вала, и вентиляционными лопатками (крыльями), отбрасывающими воздух на лобовые части обмотки статора. Поток воздуха направляется кожухом вдоль внешней поверхности станины с ребрами. Кожух крепится к щиту двигателя винтами и имеет в торцевой части отверстия, через которые засасывается воздух.

Коробка выводов находится сверху двигателя и может быть повернута в положение, удобное для соединения с питающим кабелем через сальник.

В верхней части станины закручен рым-болт, предназначенный для подъема и монтажа двигателя.

Станину крепят к фундаменту с помощью лап, которые имеют отверстия под крепежные болты. Лапы отлиты как одно целое со станией.

По степени защиты и способу охлаждения асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором выпускаются в трех исполнениях: IP23, IP44, IP54. В машинах IP23 охлаждение осуществляется лопатками, отлитыми вместе с короткозамыкающими кольцами ротора, а в машинах IP44, IP54 – с помощью вентилятора.

На внутренней поверхности крышки коробки выводов находится схема переключения обмоток статора для соответствующего линейного напряжения электрической сети (рис. 2.4). Если двигатель рассчитан на напряжение сети 220/380 В, то при линейном напряжении сети 220 В клеммные переключатели должны располагаться вертикально, т. е. для соединения «треугольником» (Δ). При линейном напряжении сети 380 В три клеммные переключателя должны располагаться горизонтально, это значит для соединения «звездой» (Y) (рис. 2.4). Питаю-

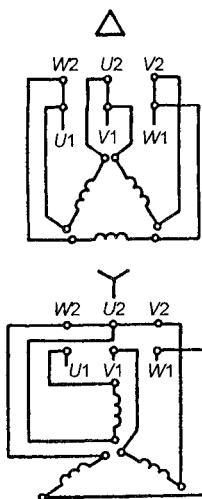


Рис. 2.4. Схема переключения обмоток двигателя

щие провода в этих случаях должны присоединяться к клеммам $U1, V1, W1$ выводного устройства.

Для изменения направления вращения ротора электродвигателя необходимо поменять местами два любых токоподводящих проводника.

Обозначение типа электродвигателя, например 4А90L6УЗ, расшифровывается следующим образом:

4 – порядковый номер серии; А – асинхронный; 90 – высота оси вращения, мм; L – длина корпуса; 6 – количество полюсов; У – климатическое исполнение; З – категория размещения.

Двигатели основного исполнения серии 4А предназначены для работы в районах с умеренным климатом и категорией размещения З. Вероятность безотказной работы не менее 0,9 за 10 тыс. ч наработки. Класс нагревостойкости изоляции двигателей с высотой оси вращения 50–132 мм обозначается В, а с высотой оси вращения 160–355 мм – F.

Станины двигателей с высотой оси вращения 50–63 мм изготавливаются из алюминиевого сплава. Двигатели с высотой оси вращения 71–160 мм имеют станины из алюминиевого сплава или чугуна. Станины двигателей с высотой оси вращения 180–250 мм выпускаются чугунные, а 280–355 мм – как чугунные, так и стальные сварные.

Коэффициент полезного действия (КПД) при номинальной нагрузке составляет 60–94,5%, а коэффициент мощности $\cos \varphi$ – 0,7–0,9, кратность пускового тока – 3,5–7, кратность пускового момента – 1–2,2, кратность максимального момента – 1,7–3. Приведем главные модификации асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором серии 4А.

1. Двигатели с повышенным пусковым моментом (4АР) предназначены для привода механизмов с тяжелыми условиями пуска (компрессоры, поршневые насосы, транспортеры и др.). Двигатели имеют степень защиты IP44, изготавливаются в диапазоне высот оси вращения 160–250 мм на синхронные частоты вращения 1500, 1000, 750 об/мин. По конструкции отличаются от двигателей основного исполнения только формой паза ротора, а в ряде случаев – обмоткой статора.

2. Двигатели с повышенным скольжением (4АС) используются для привода механизмов с пульсирующей нагрузкой (компрессоры, прессы) при относительно большой массе, а также механизмов, которые работают в повторно-кратковременном (S3) и перемежающемся (S6) режимах. Двигатели имеют степень защиты IP44, изготавливаются в диапазоне высот оси вращения 71–250 мм на синхронные частоты вращения 3000, 1500, 1000, 750 об/мин.

Номинальные мощности двигателей относятся к повторно-кратковременному режиму с продолжительностью включения (ПВ), равной 40%.

Ротор двигателей с высотами оси вращения более 100 мм заливается сплавом повышенного сопротивления. Начиная с высоты оси вращения 112 мм, двигатели 4АС имеют меньшее сечение стержней роторной клетки по сравнению с основным исполнением.

3. Многоскоростные двигатели предназначены для привода механизмов, требующих ступенчатого регулирования частоты вращения, имеют степень защиты IP44.

Многоскоростные двигатели серии 4А отличаются от двигателей основного исполнения обмоткой статора, а в ряде случаев формой паза ротора и длиной сердечников.

Двухскоростные двигатели с соотношением частот вращения 1:2 имеют обмотку статора с переключением числа полюсов по схеме Даландера, а трехскоростные – две обмотки, в одной из которых число полюсов переключается по этой схеме.

В обозначении многоскоростных двигателей приводятся все числа полюсов, на которые переключаются обмотки. Например, четырехскоростной двигатель с полюсами 12/8/6/4 обозначается 4А200М12/8/6/4УЗ.

4. Двигатели повышенной точности по установочным размерам применяются в станкостроительной промышленности. Изготовлены с допусками повышенной точности по следующим параметрам: высота оси вращения, непараллельность оси вращения вала относительно опорной плоскости лап, радиальные биения концов вала относительно оси вращения, биения опорных торцов крепежных фланцев.

В двигателях применяется пластмассовый вентилятор.

Для этих двигателей используют обозначение основного исполнения соответствующего типоразмера двигателя с добавлением после числа полюсов буквы П, например: 4А10082ПУЗ.

5. Двигатели с встроенной температурной защитой имеют терморезисторы, которые вместе с блоками управления температурной защиты обеспечивают защиту двигателя от перегрева во всех режимах работы, а также позволяют использовать его перегрузочную способность при понижении температуры окружающей среды и ограничивать ее при повышении.

Двигатели изготавливаются в основном исполнении с некоторыми модификациями, например с повышенным скольжением, сельскохозяйственного назначения. Для двигателей со встроенной температурной защитой применяется обозначение соответствующего двигателя основного исполнения или его модификации с добавлением после числа полюсов буквы Б, например: 4А100С2БУЗ.

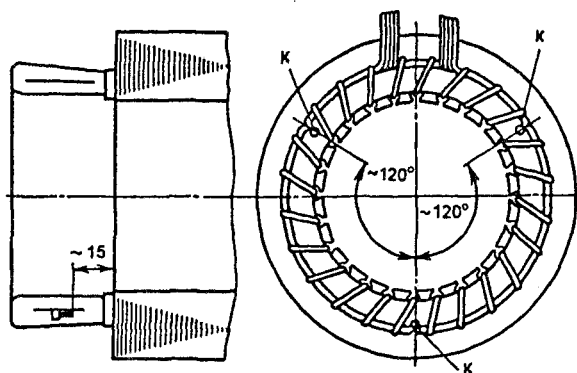


Рис. 2.5. Установка терморезисторов

Блок управления, который располагается вне двигателя, реагирует на изменения параметров терморезисторов: при достижении температуры, опасной для обмотки, он подает сигнал.

В качестве блока управления применяется аппарат защиты АЗП, а в качестве термочувствительных датчиков используются полупроводниковые терморезисторы с положительным температурным коэффициентом типа СТ14-2-145 (145 – это температура реагирования защиты). Терморезисторы встроены в каждую фазу

обмотки между витками выходящей из паза лобовой части катушки (в средней части ее поперечного сечения) на расстоянии около 15 мм от торца сердечника статора (рис. 2.5). Терморезисторы К расположены один относительно другого под углом около 120° и соединены последовательно с выводом концов цепи в коробку выводов, которая имеет два штуцера.

Схема подключения аппарата защиты показана на рис. 2.6.

6. Двигатели сельскохозяйственного исполнения предназначены для привода сельскохозяйственных машин и механизмов, которые

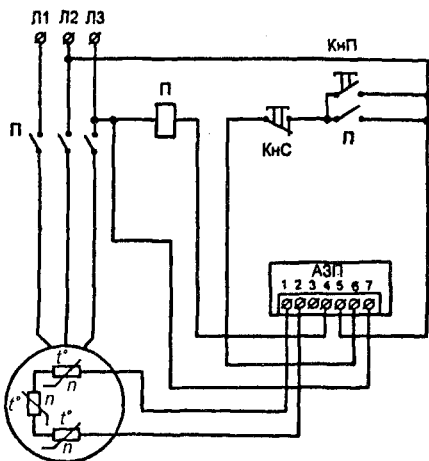


Рис. 2.6. Подключение АЗП с нулевой защитой:

АЗП – аппарат защиты; П – магнитный пускатель; КнС – кнопка «Стоп»; КнП – кнопка «Пуск»

работают в помещении, под навесом и на открытом воздухе, а также в условиях повышенной влажности при температуре окружающей среды от -40 до $+40$ °С.

Станины изготовлены из чугуна, частота вращения двигателей 3000, 1500 и 1000 об/мин.

Двигатели могут работать продолжительное время при номинальной нагрузке и отклонении напряжения от $-7,5$ до $+10\%$ номинального, а также при пониженном напряжении (до 80% номинального) и снижении мощности до 15% номинальной.

Двигатели допускают кратковременную работу с сохранением номинального момента при напряжении до 80% номинального значения на протяжении 10 мин. После этого необходим перерыв продолжительностью до 3 ч.

Двигатели обозначаются так же, как двигатели основного исполнения соответствующего типоразмера с заменой УЗ на СУ1, например 4А100S2СУ1.

Двигатели малозумного исполнения используются для привода специальных станков. Узлы и детали, за исключением кожуха и вентилятора, аналогичны деталям двигателя основного исполнения. Кожух вентилятора выполнен литьем из алюминиевого сплава, а вентилятор – из пластмассы. Кожух крепится к щиту с помощью амортизатора.

Для малозумных двигателей применяют обозначение основного исполнения соответствующего типоразмера двигателя с добавлением после числа полюсов букв: Н – для двигателей с нормальной точностью по установочным размерам; НП – для двигателей с повышенной точностью по установочным размерам, например: 4А100S2НУЗ и 4А100S2НПУЗ.

Двигатели, предназначенные для тропиков, имеют в обозначении букву Т, например: 4А100S2Т1, а двигатели для холодного климата – ХЛ: 4А100S2ХЛ1.

Двигатели с фазным ротором относятся к модификациям серии 4А. Обмотка статора выполнена так же, как и в двигателях с короткозамкнутым ротором. Ротор имеет трехфазную обмотку с тем же числом полюсов. Она выполняется по типу трехфазной обмотки статора и изолируется в пазах от сердечника. Пазы делают закрытыми или чаще полужакрытыми. Обмотки бывают катушечные и стержневые. Катушечные однослойные обмотки изготавливаются путем протягивания проводников через пазы и используются только в двигателях малой мощности с закрытыми пазами.

Для роторов двигателей средней и большой мощности широко применяются двухслойные стержневые волновые и реже петлевые

обмотки. Обмотки ротора обычно соединяются в «звезду». Три свободных конца обмотки припаиваются к трем контактными кольцам, которые крепятся на валу. Кольца изолированы между собой и от вала. На них накладываются медно-графитовые щетки, которые с помощью держателей закреплены на подшипниковом щите. К щеткам присоединяется пусковой реостат. При работе двигателя щетки скользят по контактными кольцам и соединяют вращающуюся обмотку ротора с неподвижным реостатом.

Пусковой реостат применяют для увеличения пускового момента и уменьшения пускового тока. Пускорегулировочный реостат позволяет регулировать также и скорость.

В некоторых двигателях щетки с целью уменьшения изнашивания по окончании пуска поднимаются специальным механизмом, а контактные кольца с помощью контактов замыкаются на коротко.

Двигатели с фазным ротором обладают степенью защиты IP44 (4АК) и IP23 (4АНК) и изготавливаются в следующем диапазоне высот оси вращения: 160–335, 160–250 мм.

При высоте оси вращения 160–200 мм роторы двигателей имеют вращающую двухслойную петлевою обмотку из круглого эмалированного провода, при 225–355 мм – двухслойную волновую стержневую обмотку. Класс нагревостойкости изоляции ротора – F.

В двигателях 4АК со степенью защиты IP44 узел контактных колец расположен под оболочкой двигателя, а в двигателях 4АНК со степенью защиты IP23 – вне оболочки и защищен кожухом.

В обозначении двигателя с фазным ротором имеют дополнительную букву К после условного обозначения степени защиты, например: 4АНК280М4УЗ. Концы обмоток фазного ротора обозначаются: P1 (первая фаза), P2 (вторая фаза), 0 (нулевая точка). Маркировка выводов производится на щитке или чаще на конце обмоток.

В 1981–1985 гг. была разработана международная серия АИ асинхронных двигателей, которая охватывает диапазон мощностей от 0,025 до 315 кВт при 1500 об/мин и высоте оси вращения 45–355 мм. Затем эта серия была усовершенствована и получила обозначение 2АИ (Интерэлектро). В серии предусмотрены различные исполнения: основное (с электрическими модификациями), специализированные (по условиям окружающей среды, точности установочных размеров с дополнительными устройствами), узкоспециализированные.

Двигатели со степенью защиты IP54 или IP44 являются основным исполнением для всей серии. На отрезке высот оси вращения 200 мм и более взято исполнение со степенью защиты IP23.

Двигатели мощностью 0,025–0,37 кВт изготавливаются на напряжение 220, 380В; 0,55–11кВт – на 220, 380 и 660 В при соединении фаз «звездой» и «треугольником» с тремя выводными концами.

Двигатели мощностью свыше 11 кВт выполняются на напряжение 380/660 В с шестью выводными концами. Основное исполнение предусмотрено для частоты 50 Гц, для поставок на экспорт возможно изготовление на частоту 60 Гц.

Номинальным режимом работы двигателей серии АИ является режим S1, кроме того, асинхронные двигатели должны допускать работу и в режимах S2–S8.

Расчетный срок службы таких двигателей составляет не менее 20 000 ч при вероятности безотказной работы не менее 0,9.

Для обозначения серии АИ взята структура, в которой можно выделить три вида обозначений: базовое, основное, полное.

Базовое обозначение определяет серию, мощность, частоту вращения, например: АИР100М4 (серия АИ, увязка по варианту Р, высота оси вращения 100 мм, длина корпуса М, число полюсов 4).

Основное обозначение – это соединение базового исполнения двигателя с видом защиты и охлаждения, с электрической и конструктивной модификациями и с исполнением по условиям окружающей среды. Например: АИРБС100М4НПТ2 (АИР100М4 – базовое обозначение, Б – закрытое исполнение с естественным охлаждением без обдува, С – с повышенным скольжением, Н – малощумные, П – с повышенной точностью установочных размеров, Т – для тропического климата, 2 – категория размещения).

Полное обозначение – соединение основного обозначения с дополнительными конструктивными и электрическими характеристиками. Например: АИРБС100М4НПТ2, 220/380 В, 60, IM2181, КЗ-11-3, F100 (АИРБС100М4НПТ2 – основное обозначение, 220/380 В – напряжение, 60 – частота сети, IM2181 – исполнение по способу монтажа и по концу вала, КЗ-11-3 – исполнение выводного устройства и число штуцеров, F100 – исполнение фланцевого щита).

Буквы могут быть как русские, так и латинские.

Машины серии АИ изготавливаются в разных странах. По сравнению с машинами серии 4А они имеют повышенную надежность и перегрузочную способность, более широкий диапазон регулирования, лучшие массогабаритные и энергетические показатели и виброакустические характеристики.

Кроме общепромышленных серий 4А и АИ, имеется ряд серий асинхронных двигателей, предназначенных для особых условий работы:

- серия 4МТ (вместо серии МТ) – для привода краново-металлургических машин и механизмов. Эта серия унифицирована с се-

рией 4А и охватывает двигатели мощностью до 200 кВт. Она включает как двигатели с короткозамкнутым ротором (4МТК), так и двигатели с фазным ротором (4МТ). Двигатели серии 4МТ предназначены для повторно-кратковременного режима работы, когда на заданном временном интервале (цикле) двигатель часть времени работает, а часть времени отключен. Двигатели серии АР мощностью 0,3–10 кВт и частотой вращения 150–1500 об/мин используются для индивидуального привода роликов рольганга;

- серия ПЭД – погружные маслonaполненные двигатели для привода центробежных насосов при откачивании жидкости из нефтяных скважин;

- серия ВА02 – для работы во взрывоопасной среде;

- серия АТД (500–800 кВт, 3000 об/мин) – для привода быстроходных стационарных насосов;

- серия МАПЗ (2,5–60 кВт) – для привода насосов артезианских скважин. Двигатель опускается в воду вместе с насосом. Охлаждение осуществляется водой, в которой он работает.

2.3. Синхронные машины

Синхронные машины широко применяются в качестве генераторов электрической энергии, например на электрических станциях. Синхронные двигатели используются для привода компрессоров, насосов, преобразовательных агрегатов и т. д. Двигатели, которые работают без нагрузки на валу, применяются в качестве источника реактивной мощности и называют синхронными компенсаторами.

В автоматике используют синхронные двигатели мощностью от долей ватта до нескольких сотен ватт.

Характерной особенностью синхронных машин является то, что в установившемся режиме работы скорость ротора равна угловой скорости магнитного поля.

Синхронная машина имеет две обмотки. Одна из них (обмотка возбуждения) подключается к источнику постоянного тока и создает основное магнитное поле машины. Вторая является обмоткой якоря и состоит из одной, двух или трех фаз.

Обмоткой якоря называется обмотка, в которой происходит преобразование энергии. Она может располагаться на статоре (неподвижной части машины) или на роторе (вращающейся части). Наиболее распространены трехфазные обмотки якоря. В обмотке якоря индуцируется основная электродвижущая сила (ЭДС) машины.

Принцип работы синхронного генератора заключается в следующем. При вращении ротора магнитное поле, создаваемое обмоткой возбуждения, будет пересекать проводники обмотки стато-

ра, которая выполнена аналогично трехфазной обмотке статора асинхронной машины. Если обмотка статора подключена к нагрузке, то в проводниках будут протекать токи, которые создадут вращающееся магнитное поле статора. Скорость его вращения будет равна скорости вращения ротора. Поэтому машину называют синхронной.

В синхронном двигателе трехфазная обмотка статора подключается к трехфазной питающей сети. В результате образуется вращающееся магнитное поле статора. Если ротор разогнать до скорости вращения магнитного поля статора (это выполняется с помощью асинхронного пуска синхронного двигателя), то магнитные полюса обмотки статора будут притягивать полюса противоположной полярности обмотки ротора. В результате такого магнитного сцепления ротор синхронного двигателя вращается с той же скоростью, что и магнитное поле статора.

Обычно в синхронных машинах обмотка якоря расположена на статоре, а обмотка возбуждения – на роторе. Иногда в машинах небольшой мощности обмотка якоря находится на роторе, а обмотка возбуждения – на полюсах статора. На практике преобладает первая конструкция, поскольку в этом случае к скользящему контакту ротора подводится мощность возбуждения, которая составляет лишь 0,3–3% номинальной мощности машины.

Сердечник статора синхронной машины состоит из отдельных пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм. На внутренней поверхности статора имеются пазы для укладки обмотки якоря. При внешнем диаметре менее 1 м сердечник собирается из цельных кольцевых пластин (рис. 2.7, а), а при большем диаметре каждое кольцо составляют из отдельных пластин, которые называют сегментами (рис. 2.7, б). Сердечник закрепляется в станине (корпусе) статора. В пазы статора, которые обычно имеют прямоугольное сечение, укладывают двухслойные петлевые обмотки, а в крупных машинах – одновитковые стержневые волновые обмотки.

По исполнению ротора синхронные машины разделяют на явнополюсные и неявнополюсные.

Явнополюсный ротор синхронной машины (рис. 2.8) имеет выступающие полюсы, сердечник которых в машинах большой мощности набирают из пластин конструкционной стали толщиной 0,5–1 мм.

В машинах небольшой мощности полюсы крепятся болтами к валу, а в тихоходных – к ободу ротора.

В крупных и относительно быстроходных машинах полюсы крепят к ободу ротора с помощью Т-образных, или «ласточкиных хвостов».

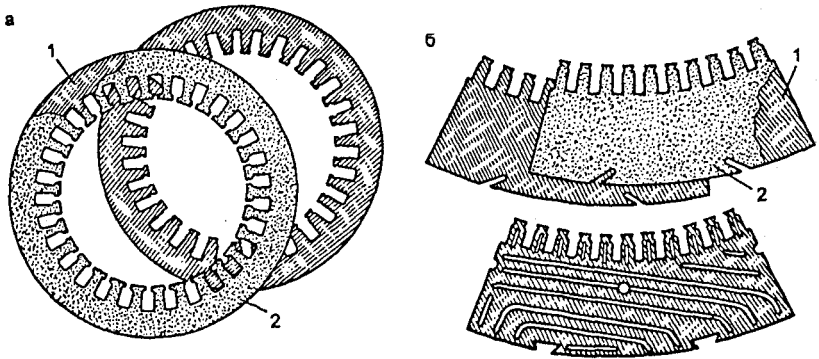


Рис. 2.7. Листы сердечника статора синхронной машины:
 а – штампованные листы статорной стали небольших машин; б – штампованные листы (сегменты) статорной стали крупных машин; 1 – электротехническая сталь; 2 – лак или бумага

Обмотки возбуждения располагают на полюсах. В полюсных наконечниках размещают пусковую (демпферную) обмотку, изготовленную из крупных прутков латуни. Стержни этой обмотки по торцам замыкают пластинами или кольцами, образуя короткозамкнутые клетки.

Явнополюсные роторы применяют в машинах большой мощности с относительно низкой частотой вращения, а значит с большим числом полюсов.

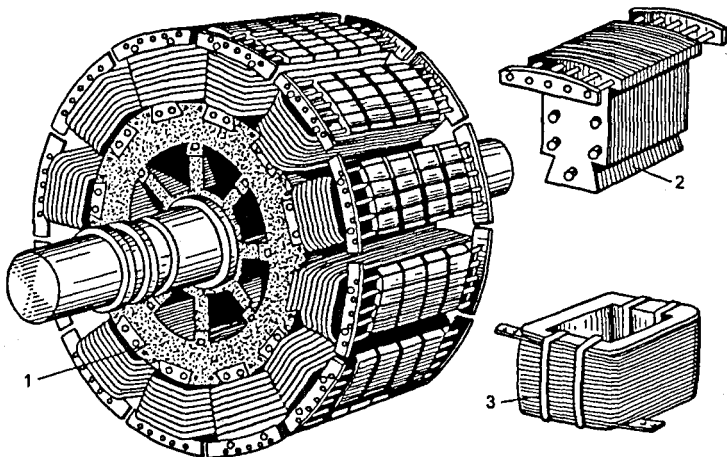


Рис. 2.8. Явнополюсный ротор синхронной машины:
 1 – ротор с полюсами и катушками; 2 – полюс с пусковой (демпферной) обмоткой; 3 – обмотка возбуждения полюса

Неявнополюсные роторы используют в синхронных машинах большой мощности с высокой частотой вращения (3000, 1500 об/мин), например в синхронных турбогенераторах, а также быстроходных синхронных двигателях, которые применяются, в частности, для привода турбокомпрессоров.

Большинство синхронных машин имеет электромагнитное возбуждение. Источником постоянного тока для обмотки возбуждения являются специальные системы возбуждения: электромашинная и вентильная. В системе возбуждения используется специальный генератор постоянного тока (возбудитель), мощность которого составляет 0,3–3% мощности синхронной машины. Возбудитель обычно соединяется с валом синхронной машины.

Вентильные системы возбуждения имеют три разновидности: с самовозбуждением, с независимым возбуждением, с бесщеточным возбуждением.

В настоящее время широко применяются синхронные машины с постоянными магнитами: микродвигатели, генераторы и двигатели малой мощности, тахогенераторы. В этих машинах вместо обмотки возбуждения используют постоянные магниты, которые в большинстве случаев располагают на роторе. Конструкция статора остается неизменной.

В синхронных двигателях, кроме постоянных магнитов, на роторе размещают пусковую короткозамкнутую обмотку.

Синхронные машины, как и асинхронные, изготавливают сериями. Для автономных установок, где в качестве первичного двигателя применяют двигатели внутреннего сгорания, выпускают синхронные генераторы серий ЕСС, СГД, СГН мощностью 6,25–156 кВ·А при напряжении 400 В и 500–4000 кВ·А при напряжении 6,3 кВ.

Номинальные частоты вращения генераторов 500, 1000, 1500 об/мин.

В синхронных электроприводах используют синхронные двигатели серий СД и СДН мощностью 75–125 кВт при напряжении 380 В и 400–10 000 кВт при напряжении 6 кВ.

Синхронные двигатели серий СДН, СДНЗ (315–4000 кВт, 6 кВ) предназначены для привода насосов, мельниц, дымососов и других механизмов с небольшими маховыми массами, которые не требуют регулирования частоты вращения. Обычно двигатели работают в закрытых помещениях с регулируемым климатическими условиями. Степень защиты двигателей серии СДН–IP00, серии СДНЗ–IP44.

Двигатели этих серий изготавливают со станиной на лапах, с двумя стоячковыми подшипниками скольжения, с горизонталь-

ным размещением вала и одним свободным цилиндрическим концом. Корпус статора сварной, из листовой стали. Между пакетами сердечника статора имеются радиальные каналы для циркуляции охлаждающего воздуха. Температура подшипников контролируется с помощью термометров сопротивления.

Двигатели серий СДН, СДНЗ допускают прямой асинхронный пуск при номинальном напряжении сети. Из холодного состояния с интервалами не менее 5 мин возможны два пуска, из горячего состояния допускается только один пуск. При этом средний статический момент сопротивления не должен быть больше 0,4 номинального момента. Общее число пусков не может превышать 500 в год.

Возбуждение, управление пуском и торможением двигателей осуществляется от тиристорных возбудителей типа ТЕ8-320. Синхронные двигатели серий СДК, СДКП, СДКМ (315–800 кВт, 6–10 кВ) предназначены для привода компрессоров. Двигатели серии СДКП применяют во взрывоопасных помещениях. Для привода аммиачных поршневых компрессоров предназначены двигатели серии СДКМ.

Исполнение двигателей – горизонтальное, консольное (ротор насаживается на консольный конец вала компрессора).

Изоляция обмоток статора и ротора по нагревостойкости соответствует классу В.

Возбуждение двигателей осуществляется от тиристорных возбудителей на напряжение 380 В, которое получают от согласующего трансформатора.

Пуск двигателей – асинхронный, непосредственно от сети при полном напряжении с разгруженным компрессором.

Синхронные явнополюсные двигатели серии СДМЗ (1600–4000 кВт, 6 кВ) предназначены для привода шаровых и стержневых мельниц в продолжительном режиме работы в закрытых помещениях с регулируемым климатическими условиями. Двигатели имеют степень защиты IP44, горизонтальный вал, два стояковых подшипника скольжения с комбинированной смазкой.

Вентиляция принудительная по замкнутому циклу через воздухоохладители, установленные на фундаментной плите.

Возбуждение двигателей осуществляется от тиристорных возбудителей типа ТЕ8-320-150 и ТЕ8-320-230. Возможны два пуска подряд из холодного состояния или один пуск из горячего состояния при среднем статическом моменте, равном 0,8 номинального. Следующий цикл возможен только через 2 ч. В год допускается до 500 пусков.

Синхронные двигатели серии СДМП2 (400–800 кВт, 6 кВ) используются для привода шаровых и стержневых мельниц, уста-

новленных в помещениях со взрывоопасной средой. Режим работы S1, климатическое исполнение и категория размещения УХЛ4, степень защиты IP43. Система вентиляции включает отдельный вентилятор. Возбуждение от тиристорного возбудителя типа ТВ300Р-УХЛ4. Подшипники скольжения имеют кольцевую смазку.

Синхронные явнополюсные двигатели серии ДСЗ (12 500–22 000 кВт, 6–10 кВ) предназначены для привода преобразовательных агрегатов. Они имеют закрытое исполнение с самовентиляцией по замкнутому циклу через воздухоохладители, которые устанавливаются в фундаментной яме; степень защиты IP43. Конструкция двигателей позволяет сдвигать статор на полную длину ротора для профилактических осмотров и ремонтов, включая замену элементов обмотки статора и ротора без разборки двигателей. Возбуждение двигателей тиристорное.

Синхронные явнополюсные вертикальные двигатели серии ВДС (4000–16 000 кВт, 6–10 кВ) применяются для привода насосов на крупных оросительных системах и магистральных каналах при подаче воды до 40 м³/с и напоре 25–65 м.

Синхронные неявнополюсные двигатели серий СТД и ТДС (630–31 500 кВт, 6–10 кВ) используются для электроприводов нефтяных насосов и газовых компрессоров на компрессорных станциях магистральных нефте- и газопроводов, газовых компрессоров химического производства, водяных насосов при добыче нефти и др.

Двигатели выполняют с замкнутыми и разомкнутыми циклами вентиляции, на фундаментных плитах с двумя стоячковыми подшипниками и одним рабочим концом вала, с массивной бочкой ротора, в пазы которой заложена обмотка возбуждения. Изоляция обмотки возбуждения – класса нагревостойкости В. Вентиляторы расположены с обеих сторон бочки ротора.

Подшипники скольжения смазываются под давлением. Двигатели этой серии могут запускаться непосредственно от сети. В случае больших моментов инерции пуск производят при пониженном напряжении с помощью пускового тиристорного устройства. Для питания обмотки возбуждения синхронных двигателей серии СТД применяют тиристорные возбудители серии ВТЕ 320-6. Возбудители подсоединяют к сети через трансформатор.

2.4. Электрические машины постоянного тока

В настоящее время в регулируемых по скорости или моменту электроприводах широко используются машины постоянного тока. Они изготавливаются мощностью от долей ватта до 12 МВт.

Номинальное напряжение их не превышает 1500 В и только иногда в крупных машинах доходит до 3000 В. Частота вращения колеблется в широких пределах – от нескольких оборотов до нескольких тысяч оборотов в минуту.

Рассмотрим принцип действия машины постоянного тока. Обмотка возбуждения, которая питается постоянным током, создает неподвижное в пространстве магнитное поле. В этом магнитном поле вращаются обмотки якоря, в которых индуктируется ЭДС. При замкнутой цепи обмотки якоря по проводникам будут протекать токи. Взаимодействие проводников с током, находящихся в неподвижном магнитном поле обмотки возбуждения, приводит к созданию вращающего электромагнитного момента. Чтобы этот вращающий момент был направлен в одну сторону, необходимо, чтобы под магнитными полюсами находились проводники с током одного направления. Эту задачу выполняет коллектор, на котором расположены щетки. Коллектор со щетками является преобразователем частоты, который в электродвигателе постоянного тока преобразует подаваемый к щеткам постоянный ток в переменный ток обмотки якоря так, что под полюсом одной полярности будут находиться проводники обмотки якоря с током одного направления, а под полюсом другой полярности – с током другого направления.

В генераторе постоянного тока коллектор со щетками преобразует (выпрямляет) переменный ток, протекающий в проводниках обмотки якоря, в постоянный ток (напряжение), снимаемый со щеток.

В настоящее время имеются электродвигатели постоянного тока, в которых коллектор со щетками заменен полупроводниковым преобразователем частоты, управляемым от сигналов датчика положения ротора. Такие двигатели называются *бесконтактными двигателями постоянного тока*. Многообразие этих двигателей чаще всего объединяют под общим названием «вентильные электродвигатели».

Наиболее широко применяются машины постоянного тока с механическим коммутатором – коллектором. Хотя он усложняет условия работы, однако правильно спроектированная и качественно изготовленная машина постоянного тока является достаточно надежной. Машины постоянного тока, как и все электрические машины, обратимы, т. е. могут работать и как генераторы, и как двигатели. Конструктивно они выполнены одинаково. Однако с целью получения более экономичных режимов работы генераторы и электродвигатели проектируются и изготавливаются отдельно. В частности, они изготавливаются на разные напряжения: генераторы – на 115, 230, 460 В, двигатели – на 110, 220, 440 В.

Генераторы постоянного тока применяются в качестве возбудителей синхронных машин, сварочных генераторов, для питания гальванических ванн и двигателей постоянного тока, зарядки аккумуляторов.

Электродвигатели постоянного тока используются для электрической тяги, в подъемно-крановых установках, металлургической, бумажной промышленности и других отраслях, где требуется плавное и точное регулирование скорости и вращающего момента в широких пределах.

Электрическая машина постоянного тока состоит из статора, якоря, коллектора, щеткодержателя и подшипниковых щитов (рис. 2.9). Статор состоит из станины (корпуса), главных и добавочных полюсов, которые имеют обмотки возбуждения. Эту неподвижную часть машины иногда называют *индуктором*. Главное его назначение – создание магнитного потока. Станина изготавливается из стали, к ней болтами крепятся главные и добавочные полюсы, а также подшипниковые щиты. Сверху на станине имеются кольца для транспортирования, снизу – лапы для крепления машины к фундаменту.

Главные полюсы машины набираются из листов электротехнической стали толщиной 0,5–1 мм (с целью уменьшения потерь, ко-

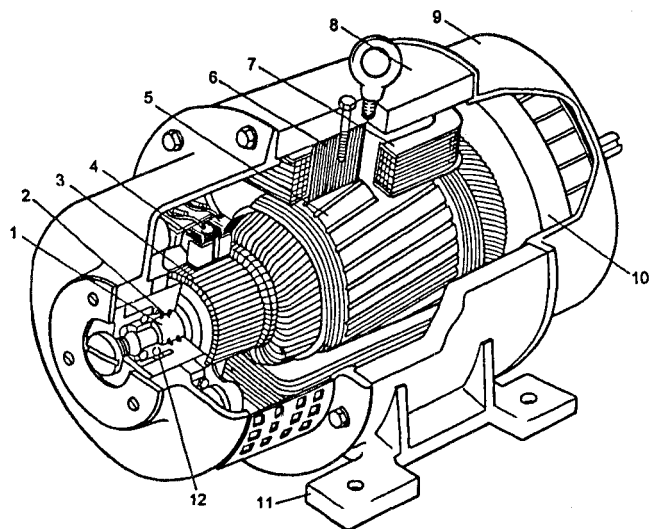


Рис. 2.9. Машина постоянного тока:

1 – вал; 2 – передний подшипниковый щит; 3 – коллектор; 4 – щеткодержатель; 5 – сердечник якоря с обмоткой; 6 – сердечник главного полюса; 7 – полюсная катушка; 8 – станина; 9 – задний подшипниковый щит; 10 – вентилятор; 11 – лапы; 12 – подшипник

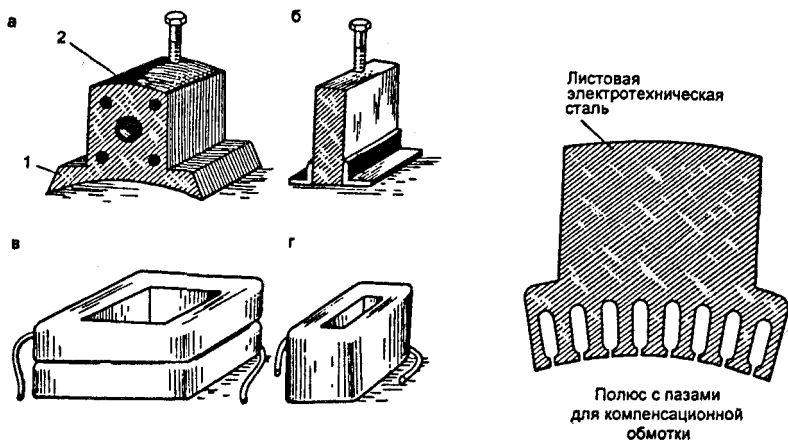


Рис. 2.10. Полусы машины постоянного тока:
 а – главный полюс; б – дополнительный полюс; в – обмотка главного полюса; г – обмотка дополнительного полюса; 1 – полюсный наконечник; 2 – сердечник

торые возникают из-за пульсаций магнитного поля полюсов в воздушном зазоре). Стальные листы сердечника полюса спрессованы и скреплены заклепками.

В полюсах различают сердечник и наконечник (рис. 2.10). На сердечник надевают обмотку возбуждения, по которой проходит ток, создавая магнитный поток. Обмотка возбуждения наматывается на металлический каркас, оклеенный электрокартоном (в больших машинах), или размещается на изолированном электрокартоне сердечнике (малые машины). Для лучшего охлаждения катушку делят на несколько частей, между которыми оставляют вентиляционные каналы. Добавочные полюсы устанавливаются между главными. Они служат для улучшения коммутации. Их обмотки включаются последовательно в цепь якоря, поэтому проводники обмотки имеют большое сечение.

Якорь машины постоянного тока состоит из вала, сердечника, обмотки и коллектора. Сердечник якоря собирается из штампованных листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм и спрессовывается с обеих сторон с помощью нажимных шайб. В машинах с радиальной системой вентиляции листы сердечника собираются в отдельные пакеты толщиной 6–8 см, между которыми делают вентиляционные каналы шириной 1 см. При осевой вентиляции в сердечнике выполняют отверстие для прохождения воздуха вдоль вала. На внешней поверхности якоря имеются пазы для обмотки.

Обмотка якоря изготавливается из медных проводов круглого или прямоугольного сечения в виде заранее выполненных секций (рис. 2.11). Они укладываются в пазы, где тщательно изолируются. Обмотку делают двухслойной: размещают в каждом пазу две стороны разных якорных катушек — одну над другой. Обмотку закрепляют в пазах клиньями (деревянными, гетинаксовыми или текстолитовыми), а лобовые части крепят специальным проволочным бандажом. В некоторых конструкциях клинья не применяют, а обмотку крепят бандажом. Бандаж изготавливают из немагнитной стальной проволоки, которая наматывается с предварительным натяжением. В современных машинах для бандажировки якорей используют стеклянную ленту.

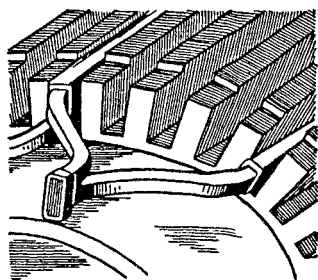


Рис. 2.11. Расположение секций обмотки якоря в пазах сердечника

Коллектор машины постоянного тока собирается из клиноподобных пластин холоднокатаной меди. Пластины изолируют одну от другой прокладками из коллекторного миканита толщиной 0,5–1 мм. Нижние (узкие) края пластин имеют вырезы в виде «ласточкина хвоста», которые служат для крепления медных пластин и миканитовой изоляции. Коллекторы крепят нажимными конусами двумя способами: при одном из них усилие от зажима передается только на внутреннюю поверхность «ласточкина хвоста», при втором — на «ласточкин хвост» и конец пластины.

Коллекторы с первым способом крепления называют арочными, со вторым — клиновыми. Наиболее распространены арочные коллекторы.

В коллекторных пластинах со стороны якоря при небольшой разнице в диаметрах коллектора и якоря делают выступы, в которых фрезеруют прорезы (шлицы). В них укладывают концы обмотки якоря и припаивают оловянистым припоем. При большой разнице в диаметрах припайка к коллектору делается с помощью медных полосок, которые называются «петушками».

В быстроходных машинах большой мощности для предотвращения выпучивания пластин под действием центробежных сил применяют внешние изолированные бандажные кольца.

Щеточный аппарат состоит из траверсы, щеточных пальцев (болтов), щеткодержателей и щеток. Траверса предназначена для крепления на ней щеточных пальцев щеткодержателей, образующих электрическую цепь.

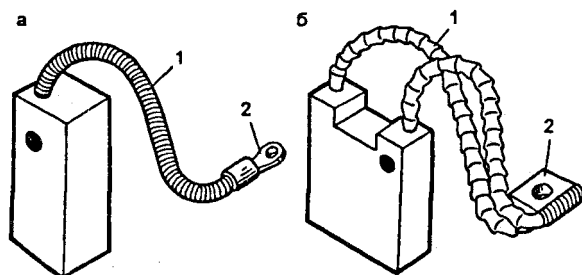


Рис. 2.12. Щетки:
 а – для машин малой и средней мощности; б – для машин большой мощности; 1 – щеточный канатик; 2 – наконечник

Щеткодержатель состоит из обоймы, в которую помещается щетка, рычага для прижима щетки к коллектору и пружины. Давление на щетку составляет 0,02–0,04 МПа.

Для соединения щетки с электрической цепью имеется гибкий медный тросик.

В машинах малой мощности применяют трубчатые щеткодержатели, которые крепят в подшипниковом щите. Все щеткодержатели одной полярности соединяются между собой сборными шинами, которые подключаются к выводам машины.

Щетки (рис. 2.12) в зависимости от состава порошка, способа изготовления и физических свойств разделяют на шесть основных групп: угольно-графитовые, графитовые, электрографитовые, медно-графитовые, бронзографитовые и серебряно-графитовые.

Подшипниковые щиты электрической машины служат в качестве соединительных деталей между станиной и якорем, а также опорной конструкцией для якоря, вал которого вращается в подшипниках, установленных в щитах.

Различают обычные и фланцевые подшипниковые щиты.

Подшипниковые щиты изготавливают из стали (реже из чугуна или алюминиевых сплавов) методом литья, а также сварки или штамповки. В центре щита делается расточка под подшипник качения: шариковый или роликовый. В машинах большой мощности в ряде случаев используют подшипники скольжения.

В последние годы статор двигателей постоянного тока собирают из отдельных листов электротехнической стали. В листе одновременно штамповуются ядро, пазы, главные и добавочные полюсы.

Основной серией машин постоянного тока общего назначения, изготавливаемых в СНГ, является серия 2П. Она охватывает диапазон мощностей от 0,37 до 200 кВт при высоте осей вращения 90–315 мм. Электродвигатели этой серии предназначены для ши-

рокорегулируемых электроприводов. Они заменяют машины серии П, а также специализированные машины серий ПС (Т), ПБС (Т), ПР.

Электродвигатели серии 2П изготавливаются с полным числом добавочных полюсов. При этом двигатели с высотой оси вращения 90 и 100 мм – двухполюсные, 112 мм – четырехполюсные.

Двигатели типов 2ПН, 2ПФ обладают степенью защиты IP22, а типов 2ПБ и 2ПО – IP44. Двигатели со степенью защиты IP22 имеют центробежный реверсивный вентилятор, посаженный на вал якоря со стороны, противоположной коллектору.

Двигатели со степенью защиты IP44 имеют внешний центробежный вентилятор, который посажен на конец вала, противоположный приводу, и закрыт штампованным или сваренным кожухом из листовой стали толщиной 1–2 мм. Внутри таких двигателей со стороны, противоположной коллектору, размещается вентилятор-мешалка.

Для привода вентилятора в двигателях типа 2ПФ и 2ПО используется асинхронный двигатель типа 4АА56А4У3 с синхронной частотой вращения 1500 об/мин.

В двигателях с высотой оси вращения 90–200 мм станина изготовлена из отрезков цельнотянутых труб, а с высотой оси вращения 225–315 мм станины сварные, из толстолистового проката.

Соединение двигателей серии 2П с приводом осуществляется эластичной, зубчатой или клиноременной передачей. Рабочий конец вала – со стороны, противоположной коллектору.

Двигатели изготавливаются с независимым возбуждением. Напряжение возбуждения 110 или 220 В независимо от номинального напряжения якоря.

Режим работы машины серии 2П продолжительный (S1), средний срок службы 12 лет, средний ресурс 30 000 ч.

Двигатели типа 2П...Г изготавливаются с тахогенератором типа ТС1, который имеет закрытое встроенное исполнение. Возбуждение тахогенератора осуществляется от постоянных магнитов.

Номинальное напряжение якорной цепи машины серии 2П составляет 110, 220, 240 и 660 В.

Машины новой серии 4П по сравнению с серией 2П характеризуются улучшенными массогабаритными показателями. Все машины этой серии имеют распределенную компенсационную обмотку, а магнитопроводы (сердечники) статора и якоря шихтованные.

В ряде машин серии 4П (например, типов 4ПО, 4ПБ) статоры изготовлены по типу статоров асинхронных двигателей и не имеют явных полюсов. Обмотка возбуждения укладывается в 2 паза в

пределах полюсной дуги, компенсационная обмотка размещается равномерно во всех оставшихся пазах расточки статора.

Двигатели типов 4ПО, 4ПБ имеют степень защиты IP44. Они рассчитаны на длительный режим работы (S1), но допускают эксплуатацию в режимах S3–S8, изготавливаются с параллельным или независимым возбуждением 220 В.

Широкорегулируемые электродвигатели типа 4ПФ обладают степенью защиты IP23. Они поставляются со встроенным тахогенератором типа ТП80-20-0,23 и датчиком тепловой защиты. Возбуждение – независимое, от напряжения 110 или 220 В.

Двигатели типа 4ПФ имеют статор восьмигранного сечения, который набирается из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Он запрессован между двумя нажимными плитами толщиной 10 мм из стального проката. В осевом направлении пакет статора стянут шпильками и приварен по углам по накладным планкам, которые обеспечивают поперечную жесткость. В нажимных плитах сделаны резьбовые отверстия для болтов крепления подшипниковых щитов.

Обмотки статора наматываются машинным способом.

Для вентиляции в статоре предусмотрены аксиальные каналы. Подшипниковые щиты – чугунные, литые. Лапы изготавливаются на подшипниковых щитах. Щеткодержатели – радиальные унифицированной конструкции.

Электродвигатели выполняются с подшипниками качества класса точности 6.

Для механизмов, эксплуатирующихся в тяжелых условиях (металлорежущие станки, металлургическое производство), изготавливаются крупные электродвигатели серии 4П с высотой оси вращения 350 и 450 мм.

В условном обозначении этих двигателей после серии (4П) последовательно указываются высота оси вращения, количество щеток на коллекторе, мощность при основном напряжении, климатическое исполнение (У или Т), категория размещения.

Двигатели могут изготавливаться на напряжение 440, 660, 750, 930 В. Возбуждение – независимое (напряжение 220 В). Основной режим работы продолжительный (S1), но допускается работа в режимах S3–S8. Двигатели выполняются с тахогенератором постоянного тока и реле скорости. Вентиляция принудительная от отдельного вентилятора. Степень защиты IP44.

Электродвигатели постоянного тока серии ПГ (ПГТ) изготавливаются с гладким якорем и предназначены для работы в быстродействующих электроприводах слежения и широкорегулируемых электроприводах металлорежущих станков и других рабочих ма-

шин при питании от источников постоянного тока и полупроводниковых преобразователей. Электродвигатель может быть с тахогенератором типа ТС-1М (серия ПГТ). Режим работы продолжительный (S1).

В условном обозначении последовательно указываются: серия (ПГ), буква Т – при наличии встроенного тахогенератора, мощность, М – модернизированный, климатическое исполнение, категория размещения.

Двигатели изготавливаются в защищенном исполнении, воздух продувается с помощью вентилятора-наездника, который приводится в движение асинхронным двигателем.

Двигатели серии ЭП предназначены для работы в широкорегулируемых электроприводах металлорежущих станков высокой точности и специальных установок. В условном обозначении после букв ЭП указывается: в числителе – номинальное напряжение, а в знаменателе – мощность (условно). Номинальный режим работы S1.

Для прокатных станов, шагающих экскаваторов, шахтных подъемников, гребных установок и испытательных стендов предназначены машины постоянного тока большой мощности серий П2 и МП. Их мощность составляет 3150 – 12 500 кВт при частоте вращения 36 – 800 об/мин, напряжение – 440, 750, 930 В.

Для питания мощных двигателей постоянного тока главных приводов прокатных станов используют генераторы постоянного тока серии ГП.

Существуют серии машин постоянного тока специального назначения: крановые, металлургические, тяговые, микромашины систем автоматики.

Двигатели серии Д предназначены для специализированных кранов, вспомогательных металлургических механизмов с повторно-кратковременным режимом работы, большим числом включений, широким диапазоном регулирования скорости. При регулировании двигателей допускается увеличение напряжения до 440 В относительно номинального 220 В. Средняя скорость тихоходного исполнения 700; быстроходного – 1200 об/мин. Для тихоходных двигателей допустимое число включений в час составляет 2000, для быстроходных – 300. Класс нагревостойкости изоляции обмоток и коллектора Н (превышение температуры 120 °С).

Основное конструктивное исполнение двигателей закрытое со степенью защиты IP21. Двигатели серии Д810–Д818 имеют разъемную станину. Оба конца вала двигателя одинаковые и могут передавать момент через шестерню, изготавливаются на мощность 2,5–185 кВт. Для тепловозов выпускаются генераторы постоянного тока серии ГП на мощность 700–2000 кВт, напряжение 310–810 В,

частоту вращения 900–4220 об/мин и предназначены для питания тяговых электродвигателей. Станина генератора цилиндрическая с опорными лапами по бокам. Главные полюсы шихтованные, на них расположены обмотки независимого и последовательного (для пуска дизеля) возбуждения. Добавочные полюсы выполнены сплошными из толстолистовой стали.

В качестве тяговых электродвигателей тепловозов применяют машины постоянного тока последовательного возбуждения серии ЭД, которые изготавливаются на мощность 230–411 кВт, напряжение 381–700 В и частоту вращения 585–3050 об/мин. Двигатели имеют независимую вентиляцию и защищенное исполнение.

Для электровозов выпускаются тяговые электродвигатели серий ТЛ (670 кВт, 1500 В), НВ (575–790 кВт, 950–1100 В), ДТ (465 кВт, 1500 В).

На городском электрифицированном транспорте применяют тяговые электродвигатели постоянного тока серии ДК. Они изготавливаются со степенью защиты IP20, с самовентиляцией, воздух подается со стороны коллектора. Серия ДК характеризуется мощностью 45–185 кВт, напряжением 275–750 В, средней частотой вращения 1500 об/мин. Для удобства обслуживания электродвигатели трамваев имеют только по два пальца щеткодержателей, которые расположены в нижней части станины.

Электродвигатели постоянного тока серии ДК (230–560 кВт, 550–750 В, 550–1040 об/мин) предназначены для встраивания в колеса автосамосвалов и автопоездов грузоподъемностью 75–180 т. Двигатель встраивается в центральную часть колеса и крепится к неподвижной части фланцем, который расположен на круглой станине двигателя. Один шлицевый конец вала служит для передачи вращающего момента через редуктор планетарного типа, второй используют для крепления диска тормоза с электро- или пневмоприводом. Выводные концы привода расположены на подшипниковом щите со стороны коллектора. Двигатель не имеет коробки выводов.

Возбуждение электродвигателя последовательное, используется также обмотка независимого (параллельного) возбуждения. Двигатель имеет компенсационную обмотку для улучшения коммутации. Вентиляция двигателя независимая, с подачей воздуха через один из люков со стороны коллектора. Степень защиты IP20.

Для безрельсового напольного электротранспорта (погрузчики, электроштабелеры, электротягачи) выпускаются электродвигатели серий ЗДТ, ГТ, ДК, РТ, ЗДВ мощностью 1,35–21 кВт и напряжением 24–110 В. Все двигатели четырехполюсные, обмотки яко-

рей двигателей волновые, сделаны из прямоугольного медного провода и удерживаются в пазах бандажом из стеклоленты или стальной луженой проволоки.

Станины двигателей изготавливаются из стальной прокатной трубы. Большинство электродвигателей имеет последовательное возбуждение и закрытое исполнение с естественным охлаждением.

Двигатели серий ДКВ и ДВ характеризуются взрывозащищенным исполнением.

Для привода рудничных аккумуляторных электровозов предназначены электродвигатели серий ДРТ, ДПТР мощностью 2,4–19 кВт и напряжением 80–250 В. Они имеют взрывозащитное исполнение и естественное охлаждение.

Двигатели постоянного тока серий ДК и ЭТ предназначены для контактных рудничных электровозов, которые работают в невзрывоопасной среде.

Крупные электрические машины постоянного тока используются для работы в приводах одноковшовых экскаваторов с емкостью ковша 4 м³ и более и в роторных экскаваторах.

Электродвигатели серий МПЭ и МПВЭ применяются для привода механизмов поворота, подъема, тяги и шагания экскаваторов и работают в режимах широкого регулирования скорости, частых реверсов с большими кратковременными перегрузками. Генераторы (серия ГПЭ), которые входят в состав преобразовательных агрегатов, предназначены для питания электродвигателей механизмов главных приводов экскаваторов.

Режим работы электродвигателей S1, S8, генераторов S1, S7.

Экскаваторные генераторы бывают в одноякорном исполнении, а двигатели как в одноякорном, так и многоякорном. Многоякорные машины и генераторы в преобразовательных агрегатах соединяются между собой полумуфтами или фланцами. Машины имеют встроенные нагреватели, которые включаются при остановке машины с целью предотвращения увлажнения изоляции.

Электродвигатели изготавливаются мощностью 500–1120 кВт и напряжением 440 В, а генераторы – 75–2500 кВт и напряжением 460, 630, 750, 930 и 1200 В.

Для питания двигателей приводов механизмов экскаваторов выпускаются также генераторы постоянного тока серий 2МП, 2ПЭ (14–520 кВт, 115–750 В, 1000–1500 об/мин).

Для экскаваторных электроприводов применяются также крановые электродвигатели постоянного тока экскаваторной модификации (серия ДЭ) мощностью до 200 кВт.

2.5. Виды ремонта электрических машин

Эксплуатация электрических машин включает содержание их в исправном состоянии, устранение мелких неисправностей и ремонт. Основой правильной эксплуатации электрических машин являются эксплуатационные документы.

Они поставляются заводом-изготовителем вместе с машиной.

В число эксплуатационных документов входят: техническое описание; инструкция по эксплуатации; инструкция по техническому обслуживанию; инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке машин; формуляр для машины, технические данные которой гарантируются заводом; ведомость запасных частей, инструментов и устройств; ведомость эксплуатационных документов.

В результате практики эксплуатации оборудования на предприятиях разных отраслей промышленности сложилась так называемая система планово-предупредительного ремонта, под которой понимают плановый комплекс работ по поддержанию электрических машин и другого электрооборудования в рабочем состоянии.

В зависимости от особенностей, степени повреждений и износа электрических машин, а также трудоемкости ремонтных работ различают следующие виды ремонта: текущий, средний и капитальный.

Текущий ремонт является минимальным по объему видом ремонта, при котором обеспечивается нормальная эксплуатация машины до следующего планового ремонта. Во время текущего ремонта устраняются неисправности путем замены или обновления отдельных быстроизнашивающихся деталей, а также выполняются регулировочные работы. Этот ремонт производится эксплуатационным персоналом или ремонтными службами на месте установки машин.

Средний ремонт заключается в восстановлении эксплуатационных характеристик электрической машины путем ремонта или замены только изношенных или поврежденных деталей. Кроме того, обязательно проверяют техническое состояние остальных частей и ликвидируют обнаруженные неисправности. Может проводиться капитальный ремонт отдельных основных узлов. Средний ремонт выполняется подвижными или стационарными ремонтными службами.

Капитальный ремонт включает полную разборку и дефектацию электрической машины, замену или ремонт всех составных частей, проверку их состояния, сборку машины, регулировку и испытание. Выполняется стационарными ремонтными предприятиями.

Существуют три формы организации ремонтов: централизованная, децентрализованная и смешанная. При *централизованной форме* ремонт, испытание и наладка электрических машин выполняются специализированными ремонтно-наладочными организациями. Эта форма является наиболее прогрессивной, а также обеспечивает минимальную стоимость ремонта при более высоком качестве.

При *децентрализованной форме* ремонт, испытание и наладка осуществляются ремонтными службами производственных подразделений предприятий, при *смешанной* – часть работ выполняется централизованно, часть – децентрализованно, причем степень децентрализации зависит от вида предприятия, типа и мощности электрооборудования.

Усовершенствование централизованного ремонта предусматривает создание централизованного обменного фонда электрических машин и расширение их номенклатуры, распространение сферы услуг ремонтных предприятий на производство текущих ремонтов и профилактического обслуживания.

Продолжительность *ремонтного цикла* (время между двумя капитальными ремонтами) определяется условиями эксплуатации, требованиями к показателям надежности, ремонтпригодности, правилами технической эксплуатации, инструкциями завода – поставщика электрической машины.

Обычно ремонтный цикл исчисляется в календарном времени исходя из 8-часового рабочего дня.

Реальная сменность оборудования и сезонность его работы учитываются с помощью соответствующих коэффициентов. При определении продолжительности ремонтного цикла исходят из графика распределения повреждений электрических машин в функции времени эксплуатации. Обычно этот график имеет три области: первая – предремонтная приработка, когда вероятность повреждений повышается за счет возможного применения при ремонте некачественных узлов, деталей и материалов, невыполнения технологии ремонта и т. д., вторая – нормальный этап работы электрической машины с практически неизменным числом повреждений, третья – старение отдельных узлов электрической машины (она характеризуется ростом числа повреждений).

Продолжительность ремонтного цикла не должна превышать продолжительности нормального этапа работы второй области.

При планировании структуры ремонтного цикла (виды и последовательность чередования плановых ремонтов) исходят из того, что в электрической машине наряду с быстроизнашиваемыми деталями (щетками, подшипники качения, контактные кольца), об-

новление которых производится при незначительном ремонте или путем замены новыми, имеются узлы с большим сроком наработки (обмотки, механические детали, коллекторы), ремонт которых довольно трудоемкий и занимает много времени. Поэтому между капитальными ремонтами электрические машины должны пройти несколько текущих ремонтов. Они, как правило, не нарушают ритма производства, в то время как капитальный ремонт при отсутствии резерва связан с приостановкой производства (технологического процесса). Поэтому межремонтный период для электрических машин необходимо приурочивать к межремонтному периоду основного технологического оборудования, если последний оказывается меньшим.

2.6. Объем работ по техническому обслуживанию и ремонту

Перед ремонтом выполняются испытания электрических машин для выявления и ликвидации дефектов.

Типовой объем работ по *техническому обслуживанию* включает:

- ежедневный надзор за выполнением правил эксплуатации в соответствии с инструкцией завода-поставщика (контроль нагрузки, температуры отдельных узлов электрической машины, температуры охлаждающей среды при замкнутой системе охлаждения, наличия смазочного материала в подшипниках, отсутствие посторонних шумов и вибраций контактных колец и др.);

- ежедневную проверку исправности заземления;

- мелкий ремонт, который выполняется во время перерывов в работе основного технологического оборудования и не требует специальной остановки электрических машин (подтяжка контактов и креплений, замена щеток, регулирование траверс, подрегулирование пуско-регулирующей аппаратуры и системы защиты, чистка доступных частей машины и т. д.);

- участие в приемо-сдаточных испытаниях после монтажа и наладки электрических машин и систем их защиты и управления;

- плановые осмотры машин по утвержденному главным энергетиком графику с заполнением карты осмотра.

Типовой объем работ при *текущем ремонте* содержит:

- выполнение операций по техническому обслуживанию;

- отключение машины от питающей сети и от приводного механизма;

- очистку внешних поверхностей от загрязнения;

- разборку электрической машины в необходимом для ремонта объеме;

- проверку подшипников, их промывку, замену подшипников качения, если зазоры в них превышают допустимые значения;
- очистку и ремонт вентилятора;
- ремонт системы принудительной вентиляции;
- осмотр, очистку и продувание сжатым воздухом обмоток, коллектора и вентиляционных каналов;
- проверку состояния и надежности крепления лобовых частей обмоток, ликвидацию выявленных дефектов, устранение местных повреждений изоляции обмоток, сушку обмоток и покрытие их лобовых частей лаком;
- проверку и подтяжку крепежных соединений и контактов с заменой дефектных крепежных деталей, проверку и регулировку щеткодержателей, траверс, короткозамыкающих приспособлений, механизмов подъема щеток;
- зачистку и шлифовку контактных колец, продоруживание коллектора;
- проверку состояния выводных концов обмоток и клеммных колодок с необходимым ремонтом;
- замену фланцевых прокладок и уплотнений;
- сборку машины и проверку защитного заземления;
- присоединение машины к сети и проверку ее работы на холостом ходу и под нагрузкой;
- ликвидацию повреждений окраски;
- приемо-сдаточные испытания и сдачу машины в эксплуатацию. Типовой объем работ при *капитальном ремонте* включает:
- операции текущего ремонта;
- проверку осевого разбега ротора и радиальных зазоров подшипников скольжения с последующей перезаливкой вкладышей;
- замену подшипников качения;
- полную разборку машины с чисткой и промывкой всех механических деталей;
- замену дефектных обмоток, очистку и продувку сохраняемых обмоток;
- пропитывание лаком и сушку обмоток, покрытие их лобовых частей покровными лаками и эмалями;
- ремонт коллектора, контактных колец и щеточных узлов (вплоть до их замены новыми);
- ремонт магнитопроводов;
- ремонт подшипниковых щитов, корпуса, вала;
- ремонт или замену вентилятора;
- замену неисправных пазовых клиньев и изоляционных деталей;
- маркировку выводных концов;
- сборку и окраску машины;
- приемо-сдаточные испытания и сдачу машины в эксплуатацию.

2.7. Технические условия и организация ремонта

В зависимости от массы и габаритов машины демонтируются и направляются в ремонт или его выполняют непосредственно на месте их установки. В любом случае приемка в ремонт и сдача машин заказчику после ремонта осуществляются в соответствии с техническими условиями (ТУ), в которых регламентируются взаимные обязательства заказчика и ремонтного предприятия.

Приемку машин в ремонт производят по акту. В нем, кроме паспортных данных машины и предполагаемого объема ремонта, указываются технические требования, которым должна соответствовать машина после ремонта: напряжение, частота вращения, класс нагревостойкости изоляции и т. д. В ремонт принимаются только комплектные электрические машины, которые имеют все основные узлы и детали, включая старые обмотки. Все соединительные и установочные детали должны быть демонтированы заказчиком. Не принимаются машины разукomплектованные, с разбитыми корпусами и подшипниковыми щитами, со значительным (более 25%) повреждением активной стали.

При ремонте в машинах сохраняется прежняя конструкция и, как правило, паспортные характеристики.

Ремонт электрических машин проводится в соответствии со следующими требованиями:

- применяемые материалы должны соответствовать стандартам;
- отремонтированные машины обеспечиваются всеми деталями, а обмотка с креплениями и поверхность магнитопровода покрываются лаком;
- внутренние поверхности подшипниковых щитов и корпуса, вентиляторы и внешние поверхности машины окрашиваются;
- конец вала покрывается консервирующей смазкой;
- обмотка и другие токоведущие части должны быть надежно закреплены, а пазовые клинья не должны иметь слабины;
- подшипники скольжения не должны иметь течи масла, а подшипники качения должны быть заполнены смазкой;
- отремонтированная машина должна пройти приемо-сдаточные испытания, после чего ремонтные организации гарантируют ее исправную работу на протяжении одного года при выполнении условий транспортировки, хранения и эксплуатации.

Выводные концы обмоток маркируются в соответствии со стандартом, к корпусу крепится новый щиток. На нем указывают: название предприятия, которое производило ремонт, тип машины, номинальную мощность, напряжение, ток, частоту вращения,

КПД, коэффициент мощности (для машин переменного тока), дату выхода из ремонта.

На электроремонтных предприятиях существуют технологические карты ремонта электродвигателей и генераторов разных мощностей и классов напряжения (до и выше 1000 В). Они оформлены в виде таблиц, где приведены номера и содержание всех технологических операций, ТУ, сведения об оборудовании и оснастке, необходимые для ремонта, а также нормы времени на выполнение отдельных операций.

2.8. Структурно-технологическая схема ремонта электрических машин

В процессе ремонта электрических машин выполняют семь основных видов работ, которые определяют структуру соответствующих производственных подразделений. Одна из наиболее распространенных структурно-технологических схем ремонта приведена в табл. 2.2.

Предремонтные испытания выполняются для обнаружения неисправностей по программе, которая включает: измерение со-

Таблица 2.2. Работы, выполняемые при ремонте электрических машин

Виды работ	Основные технологические операции
Предремонтные испытания Разборочно-дефектировочные работы	Внешний осмотр. Испытания Разборка машины. Извлечение поврежденных обмоток. Мойка отдельных деталей. Дефектировка деталей
Изоляционно-обмоточные работы	Восстановление обмоточного провода. Намотка и укрепление обмоток. Пропитка и сушка обмоток. Изолирование и пайка схемы. Испытания обмоток
Слесарно-механические работы	Восстановление и изготовление конструктивных деталей токоведущих частей
Комплектование деталей. Сборка машины	Перешиховка сердечников. Узловая сборка. Сборка машины целиком. Проверка правильности сборки
Послеремонтные испытания	В соответствии с программой приемосдаточных испытаний
Отделочные работы	Окраска машины. Консервация машины

ротивления изоляции обмоток, испытания электрической прочности изоляции, проверки целостности подшипников (на холостом ходу) и осевого выбега ротора, проверку плотности прилегания щеток к коллектору и контактными кольцам, измерение вибрации в режиме холостого хода. Кроме того, определяется размер воздушного зазора, проверяются состояние крепежных деталей, плотность посадки подшипниковых щитов и отсутствие повреждений в отдельных частях машины.

Предремонтные испытания проводят на *испытательной станции* или на *испытательном участке* разборочного отделения.

Разборочно-дефектировочные работы проводят в *разборочном отделении*: электрические машины разбирают на отдельные узлы и детали и выполняют их дефектацию (определяют степень износа, объем ремонта, оформляют необходимую документацию), а затем передают узлы и детали в соответствующие ремонтные отделения, а исправные – в комплектовочное отделение.

Изоляционно-обмоточные работы выполняются в *обмоточном отделении*.

Слесарно-механические работы проводят в *слесарно-механическом отделении*, где ремонтируют и изготавливают новые детали электрических машин: валы, подшипники скольжения, крышки подшипника и т. д.; коллекторы, контактные кольца, щеточные механизмы, короткозамкнутые обмотки роторов и др.; выполняют перешихтовку сердечников статоров и роторов, а также слесарную и механическую обработку деталей.

Комплектование деталей осуществляется в *комплектвочном отделении*, а *сборка машины* – в *сборочном отделении*.

В комплектвочное отделение поступают исправные узлы и детали из разборочного отделения и отремонтированные узлы и детали из обмоточного и слесарно-механического отделений. Здесь осуществляется полная комплектация электрической машины необходимыми частями, затем машина передается в сборочное отделение.

Послеремонтные испытания проводят на *испытательной станции*, а *отделочные работы* – на *участке окраски и сушки* обмоточного отделения.

2.9. Основные неисправности электрических машин

Чтобы определить объем ремонта электрической машины, необходимо выявить характер ее неисправностей. Неисправности электрической машины разделяют на внешние и внутренние.

К *внешним неисправностям* относятся: обрыв одного или нескольких проводов, соединяющих машину с сетью, или непра-

вильное соединение; перегорание плавкой вставки предохранителя; неисправности аппаратуры пуска или управления, пониженное или повышенное напряжение питающей сети; перегрузка машины; плохая вентиляция.

Внутренние неисправности (повреждения) электрических машин могут быть механическими и электрическими.

Механические повреждения: нарушение работы подшипников; деформация или поломка вала ротора (якоря); разбалтывание пальцев щеткодержателей; образование глубоких выработок («дорожек») на поверхности коллектора и контактных колец; ослабление крепления полюсов или сердечника статора к станине; обрыв или сползание проволочных бандажей роторов (якорей); трещины в подшипниковых щитах или в станине и др.

Электрические повреждения: межвитковые замыкания; обрывы в обмотках; пробой изоляции на корпус; старение изоляции; распайка соединений обмотки с коллектором; неправильная полярность полюсов; неправильные соединения в катушках и др.

Основные неисправности электрических машин приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Неисправности электрических машин и причины их появления

Неисправность	Причина
<i>Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором</i>	
1	2
Двигатель не разворачивается	Отсутствует ток в статоре из-за перегорания предохранителя или выключения неисправного автоматического выключателя
Двигатель не разворачивается сам, но при разворачивании от руки работает толчками и сильно гудит	Обрыв в одной фазе сети или внутренний обрыв в обмотке статора при соединении фаз «звездой»
Двигатель вращается вхолостую, но при нагрузке останавливается	Пониженное напряжение в сети, неправильное соединение фаз обмотки статора «звездой». Если обмотка соединена «треугольником», то, вероятно, имеется обрыв в цепи одной из фаз обмотки статора
Двигатель гудит, ротор вращается медленно, ток во всех трех фазах разный и даже на холостом ходу превышает номинальный	Обрыв одного или нескольких стержней обмотки ротора; неправильное соединение начала и конца обмотки статора (фаза «перевернута»)
Двигатель нагревается при номинальной нагрузке	Витковое замыкание в обмотке статора, ухудшение условий вентиляции в результате загрязнения вентиляционных каналов

Продолжение табл. 2.3

1	2
<p>Недопустимо низкое сопротивление изоляции обмотки статора</p> <p>Двигатель вибрирует во время работы и после отключения при частоте вращения ротора, близкой к номинальной</p> <p>Двигатель сильно вибрирует, но вибрация прекращается после отключения его от сети. Двигатель сильно гудит, ток в фазах разный, один из участков статора быстро нагревается</p>	<p>Увлажнение или сильное загрязнение изоляции обмотки статора; старение или повреждение изоляции</p> <p>Нарушение соосности валов, неуравновешенность ротора (дисбаланс)</p> <p>Короткое замыкание обмотки статора</p>
<i>Асинхронные двигатели с фазным ротором</i>	
<p>Двигатель не развивает номинальной частоты вращения</p>	<p>Нарушение контакта в двух или трех фазах пускового реостата; нарушение электрической цепи между пусковым реостатом и обмоткой ротора</p>
<p>Двигатель медленно увеличивает скорость, ротор сильно нагревается даже при небольшой нагрузке</p>	<p>Замыкание части обмотки ротора на заземленный корпус двигателя; нарушение изоляции между контактными кольцами и валом ротора</p>
<p>Двигатель не развивает скорость ротора под нагрузкой, гудит, ток статора пульсирует</p>	<p>Нарушение контакта в месте пайки обмотки ротора, соединениях ее с контактными кольцами или в соединительных проводах</p>
<p>Повышенное искрение между щетками и контактными кольцами</p>	<p>Плохая притертость или повышенная загрязненность щеток, заедание щеток в обоймах щеткодержателей; недостаточное нажатие щеток на контактные кольца; нарушение контакта в цепи щеток</p>
<p>Двигатель начинает вращаться при разомкнутой цепи ротора без нагрузки. При пуске под нагрузкой медленно разворачивается и сильно нагревается</p>	<p>Межвитковые замыкания в обмотке ротора; заземление обмотки ротора в двух местах; замыкание между контактными кольцами в результате их загрязнения пылью от щеток</p>
<i>Синхронные машины</i>	
<p>Генератор дает низкое напряжение на холостом ходу</p>	<p>Скорость генератора ниже синхронной; неисправность возбудителя; неправильное соединение обмотки статора</p>
<p>Генератор дает низкое напряжение при нагрузке</p> <p>Неодинаковое напряжение в фазах генератора при нагрузке</p>	<p>Большая индуктивность нагрузки; снижение скорости генератора</p> <p>Несимметричная нагрузка фаз; распайка соединенный фаз обмотки статора</p>
<p>Двигатель медленно разворачивается</p>	<p>Низкое напряжение питающей сети; обрыв стержней в пусковой обмотке</p>

Продолжение табл. 2.3

1	2
Двигатель не достигает синхронной скорости	Слишком большая механическая нагрузка на валу двигателя, неисправность пусковой обмотки
Двигатель при нагрузке снижает скорость	Чрезмерная нагрузка, превышающая максимальный вращающий момент двигателя; снижение напряжения сети; неисправность обмотки ротора
Машина сильно вибрирует	Нарушение балансировки ротора, замыкание витков в одной из катушек ротора; «блуждающие» замыкания витков в обмотке ротора
Пусковая обмотка двигателя или успокоительная обмотка генератора сильно нагревается	Частые выпадения машины из синхронизма (снижение частоты вращения); распайка соединений стержней обмотки с замыкающими кольцами
<i>Машины постоянного тока</i>	
Искрение под всеми щетками на холостом ходу	Щетки установлены не на магнитной нейтрали или расстояния между отдельными bracketами неодинаковые; щетки неправильно установлены в щеткодержателях; сильно загрязнен коллектор
Искрение под частью щеток на холостом ходу	Неодинаковые расстояния между bracketами по окружности коллектора или отдельные bracketы слабо закреплены и вибрируют; отдельные щетки неплотно прилегают к коллектору или очень прижаты к нему; загрязнены или окислены контакты в токособирающих кольцах, между щеткодержателями и bracketами, щеткодержателями и щетками
Машина начинает искрить при частичной нагрузке, а на холостом ходу не искрит	Щетки находятся не на нейтрали; неправильно включена обмотка добавочных полюсов, что дает неправильное чередование главных и добавочных полюсов
Щетки равномерно искрят при нагрузке, а на холостом ходу машина не искрит	Большой или малый зазор между якорем и добавочными полюсами; отдельные добавочные полюсы слабо прижаты или не поставлены прокладки между станиной и полюсами
Щетки искрят, генератор плохо возбуждается, а двигатель плохо разворачивается или работает с ненормальной скоростью, обмотка якоря местами сильно нагревается	Витковое замыкание в обмотке якоря, некоторые соседние пластины имеют задиры и между ними происходит замыкание; замыкание витков в катушке от оставшегося при пайке олова

Продолжение табл. 2.3

1	2
<p>Щетки искрят, наблюдается почернение коллекторных пластин. После чистки чернеют одни и те же коллекторные пластины. Изоляция между коллекторными пластинами выгорела</p>	<p>Нарушение соединений между обмоткой якоря и коллектором; отпаялись уравнительные соединения</p>
<p>Якорь сильно нагревается даже в ненагруженной машине, а щетки одного полюса искрят сильнее щеток других полюсов</p>	<p>Неравномерный зазор в машине (плохая центровка при монтаже машины, износ подшипников)</p>
<p>При работе машины наблюдается легкое круговое искрение, по поверхности коллектора со щеток одного полюса на щетки другого полюса перескакивают отдельные искры</p>	<p>Коллектор сильно загрязнен в результате сильного износа щеток; неровная поверхность коллектора; несоответствующий тип щеток; плохой уход за машиной</p>
<p>Щетки дрожат; искрят, очень шумят; коллектор и щетки сильно нагреваются</p>	<p>Биение коллектора, вызванное его неровной поверхностью, между пластинами выступает изоляция; неправильная установка щеток</p>
<p>Круговой огонь по коллектору</p>	<p>Щетки установлены не на нейтрали; обмотка добавочных полюсов включена неправильно и поэтому главные и добавочные полюсы неправильно чередуются</p>
<p>Вся машина равномерно перегрета</p>	<p>Перегрузка машины; вентиляционные пути и каналы забиты; не работает вентилятор</p>
<p>Генератор плохо возбуждается, а двигатель плохо разворачивается или разворачивается толчками</p>	<p>Витковое замыкание в обмотке якоря; замыкание отдельных коллекторных пластин</p>
<p>Перегрев обмотки возбуждения</p>	<p>Большой ток возбуждения; витковое замыкание в обмотке возбуждения; неправильно соединены катушки возбуждения</p>
<p>Генератор не возбуждается</p>	<p>Генератор утратил остаточный магнетизм; неправильное направление вращения; оборвана цепь параллельной обмотки возбуждения или сопротивление цепи превышает критическое; короткое замыкание в обмотке якоря, между пластинами коллектора; обрыв обмотки якоря; неправильное положение щеток</p>
<p>Генератор возбуждается, но дает пониженное напряжение на холостом ходу</p>	<p>Недостаточная частота вращения; щетки находятся не на нейтрали; неправильное соединение катушек обмотки возбуждения</p>

Окончание табл. 2.3

1	2
<p>Генератор на холостом ходу дает номинальное напряжение, но при нагрузке оно резко снижается</p>	<p>В генераторе смешанного возбуждения последовательная обмотка включена встречно и размагничивает поток полюсов; обмотки добавочных полюсов включены неправильно</p>
<p>Двигатель при включении не вращается</p>	<p>Разрыв цепи тока якоря в результате перегорания предохранителей, обрыва цепи в реостате или в двигателе</p>
<p>Двигатель под нагрузкой не запускается, хотя в якоре есть ток</p>	<p>Неправильное включение обмотки возбуждения, которое приводит к резкому ослаблению магнитного потока, витковое замыкание в обмотке возбуждения</p>
<p>Скорость двигателя при номинальном напряжении выше или ниже номинальной</p>	<p>При скорости выше номинальной магнитный поток ослаблен за счет включенных в цепь возбуждения сопротивлений или щетки смещены с нейтрали против направления вращения</p>

2.10. Предремонтные испытания электрических машин

Электрические машины, которые поступают на электроремонтное предприятие (в цех), регистрируют в журнале и отправляют на склад.

Очередность передачи со склада в ремонт зависит от даты поступления и типа машин (подбирают однотипные машины). Во время предремонтных испытаний выявляются дефектные узлы и части машины и определяется характер и объем ремонта. Некоторые машины могут быть отремонтированы без полной замены обмоток; в этом случае ограничиваются ликвидацией мелких дефектов изоляции или выводных концов. Иногда в ремонт ошибочно поступают исправные машины. Выявление таких машин – одна из задач предремонтных испытаний.

Сопrotивление изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками машины с номинальным напряжением до 500 В включительно измеряют мегаомметром на 500 В; машины с номинальным напряжением свыше 500 В – мегаомметром на 1000 В. Сопrotивление измеряют по очереди для каждой электрически независимой цепи при соединении всех других цепей с корпусом машины. По окончании измерений цепи разряжают на заземленный корпус машины. Продолжительность разрядки обмоток на номинальное напряжение 3000 В и выше следующая: обмотки машины мощностью до 1000 кВт (кВ · А) – не менее 15 с; обмотки машин большей мощности – не менее 1 мин.

Сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками (МОм) должно быть не менее значения, получаемого по формуле (но не менее 0,5 МОм):

$$R = V / (1000 + 0,01P),$$

где V – номинальное напряжение обмоток, В; P – номинальная мощность машины: для постоянного тока в кВт; для переменного тока в кВ · А.

Необходимо отметить, что сопротивление изоляции у машин с неповрежденными, неувлажненными и незагрязненными обмотками обычно значительно больше, чем минимально допустимое, вычисляемое по приведенной выше формуле.

Испытания электрической прочности изоляции обмоток и коллектора относительно корпуса машины и между обмотками производят с помощью трансформатора путем приложения напряжения требуемой величины (частотой 50 Гц) в течение 1 мин. Нормативы испытательного напряжения приведены в табл. 2.4.

Испытания изоляции относительно корпуса проводят по очереди для каждой электрически независимой цепи. Один вывод источника испытательного напряжения соединяют с выводом испытываемой обмотки, второй надежно заземляют и подключают к заземляемому корпусу машины, с которым на время испытания данной обмотки электрически соединяют все другие обмотки, которые не участвуют в испытании.

Соединенные фазы многофазных обмоток считают за одну цепь, если начало и конец каждой фазы не обеспечены отдельны-

Таблица 2.4. Нормативы испытательного напряжения

Деталь	Испытательное напряжение, В, при номинальном напряжении, В		
	до 230	440	550
Изготовленная или переизолированная катушка после укладки в пазы и заклиновки, до соединения схемы	2000	2300	2600
То же после соединения, пайки и изолирования схемы	1700	2000	2200
Старая катушка, не демонтированная из пазов	1500	1900	2100
Все обмотки после соединения схемы при частичном ремонте обмоток	1500	2000	2200

ми выводами, и всю многофазную обмотку испытывают относительно корпуса машины целиком. Если имеются выводы от начала и конца каждой фазы, испытания проводят по очереди для каждой фазы при соединении других фаз с корпусом машины. Результаты испытания изоляции обмотки относительно корпуса и между обмотками считаются удовлетворительными, если во время испытания не происходит пробоя изоляции или перекрытия ее скользящими разрядами.

При испытаниях межвитковой изоляции обмотки она должна в течение 5 мин выдерживать повышенное напряжение. Испытания проводят на холостом ходу электрической машины путем повышения подводимого (для электродвигателей) или генерируемого (для генераторов) напряжения на 30% сверх номинального. Для вращающейся машины допускается одновременно повышение частоты вращения до 15%.

Для машин постоянного тока с числом полюсов более четырех испытательное напряжение должно быть таким, чтобы среднее напряжение между смежными коллекторными пластинами составляло не более 24 В. Синхронные машины, в которых при номинальном токе возбуждения напряжение холостого хода превышает номинальное напряжение более чем на 30%, испытывают при напряжении холостого хода, соответствующем номинальному току возбуждения.

При испытании трехфазных асинхронных двигателей с фазным ротором напряжение повышают при неподвижном роторе и разомкнутой обмотке; при испытании двигателей с короткозамкнутым ротором – на холостом ходу.

Машины с многовитковыми катушками (секциями), обмотки которых имеют номинальное напряжение до 600 В включительно, допускается испытывать с использованием напряжения повышенной частоты.

При испытаниях на холостом ходу, кроме определения величины тока и испытания межвитковой изоляции, проверяют состояние механической части машины, степень нагревания подшипников, возможность проворачивания от руки машин малой мощности без зацепления, стука и посторонних шумов. Хотя ток холостого хода является ненормированной величиной, его увеличение сверх заводского значения (табл. 2.5) свидетельствует о наличии дефектов – аксиальном смещении ротора (якоря) по отношению к статору, увеличении воздушного зазора между ротором и статором, использовании при предыдущих ремонтах меньшего числа витков в обмотках и листов стали в сердечниках при перешихтовке и др.

Таблица 2.5. Относительные значения тока холостого хода для асинхронных трехфазных двигателей

Мощность двигателя, кВт	Ток холостого хода, % к $I_{ном}$, при частоте вращения, об/мин					
	3000	1500	1000	750	600	500
0,1–0,5	60	75	85	90	95	–
0,6–1,0	50	70	75	80	85	90
1,1–5,0	45	65	70	75	80	85
5,1–10,0	40	60	65	70	75	80
10,1–25,0	30	55	60	65	70	75
25,1–50,0	20	50	55	60	65	70
50,1–100	–	40	45	50	55	60

Неравномерность тока холостого хода по отдельным фазам электродвигателя не должна превышать 4,5% его среднего значения.

Температура подшипников качения не должна превышать 100 °С, подшипников скольжения – 80 °С (температура масла при этом не больше 65 °С).

Воздушный зазор между статором и ротором, а также между полюсами и якорем (ротором) машин постоянного тока и синхронных оказывает существенное влияние на их эксплуатационные параметры (особенно асинхронных двигателей), где увеличение воздушного зазора приводит к увеличению тока холостого хода, уменьшению коэффициента мощности и КПД. Увеличение воздушного зазора на 1% вызывает возрастание тока холостого хода на 0,6% и снижение коэффициента мощности на 0,3%. Поэтому, если воздушный зазор ремонтируемого электродвигателя больше заводского, то перед ремонтом двигателя его обмоточные данные пересчитывают. Мощность такого электродвигателя после пересчета практически невозможно довести до паспортной, но она все же будет больше, чем при перемотке по старым обмоточным данным.

При резком увеличении воздушного зазора (табл. 2.6) в мощных электродвигателях с короткозамкнутым ротором предвари-

Таблица 2.6. Допустимые значения воздушного зазора электродвигателей

Частота вращения, об/мин	Зазор, мм, при мощности двигателя, кВт									
	до 0,2	0,2–1,0	1–2,5	2,5–5,0	5,0–10,0	10–20	20–50	50–100	100–200	200–300
500–1500	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,4	0,5	0,65	0,8	1,0
3000	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,65	0,8	1,0	1,25	1,5

тельно осуществляют механический ремонт ротора, при котором на поверхность наносят слой стали и обтачивают ротор до требуемого размера.

Воздушный зазор измеряют с двух противоположных торцов электродвигателя калибровочным щупом, который вводится через специальные или наблюдательные люки в торцевых щитах. С каждой стороны измерения производят в четырех точках, смещенных одна относительно другой на 90° . Зазор определяют как среднее арифметическое всех замеров.

В асинхронных двигателях нормируется также неравномерность зазора, которая определяется как отношение значения зазора в данной точке к его среднему значению. Отклонение не должно превышать 10%.

Некоторые электродвигатели не имеют люков в щитах. В этом случае зазор измеряют после их разборки. Ротор укладывают непосредственно на статор и замеряют зазор σ_1 напротив самой верхней части рашетки статора. Затем ротор поворачивают на 90° и измеряют зазор (σ_2 напротив той же точки статора. Зазор определяют по формуле

$$\sigma_{\text{ср}} = (\sigma_1 + \sigma_2)/4.$$

2.11. Разборка электрических машин

Способ и последовательность операций при разборке в значительной степени определяются мощностью и конструкцией машины. Для разборки крупных машин необходимы специальный инструмент и сложные ремонтные приспособления. При разборке машин малой и средней мощности пользуются слесарным инструментом и несложными приспособлениями.

Электрические машины должны приниматься в ремонт с демонтированными передаточными и соединительными деталями. Но не всегда заказчик имеет техническую возможность осуществить это.

Перед снятием детали откручивают стопорный винт или выбивают шпонку, которая фиксирует деталь на валу. Места посадки рекомендуют залить керосином. Для снятия деталей, посаженных на вал, применяют двух- или трехлапчатые съемники (рис. 2.13).

При снятии шкива 5 лапы 4 съемника накладывают на внешнюю поверхность шкива. Вращая рукоятку 2, перемещают гайку 3 влево, при этом лапы плотно захватывают деталь. Затем, вращая рукоятку 1, стягивают шкив с вала. Лапы съемника позволяют захватывать детали, а гайка 3, которая двигается по резьбовой

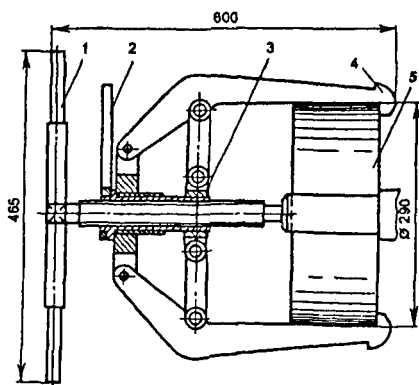


Рис. 2.13. Эскиз лапчатого съемника при демонтаже шкива

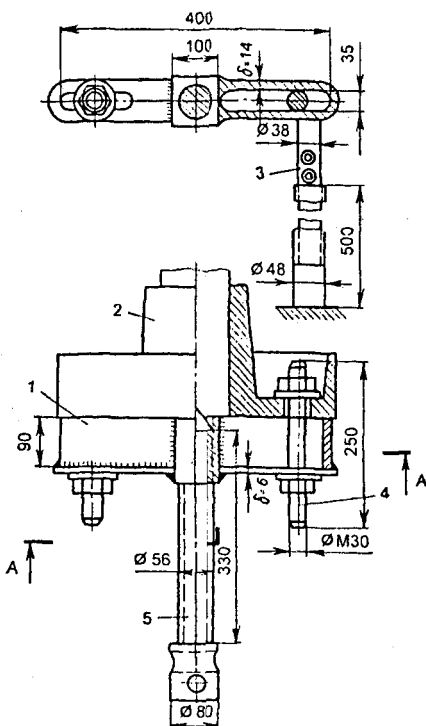


Рис. 2.14. Эскиз съемника с траверсой

втулке, — фиксировать положения лап. Тяговое усилие, которое создается ручным съемником, составляет 25–30 кН.

Работы, производимые с помощью съемника, как правило, выполняются двумя рабочими: один поддерживает лапы, а второй вращает рукоятку.

Для снятия шкивов, шестерен или полумуфт, имеющих аксиальные отверстия, используют съемник (рис. 2.14), с которым может работать один рабочий. Траверса 1 съемника с помощью болтов 4 соединяется с демонтируемой деталью 2. При затяжке винта 5 происходит снятие детали с вала.

Для предотвращения проворачивания ротора при затяжке винта одно плечо траверсы упирается в подставку из рессорных труб 3. При разборке более крупных деталей применяются гидросъемники, в которых усилие создается гидропрессом.

В некоторых случаях для облегчения работы детали подогревают. Нагрев необходимо вести интенсивно, одной-двумя газовыми горелками, начиная от края детали и постепенно приближаясь к ступице. Температуру контролируют с помощью оловянного прутка, который начинает плавиться при температуре около 250 °С. Чтобы уменьшить нагрев вала, его обертывают асбестовым картоном, смоченным в воде. Очень

эффективно использование токов высокой частоты; при этом вал практически не нагревается.

Разборку электрических машин малой мощности, например асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт, производят в такой последовательности:

- снимают кожух наружного вентилятора и вентилятор (у двигателей закрытого обдуваемого исполнения);
- откручивают болты, которыми прикреплены к станине передний (расположенный со стороны, противоположной приводу) и задний (расположенный со стороны привода) щиты, а также болты, которые крепят крышку подшипников со стороны привода;
- снимают задний щит легкими ударами молотка из мягкого материала – дерева, цветного металла и т. д.;
- вынимают ротор из статора, для чего легкими толчками подают ротор в сторону переднего щита и выводят щит из замка. Затем, поддерживая ротор, вынимают его из статора. При этом следят, чтобы не повредились лобовые части обмотки, крылья вентилятора и другие детали;
- снимают передний щит с подшипника, посаженного на вал ротора, легкими ударами молотка из мягкого материала, предварительно открутив болты, которыми крепится подшипниковая крышка.

У электродвигателей с контактными кольцами предварительно снимают кожух контактных колец и щетки (при необходимости и подшипники вала), а затем – контактные кольца, для чего отпаивают соединительные хомутики от выводных концов, откручивают болты, которыми крепят отвододержатель (если он предусмотрен по конструкции), снимают с канавки вала стопорное кольцо.

При съеме подшипниковых щитов машин мощностью 50 кВт и больше их равномерно отводят отжимными болтами до тех пор, пока они не выйдут из центрирующей заточки станины. Если по конструкции отжимные болты не предусмотрены, щиты снимают винтовыми или гидравлическими приспособлениями. В некоторых машинах подшипниковый щит выводят с заточки статора рычагом, который вводится в отверстие между торцом станины и краем щита.

После снятия одного из подшипниковых щитов положение ротора по отношению к статору изменяется: ротор принимает наклонное положение (образуется перекосяк). Поэтому перед снятием щита крупных машин под конец вала устанавливают домкрат или ротор подвешивают за конец вала с помощью тали. Затем закладывают в нижнюю часть расточки подкладку из электрокартона и только после этого освобождают конец вала от домкрата или тали.

Одной из ответственных операций является вывод ротора из расточки статора: если статор зацепится за сердечник или обмотку, это может привести к серьезным повреждениям. Масса роторов и якорей крупных машин достигает нескольких тонн, поэтому такую операцию необходимо поручать лицам, которые имеют достаточный опыт такелажных работ. Выемку роторов и якорей машин малой мощности выполняют вручную, без применения каких-либо приспособлений. Способы и приемы выемки роторов и якорей машин средней и большой мощности зависят от их конструкции, массы, а также от имеющихся подъемных приспособлений.

Широко распространен способ выемки роторов и якорей машин средней мощности с помощью удлинителя – толстостенной трубы, насаженной на конец вала (рис. 2.15, а).

Машину устанавливают в строго горизонтальное положение; строп, длина которого должна быть в 4–5 раз больше длины вала, набрасывают на конец вала и на удлинитель и подвешивают к крюку. Чтобы предотвратить скольжение стропа при натяжении, в случае резкого крена ротора (якоря), строп накладывают не на ровную часть вала, а на то место, где имеется ступенька–переход от одного диаметра вала к другому. Для этой же цели к удлинителю приваривают специальное упорное кольцо, а подвеску на крюк делают в виде петли-удавки. Строп не должен находиться на шейке вала, касаться вентилятора, контактных колец, коллектора и обмотки. Если лобовые части обмотки статора выступают из корпуса, то между стропом и корпусом кладут предохранительный деревянный брусок.

После подвески стропа каждую его ветвь регулируют таким образом, чтобы при пробном натяжении стропа ротор находился в строго горизонтальном положении. Затем с помощью крана ротор поднимают и сдвигают в сторону, показанную на рис. 2.15, а стрелкой, до того положения, пока строп не подойдет близко к лобовой части обмотки статора. Свободный конец вала опускают на заранее подготовленную шпальную выкладку, а конец ротора со стороны удлинителя – на сердечник статора, защищенный прокладкой из электрокартона 5 (можно использовать также ленточный строп). После этого осуществляют перестропывание, строп набрасывают на крюк и на бочку ротора по центру тяжести ротора (рис. 2.15, в).

Центр тяжести находят путем перемещения стропа по ротору с последующим натяжением его до такого положения, когда подвешенный ротор будет находиться в строго горизонтальном положении. После выверки натяжения стропа ротор окончательно выводят из расточки статора. При этом все время проверяют воздушный зазор.

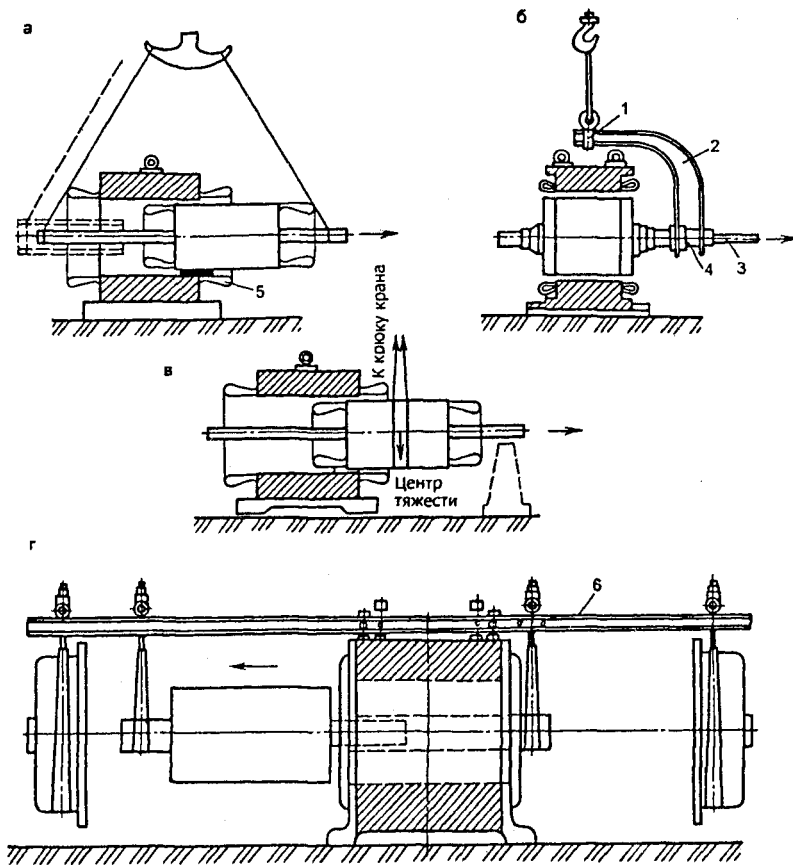


Рис. 2.15. Способы вывода ротора (якоря) из статора:
 а – с помощью удлинителя из толстостенной трубы; б – с помощью скобы; в – уравновешиванием массы ротора (якоря); г – специальным приспособлением, установленным на станине электрической машины

Более точным является способ выемки ротора при помощи скобы, насаженной ступицей на вал ротора (рис. 2.15, б). Для выемки ротора захват 1 устанавливают на скобе 2 со ступицей 4 так, чтобы при натяжении троса ротор находился в горизонтальном положении и не касался статора. Небольшую регулировку положения ротора выполняют хвостовиком 3 скобы 2.

При отсутствии стационарного подъемного приспособления используют переносное, которое устанавливают на корпусе машины (рис. 2.15, г). Оно состоит из двух швеллерных балок 6, повернутых одна к другой своими широкими сторонами и скрепленных

между собой через 40–60 мм болтами с дистанционными втулками. Для крепления балок используются грузовые болты (рым-болты) станины или отверстия для крепления торцевых щитов к станине. Под длинный конец балок подводят упорную стойку. В промежутке между балками помещают два винтовых домкрата, которые могут перемещаться вдоль нее.

При общей разборке электрических машин постоянного тока серии П сначала снимают крышки с коробки выводов и переднего подшипникового щита, отсоединяют проводники, которые связывают щеткодержатели с катушками добавочного полюса, проводники, соединяющие щеткодержатели с контактом в коробке выводов, и вынимают щетки из гнезд щеткодержателей. Для защиты от механических повреждений коллектор обматывают листом электрокартона и закрепляют лентой или шпагатом. После этого откручивают болты, которые крепят подшипниковые щиты к станине, закручивают отжимные болты в отверстия подшипниковых щитов и выводят бортики последних из расточки станины, одновременно придерживая за конец вала якорь, чтобы избежать его удара о нижний полюс машины. Затем сдвигают подшипниковые щиты с шарикоподшипников, высовывают якорь из станины в сторону свободного конца вала (вентилятора) и вынимают якорь из станины. Дальнейшая разборка машины зависит от того, какие части будут ремонтировать, а какие заменять.

При общей разборке синхронной электрической машины сначала отсоединяют провода, соединяющие обмотку возбуждителя со щеточным аппаратом, откручивают гайки стопорного винта, которыми подшипниковый щит прикреплен к станине, выводят отжимными болтами задний подшипниковый щит из расточки станины и снимают его с капсулы подшипника. После этого откручивают болты, которыми крепится подшипниковый щит к станине со стороны возбуждителя, и выводят его из расточки станины отжимными болтами. Затем опускают ротор на статор, положив предварительно под него лист электрокартона, сдвигают подшипниковый щит вместе с укрепленной на нем станиной возбуждителя с капсулы подшипника и выводят ротор синхронной машины вместе с якорем возбуждителя из статора.

При детальной разборке снимают подшипники качения, коллектор, контактные кольца и вентилятор, выпрессовывают вал ротора (якоря) и подшипники скольжения. Ниже приведены виды детальной разборки.

Подшипники качения с вала снимают с помощью съемников (рис. 2.16), прикладывая усилие к внутренней обойме. Это можно сделать лапчатым съемником, который имеет глубокие губки.

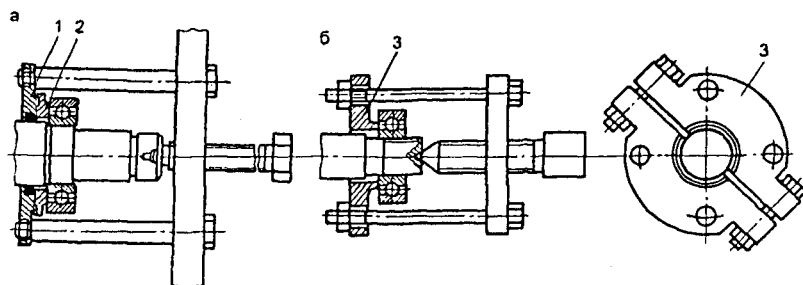


Рис. 2.16. Снятие подшипников с использованием вставок (а) и хомута (б)

Подшипники можно снимать также, используя подшипниковые крышки 1 (рис. 2.16, а) и устанавливая между ними и подшипником специальные прокладки 2, или, если есть место, хомут 3 (рис. 2.16, б). Часто применяют гидравлические съемники (рис. 2.17).

При снятии подшипников с вала необходимо принять меры предосторожности, которые исключают повреждение подшипника и вала машины.

В большинстве электрических машин посадка подшипника на вал выполнена с натягом его внутреннего кольца, поэтому усилие при съеме должно прикладываться к торцу этого кольца. Подшипники, посаженные на вал с большим натягом, снимают с помощью гидравлических съемников.

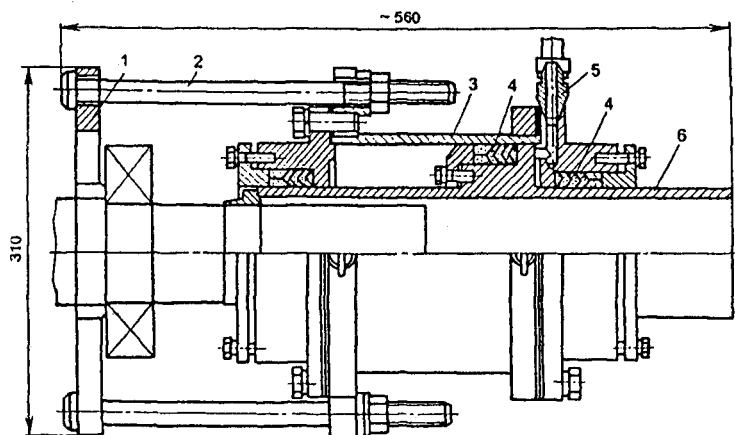


Рис. 2.17. Гидравлический подвесной съемник для снятия подшипников с валов электродвигателей 6-9-го габаритов:

1 - скоба; 2 - тяга; 3 - цилиндр; 4 - уплотнение; 5 - штуцер; 6 - поршень

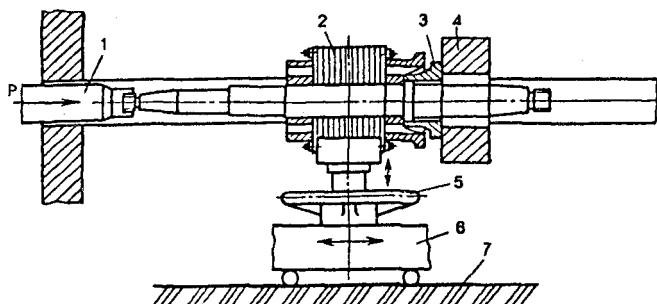


Рис. 2.18. Схема выпрессовки вала из сердечников ротора:
1, 4 – соответственно шток и поперечина пресса; 2 – сердечник; 3 – опорная втулка; 5 – штурвал регулировки высоты вертикальной опоры; 6 – передвижная опора; 7 – рельс

Коллектор с вала снимают после отсоединения обмотки якоря от пластин коллектора. Тяги съемного приспособления прикладывают только к его втулке или ее крепежным элементам.

Контактные кольца с вала фазного ротора снимают после отсоединения от них выводов обмотки с помощью съемников.

Снятие вентилятора с вала осуществляется при необходимости ремонта или замены вентилятора, вала, обмотки обычными съемниками. При посадке втулки вентилятора с натягом ее предварительно подогревают.

Выпрессовку вала из сердечника ротора (якоря) выполняют при необходимости перешихтовки сердечника, ремонта или замены вала. Эта операция, требующая приложения больших усилий, осуществляется с помощью гидравлических прессов или домкратов. При выпрессовке вала (рис. 2.18) необходимо соблюдать следующие требования:

- опорная поверхность пресса должна быть строго перпендикулярна к оси вала;
- направление усилия, которое создается прессом, должно быть совмещено с осью вала;
- давление на сердечник с чугунными нажимными шайбами должно передаваться через сменную опорную втулку.

Выпрессовку подшипников скольжения из корпуса выполняют с помощью вертикального пресса в случае замены, а чаще всего при необходимости перезаливки вкладышей.

Подшипники электрических машин небольшой мощности выпрессовывают ударами молотка по деревянной подставке, стремясь не повредить корпус подшипника.

На крупных электроремонтных предприятиях при разборке двигателей 3–9-го габаритов серий А, А2 и двигателей с высотой

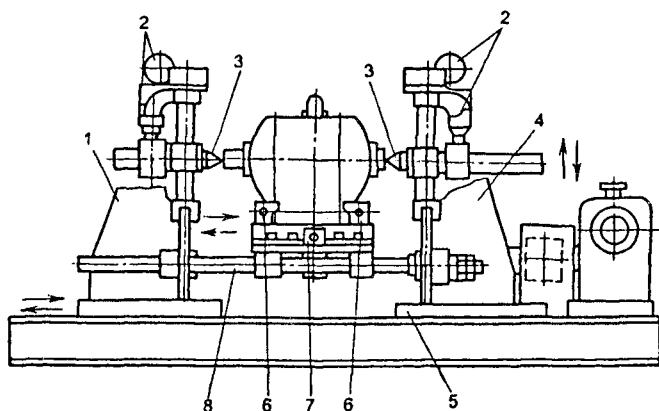


Рис. 2.19. Стенд для разборки электродвигателей

оси вращения 100–250 мм серии 4А используют разборочный конвейер, который оборудован разборочным стендом.

Двигатель устанавливают на конвейер. Отворачивают болты, которые крепят коробку выводов и панель. Снимают кожух наружного вентилятора, внешний вентилятор, болты, крышки подшипников и подшипниковые щиты, пружинные кольца для подшипника.

Двигатель устанавливают на разборочный стенд (рис. 2.19) и крепят его за лапы нажимным приспособлением 6, располагая рабочим концом вала к подвижной стойке 1. При помощи электропривода 2 устанавливают пиноли 3 на высоту оси вращения и, передвигая стойку 1 направо, фиксируют двигатель в пинолях. Правая стойка 4 неподвижная. Включают перемещение стола 7 влево. Стол движется по направляющим 8, при этом выпрессовывается левый подшипниковый щит из внешнего кольца подшипника и правый подшипниковый щит из замка на корпусе. Устанавливают опорную вилку (на рис. 2.19 не показана) между левым подшипником и корпусом двигателя и включают перемещение стола 7 вправо. При этом выпрессовывается правый подшипниковый щит из замка корпуса и левый подшипник вала. Устанавливают опорную втулку между правым подшипником и корпусом и включают перемещение стола 7 влево. При этом выпрессовывается правый подшипник вала. Затем выводят пиноли 3 стоек с центров вала, переворачивают стол 5 с двигателем на 60–90°, снимают крышки подшипников, подшипники и подшипниковые щиты. Приспособлением или вручную выводят ротор со статора. Затем ослабляют зажимные устройства и снимают статор.

На все детали навешивают бирки с номером и отправляют статор в ремонт, а остальные детали и узлы на мойку.

Если ротор не короткозамкнутый, а имеет обмотку из медного провода, его отправляют вместе со статором.

При разборке машин используют пневматические или электрические гайковерты со сменными головками, гаечные ключи с открытым зевом, торцевые и другие приспособления для снятия пружин и т. п.

Разборка каждого типа крупного электродвигателя имеет особенности, обусловленные конструкцией, местом установки, наличием грузоподъемных механизмов и др.

Подшипники качения и скольжения, вентилятор, вал и другие детали механической части машины очищают, промывают синтетическими моющими средствами и вытирают. Статоры и роторы электродвигателей средней и малой мощностей, комплектующие и крепежные детали кладут в корзину (контейнер) и на 10–15 мин опускают в ванну с 1,5–3%-м раствором кальцинированной соды и затем промывают проточной горячей водой. Более эффективным является применение специальных передвижных моечных машин (рис. 2.20), установленных на тележке 1. В качестве моющего средства используют раствор кальцинированной соды – смесь, состоящую из 3 кг кальцинированной соды, 2 кг жидкого стекла, 25 кг «Эмульсола» и 900 л воды, или другие жидкости. Моющая жидкость подается из бачка 7 в ванну 3 (с крышкой 5) с помощью электронасоса 6 и металлической трубы, заканчивающейся гиб-

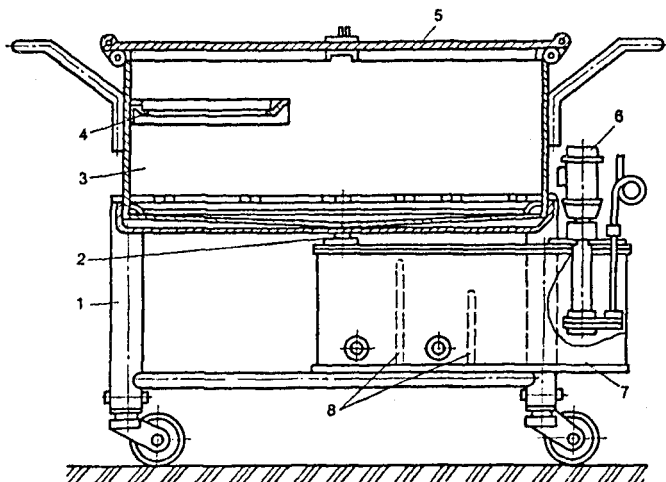


Рис. 2.20. Передвижная моечная машина ММД-120

ким шлангом из маслостойкой резины. На полке 4 размещаются мелкие промываемые детали. Загрязненная моющая жидкость сливается по патрубку 2 в бачок 7 с перегородками 8, которые образуют в нем отстойник грязи. Процесс мытья составляет 15–20 мин.

Детали электрической части машины тщательно очищают от пыли, грязи и смазочного материала. При необходимости обмотки обдувают сжатым воздухом, обтирают, а затем промывают синтетическими моющими жидкостями, которые наносят на обмотку с помощью пульверизатора. Очищенные и пригодные для повторного использования детали маркируют, а неисправные отправляют в электроремонтный цех.

При выполнении работ по разборке машины и очистке ее деталей необходимо строго соблюдать правила безопасности, использовать только проверенные тросы и исправные грузоподъемные приспособления, соответствующие массе поднимаемого груза. При работе с токсичными и легковоспламеняющимися моющими жидкостями следует принимать меры, которые исключают отравление их парами и загорание при соприкосновении с открытым огнем. Для этого используют спецодежду, спецобувь и необходимые средства индивидуальной защиты (очки, перчатки, респираторы и т. п.).

При разборке применяют только исправные инструменты и механизмы.

Обмотки достают из пазов наиболее экономичным способом, заботясь о сохранении сердечников. При извлечении обмоток переменного тока (обмотки статоров, роторов, якорей) отрезают одну лобовую часть на токарных станках или на специальных станках мод. СО-3М (для двигателей с высотой оси вращения 50–100 мм) или мод. СЦО-2 (для двигателей с высотой оси вращения 100–280 мм), что позволяет повысить производительность труда. При работе на токарном станке, чтобы избежать образования медной стружки и затыжки провода, желательно использовать ножевые резцы или фрезы. Чтобы достать обмотку из пазов и при этом не повредить сердечник, ослабляют сцепление обмотки с сердечником путем выжигания или размягчения пазовой изоляции.

Выжигание изоляции осуществляется в печи при температуре 350 °С в течение 4–6 ч. Изоляция обугливается и теряет прочность. Статор устанавливают горизонтально, иначе может произойти сдвиг сердечника в корпусе. Статор с алюминиевым корпусом нельзя выжигать (из-за изменения размеров корпуса, ослабления посадки сердечника).

При выжигании изоляции роторов необходимо снять контактные кольца. Увеличивать температуру выше 350 °С нельзя, поскольку при этом может произойти нарушение межлистовой изо-

ляции сердечника и магнитные свойства электротехнической стали ухудшаются.

Печи обеспечиваются вытяжной вентиляцией для отвода образующихся при обугливание изоляции вредных газов, которые в дальнейшем нейтрализуются или дожигаются. Это существенный недостаток рассмотренного способа.

После извлечения корпуса машины, ротора, якоря их охлаждают до 50–60 °С и вынимают обмотку.

Второй способ разрушения изоляции заключается в том, что сердечник помещают на 6–8 ч в ванну с 10% -м раствором подогретого до 80–90 °С едкого натра (каустической соды). После снятия обмотки со статора или ротора сердечники промывают в проточной воде и сушат. Это трудоемкий процесс, требующий большого расхода воды и нейтрализации отработанных растворов, сливать которые в ливневую канализацию нельзя.

Наиболее прогрессивным считается метод ослабления пазовой изоляции за счет высокочастотного нагревания сердечника. При этом теплота от сердечника передается пазовой изоляцией через лак, который находится между ними, а от пазовой изоляции через лак к проводникам. При интенсивном нагреве температура лака между сердечником и пазовой изоляцией будет выше, чем между пазовой изоляцией и проводниками, а цементирующая способность лака ниже.

Обмотку из нагретого сердечника извлекают вместе с пазовыми коробочками, оставляя паз чистым. Дополнительные работы по очистке паза почти не требуются.

Высокочастотная установка типа ВЧИ-63/0,44 работает в диапазоне частот 429–451 кГц, ее номинальная мощность 63 кВт, средняя производительность 160 статоров за смену.

В небольших машинах обмотку извлекают вручную при помощи крючков, захватывая ее за необрезанную лобовую часть. Со статоров больших размеров обмотку достают на специальных станках. Затем пазы очищают от остатков изоляции, используя напильники. Очищенные сердечники отправляют на мойку.

При извлечении стержней из роторов асинхронных двигателей с фазным ротором производят их осмотр, необходимые замеры и результаты заносят в ведомость дефектов. Определяют параметры бандажей и схемы обмотки (шаги по пазам, начало и конец фаз, переходы), длину вылета лобовых частей и направление изгиба стержней. В процессе разборки на роторе выбивают номера пазов, в которых расположены начало и конец фаз и переходные стержни.

Вначале срезают бандажи из стеклянной нетканой ленты или распивают бандажи из стальной проволоки. Распайку выполня-

ют электродуговым паяльником. Проволоку сматывают на барабан. Затем расплаивают хомутики, которые соединяют концы стержней, снимают их со стержней и зачищают хомутики и стержни от припоя. Специальными ключами разгибают в двух местах стержень. Одним ключом удерживают стержень, а другим разгибают его. Стержни достают из пазов специальным приспособлением (рис. 2.21), которое хомутом 5 закрепляют на валу 6. Конец стержня 1 закрепляют в зажиме 2 и, вращая винт 4, вытягивают стержень из паза. Распорка 3 удерживает приспособление от сдвига.

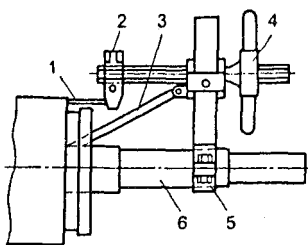


Рис. 2.21. Приспособление для извлечения стержней из пазов ротора

После извлечения верхних стержней достают нижние. Паза сердечника, нажимные шайбы, обмоткодержатели очищают от старой изоляции. Проверяют исправность пазов, для этого в них кладут один слой электрокартона толщиной 0,1 мм и прогоняют через него клин с учетом толщины гильзы. По отметкам на картоне определяют неисправные паза и исправляют их. Стержни отправляют на восстановление изоляции.

Перед разборкой обмотки якоря машины постоянного тока записывают необходимые данные. Разборку начинают с распайки бандажей и обмотки. Обмотку, соединенную с коллектором сваркой, срезают на токарном станке.

Если обмотка крепилась клиньями в пазах, их выбивают. Сначала достают из пазов верхние стороны катушек, обрезают, снимают изоляцию между слоями и достают нижние стороны катушек. При этом под катушку заводят киперную или лавсановую ленту и, поднимая ее вверх, вытягивают катушку из паза. По мере необходимости ленты передвигают вдоль катушки. В процессе разборки записывают параметры уравнительных соединений и места их расположения.

Паза якоря очищают от остатков изоляции, проверяют исправность пазов и отправляют якорь на мойку.

Если состояние изоляции удовлетворительное, но дефект обнаружен в верхней части катушки, его можно выправить. В этом случае снимают бандажи, расплаивают или высекают острым зубилом соединения катушки с коллектором и достают одну сторону катушки. Заменяют поврежденную изоляцию и укладывают катушку в паз.

Поврежденный медный провод наваривают медно-фосфорным припоем, зачищают и изолируют. Внимательно осматривают паз. Очень важно найти причину нарушения изоляции.

Высоковольтные обмотки располагаются в открытых пазах, а катушки имеют термопластичную или термореактивную изоляцию. При термопластичной изоляции катушечные группы разъединяют подогревом, используя сварочные генераторы постоянного тока. Форсировать нагрев нельзя, так как изоляция может вспучиться. Поэтому ток нагрева не должен превышать 0,4–0,6 номинального.

Из пазов выбивают клинья и обрезают крепления катушек, при этом стремятся сохранить прокладки. Катушки вынимают из пазов, используя ленты и клинья, которые забивают между верхней и нижней катушкой. Верхние стороны первых катушек, число которых равно шагу обмотки, оставляют в расточке статора, поскольку нижние стороны достать пока невозможно. Следующие катушки достают из верхних и нижних сторон пазов и последними – нижние стороны первых катушек. Катушки отправляют на восстановление изоляции и производят дефектацию сердечника.

Катушки с термореактивной изоляцией достать из пазов раструнными способами невозможно. Термореактивная изоляция размягчается в разных растворах и при температуре 350–400 °С. Типовая технология этой операции отсутствует, поэтому ремонт обмоток с термореактивной изоляцией сложный и дорогой.

2.12. Ремонт обмоток электрических машин

Общие сведения. Обмотка является одной из наиболее важных частей электрической машины. Надежность машин в основном определяется качеством обмоток, поэтому к ним предъявляются требования электрической и механической прочности, нагревостойкости, влагостойкости и др. Все проводники обмотки должны быть изолированы друг от друга и от корпуса машины. Роль межвитковой изоляции выполняет изоляция самого провода, которая наносится на него в процессе изготовления на заводе. Изоляция, которая отделяет проводники обмотки от корпуса, называется корпусной.

Закрытые пазы (рис. 2.22, а) применяют как в фазных, так и в короткозамкнутых роторах асинхронных двигателей. В современных машинах закрытые пазы имеют прорези для уменьшения пазового рассеяния (эти прорези нельзя использовать для закладывания проводов, поэтому пазы и называются закрытыми). Проводники в такие пазы помещают с торца сердечника.

Полузакрытые пазы (рис. 2.22, б) используют в статорах машин переменного тока мощностью до 100 кВт и напряжением до 660 В, а также в роторах и якорях машин мощностью до 15 кВт.

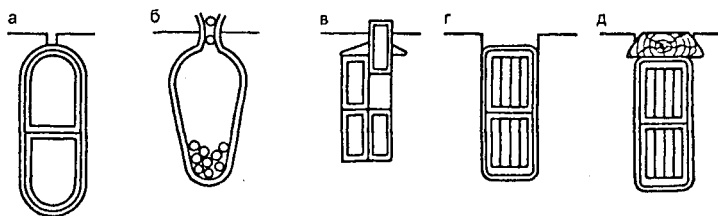


Рис. 2.22. Пазы:

а – закрытый; б – полуоткрытый; в – полуоткрытый; г – открытый с бандажом;
 д – открытый с клином

Проводники обмотки круглого сечения опускают в пазы по одному через узкую прорезь.

Полуоткрытые пазы (рис. 2.22, в) применяют в статорах машин переменного тока мощностью 120–400 кВт и напряжением не выше 660 В. В них укладывают жесткие катушки по две в каждом слое.

Открытые пазы с креплением обмотки проволочным бандажом (рис. 2.22, г) используют в якорях машин постоянного тока мощностью до 200 кВт.

Открытые пазы с креплением обмотки клином (рис. 2.22, д) применяются в якорях машин постоянного тока мощностью более 200 кВт, роторах синхронных машин мощностью 15–100 кВт, статорах асинхронных машин мощностью свыше 400 кВт и крупных синхронных машин.

Корпусная изоляция может быть гильзовой или непрерывной.

При полуоткрытой и открытой формах паза прямолинейную часть проводов или катушек с гильзовой изоляцией обматывают несколькими слоями изоляционного материала, а для скрепления слоев оплетают изоляционными лентами.

При полузакрытой форме паза гильзы из нескольких слоев помещают в пазы перед укладкой обмотки. Гильзовая изоляция простая в исполнении и занимает мало места в пазу. Ее можно применять в машинах с рабочим напряжением не выше 660 В, так как на стыках между гильзами и ленточной изоляцией лобовых частей катушек может быть пробой изоляции. Обмотки всех машин напряжением выше 1000 В имеют сплошную изоляцию. В этом случае катушки или стержни обмоток оплетают изоляционной лентой по всему контуру. Материал ленты подбирают в зависимости от класса нагревостойкости обмотки, количество слоев определяется рабочим напряжением машины.

Существует несколько способов обматывания проводников и катушек обмотки с изоляционной лентой.

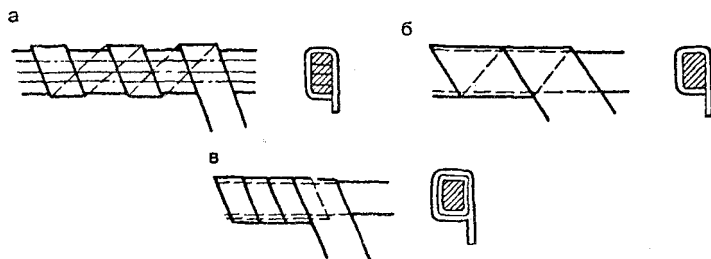


Рис. 2.23. Способы изоляции:
а – вразбежку; б – встык; в – внахлестку

Обматывание лентой вразбежку (рис. 2.23, а) – изоляционный слой не образуется, поэтому этот способ применяется только для стягивания витков катушки или удерживания слоев гильзовой изоляции.

Обматывание лентой встык (рис. 2.23, б) – непрерывный слой изоляции не получается, так как в местах стыков могут быть оголенные участки катушки. Такое изолирование применяют только для защиты пазовых частей катушки.

Обматывание лентой внахлестку (рис. 2.23, в) – образуется основная изоляция катушки или стержня. При этом перекрывают предыдущий виток ленты на $1/3$, $1/2$ или $2/3$ ее ширины. Чаще всего применяют перекрытие на $1/2$ ширины ленты. При этом действительная толщина изоляции получается вдвое больше расчетной.

Кроме межвитковой и корпусной изоляции катушек в обмотках применяют дополнительные изоляционные прокладки: на дне паза, между слоями обмоток, под проволочными бандажами, между лобовыми частями. Эти прокладки изготавливают из электрокартона, лаковой ткани и изоляционных пленок, а в машинах с нагревостойкой изоляцией – из стеклоткани, микафолия, гибкого миканита и т. д.

Нагревостойкость изоляции является одним из важнейших ее свойств. В зависимости от этого параметра изоляционные материалы разделяют на семь классов: Y ($90\text{ }^{\circ}\text{C}$), A ($105\text{ }^{\circ}\text{C}$), E ($120\text{ }^{\circ}\text{C}$), B ($130\text{ }^{\circ}\text{C}$), F ($155\text{ }^{\circ}\text{C}$), H ($180\text{ }^{\circ}\text{C}$), C (более $180\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Диэлектрические свойства изоляции характеризуются ее электрической прочностью и величиной электрических потерь. Высокой электрической прочностью обладают материалы на основе слюды. Например, электрическая прочность микаленты в зависимости от марки и толщины составляет $16\text{--}20\text{ кВ/мм}$, непропитанной хлопчатобумажной ленты – только 6, а стеклоленты – 4 кВ/мм .

Электрическая прочность изоляционных материалов может значительно снизиться в результате деформаций при изготовле-

нии обмоток. После пропитки соответствующими растворами электрическая и механическая прочность некоторых изоляционных материалов повышается.

Для обмоток электрических машин применяют провода с волокнистой, эмалевой и комбинированной изоляцией и голые провода круглого, прямоугольного и фасонного сечений.

Провода с эмалевой изоляцией круглого и прямоугольного сечений все в большей степени используются вместо проводов с волокнистой изоляцией, так как эмалевая изоляция более тонкая, чем волокнистая.

Обмотка электрической машины состоит из витков, катушек и катушечных групп.

Виток – два последовательно соединенных между собой проводника, размещенных под соседними разноименными полюсами.

~~Виток может состоять из нескольких параллельных проводников.~~
Число витков зависит от номинального напряжения машины, а площадь сечения проводников – от ее тока.

Катушка – несколько витков, уложенных соответствующими сторонами в два паза и соединенных между собой последовательно. Части катушки, которые лежат в пазах сердечников, называют пазовыми или активными, а размещенные за пазами – лобовыми.

Шаг катушки – число пазовых делений, заключенных между центрами пазов, в которые укладываются стороны витка или катушки. Шаг катушки может быть диаметральный или укороченным. Диаметральный называют шаг, равный полюсному делению, а укороченным – несколько меньший диаметрального.

Катушечная группа представляет собой несколько последовательно соединенных катушек одной фазы, стороны которых лежат под двумя соседними полюсами.

Обмотка – несколько катушечных групп, уложенных в пазы и соединенных по определенной схеме.

Обмотки электрических машин разделяют на петлевые, волновые и комбинированные. По способу заполнения пазы они могут быть однослойными и двухслойными. При однослойной обмотке сторона катушки занимает весь паз по его высоте, а при двухслойной – только половину, вторую его половину заполняет соответствующая сторона другой катушки.

Основным типом статорной обмотки асинхронных машин является двухслойная обмотка с укороченным шагом. Однослойные обмотки применяются только в электродвигателях малых габаритов.

На рис. 2.24 показаны развернутая и фронтальная (торцевая) схемы двухслойной трехфазной обмотки. Стороны катушек в пазовой части обозначают двумя линиями – сплошной и штриховой.

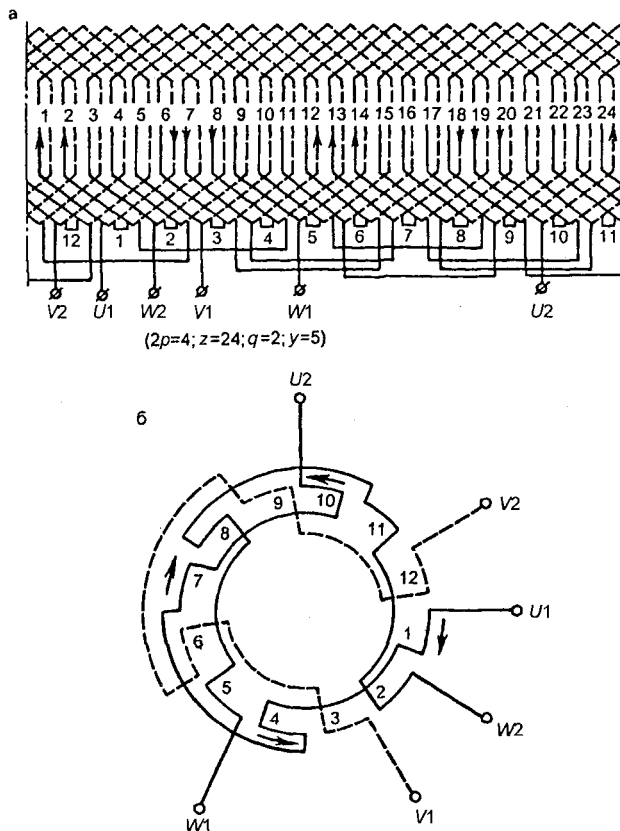


Рис. 2.24. Схемы двухслойной трехфазной обмотки:
а – развернутая; б – торцевая

Сплошной линией изображают сторону катушки, которая уложена в верхнюю часть паза, а штриховой – нижнюю сторону катушки, уложенной на дно паза. В разрывах вертикальных линий указывают номера пазов сердечника. Нижний и верхний слои лобовых частей изображают соответственно штриховыми и сплошными линиями.

Начала первой, второй и третьей фаз обозначают U_1, V_1, W_1 , по ГОСТу, а концы этих фаз – соответственно U_2, V_2, W_2 (ГОСТ 2.709-89). На схеме указывается вид обмотки, а также даются ее параметры: z – число пазов; $2p$ – число полюсов; y – шаг обмотки по пазам; a – число пар параллельных ветвей в фазе; m – число фаз; способ соединения фаз – Y – «звездой», Δ – «треугольником».

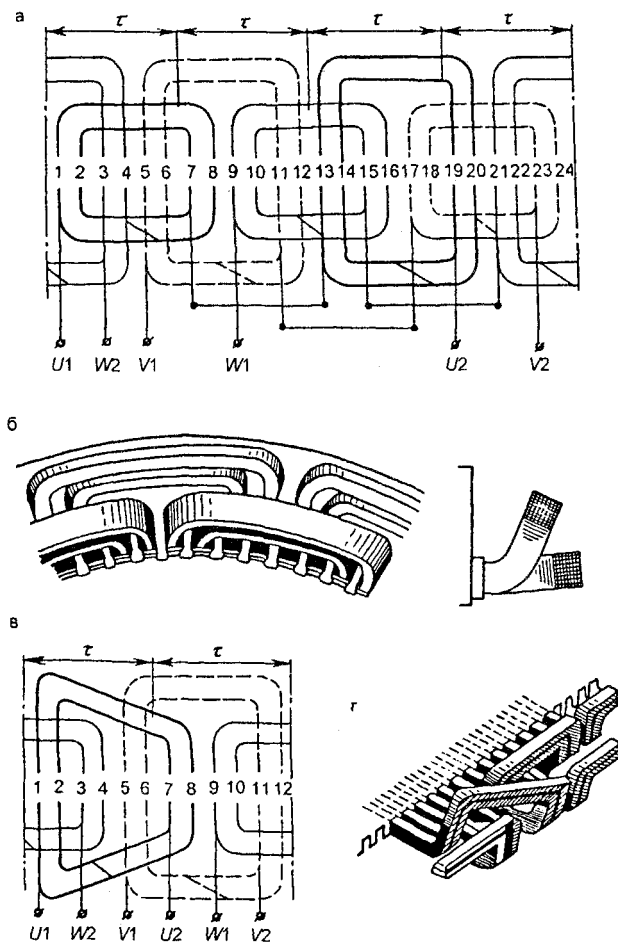


Рис. 2.25. Схемы однослойных двухплоскостных обмоток ($z = 24; p = 2$):

a – с четным числом пар полюсов и b – расположение лобовых частей; $в$ – с нечетным числом пар полюсов и $г$ – расположение лобовых частей

Обмотки статоров выполняют однослойными и двухслойными. Наматку однослойных обмоток осуществляют механизированным способом на специальных станках.

Однослойные обмотки имеют разную форму, а лобовые части одной катушечной группы – одинаковую форму, но разные размеры (рис. 2.25). Чтобы уложить обмотку в пазы сердечника статора,

лобовые части катушек располагают по окружности в два или три ряда. Наиболее распространены однослойные двух- и трехплоскостные обмотки (лобовые части обмотки располагаются на двух или трех уровнях).

Роторы асинхронных двигателей выполняют с короткозамкнутой или фазной обмоткой. Короткозамкнутые обмотки электрических машин старых конструкций изготовлялись в виде «беличьей клетки» из медных стержней, концы которых были запаяны в отверстиях, высверленных в медных короткозамкнутых кольцах (см. рис. 2.3). В современных асинхронных электрических машинах мощностью до 100 кВт короткозамкнутую обмотку ротора образуют заливкой его пазов расплавленным алюминием.

В фазных роторах асинхронных двигателей чаще всего применяют волновые или петлевые обмотки. Наиболее распространены волновые обмотки, преимущество которых заключается в минимальном числе межгрупповых соединений. Основным элементом волновой обмотки является обычный стержень. Двухслойную волновую обмотку выполняют, вставляя с торца ротора в каждый его закрытый или полузакрытый паз по два стержня.

Схема волновой обмотки четырехполюсного ротора, который имеет 24 пазы, показана на рис. 2.26, а. Шаг волновой обмотки равен числу пазов, разделенных на число полюсов. Для схемы, изображенной на рис. 2.26, а, он будет равен 6. Это означает, что верхний стержень пазы 1 подходит к нижнему стержню пазы 7, который при шаге обмотки, равном 6, соединяется с верхним стержнем пазы 13 и нижним стержнем пазы 19. Для продолжения обмотки шагом, равным 6, необходимо соединить нижний стержень пазы 19 с верхним стержнем пазы 1, а значит, замкнуть обмотку, что недопустимо. Чтобы избежать этого, укорачивают или удлиняют шаг обмотки на один паз. Волновые обмотки с укороченным шагом на один паз называют обмотками с укороченными переходами, а с увеличенным шагом на один паз – обмотками с удлиненными переходами.

На схеме обмотки число пазов на полюс и фазу равно двум, поэтому необходимо сделать два обхода ротора, а для образования четырехполюсной обмотки не хватает соединений с противоположной стороны ротора, которые можно получить при его обходе, но уже в обратном направлении.

В волновых обмотках различают передний шаг обмотки со стороны выводов (контактных колец) и задний шаг обмотки со стороны, противоположной контактными кольцами. Обход ротора в обратном направлении, в данном случае переход на задний шаг, достигается соединением нижнего стержня пазы 18 с нижним стержнем, который отстает от него на один шаг. Далее делается два обхода ро-

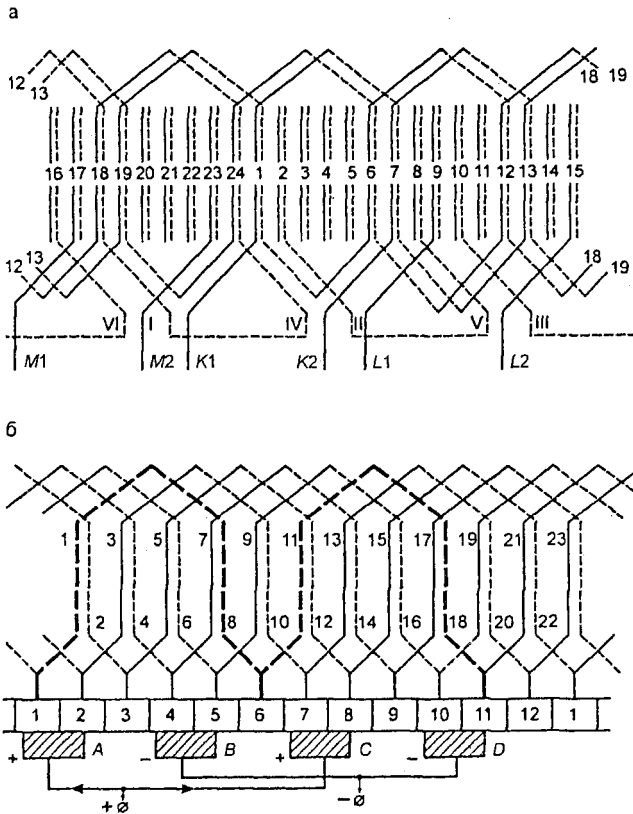


Рис. 2.26. Волновые обмотки:
 а - ротора; б - якоря

тора. Продолжая обход ротора задним шагом, нижний стержень паза 12 соединяют с верхним стержнем паза 6. Дальнейшие соединения делают так. Нижний стержень паза 1 соединяют с верхним стержнем паза 19, который (как видно из схемы) соединяется с нижним стержнем паза 13, а тот, в свою очередь, с верхним стержнем паза 7. Второй конец верхнего стержня этого паза идет на вывод, образуя конец первой фазы.

Обмотки фазных роторов асинхронных двигателей соединяют преимущественно «звездой» с выводом трех концов обмотки к контактным кольцам. Выводы (начала) обмотки ротора обозначают $K1, L1, M1$, а концы - соответственно $K2, L2, M2$.

Перемычки, которые соединяют начала и концы фаз обмотки ротора, указывают римскими цифрами, например, в первой фазе

перемычка, которая соединяет начало $K1$ и конец $K2$, обозначена I–IV, $L1$ и $L2$ – II–V, $M1$ и $M2$ – III–VI.

Для *якорей машин* постоянного тока применяют петлевые и волновые обмотки. Простая волновая обмотка якоря (рис. 2.26, б) получается соединением выводных концов секции с двумя коллекторными пластинами AC и BD , расстояние между которыми определяется двойным полюсным делением (2τ). При выполнении обмотки конец последней секции первого обхода соединяют с началом секции, соседней с той, от которой был начат обход, и далее продолжают обходы по якорю и коллектору, пока не будут заполнены все пазы и не замкнется обмотка.

Подготовка обмоток к ремонту. Ремонт обмоток выполняется специально обученными рабочими на обмоточных участках ремонтного подразделения или предприятия. Подготовка машин к ремонту заключается в подборе обмоточных проводов, изоляционных, пропиточных и вспомогательных материалов. Перечень материалов, необходимых для ремонта обмоток, заносят в эксплуатационную документацию электрической машины.

Для выявления замыканий в обмотке между витками одной катушки или проводами разных фаз используют специальные приборы. Определив характер неисправности обмотки, начинают ее ремонт.

Технология капитального ремонта обмоток электрических машин включает следующие основные операции:

- разборку обмотки;
- очистку пазов сердечника от старой изоляции;
- ремонт сердечника и механической части машины;
- очистку катушек обмотки от старой изоляции;
- подготовительные операции для изготовления обмотки;
- изготовление катушек обмотки;
- изолирование сердечника и обмоткодержателей;
- укладывание обмотки в паз;
- пайку соединений обмотки;
- крепление обмотки в пазах;
- сушку и пропитку обмотки.

Ремонт обмоток статоров. Изготовление обмотки статора начинают с намотки отдельных катушек на шаблоне. Чтобы правильно выбрать размер шаблона, необходимо знать основные размеры катушек, главным образом их прямолинейной и лобовой частей. Размеры катушек обмотки демонтируемых машин определяют путем замеров старой обмотки.

Катушки вспяных обмоток статоров изготавливают обычно на универсальных шаблонах (рис. 2.27). Такой шаблон представляет

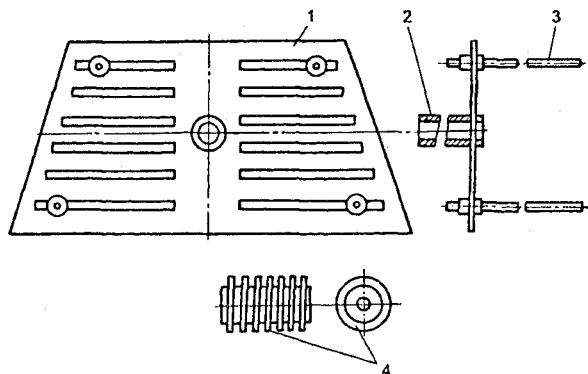


Рис. 2.27. Универсальный намоточный шаблон

собой стальную плиту 1, которая при помощи приваренной к ней втулки 2 соединяется со шпинделем намоточного станка. Плита имеет форму трапеции. В ее прорези установлены четыре шпильки, закрепленные гайками. При намотке катушек разной длины шпильки перемещают в прорезях. При намотке катушек разной ширины шпильки переставляют с одних прорезей в другие.

В обмотках статора машин переменного тока обычно несколько соседних катушек соединяют последовательно, и они образуют катушечную группу. Чтобы избежать лишних паечных соединений, все катушки одной катушечной группы наматывают цельным проводом. Поэтому на шпильки 3 надевают ролики 4, выточенные из текстолита или алюминия. Число желобков на ролике равно наибольшему числу катушек в катушечной группе, размеры желобков должны быть такими чтобы в них могли поместиться все проводники катушки.

Иногда при ремонте обмоток двигателей приходится заменять отсутствующие провода проводами других марок и сечений. По тем же причинам вместо намотки катушки одним проводом используют намотку двумя (и более) параллельными проводами, суммарное сечение которых эквивалентно требуемому. При замене проводов ремонтируемых двигателей предварительно (до намотки катушек) проверяют коэффициент заполнения паза, который должен быть 0,7–0,75.

Катушки двухслойной обмотки укладывают в пазы сердечника группами так, как они были намотаны на шаблоне. Провода распределяют в один слой и укладывают катушки нижними сторонами (которые прилегают к пазу). Другие стороны катушек не укладывают в пазы до тех пор, пока не будут уложены катушки ниж-

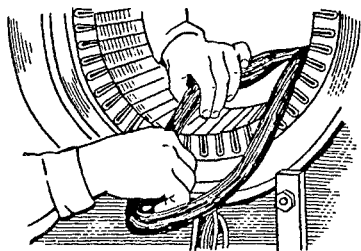


Рис. 2.28. Укладка проводов катушки в пазы сердечника

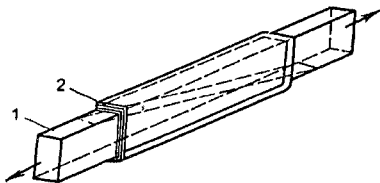


Рис. 2.29. Способ изготовления изоляционных гильз электрических машин с закрытыми пазами сердечника

ними сторонами во все пазы (рис. 2.28). Следующие катушки кладут одновременно верхними и нижними сторонами. Между верхними и нижними сторонами катушек в пазах устанавливают изоляционные прокладки из электрокартона, согнутого в виде скобочки, а между лобовыми частями – из лакоткани или листов картона с наклеенными на них кусочками лакоткани.

При ремонте электрических машин старых конструкций с закрытыми пазами рекомендуется до начала демонтажа обмотки снять ее реальные обмоточные данные (диаметр провода, количество проводов в пазу, шаг обмотки по пазам и др.), а затем сделать эскизы лобовых частей и отмаркировать пазы статора (эти данные могут понадобиться при восстановлении обмотки).

Изготовление обмотки с закрытыми пазами имеет ряд особенностей. Пазовую изоляцию таких обмоток делают в виде гильз из электрокартона и лакоткани. Предварительно по размерам пазов машины изготавливают стальной дорн 1, который представляет собой два встречных клина (рис. 2.29). Дорн должен быть меньше паза на толщину гильзы 2. Затем по размерам старой гильзы нарезают заготовки из электрокартона и лакоткани на полный комплект гильз и приступают к их изготовлению. Нагревают дорн до 80–100 °С и плотно обертывают заготовкой, пропитанной лаком. Сверху на заготовку вполнахлестку плотно укладывают хлопчатобумажную ленту. После охлаждения дорна до температуры окружающей среды разводят клинья и снимают готовую гильзу. Перед намоткой помещают гильзы в пазы статора, а затем заполняют их стальными прутками, диаметр которых должен быть на 0,05–0,1 мм больше диаметра изолированного обмоточного провода. От бухты отрезают кусок провода, необходимый для намотки одной катушки. Длинный провод усложняет намотку, при этом нередко повреждается изоляция из-за частой протяжки его через паз.

Намотку впротяжку обычно производят два обмотчика, которые стоят с двух сторон статора (рис. 2.30). Изоляцию лобовых частей обмотки машин на напряжение до 660 В, предназначенных для работы в нормальной среде, выполняют стеклолентой ЛЭС, причем каждый следующий слой полуперекрывает предыдущий. Каждую катушку группы обматывают, начиная от торца сердечника. Сначала обматывают лентой часть изоляционной гильзы, которая выступает из паза, а затем часть катушки до конца выгиба. Середины головок группы обматывают стеклолентой вполнахлестку. Конец ленты закрепляют на головке клеем или плотно пришивают к ней. Провода обмотки, которые лежат в пазу, удерживают с помощью пазовых клиньев, изготавливаемых из бука, березы, пластмассы, текстолита или гетинакса. Клинь 1 (рис. 2.31) должен быть на 10–15 мм длиннее сердечника и на 2–3 мм короче пазовой изоляции 2 и толщиной не менее 2 мм. Для влагоустойчивости деревянные клинья «варят» 3–4 ч в олифе при 120–140 °С.

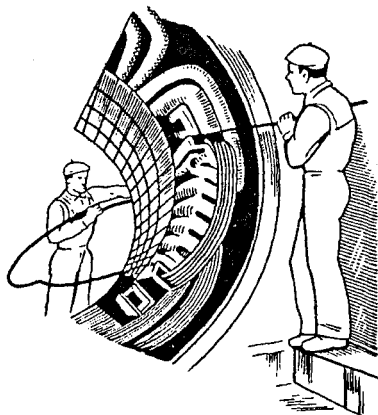


Рис. 2.30. Намотка впротяжку статорной обмотки электрической машины с закрытыми пазами

Клинья забивают в пазы средних и малых машин молотком и с помощью деревянной надставки 3, а в пазы крупных машин — пневматическим молотком. Затем собирают схему обмотки. Если фаза обмотки намотана отдельными катушками, их последовательно соединяют в катушечные группы.

Клинья забивают в пазы средних и малых машин молотком и с помощью деревянной надставки 3, а в пазы крупных машин — пневматическим молотком. Затем собирают схему обмотки. Если фаза обмотки намотана отдельными катушками, их последовательно соединяют в катушечные группы.

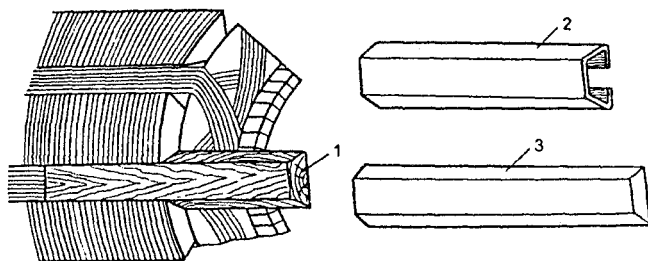


Рис. 2.31. Приспособление для забивки клиньев в пазы

За начало фаз принимают выводы катушечных групп, которые выходят из пазов, расположенных около выводного щитка. Эти выводы отгибают к корпусу статора и предварительно соединяют катушечные группы каждой фазы, скручивают зачищенные от изоляции концы проводов катушечных групп.

После сборки схемы обмотки проверяют электрическую прочность изоляции между фазами и на корпус, а также правильность ее соединения. Для этого используют самый простой способ – кратковременно подключают статор к сети (127 или 220 В), а затем к поверхности его расточки прикладывают стальной шарик (от шарикоподшипника) и отпускают его. Если шарик вращается по окружности расточки, значит схема собрана правильно.

Такую проверку можно также осуществить с помощью вертушки. В центре диска из жести пробивают отверстие, укрепляют его гвоздем на торце деревянной планки, а затем эту вертушку помещают в расточку статора, который подключен к электрической сети. Если схема собрана правильно, диск будет вращаться.

Правильность сборки схемы и отсутствие витковых замыканий в обмотках ремонтируемых машин проверяют также электронным аппаратом Ел-1. Две одинаковые обмотки или секции соединяют с аппаратом, а затем с помощью синхронного переключателя подают периодически импульсы напряжения на электронно-лучевую трубку аппарата. Если в обмотках нет повреждений, кривые напряжений на экране накладываются одна на другую, при наличии же дефектов они раздваиваются. Для обнаружения пазов, в которых находятся короткозамкнутые витки, используют приспособление с двумя П-образными электромагнитами на 100 и 2000 витков. Катушку неподвижного электромагнита (100 витков) соединяют с выводами «Вых. имп.» аппарата, а катушку подвижного электромагнита (2000 витков) – с выводами «Сигн. явл.». При этом средняя ручка должна быть поставлена в крайнее левое положение «Работа с приспособлением». Если переставить оба электромагнита приспособления с паза на паз по расточке статора, на экране появится прямая или кривая линия с малыми амплитудами, которая свидетельствует об отсутствии в пазу короткозамкнутых витков. В противном случае на экране будут кривые линии с большими амплитудами.

Аналогично находят короткозамкнутые витки в обмотке фазного ротора или якоря машин постоянного тока.

Ремонт обмоток роторов. В асинхронных двигателях с фазным ротором используют два основных типа обмоток: катушечную и стержневую. Изготовление насыпных и протяжных катушечных обмоток роторов почти не отличается от изготовления таких же обмоток статоров.

В машинах мощностью до 100 кВт применяют преимущественно стержневые двухслойные волновые обмотки роторов. В них повреждаются не сами стержни, а их изоляция (в результате частых чрезмерных нагревов), а также пазовая изоляция роторов.

Обычно медные стержни поврежденной обмотки используют повторно, поэтому после восстановления изоляции их кладут в те же пазы, в которых они находились до ремонта.

Сборка стержневой обмотки ротора состоит из трех основных операций:

- укладки стержней в пазы сердечника ротора;
- изгибания лобовых частей стержней;
- соединения стержней верхнего и нижнего рядов пайкой или сваркой.

Изолированные стержни, которые используются повторно, поступают на укладку в пазы только с одной согнутой лобовой частью. Другие концы этих стержней изгибают специальными ключами после укладки в пазы. Сначала кладут в пазы стержни нижнего ряда, вставляя их со стороны, противоположной контактными кольцам. Уложив весь нижний ряд стержней, их прямые участки помещают на дно пазов, а согнутые лобовые части – на изолированный обмоткодержатель. Концы согнутых лобовых частей сильно стягивают временным биндажом из мягкой стальной проволоки, плотно прижимая их к обмоткодержателю. Второй временный биндаж из проволоки наматывают на середины лобовых частей. Временные биндажи служат для предотвращения сдвига стержней при дальнейшем их изгибании. Стержни изгибают с помощью двух специальных ключей (рис. 2.32).

После укладки стержней нижнего ряда переходят к укладке стержней верхнего ряда обмотки, вставляя их в пазы со стороны, противоположной контактными кольцам. Потом кладут временные биндажи. Концы стержней соединяют медной проволокой для проверки отсутствия замыкания на корпус. Если результаты испытаний положительные, продолжают сборку обмотки, концы верхних стержней изгибают в противоположную сторону. Согнутые лобовые части верхних стержней также крепят двумя временными биндажами.

После укладки стержней верхнего и нижнего рядов обмотку ротора сушат при 80–100 °С в печи или сушильном шкафу. Затем испытывают изоляцию высушенной обмотки.

Конечными операциями изготовления стержневой обмотки ротора ремонтируемой машины является соединение стержней, забивание клиньев в пазы и биндажирование обмотки. Для повышения надежности машин применяют соединение стержней пайкой твердыми припоями.

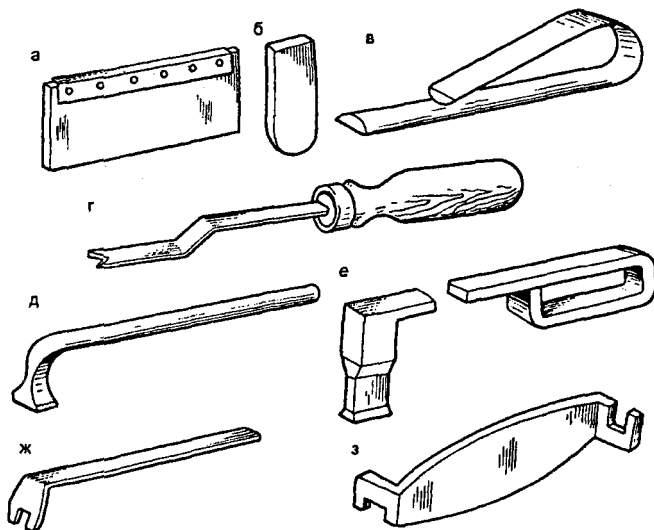


Рис. 2.32. Набор специальных инструментов обмотчика электрических машин:

а - пластинка; *б* - «язык»; *в* - обратный клин; *г* - угловой нож; *д* - выколочка; *е* - топорик; *ж*, *з* - ключи для гнутья стержней ротора

Обмотки фазных роторов асинхронных двигателей соединяют преимущественно «звездой».

Большинство асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт изготавливается с короткозамкнутым ротором, который выполняют из алюминия методом литья.

Ремонт литого ротора с поврежденным стержнем состоит из перезаливки его после выплавки алюминия и очистки пазов. Для этой цели используют кокили.

На крупных электроремонтных заводах короткозамкнутые роторы заливают алюминием центробежным или вибрационным способом, а также используют литье под давлением.

Ремонт обмоток якорей. Основные неисправности обмоток якорей: соединение обмотки с корпусом, межвитковые замыкания, обрывы в обмотках, механические повреждения паек.

При подготовке якоря к ремонту снимают старые бандажы, отпаивают соединения с коллектором, удаляют старую обмотку, предварительно записав все необходимые для ремонта данные.

В машинах постоянного тока применяют стержневые и шаблонные обмотки якорей. Стержневые обмотки якорей выполняют так же, как и стержневые обмотки роторов.

Для намотки секций шаблонной обмотки используют изолированные провода, а также медные шины, которые изолируют латексной или миколентой. Секции шаблонной обмотки наматывают на универсальных шаблонах, которые позволяют делать обмотку, а затем растяжку небольшой секции, не снимая ее с шаблона.

Растяжку секций якорей крупных машин выполняют на специальных станках с машинным приводом. Перед растяжкой секцию закрепляют, временно обматывая ее хлопчатобумажной лентой в один слой, чтобы обеспечить правильное формирование секции при растяжении.

Катушки шаблонных обмоток изолируют вручную или на специальных станках. При укладке шаблонной обмотки в паз следят, чтобы концы катушки, которые повернуты к коллектору, а также расстояния от края сердечника до перехода прямой (пазовой) части в лобовую были одинаковыми. После укладки всей обмотки провода обмотки якоря подсоединяют к пластинам коллектора пайкой с использованием припоя ПОС 30.

Качество пайки проверяют внешним осмотром, измерением переходного сопротивления между соседними пластинами, пропусканием рабочего тока по обмотке якоря. При качественной пайке переходное сопротивление между всеми парами пластин должно быть одинаковым. При пропускании по обмотке якоря в течение 20–30 мин номинального тока не должно возникать местных нагревов.

Ремонт катушек полюсов. Чаще всего поврежденными оказываются катушки добавочных полюсов, которые намотаны прямоугольной медной шиной плазом или на ребро. Обычно повреждается изоляция между витками катушки. При ремонте катушку перематывают на намоточном станке (рис. 2.33, а), а затем изолируют на изолировочном станке (рис. 2.33, б). Изолированную катушку стягивают хлопчатобумажной лентой и прессуют. Для этого надевают на оправку торцевую изоляционную шайбу, кладут на нее катушку и накрывают второй шайбой. Затем сжимают катушку на оправке, присоединяют к сварочному трансформатору, нагревают до 120 °С и, сжимая ее, снова прессуют, после чего охлаждают в запрессованном положении на оправке до 25 °С. Снятую с оправки охлажденную катушку покрывают лаком воздушной сушки и выдерживают в течение 10–12 ч при 20–25 °С.

Наружную поверхность катушки изолируют асбестовой, а затем миканитовой лентой и покрывают лаком. Готовую катушку надевают на добавочный полюс и крепят деревянными клиньями.

Сушка и пропитка обмоток. Некоторые изоляционные материалы (электрокартон, хлопчатобумажные ленты) являются гигро-

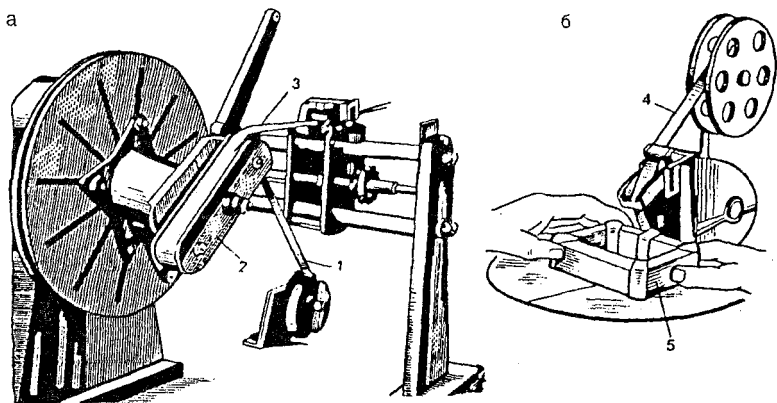


Рис. 2.33. Станки для изготовления катушек полюсов:
 а - для намотки катушек из полосовой меди; б - для изолировки намотанной катушки; 1, 4 - миканитовая и хлопчатобумажная ленты; 2 - шаблон; 3 - медная шина; 5 - полюсная катушка

скопическими. Поэтому перед пропиткой обмотки статоров, роторов и якорей сушат в специальных печах при $105-200^{\circ}\text{C}$. Можно также использовать инфракрасные лучи, источником которых являются специальные лампы накаливания.

Высушенные обмотки пропитывают лаком в специальных ваннах с подогревом, которые устанавливают в отдельном помещении, оборудованном приточно-вытяжной вентиляцией и необходимыми средствами пожаротушения.

Для обмоток применяют пропиточные лаки воздушной или печной сушки, а в отдельных случаях - кремнийорганические лаки. Пропиточные лаки должны обладать малой вязкостью и большой проникающей способностью и в течение длительного времени сохранять изоляционные свойства.

Обмотки электрических машин пропитывают один, два или три раза в зависимости от условий эксплуатации и предъявляемых к ним требований. В процессе пропитки необходимо постоянно проверять вязкость и густоту лака, так как растворители испаряются и лак загустевает. При этом значительно снижается его способность проникать в изоляцию проводов обмотки, расположенных в пазах сердечника статора или ротора. Поэтому в пропиточную ванну периодически добавляют растворитель.

Обмотки электрических машин после пропитки сушат в специальных камерах с естественной или принудительной вентиляцией теплым воздухом. Подогрев может быть электрическим, газовым, паровым. Наиболее распространены сушильные камеры с электрическим подогревом.

В начале сушки (1–2 ч), когда удерживаемая в обмотках влага быстро испаряется, отработанный воздух полностью выпускается в атмосферу. В последующие часы сушки часть отработанного теплого воздуха, содержащего небольшое количество влаги и паров растворителя, возвращается в камеру. Максимальная температура в камере не превышает 200 °С.

Во время сушки обмоток постоянно контролируют температуру в камере и температуру выходящего из нее воздуха. Обмотки располагают так, чтобы они лучше обдувались горячим воздухом. Процесс сушки состоит из разогрева обмоток (для выведения растворителя) и запекания лаковой пленки.

При подогреве обмоток повышать температуру выше 100–110 °С нежелательно, так как преждевременно может образоваться лаковая пленка.

В процессе запекания лаковой пленки кратковременно (не более чем на 5–6 ч) можно повышать температуру сушки обмоток с изоляцией класса А до 130–140 °С.

На крупных электроремонтных предприятиях пропитку и сушку выполняют на специальных пропиточно-сушильных конвейерных установках.

После ремонта электрические машины поступают на испытания.

2.13. Ремонт коллекторов, щеткодержателей и контактных колец

Коллектор может иметь следующие неисправности: нарушение геометрической формы, замыкание коллекторных пластин, выступание межпластиночной изоляции над пластинами, износ и оплавление пластин. Геометрическая форма коллектора нарушается чаще всего из-за несвоевременного продороживания коллектора. При этой неисправности на рабочей поверхности коллектора в результате неравномерного износа пластин в продольном направлении образуется волнистость и повышается радиальное биение.

Для восстановления формы коллектор обтачивают на токарном станке, а затем шлифуют и полируют. Обточку выполняют до полной ликвидации дефекта при минимальной подаче (не более 0,05 мм/об) резцами с пластинами из твердого сплава ВК-6 или ВК-8 со скоростью резания 1–1,5 м/с, которая не должна превышать номинальную окружную скорость коллектора.

После обточки коллектор продороживают и полируют. На практике обточку и шлифовку выполняют с помощью переносных приспособлений при вращении якоря машины постоянного тока в

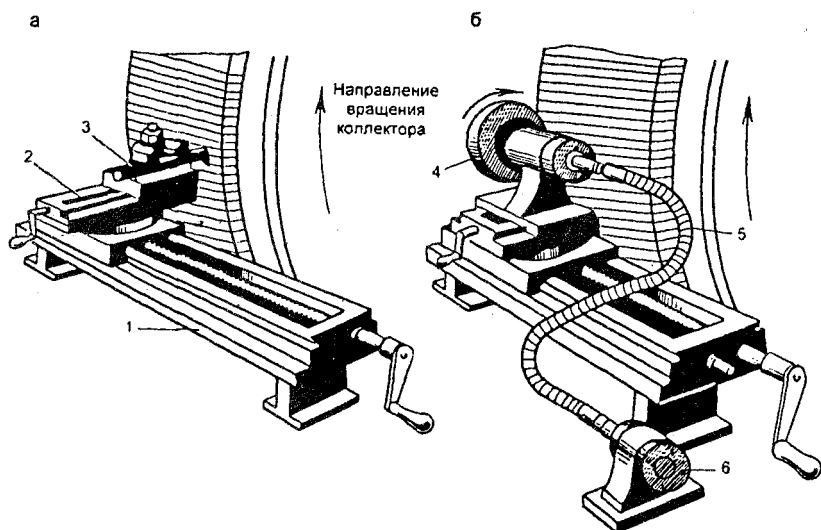


Рис. 2.34. Переносные приспособления для обточки (а) и шлифовки (б) коллектора: 1 - станина; 2 - суппорт; 3 - резец; 4 - карборундовый круг; 5 - гибкий вал; 6 - электродвигатель

своих подшипниках (рис. 2.34). Шлифовку коллектора производят при номинальной частоте вращения якоря. Полируют коллектор с помощью деревянных брусков из несмолистых пород дерева (бук, клен), которые вставляют в щеткодержатели вместо щеток так, чтобы их волокна были расположены перпендикулярно к коллектору. Полировка способствует более быстрому образованию на поверхности коллектора оксидной пленки, необходимой для хорошей коммутации.

Ремонт коллектора заканчивается продороживанием, т. е. прорезанием межпластиночной миканитовой изоляции на глубину 0,5–1,5 мм в зависимости от размеров коллектора. Продороживание выполняют ручными резаками (рис. 2.35, а) и с помощью специального переносного приспособления ПМР-20К (рис. 2.35, б). Рабочая часть приспособления имеет метрическую шкалу для установки дисковых фрез на размер и шаг коллекторных пластин, а также концентрический зажим, позволяющий регулировать глубину продороживания. Изоляция прорезается фрезой левого вращения и соответствующей толщины. Продороживание выполняют в защитных очках и одежде, рукава которой должны быть застегнуты.

По окончании продороживания края пластин обрабатывают напильником (снимают заусенцы и скашивают под углом 45°).

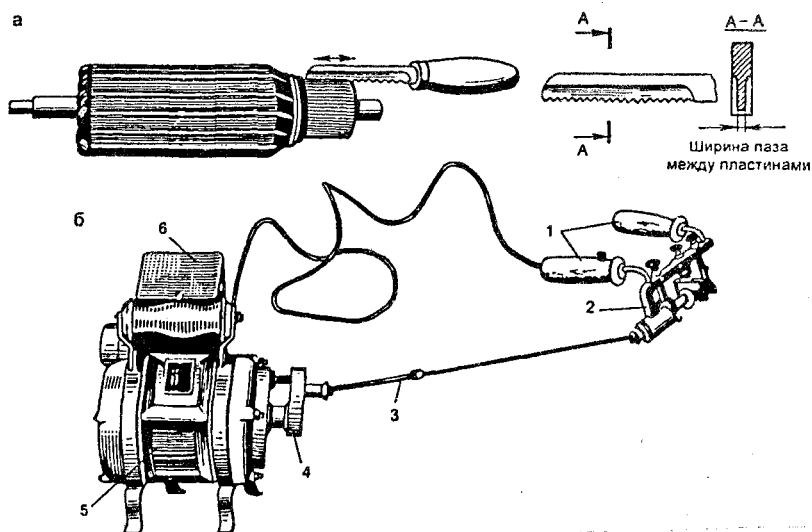


Рис. 2.35. Приспособления для продорозживания коллектора:
 а – ручной резак; б – переносное устройство для механизированной выборки межпластинной изоляции коллектора; 1 – рукоятки; 2 – рабочая часть; 3 – карданный валик; 4 – редуктор; 5 – электродвигатель; 6 – магнитный пускатель

Поврежденные пластины заменяют с помощью специальных приспособлений. Новые пластины должны быть из того же материала и иметь такой же профиль и размеры, что и заменяемые. Пластины предварительно собирают и спрессовывают с миканитовой изоляцией и между собой, а затем устанавливают на коллектор.

После замены пластин коллектор формуют на специальных станках.

При большом числе поврежденных пластин коллектор снимают с вала с помощью специального приспособления (рис. 2.36), предварительно отсоединив концы обмотки якоря от пластин или «петушков». Чтобы

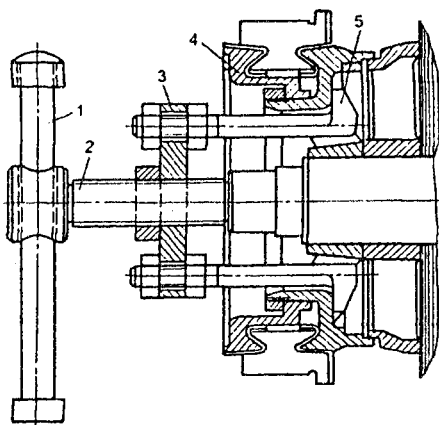


Рис. 2.36. Приспособление для снятия коллектора с вала якоря

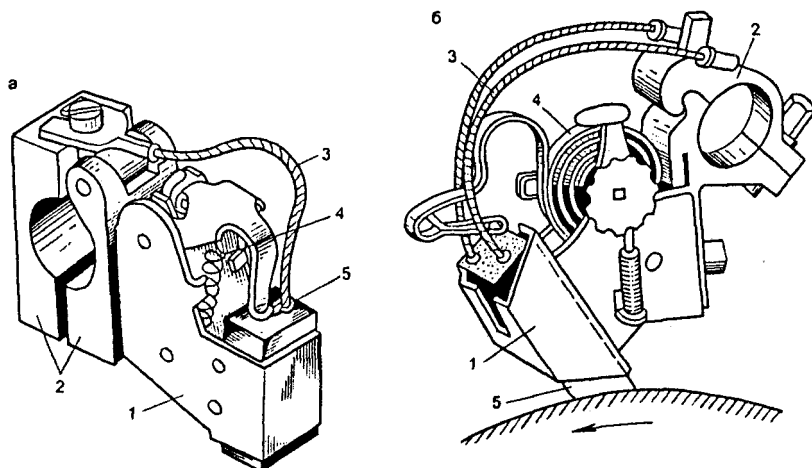


Рис. 2.37. Щеткодержатели радиальные (а) и наклонные (б):

1 – обмотка щеткодержателя; 2 – колодки для закрепления щеткодержателя на пальцах; 3 – гибкий канатик; 4 – нажимная пружина; 5 – щетка

снять коллектор 4, в его вентиляционные каналы вводят шесть крючков 5 и поворачивают их на 90° так, чтобы они зацепили корпус коллектора. Концы крючков вставляют в отверстия диска 3, в центре которого нарезана резьба для винта 2. Вращая винт воротком 1, снимают коллектор с вала якоря и устанавливают новый коллектор. Заменяют также коллекторы, износ пластин которых составляет: 2,5 мм при диаметре коллектора до 100 мм; 3,5 мм при диаметре 250–500 мм.

Щеточный аппарат электрической машины состоит из щеток, щеткодержателей и щеточных пальцев, которые расположены на поворотной траверсе. Применяют в основном два типа щеткодержателей: радиальные и реактивные (наклонные) (рис. 2.37). Радиальные щеткодержатели применяют в реверсивных машинах, а наклонные – в нереверсивных.

Наиболее часто встречаются такие неисправности щеткодержателя, как ослабление пружин, оплавление или механические повреждения. Ослабление пружин устраняют регулировкой, а если это невозможно, пружины заменяют новыми.

Для шлифовки щеток применяют только мелкозернистую стеклянную бумагу № 00. Прижимая ее к поверхности коллектора и держа за концы, протягивают от одного конца до другого, пока щетка не притрется. Бумага должна лежать абразивной поверхностью к щетке (рис. 2.38). Таким же способом притирают одновременно группу щеток щеточного пальца или одной полярности.

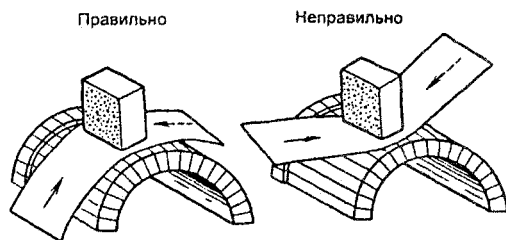


Рис. 2.38. Притирка щеток стеклянной шкуркой

Из-за сильного искрения обоймы и другие детали щеткодержателя оплавляются. При легком оплавлении щеткодержатель очищают от копоти, грязи и нагара, а при сильном – заменяют новым.

Механические повреждения щеткодержателя (заусенцы, вогнутость, изгибы) устраняют опилкой и правкой. Сильно коррозированную обойму заменяют новой.

Затем проверяют правильность сборки и установки щеткодержателей по отношению к коллектору. Щетки должны равномерно располагаться по рабочей поверхности коллектора. При этом учитывают, что износ коллектора под щетками разной полярности неодинаковый. Поэтому щеткодержатели устанавливают так, чтобы щетки двух соседних пальцев разной полярности работали по одному щеточному следу, а следующей пары – по другому следу, т. е. в промежутках между щеточными следами первой пары пальцев.

Устанавливая щеткодержатели, следят, чтобы расстояние от обоймы до поверхности коллектора было 2–4 мм. Для свободного перемещения щеток в обоймах между ними должен быть зазор 0,1–0,4 мм в направлении вращения и 0,2–0,5 мм – в направлении оси коллектора.

В *контактных кольцах* фазных роторов часто повреждаются рабочая поверхность и изоляция между кольцами или кольцами и валом. Неравномерный износ контактных колец устраняют проточкой на токарном станке или с помощью приспособления, показанного на рис. 2,34, а. При легких повреждениях контактных колец (подгар, царапины и др.) их шлифуют стеклянной шкуркой или с помощью приспособления, изображенного на рис. 2.34, б.

Нарушение изоляции между контактными кольцами восстанавливают, зачищая, промывая и затем окрашивая поврежденные места изоляционной эмалью ГФ-92ХС или ГФ-92ГС. При предельном износе изготавливают новые кольца из чугуна, стали или латуни Л68 и напрессовывают их на вал ротора.

2.14. Ремонт сердечников, валов и вентиляторов

Существуют следующие неисправности *сердечников*:

- ослабление прессовки пакетов и посадки пакетов стали;
- распушение торцевых пакетов стали;
- оплавление отдельных участков стали;
- нарушение межлистовой изоляции.

Ослабление прессовки вызывает специфический шум, а иногда и вибрацию машины, что может привести к повреждению изоляции в зубцовой зоне. Степень прессовки определяют с помощью контрольного ножа (толщина лезвия – 0,1–0,23 мм). При удовлетворительной запрессовке стали лезвие ножа при сильном нажиме рукой не должно входить между листами более чем на 1–3 мм. Ослабление прессовки чаще всего наблюдается в зубцовой зоне роторов и статоров, поэтому в этих местах плотно забивают текстолитовые или гетинаксовые клинья, размеры которых соответствуют размерам зубца. При этом клинья должны располагаться на 2–3 мм ниже поверхности стали. Клинья покрывают лаком или клеем БФ-2, а соответствующий участок сердечника – масляно-битумным лаком БТ-99.

Если прессовка стали ослабла по всему сердечнику ротора или якоря, снимают нажимную плиту с сердечника, накладывают по его концам листы текстолита или асбеста, имеющие форму листов стали, снова устанавливают нажимную шайбу, прессуют сердечник и закрепляют шайбу.

Ремонт торцевых пакетов сердечника осуществляют путем установки дополнительной нажимной шайбы с зубцами (рис. 2.39, а).

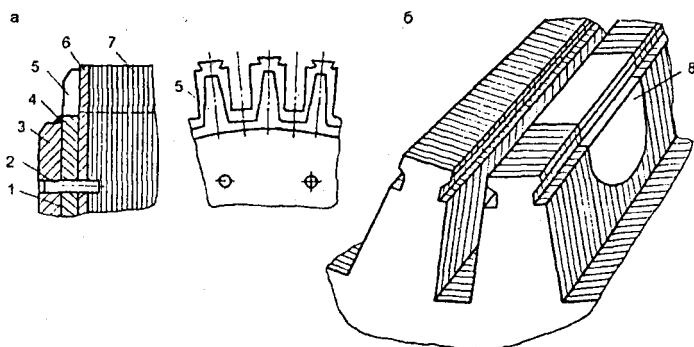


Рис. 2.39. Ремонт сердечников роторов и статоров:

а – установка дополнительной нажимной шайбы с зубцами; б – установка заполнителя вместо вырубленного зуба сердечника; 1 – дополнительная нажимная шайба; 2 – стальной штифт; 3 – основная нажимная плита; 4 – сварной шов; 5 – зубец дополнительной шайбы; 6 – утолщенный лист; 7 – листы сердечника; 8 – заполнитель

Сплавленные между собой листы высекают, а затем в образовавшуюся щель заливают лак БТ-99, кладут между листами пластинки из слюды толщиной 0,05 мм и покрывают этим же лаком. Если площадь повреждений значительная, высеченные зубцы заменяют заполнителем из стеклотекстолита (рис. 2.39, б). Заполнитель промазывают клеем БФ-2 и плотно укладывают между обмоткой и сталью.

При больших повреждениях сердечник подвергают перешихтовке, состоящей из следующих операций:

- расшихтовки;
- переизолировки листов активной стали;
- шихтовки;
- прессовки и испытания.

На ремонтных предприятиях перешихтовку сердечника выполняют редко, так как это очень дорогая и трудоемкая работа. Гораздо дешевле изготовить новый сердечник.

При эксплуатации электрических машин часто повреждаются *валы*. К наиболее характерным их повреждениям относятся:

- износ посадочных поверхностей шеек валов;
- искривление;
- поломка.

Повреждения посадочных поверхностей составляют свыше 50% общего числа повреждений валов ремонтируемых электрических машин. Они возникают в результате частых снятий и посадок деталей.

Посадочные поверхности валов ремонтируют шлифовкой, электронаплавлением металла и металлизацией. Если площадь повреждений превышает 20% посадочной поверхности, вал перетачивают на меньший диаметр или наплавляют слой металла, а затем обрабатывают до требуемого размера на токарном станке.

Стоимость изготовления вала для электрических машин мощностью до 100 кВт относительно невысокая. Сложными и дорогими являются операции выпрессовки поврежденного и запрессовки нового вала.

Правку искривленного вала выполняют на валоправочном стенде типа ВС-450.

Сломанный вал восстанавливают привариванием надставки или напрессовкой отломившейся части.

Охлаждение электрических машин выполняется литыми, клепаными или сварными *вентиляторами*.

Повреждения литого или сварного вентилятора чаще всего происходят во время разборки и сборки машины.

В клепаных вентиляторах слабым местом являются участки выгиба лопастей. При ремонте таких вентиляторов повреждения устраняют путем приваривания лопастей.

Очищенную поверхность отремонтированного вентилятора покрывают двумя слоями лака.

Перед установкой вентилятора на ротор его подвергают балансировке.

2.15. Ремонт станин, подшипниковых щитов и подшипников

Если в *станинах* и *подшипниковых щитах* появляются трещины, их заваривают: отломанные детали приваривают, изношенные посадочные поверхности восстанавливают. Трещины в чугуне заваривают биметаллическими электродами (преимущественно в горячем состоянии) ацетилено-кислородным пламенем, а в холодном состоянии медными или металлическими электродами.

Отломанные детали (чаще всего лапы станин и борта подшипниковых щитов) приваривают.

Восстанавливают изношенные посадочные поверхности подшипниковых щитов в местах посадки подшипников качения. Подшипниковый щит растачивают на больший диаметр и запрессовывают в него стальную втулку, которую затем растачивают до требуемого размера. Если место посадки подшипника в подшипниковом щите нельзя расточить до требуемого размера, изношенные посадочные поверхности восстанавливают методом металлзации.

В случае повреждения резьбы в отверстии станины ее рассверливают, увеличивают диаметр и закручивают в нее резьбовую пробку с внутренней резьбой требуемых диаметра и шага.

В электрических машинах применяют *подшипники качения* и *скольжения*. В современных машинах используют главным образом шариковые и роликовые подшипники качения, которые просты в эксплуатации и легко заменяются при повреждении. Подшипники скольжения применяют в основном в крупных электрических машинах, а также в случаях, когда требуется снизить уровень шума.

При ремонте электрических машин проверяют состояние и степень износа *подшипников качения* (рис. 2.40, а, б). Подшипники промывают, а затем закладывают в них консистентную смазку УТВ (универсальную тугоплавкую водостойкую) или ЦИАТИМ-201, которая представляет собой смесь минерального масла и мыла.

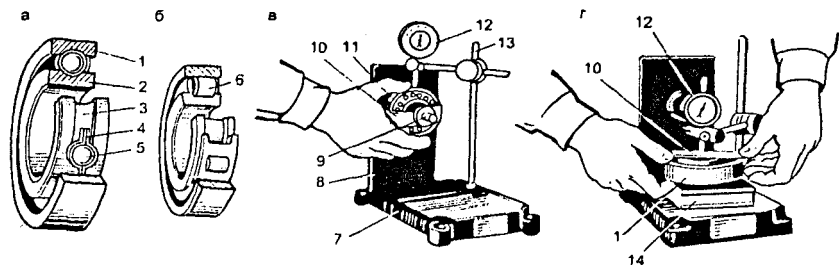


Рис. 2.40. Устройство шарикового (а) и роликового (б) подшипников качения и приспособления для проверки радиальных (в) и аксиальных (г) зазоров

Нередко в подшипниках качения оказываются поврежденными поверхности шариков 5 или роликов 6 и дорожек качения 3. Степень износа подшипников качения определяют путем измерения радиальных и аксиальных (осевых) зазоров с помощью специальных приспособлений (рис. 2.40, в, г). Для измерения радиального зазора подшипник 11 устанавливают на вертикальной плите 8 приспособления с основанием 7. Затем, положив на внутреннее кольцо 2 подшипника стальную планку 10, закрепляют его гайкой, накрученной на стержень 9, который приварен к вертикальной плите. При этом внешнее кольцо 1 подшипника должно свободно вращаться.

Радиальный зазор определяют индикатором 12, укрепленным на держателе стойки 13, по результатам трех измерений, которые делают при повороте внешнего кольца подшипника на 120° после первого и второго измерений.

При измерении осевого зазора подшипник кладут на два металлических бруска 14 так, чтобы его внутреннее кольцо свободно провисало (рис. 2.40, г). Затем, положив на это кольцо стальную планку 10, опускают индикатор 12 до соприкосновения его наконечника с планкой. Осевой зазор определяют по показанию стрелки индикатора, прижимая к брускам внешнее кольцо 1 подшипника и одновременно смещая вверх внутреннее кольцо 2. Зазор в подшипниках качения электрических машин мощностью до 100 кВт не должен превышать 0,5 мм.

При больших радиальных и аксиальных зазорах, а также при повреждении отдельных деталей или частей (разрушение сепаратора 4, шариков или роликов, выкрашивание металла на дорожках качения) подшипники качения заменяют новыми.

Ставят новые подшипники и в случаях, если имеются не подлежащие исправлению повреждения, сколы или трещины на кольцах, сепараторах, шариках (роликах); забоина или вогнутость на

поверхности дорожек качения; цвета побежалости на поверхности колец, сепараторов, шариков (роликов); царапины или глубокие риски, расположенные поперек пути качения шариков (роликов); стук и не прекращающийся после промывки шум подшипников; забоины или вогнутость на поверхности сепаратора; явные следы шариков (роликов) на дорожках качения и др.

При посадке подшипников качения на вал обычно предварительно нагревают его до 80–90 °С в масляной ванне (рис. 2.41, а). Она состоит из внутреннего резервуара 4, подъемной корзины 3 с решетчатым дном, нагревательных элементов 2, уложенных в керамическую плиту, воздушного распределительного устройства, с помощью которого поднимают и опускают корзину, кармана для установки термометра контроля температуры нагрева масла и сливной трубы для выпуска масла из ванны. Сверху корзина прикрыта двумя крышками. Задняя крышка закреплена наглухо, а передняя – откидная. Корзину поднимают с помощью пневмоцилиндра двустороннего действия, подвешенного к каркасу ванны. Для уменьшения потерь теплоты пространство между стенками корпуса заполнено изоляционной набивкой 1 из асбеста. При подогревании подшипников в ванне внимательно следят за показаниями термометра, так как при температуре более 130 °С может загореться трансформаторное масло.

Однако нагревание подшипников в масляной ванне имеет ряд недостатков. Масляные ванны громоздки, требуется постоянный контроль за чистотой масла, чтобы подшипники не загрязнились. Подшипники нагреваются долго и неравномерно. Персонал должен строго соблюдать правила безопасности, иначе масло может загореться, что приведет к ожогу или пожару.

Метод индукционного нагревания подшипников качения не имеет таких недостатков. Аппарат индукционного нагрева (рис. 2.41, б) состоит из плиты 5 и кольцеподобного разъемного сердечника 7, набранного из листов трансформаторной стали. Один сектор сердечника закреплен на латунном шарнире 8 и откидывается при установке подшипника 6 для нагревания в аппарате. Сердечник аппарата можно изготовить, используя сердечники поврежденных трансформаторов тока. На нижнюю часть сердечника намотана первичная обмотка 10 с отпайками на 100, 150 и 200 витков. Концы обмотки выведены к зажимам 9. Вторичной обмоткой аппарата служат кольца подшипника.

Питание на первичную обмотку подается от стандартного переносного трансформатора напряжением 380–220 / 36–12 В и мощностью 250 Вт. При прохождении по первичной обмотке ток индуцируется в кольцах подшипника и нагревает их до 80–90 °С. Температуру определяют термометром или термосвечой.

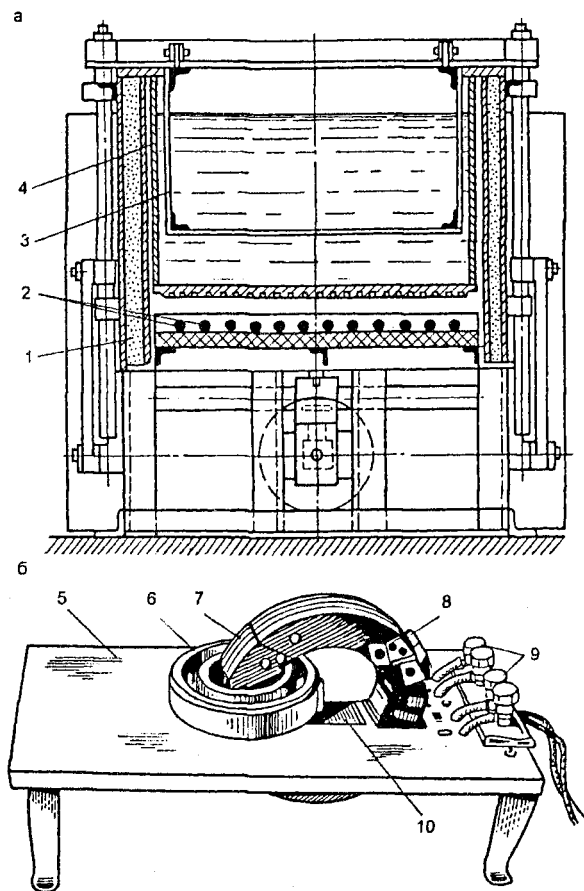


Рис. 2.41. Приспособления для нагрева подшипников качения при посадке на вал электрической машины

В аппарате нагревают подшипники нескольких размеров в зависимости от размеров сердечника и мощности трансформатора. Нагрев подшипников индукционным методом происходит примерно в 3 раза быстрее, чем в масляной ванне.

Нагретый подшипник насаживают на вал 1 электрической машины (рис. 2.42, а) вручную с помощью надставки, которая состоит из сферической заглушки 4, надетой на отрезок трубы 3, диаметр которой равен диаметру средней части кольца подшипника 2. Участок вала, на который насаживается подшипник, тщательно зачищают от заусенцев, а потом промывают и вытирают насухо.

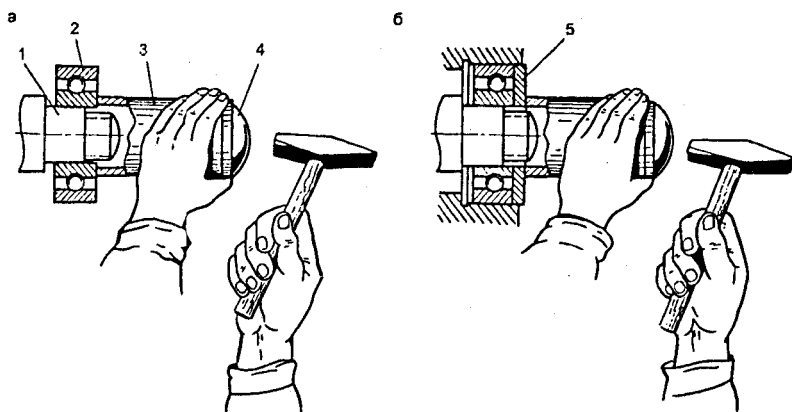


Рис. 2.42. Насадка подшипников качения:

а – на вал; б – на вал и в расточку подшипникового щита

Насадку подшипника на вал и в расточку подшипникового щита (рис. 2.42, б) осуществляют с помощью надставки и металлической шайбы 5. Поверхность расточки щита предварительно обрабатывают так же, как место насадки подшипника на вал.

При механизированной насадке подшипников используют универсальный пневмогидравлический пресс, который позволяет повысить производительность труда почти в 4 раза.

Подшипники скольжения электрических машин встроены в подшипниковые щиты или закреплены в стойках, которые устанавливаются на общем со станиной машины фундаменте. Выполняют эти подшипники в виде сплошной или составной втулки, которая имеет две половинки (вкладыши) с горизонтальным разъемом. Внутренняя поверхность втулки покрыта слоем антифрикционного сплава баббита. В подшипниках скольжения применяют преимущественно кольцевую систему смазывания.

Подшипник скольжения (рис. 2.43) с кольцевой системой смазывания, встроены в подшипниковый щит электродвигателя, имеет чугунную втулку 6, которая состоит из двух вкладышей. Втулка уставовлена в корпусе 5 и закреплена винтом 3. В прорез втулки вставляют смазочное кольцо 11, изготовляемое для асинхронных двигателей из стали, а для машин постоянного тока из латуни или бронзы, чтобы избежать прилипания кольца в результате намагничивания. Верхняя часть кольца лежит на расположенном в прорези участке шейки вала, а нижняя в масле, которое находится в камере 12 подшипника. При вращении вала начинает вращаться и смазочное кольцо, масло налипает на него и подается

к шейке вала, откуда попадает в распределительную смазочную канавку 10 и растекается по втулке. Между втулкой и шейкой вала имеется зазор, величина которого зависит от диаметра и частоты вращения вала. Масло, подаваемое вращающимся кольцом, попадает в зазор между шейкой вала и внутренней поверхностью втулки. В результате этого шейка вала всплывает и во время работы двигателя вращается на масляной пленке. При этом возникает так называемое жидкостное трение, которое значительно снижает коэффициент трения, поэтому подшипник может работать длительное время без интен-

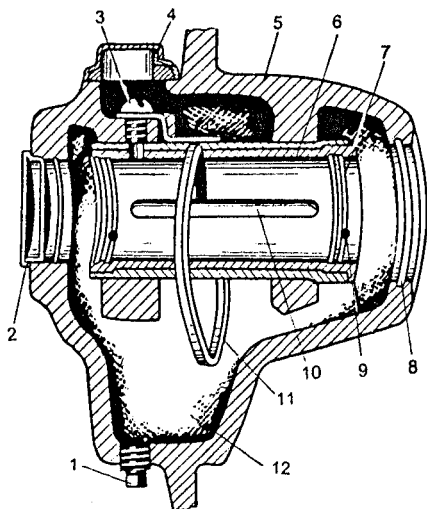


Рис. 2.43. Подшипник скольжения

сивного изнашивания. Для предотвращения растекания масла вдоль вала на втулке имеются маслоулавливающие канавки 7, которые соединяются с камерой 12 отверстиями 9. Распределительная смазочная канавка 10 не соединяется канавками 7. В противном случае масло не попадало бы в зазор между шейкой вала и втулкой, а циркулировало бы по канавкам.

Чтобы масло с подшипника не попадало на обмотку и внутренние части двигателя, в корпусе подшипника имеется кольцевая канавка 8, в которую помещают уплотнительную фетровую шайбу. Отверстие в конце корпуса подшипника закрыто торцевой крышкой 2. Смазочное кольцо вкладывают в подшипник через окно, закрытое крышкой масляной камеры 4.

Подшипники скольжения ремонтируют чаще всего из-за износа, отслоения или выкрашивания слоя баббита, выплавления баббита в результате нагрева при сверхдопустимой температуре. Дефекты вкладышей выявляют внешним осмотром и по звуку при простукивании молоточком: если слой баббита хорошо сохранился, звук будет чистым и звонким, а если отслоился — дребезжащим и глухим. Чтобы найти трещины в баббите вкладыша, его опускают на 10–15 мин в керосин, затем вытирают насухо и покрывают тонким слоем мела, разведенного в воде. В результате трещины четко вырисовываются на покрытой мелом поверхности.

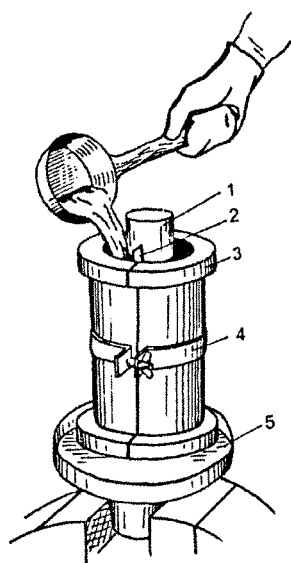


Рис. 2.44. Ручная заливка баббитом подшипника скольжения:

1 - стержень; 2 - прокладка;
3 - вкладыши подшипника, подготовленного к заливке;
4 - хомут; 5 - поддон

Обнаруженные дефекты ликвидируются путем перезаливки баббита. Ремонт подшипников в этом случае включает: подготовительные работы, заливку, механическую обработку и пригоночные работы.

Предварительно вкладыши очищают от грязи и масла, промывая в 10%-м растворе каустической соды, и освобождают от баббита путем выплавления. Подогрев осуществляют паяльной лампой или в электрических печах при 380–400 °С. Вкладыши обезжиривают, опуская их на 1–3 мин в 10%-й раствор каустической соды, нагретой до 70–80 °С, а затем промывают в горячей воде и вытирают насухо.

Обезжиренные вкладыши готовят под заливку баббитом одним из следующих способов:

- очистка внутренней поверхности стальными проволочными щетками до металлического блеска;
- пескоструйная очистка внутренней поверхности и последующая металлизация;
- очистка и облуживание внутренней поверхности.

Подготовленные под заливку вкладыши скрепляют хомутиками.

Подшипники скольжения электрических машин мощностью до 100 кВт общепромышленного применения заливают баббитом преимущественно марки Б-16 или БН. При небольших объемах баббит плавят в тиглях, а при больших – в индукционных печах.

В процессе заливки баббита во вкладыши следят, чтобы его струя была равномерной и не прерывалась (рис. 2.44). При большом числе подшипников используют центробежную заливку, которая обеспечивает минимальный расход баббита за счет снижения припуска для обработки, высокую плотность слоя баббита и прочное сцепление его с внутренней поверхностью вкладышей.

Разъемные вкладыши подшипников после заливки разбирают, места соединения очищают, между половинками вкладыша устанавливают регулировочные медные прокладки толщиной 0,8–1,2 мм. Обе половинки вместе с прокладками закрепляют хомутом и растачивают подшипник. Затем прорезают смазочные (маслораспределительные) канавки и пришабривают подшипник к валу.

С помощью щупа проверяют зазор между шейкой вала и рабочей поверхностью подшипника. В электрических машинах с частотой вращения более 1000 об/мин и подшипниками скольжения с кольцевой смазкой допустимые зазоры между шейкой вала и подшипником должны составлять 0,12–0,17 мм при диаметре валов 80–120 мм и 0,15–0,21 мм при диаметре 120–160 мм.

2.16. Балансировка роторов и якорей

Отремонтированные роторы и якоря электрических машин направляют на статическую, а при необходимости и на динамическую балансировку в сборе с вентиляторами и другими вращающимися частями. *Балансировку* производят на специальных станках для выявления неуравновешенности (дисбаланса) масс ротора и якоря. Причинами неравномерного распределения масс могут быть: разная толщина отдельных деталей, наличие в них раковин, неодинаковый вылет лобовых частей обмотки и др. Любая деталь ротора или якоря может быть неуравновешенной в результате сдвига осей инерции относительно оси вращения. Неуравновешенные массы отдельных деталей в зависимости от их расположения могут суммироваться или взаимно компенсироваться.

Роторы и якоря, в которых центральная ось инерции не совпадает с осью вращения, называют *неуравновешенными*.

Вращение неуравновешенного ротора или якоря вызывает вибрацию, которая может разрушить подшипники и фундамент машины. Чтобы этого избежать, производят балансировку роторов, которая заключается в определении размеров и мест неуравновешенной массы и устранении дисбаланса.

Неуравновешенность определяют статической или динамической балансировкой. Выбор способа балансировки зависит от точности уравнивания, которую можно осуществить на данном оборудовании. При динамической балансировке получают лучшие результаты компенсации неуравновешенности, чем при статической.

Статическую балансировку выполняют при невращающемся роторе на призмах, дисках или специальных весах (рис. 2.45). Для определения неуравновешенности ротор выводят из равновесия легким толчком. Неуравновешенный ротор будет стремиться вернуться в такое положение, когда его тяжелая сторона окажется внизу. После остановки ротора мелом отмечают место, которое оказалось в верхнем положении. Процесс повторяют несколько раз. Если ротор останавливается в одном и том же положении, значит центр его тяжести смещен.

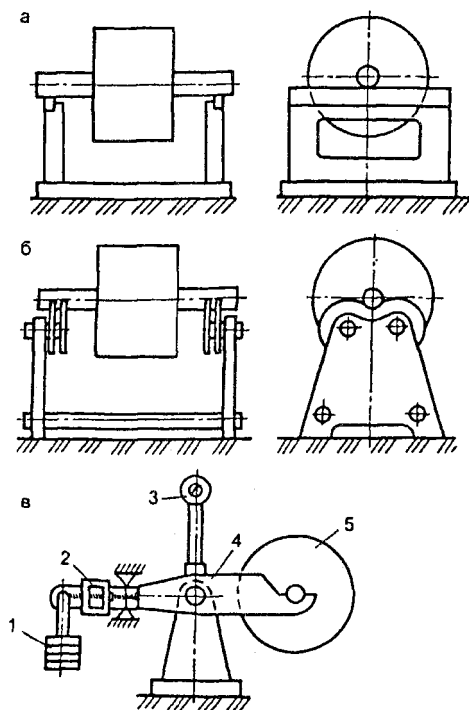


Рис. 2.45. Способы статической балансировки роторов (якорей):

a – на призмах; *б* – на дисках; *в* – на специальных весах; 1 – груз; 2 – грузовая рамка; 3 – индикатор; 4 – рама; 5 – ротор (якорь)

В определенном месте (чаще всего это внутренний диаметр обода нажимной шайбы) устанавливают пробные грузы, прикрепляя их замазкой. После этого повторяют прием балансировки. Увеличивая или уменьшая массы грузов, добиваются остановки ротора в произвольном положении. Это означает, что ротор статически уравновешен.

По окончании балансировки пробные грузы заменяют одним грузом той же массы.

Неуравновешенность можно компенсировать высверливанием соответствующей части металла из тяжелой части ротора.

Более точной, чем на призмах и дисках, является балансировка на специальных весах.

Статическую балансировку применяют для роторов с частотой вращения не более 1000 об/мин. Статически уравновешенный ротор может быть динамически неуравновешенным, поэтому роторы с частотой вращения более 1000 об/мин подвергают динамической балансировке, при которой устраняется и статическая неуравновешенность.

Динамическая балансировка ротора, которую выполняют на балансировочном станке, состоит из двух операций: измерение первоначальной вибрации, нахождение точки расположения и массы уравновешивающего груза для одного из торцов ротора.

Балансировку производят с одной стороны ротора, а потом с другой. После окончания балансировки груз закрепляют сваркой или винтами. Затем выполняют проверочную балансировку.

2.17. Сборка электрических машин

Рассмотрим технологические процессы *сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором* (см. рис. 2.2).

- Надевают на вал внутренние крышки подшипников.
 - Закладывают консистентную смазку в лабиринтные канавки.
 - Нагревают шарикоподшипник и насаживают его на вал.
 - Укладывают пружинное кольцо в канавку вала.
 - Нагревают внутреннее кольцо роликоподшипника и насаживают его на вал.
 - Вставляют в отверстие подшипникового щита внешнее кольцо роликоподшипника.
 - Вводят ротор в расточку статора с помощью приспособления.
 - Закладывают в подшипники консистентную смазку.
 - Устанавливают на подшипники подшипниковые щиты.
 - Вводят в замок станины буртик подшипникового щита со стороны роликоподшипника и закручивают болты, не затягивая их до отказа.
 - Затягивают болты, проверяя легкость вращения ротора от руки.
 - Закручивают болты в резьбу внутренних крышек подшипников, проверяя легкость вращения ротора от руки.
 - Проверяют щупом воздушный зазор между расточкой статора и ротором.
 - Устанавливают шпонку в канавку на выступающем конце вала.
 - Присоединяют обмотку статора к проводам источника питания.
 - Закрывают коробку выводов крышкой и закрепляют ее болтами.
 - Делают пробную обкатку двигателя вхолостую в течение 30 мин.
 - Снимают крышку коробки выводов и отсоединяют провода источника питания.
 - Отправляют двигатель на испытательную станцию.
- Сборку синхронной машины* (см. рис. 2.10) осуществляют в определенной последовательности.
- Напрессовывают на вал втулку гидравлическим прессом.
 - Надевают на полюсы катушки возбуждения.
 - Прикрепляют полюсы к втулке в соответствии с пометками, сделанными при разборке.
 - Соединяют между собой катушки ротора и проверяют чередование полярности полюсов, пропуская через катушки постоянный ток.
 - Напрессовывают на вал контактные кольца и присоединяют к ним выводные концы полюсных катушек.
 - Закладывают консистентную смазку в лабиринтные канавки.

- Надевают на вал внутреннюю крышку шарикоподшипника.
- Нагревают шарикоподшипник и насаживают его на вал вместе с капсулой.
- Напрессовывают на вал втулку, запирающую шарикоподшипник.
- Закладывают консистентную смазку в лабиринтные канавки.
- Надевают на вал внешнюю крышку шарикоподшипника и соединяют ее болтами.
- Напрессовывают на вал якорь возбудителя с коллектором и обмоткой.
- Накручивают на конец вала гайку, запирающую якорь возбудителя.
- Напрессовывают на вал втулку вентилятора гидравлическим прессом и закручивают в нее стопорный винт.
- Прикручивают к втулке диск вентилятора, следя за совпадением рисок, сделанных при разборке.
- Вставляют в капсулу внешнее кольцо роликоподшипника.
- Надевают на вал капсулу роликоподшипника.
- Нагревают внутреннее кольцо роликоподшипника и надевают его на вал вместе с роликами и сепаратором.
- Закладывают консистентную смазку в лабиринтные канавки.
- Надевают на вал внешнюю крышку роликоподшипника и соединяют ее с капсулой.
- Закладывают шпонку в канавку на выступающем конце вала.
- Балансируют ротор с якорем возбудителя.
- Собирают траверсу щеткодержателей на приспособлении.
- Устанавливают щеткодержатели на щеточных пальцах.
- Делают притирку щеток на барабане, обернутом стеклянной шкуркой.
- Соединяют щеткодержатели одной полярности.
- Устанавливают траверсу в станине возбудителя согласно рискам, сделанным при разборке.
- Поднимают щетки из гнезд щеткодержателей.
- Собирают полюсы с катушками и прикручивают их винтами.
- Проверяют расстояние между полюсными наконечниками соседних полюсов с обеих сторон станины.
- Проверяют расстояние между противоположными полюсами.
- Соединяют катушки полюсов между собой и со щеткодержателями.
- Закручивают щеточный палец в капсулу шарикоподшипника.
- Устанавливают щеткодержатели контактных колец, приподнимают их и привязывают шнуром.
- Вводят ротор в расточку статора с помощью приспособления.

- Обертывают коллектор картоном и завязывают лентой.
- Устанавливают подшипниковый щит на капсулу шарикоподшипника, приподняв ротор за станину возбудителя; вводят буртик щита в замок станины.
 - Закручивают болты, которыми крепят подшипниковый щит к станине, не затягивая их до отказа.
 - Устанавливают подшипниковый щит на капсулу роликоподшипника и, приподнимая ротор за конец вала, вводят буртик щита в замок станины. Закручивают болты, которыми крепят подшипниковый щит к станине, проверяя легкость вращения ротора от руки.
 - Закручивают стопорный винт на капсуле роликоподшипника.
 - Опускают щетки на коллектор возбудителя и щеткодержатели со щетками на контактные кольца.
 - Измеряют щупами зазоры между статором и ротором, якорем и полюсами возбудителя, щеткодержателями и коллектором.
 - Соединяют щеткодержатели возбудителя со щеткодержателями синхронной машины.
 - Обкатывают синхронную машину, используя возбудитель в качестве электродвигателя и питая его постоянным током.
- Сборку машины постоянного тока* (см. рис. 2.13) осуществляют следующим образом.
 - Надевают на главные полюсы катушки возбуждения.
 - Устанавливают главные полюсы с катушками в станине согласно пометкам, сделанным при разборке, и закрепляют их болтами.
 - Проверяют шаблонами расстояния между противоположными полюсами.
 - Надевают катушки на добавочные полюсы.
 - Устанавливают добавочные полюсы с катушками в станине согласно пометкам, сделанным при разборке, прикручивают их болтами.
 - Проверяют шаблоном расстояние между полюсными наконечниками главных и добавочных полюсов.
 - Проверяют расстояние между противоположными добавочными полюсами.
 - Соединяют катушки главных полюсов согласно схеме соединений.
 - Соединяют катушки добавочных полюсов согласно схеме.
 - Проверяют полярность главных и добавочных полюсов.
 - Закручивают в станину грузовой винт.
 - Напрессовывают на вал вентилятор согласно пометкам, сделанным при разборке.
 - Закладывают консистентную смазку в лабиринтные канавки.

- Надевают на вал внутренние крышки подшипников.
- Нагревают подшипники и насаживают их на вал.
- Закладывают в подшипники консистентную смазку.
- Вводят якорь в отверстие станины, используя специальное приспособление.
- Собирают траверсу вместе со щеткодержателями и притирают щетки.
- Прикручивают траверсу со щеткодержателями к подшипниковому щиту и поднимают щетки из гнезд щеткодержателей.
- Устанавливают на шарикоподшипник задний подшипниковый щит.
- Приподнимают якорь за конец вала и ставят подшипниковый щит на замок станины.
- Закручивают болты подшипникового щита в отверстия в торце станины, не затягивая их до отказа.
- Проверяют легкость вращения якоря, постепенно затягивая болты подшипниковых щитов.
- Надевают крышки шарикоподшипников и стягивают их болтами.
- Закладывают консистентную смазку в лабиринтные канавки.
- Проверяют легкость вращения якоря, вращая его за конец вала.
- Опускают щетки на коллектор.
- Проверяют расстояния между щетками разных пальцев по окружности коллектора.
- Проверяют расстояние между коллектором и щеткодержателями.
- Собирают клеммы на доске и крепят к ней конденсаторы.
- Устанавливают собранную доску клемм (выводов) на переднем подшипниковом щите.
- Выполняют электрические соединения согласно схеме.
- Подводят от сети к выводам провода питания.
- Проверяют щупами расстояния между якорем и полюсами.
- Производят пробную обкатку машины.
- После обкатки закрывают коллекторные люки крышками.
- Отключают провода питания и закрывают коробку выводов крышкой.

2.18. Испытания электрических машин

В программу контрольных испытаний *асинхронных двигателей* входят:

- внешний осмотр двигателя и замеры воздушных зазоров между сердечниками;

- измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между фазами обмоток;
- измерение омического сопротивления обмотки в холодном состоянии;
- определение коэффициента трансформации (в машинах с фазным ротором);
- испытание машины на холостом ходу;
- измерение токов холостого хода по фазам;
- измерение пусковых токов в короткозамкнутых двигателях и определение кратности пускового тока;
- испытание электрической прочности витковой изоляции;
- испытание электрической прочности изоляции относительно корпуса и между фазами;
- проведение опыта короткого замыкания;
- испытание на нагрев при работе двигателя под нагрузкой.

В программу контрольных испытаний *синхронных машин* входят те же испытания за исключением п. 4, 7 и 10.

Контрольные испытания *машин постоянного тока* включают следующие операции:

- внешний осмотр и измерение воздушных зазоров между сердечником якоря и полюсами;
- измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса;
- измерение омического сопротивления обмоток в холодном состоянии;
- проверку правильности установки щеток на нейтральных;
- проверку правильности соединения обмоток добавочных полюсов с якорем;
- проверку согласованности полярностей катушек последовательного и параллельного возбуждений;
- проверку чередования полярностей главных и добавочных полюсов;
- испытание машины на холостом ходу;
- испытание электрической прочности витковой изоляции;
- испытание электрической прочности изоляции относительно корпуса;
- испытание на нагрев при работе машины под нагрузкой.

У всех машин после ремонта проверяют нагрев подшипников и отсутствие в них посторонних шумов. У машин мощностью выше 50 кВт при частоте вращения более 1000 об/мин и у всех машин, имеющих частоту вращения свыше 2000 об/мин, измеряют величину вибрации.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как классифицируются электрические машины?
2. Назовите способы охлаждения электрических машин.
3. Как обозначается тип асинхронного двигателя?
4. Чем различаются асинхронные двигатели с фазным ротором и короткозамкнутым ротором?
5. Как устроен синхронный двигатель?
6. Где располагается пусковая обмотка синхронного двигателя?
7. Как выполняется коллектор машины постоянного тока? Для чего он предназначен?
8. Перечислите типовые работы при ремонте электрических машин?
9. В каком порядке разбирают асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором?
10. Как разделяются изоляционные материалы по классам нагревостойкости?
11. Какова технология сборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
12. В какой последовательности собирают машину постоянного тока?

РЕМОНТ ТРАНСФОРМАТОРОВ

3.1. Общие сведения

Трансформатор – это статическое электромагнитное устройство с несколькими индуктивно связанными обмотками, предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения. Передача электрической энергии с одной обмотки трансформатора на другую осуществляется с помощью электромагнитного поля. Различают силовые и измерительные трансформаторы.

Силовой трансформатор используется для преобразования электрической энергии при непосредственном питании приемников энергией высокого или низкого напряжения неизменной частоты. Стандартными номинальными линейными напряжениями электрических сетей переменного тока до 1000 В являются (ГОСТ 21128-83): 6, 12, 27, 40, 60, 110, 120, 220, 380, 660 В, выше 1000В (ГОСТ 721-77): 6, 10, 20, 35, 110, 220, 330, 500, 750, 1150 кВ. Передача электрической энергии на большие расстояния осуществляется, как известно, при высоких напряжениях с целью уменьшения потерь в передающих сетях и сечения проводов линий электропередач. В местах потребления электроэнергии ее напряжение с помощью трансформаторов понижается до требуемого значения.

Силовые трансформаторы бывают *общего назначения* (для питания обычных сетей или электроприемников) и *специального назначения* (для питания сетей или электроприемников, отличающихся особыми условиями работы, характером нагрузки или режимом работы, например промышленных электротермических печей по выплавке стали и других металлов, преобразовательных установок переменного тока в постоянный, электровозов на железнодорожном транспорте и др.). К специальным силовым трансформаторам относятся сварочные трансформаторы.

Силовые трансформаторы разделяют на *масляные*, у которых обмотки вместе с магнитной системой погружены в бак с транс-

форматорным маслом для улучшения изоляции токоведущих частей и условий охлаждения трансформатора, и *сухие*, для которых охлаждающей средой служат воздух, газ и твердый диэлектрик.

В электрических сетях применяются также и *автотрансформаторы*. У них первичная и вторичная обмотки, в отличие от обычных силовых трансформаторов, наряду с электромагнитной связью соединены между собой и гальванически.

Масляный трансформатор ТМ (рис. 3.1) состоит из магнитопровода с размещенными на нем обмотками высокого напряжения (ВН) и низкого напряжения (НН), бака и крышки с вводами. Выводы обмоток ВН и НН, изоляторы смонтированы на крышке, которая крепится к баку болтами и уплотняется прокладкой из маслостойкой резины. На крышке также расположены колпак приво-

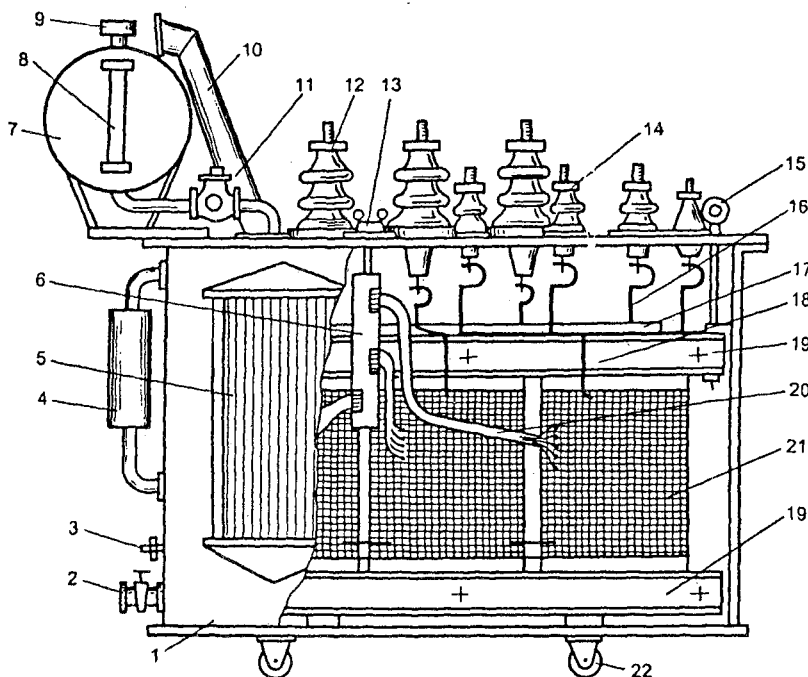


Рис. 3.1. Устройство силового масляного трансформатора мощностью 1000–6300 кВ·А напряжением 35 кВ:

1 – бак; 2 – вентиль; 3 – болт заземления; 4 – термосифонный фильтр; 5 – радиатор; 6 – переключатель; 7 – расширитель; 8 – маслоуказатель; 9 – воздухоосушитель; 10 – выхлопная труба; 11 – газовое реле; 12 – ввод ВН; 13 – привод переключающего устройства; 14 – ввод НН; 15 – подъемный рым; 16 – отвод НН; 17 – остов; 18 – отвод ВН; 19 – ярмовые балки остова (верхняя и нижняя); 20 – регулировочные ответвления обмоток ВН; 21 – обмотка ВН (внутри НН); 22 – каток тележки

да переключателя и расширитель. Для перемещения при монтаже и ремонте трансформатор снабжен стальными катками.

Магнитопровод набирают из изолированных между собой (для уменьшения потерь от вихревых токов) листов холоднокатаной электротехнической стали толщиной 0,35–0,5 мм. В качестве межлистовой изоляции чаще всего применяют лаки, которые после нанесения на металл и запекания образуют пленку с высокими изоляционными свойствами, механически прочную и маслостойкую.

Обмотки выполняют из медного или алюминиевого провода круглого либо прямоугольного сечения. В качестве изоляции проводов используют телефонную или кабельную бумагу и хлопчатобумажную пряжу.

Переключатель служит для изменения числа витков первичной обмотки, а следовательно, коэффициента трансформации при регулировании в определенных пределах вторичного напряжения трансформатора. Так, трансформаторы мощностью до 1000 кВ·А имеют три ступени регулирования напряжения в пределах $\pm 5\%$, трансформаторы мощностью более 1600 кВ·А – пять ступеней регулирования в тех же пределах.

В баке трансформатора находятся магнитопровод с обмотками и трансформаторное масло. Трансформаторы небольшой мощности имеют гладкостенные баки, в трансформаторах мощностью более 40 кВ·А к баку приваривают циркуляционные трубы в один или несколько рядов (трубчатые баки). Существуют также ребристые баки (с вертикальными ребрами для охлаждения воздухом). Трансформаторы большой мощности обеспечивают съемными радиаторами. В верхней части бака приварены крюки для подъема трансформатора, а внизу бак имеет болт для заземления и маслосливной кран.

Расширитель представляет собой сварной стальной цилиндр, закрепленный на кронштейнах и соединенный с баком патрубком. Уровень масла в расширителе контролируется указателем в виде трубки или прозрачной вставки. В верхней части расширителя имеется отверстие для заливки масла, которое закрывается пробкой с резьбой. Для свободной циркуляции воздуха установлена дыхательная труба, нижний торец которой защищен крышкой с отверстием и сеткой. Вместе с воздухом в расширитель (а следовательно, и в масло) могут попадать частицы пыли и грязи, а также пары влаги, которые конденсируются на его стенках. Для удаления загрязненного масла и влаги имеется отстойник с пробкой. Температуру масла в трансформаторе контролируют ртутным термометром или термометрическим сигнализатором.

Сухой трансформатор состоит из магнитопровода, обмоток ВН и НН, заключенных в защитный кожух.

Трехфазные трансформаторы выполняются с различными схемами и группами соединения обмоток (рис. 3.2). *Группой соединения* называют угловое отставание векторов линейных напряжений обмотки НН по отношению к векторам соответствующих линейных напряжений обмотки ВН. Группа соединения обозначается числом, которое, будучи умноженным на 30° (угловое отставание, принятое за единицу), дает угол отставания в градусах; число 11 означает отставание 330° , а 0 (или 12) – отставание 0° (векторы линейных напряжений обмоток ВН и НН совпадают).

Виды соединения	Напряжение обмоток	Схемы соединения обмоток	Диаграммы векторов напряжения	Условное обозначение	
"Звезда" — "звезда" с выведенной нейтралью	ВН				Y/Y_0-0
	НН				
"Звезда" — "треугольник"	ВН				$Y/\Delta-11$
	НН				
"Звезда" с выведенной нейтралью — "треугольник"	ВН				$Y_0/\Delta-11$
	НН				

Рис. 3.2. Наиболее распространенные схемы и группы соединения обмоток трехфазных двухобмоточных трансформаторов

Такой способ обозначения группы соединения обмоток трансформатора возник на основе сравнения двух векторов (рис. 3.2) линейных напряжений U_{AB} и U_{ab} обмоток ВН и НН соответственно с минутной и часовой стрелками обычных часов. Если вектор линейного напряжения U_{AB} обмотки ВН совместить с минутной стрелкой часов, установленной неподвижно на отметке 12, а вектор линейного напряжения U_{ab} обмотки НН совместить с часовой стрелкой, повернутой вправо (т. е. по ходу стрелок в часах) от минутной стрелки на угол, равный углу отставания вектора U_{ab} от вектора U_{AB} (угол отставания отсчитывается от вектора U_{AB} по ходу стрелок часов), то группа соединения обмоток трансформатора будет соответствовать числу, равному показанию времени согласно полученному таким образом положению стрелок. Так, группа соединения обмоток трансформатора 11 соответствует 11 часам, а группа 0–12 часам (по старому стандарту эта группа обозначалась числом 12).

Для уменьшения потерь трансформаторы включают на параллельную работу, когда их одноименные выводы на первичной и вторичной сторонах соединены между собой. При этом необходимо соблюдать следующие условия: одинаковые группы соединения обмоток, равенство коэффициентов трансформации и напряжений короткого замыкания.

Напряжение короткого замыкания трансформатора – это напряжение (в процентах от номинального), которое необходимо подать на одну из обмоток, чтобы по ней проходил ток, соответствующий номинальной мощности, при замкнутой накоротко второй обмотке. Не рекомендуется параллельная работа трансформаторов, если отношение номинальных мощностей более 3:1.

В электроустановках кроме силовых применяются *измерительные трансформаторы*: трансформаторы тока и трансформаторы напряжения.

Трансформатор тока (ТТ) предназначен для снижения тока первичной линии до значения, при котором наиболее целесообразно осуществлять питание (подключение) соответствующих измерительных приборов, устройств релейной защиты, автоматики, сигнализации и управления. Наличие ТТ позволяет устанавливать измерительные приборы на значительных расстояниях от контролируемых линий.

Трансформаторы напряжения (ТН) похожи на силовые трансформаторы и предназначены для питания цепей напряжения различных измерительных приборов и реле (рис. 3.3).

При ремонте трансформаторов необходимо особое внимание уделять изоляционным работам, так как надежность трансформа-

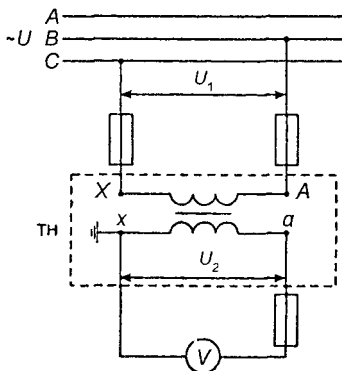


Рис. 3.3. Схема включения в сеть трансформатора напряжения ТН

ка, арматуры, вводов, пробивного предохранителя) можно обнаружить при внимательном осмотре, а внутренних – в результате испытаний.

Таблица 3.1. Неисправности трансформаторов и возможные причины их возникновения

Элемент трансформатора 1	Возможные неисправности 2	Причины возникновения неисправностей 3
Обмотки	Витковое замыкание	Старение изоляции, постоянные перегрузки, динамические усилия при коротких замыканиях
	Замыкание на корпус (пробой), междуфазное короткое замыкание	Старение изоляции, увлажнение масла или снижение его уровня, внутренние и внешние перенапряжения, деформация обмоток вследствие прохождения больших токов короткого замыкания
	Обрыв	Отгорание выводных концов обмоток из-за низкого качества соединения или электродинамических усилий при коротком замыкании
Переключатель регулирования напряжения	Отсутствие контакта	Нарушение регулировки переключателя
	Оплавление контактной поверхности	Термическое воздействие на контакты токов короткого замыкания

торов в эксплуатации определяется в основном качеством изоляции.

Основные неисправности трансформаторов приведены в табл. 3.1.

Наиболее часто в трансформаторах повреждаются обмотки ВН, реже НН. Повреждения в основном происходят из-за снижения электрических свойств изоляции на каком-нибудь участке обмотки, в результате чего наступает электрический пробой изоляции между витками и их замыкание, приводящее к выходу трансформатора из строя.

Повреждение внешних деталей трансформатора (расширителя, ба-

Окончание табл. 3.1

1	2	3
Вводы	Электрической пробой на корпус	Трещины в изоляторах вводов, понижение уровня масла в трансформаторе
Магнитопровод	«Пожар стали»	Нарушение изоляции между листами или стяжными болтами
Бак и арматура	Протекание масла из сварных швов, фланцев и крана	Нарушение целостности сварных швов, плотности фланцевых соединений, повреждение прокладки крана в месте соединения с фланцем

3.2. Разборка и дефектировка трансформаторов

Сначала трансформатор очищают от грязи, а затем внимательно осматривают его снаружи с целью выявления внешних неисправностей: трещин в армировочных швах, сколов фарфора вводов, нарушений сварных швов и протекания масла из фланцевых соединений, механических повреждений циркуляционных труб, расширителя и других деталей. Обнаруженные неисправности записывают в дефектировочные карты.

Перед разборкой из трансформатора сливают (частично или полностью) масло. Частично (до уровня верхнего ярма магнитопровода) масло сливают, если ремонтные работы выполняются без подъема активной части трансформатора (например, при замене вводов, ремонте контактов переключателя) или с ее подъемом, но на время, не превышающее допустимое время пребывания обмоток трансформатора без масла. Полностью масло сливают, если необходима сушка активной части трансформатора или в случаях, требующих замены поврежденных обмоток или замены масла при его непригодности для дальнейшего использования из-за загрязнения и увлажнения.

Последовательность разборки трансформатора зависит от его конструкции. Рассмотрим основные операции разборки и ремонта трансформаторов большого диапазона мощностей и различного конструктивного исполнения.

Разборку начинают с демонтажа газового реле, предохранительной трубы, термометра, расширителя и других устройств и деталей, расположенных на крышке трансформатора. При демонтаже газового реле под него подкладывают деревянную планку шириной 200 мм или резиновую пластину толщиной около 10 мм. За-

тем отвертывают болты крепления (придерживая реле рукой) и, перемещая корпус реле параллельно фланцам, снимают его. Отверстия реле закрывают листами фанеры или картона, которые закрепляют освободившимися болтами. Реле аккуратно кладут на стеллаж или передают в электролабораторию для испытаний и ремонта.

Расширитель демонтируют в следующем порядке: снимают с него маслопровод с краном, стекло маслоуказателя закрывают временным щитком из фанеры, привязав его к арматуре маслоуказателя веревками; строят расширитель пеньковым или стальным стропом (в зависимости от массы) и отвертывают крепежные болты; устанавливают наклонно две доски и по ним опускают расширитель на пол; закрывают отверстия в крышке и расширителе временными фланцами из листовой резины, фанеры или картона во избежание попадания в них грязи и влаги.

Далее демонтируют крышку трансформатора, при этом освободившиеся болты укомплектовывают шайбами и гайками, смачивают керосином и хранят в металлической таре до сборки.

Для подъема активной части трансформатора применяют специальные приспособления и стропы, рассчитанные на массу поднимаемого груза и прошедшие необходимые испытания. При подъеме активной части трансформатора с вводами, расположенными на стенках бака, сначала отсоединяют отводы, демонтируют вводы и только затем поднимают активную часть. При этом, когда крышка будет приподнята над баком на 200–250 мм, подъем временно прекращают, чтобы убедиться в отсутствии перекоса поднимаемой активной части, который может привести к повреждению обмоток. Если обнаружится перекос, активную часть опускают на дно бака и снова поднимают только после его ликвидации. В начале подъема рекомендуется убедиться в исправности грузоподъемного механизма, для чего необходимо поднять активную часть на 50–200 мм над уровнем дна бака и держать ее на весу в течение 3–5 мин, затем продолжить подъем. Подняв активную часть над баком не менее чем на 200 мм, бак удаляют. Стоять под активной частью или в опасной близости от нее, а также производить ее осмотр категорически запрещается.

Активную часть, поднятую из бака, устанавливают на прочном помосте из досок или брусков так, чтобы обеспечить ее устойчивое вертикальное положение и возможность осмотра, проверки, ремонта.

Продолжая разборку, отсоединяют отводы от вводов и переключателя, проверяют состояние их изоляции, армировочных швов ввода и контактной системы переключателя (все неисправ-

ности записывают в дефектировочную карту). Затем отвертывают рым-болты с вертикальных шпилек, снимают крышку и укладывают так, чтобы не повредить выступающие под крышкой части; вводы закрывают цилиндрами из картона или обертывают мешковиной.

Основные операции по демонтажу обмоток выполняют в такой последовательности: удаляют вертикальные шпильки, отвертывают гайки стяжных болтов и снимают ярмовые балки магнитопровода, связывая и располагая пакеты пластин по порядку, чтобы удобнее было их затем шихтовать. Далее разбирают соединения обмоток, удаляют отводы, извлекают деревянные и картонные детали расклиновки обмоток ВН и НН и снимают обмотки вручную или с помощью подъемного механизма (обмотки трансформаторов мощностью 100 кВ·А и выше) сначала ВН, а затем НН.

При дефектировке обмоток для определения мест витковых замыканий используют комплект специальных приборов. После дефектировки поврежденные обмотки доставляют в обмоточное отделение, а расширитель, переключатель, вводы и другие детали трансформатора, требующие ремонта, – в отделение ремонта электромеханической части.

3.3. Ремонт и изготовление обмоток

При ремонте обмоток с поврежденной изоляцией (в результате электрического пробоя или износа) целесообразно использовать повторно провод обмоток после его переизолировки. Процесс переизолировки заключается в отжигании провода в печи (при температуре 550–600 °С), промывке в горячей воде и покрытии новой изоляцией на оплеточных станках или специальными приспособлениями на обычном токарном станке. В качестве изоляционных материалов применяют хлопчатобумажную (шелковую, стеклянную, из химических волокон) пряжу высоких номеров (№ 60 и более), ленты из кабельной или телефонной бумаги шириной 10–25 мм, толщиной 0,05–0,12 мм. При правильном выполнении операций переизолированный обмоточный провод по своим качествам будет равноценен новому.

Обмотки, имеющие небольшой участок повреждений проводов (оплавление или выгорание) и изоляции, в некоторых случаях ремонтируют только частичной перемоткой. Однако при таком ремонте возникают трудности с удалением поврежденной части обмотки и намоткой новых секций. Кроме того, продолжительность работы трансформаторов с частично перемотанными обмотками в 2–3 раза меньше, чем трансформаторов с полностью перемотанными обмотками.

Намотку новых обмоток выполняют по образцам поврежденных обмоток на специальных намоточных станках, оснащенных шаблонами, натяжными приспособлениями и стойками с натяжными устройствами для барабанов с обмоточным проводом. Перед ремонтом, пользуясь чертежами, дефектировочной, маршрутной и технологической картами, подготавливают необходимые изоляционные и проводниковые материалы и инвентарные приспособления, а также рабочие и измерительные инструменты.

При изготовлении, сборке и монтаже обмоток в качестве изоляционных материалов применяют бумагу (кабельную, телефонную), электротехнический картон и деревянные детали, а также изоляционные конструкции из этих материалов.

Провод обмотки обычно наматывают на бумажно-бакелитовый цилиндр; кабельную и телефонную бумагу используют чаще всего в качестве межслойной изоляции, картон – в виде прокладок и штампованных или клееных изоляционных деталей, а изоляционные конструкции – как уравнительную и ярмовую изоляцию.

Изготовленную обмотку стягивают с помощью круглых стальных плит и шпилек (чтобы обмотка не рассыпалась при транспортировке к месту выполнения очередной технологической операции) и отправляют на сушку. Она повышает качество обмотки за счет удаления из бумажной изоляции влаги, которая резко снижает электрическую прочность и срок ее службы.

Обмотки на напряжение до 35 кВ сушат при температуре до 105 °С в обычных сушильных камерах с вытяжной вентиляцией и электрическим или паровым подогревом, а на напряжение 35 кВ и выше – в вакуумных сушильных камерах.

После сушки обмотку сжимают с помощью гидропресса без снятия плит, пока ее размер по оси не достигнет требуемого. Затем проверяют другие размеры обмотки, ликвидируют (с помощью клиньев) наклон катушек, обрезают выступающие части реек и клиньев, выявляют и ликвидируют другие дефекты обмотки, появившиеся в процессе намотки, сушки или прессовки.

Готовую обмотку подвергают различным проверкам и испытаниям с целью определения ее качества.

Затем обмотку направляют в сборочное отделение или устанавливают в специальную рамку и хранят в сухом и отапливаемом помещении.

3.4. Ремонт магнитопроводов

Магнитопроводы требуют чаще всего частичного ремонта, реже – ремонта с полной разборкой и перещихтовкой активной стали.

Частичный ремонт выполняют при небольших повреждениях изоляционных деталей, ослаблении крепления ярмовых балок и т. п.

Места прогара и оплавления активной стали зачищают, снимая наплывы металла карборундовым камнем, насаженным на вал электросверлильной машинки, или вырубая зубилом. Затем на этих местах распрессовывают пластины магнитопровода, отделяют сваренные пластины, снимают заусенцы и, очистив участки от остатков старой изоляции и металлических опилок, изолируют пластины, прокладывая между ними листы телефонной или кафельной бумаги.

Часто в магнитопроводах бывают полностью повреждены бумажно-бакелитовые трубки, изолирующие стяжные шпильки от активной стали. В этих случаях изготавливают новые трубки.

Необходимость *ремонта с полной разборкой и перешихтовкой* возникает при таких тяжелых повреждениях, как «пожар стали». В этом случае может выйти из строя значительная часть пластин активной стали магнитопровода и изоляционных деталей. При таких повреждениях ремонт магнитопровода состоит из следующих основных операций: подготовка к ремонту; разборка магнитопровода; очистка и изоляция пластин; изготовление изоляционных деталей; сборка.

3.5. Ремонт переключающих устройств

Переключающее устройство предназначено для изменения числа витков первичной (или вторичной) обмотки трансформатора и, следовательно, коэффициента трансформации для регулирования вторичного напряжения трансформатора. На рис. 3.4 приведена принципиальная электрическая схема трехступенчатого переключателя (положение переключателя соответствует номинальному напряжению во вторичной обмотке трансформатора).

Если рукоятку переключателя повернуть на 120° по часовой стрелке, в первичной обмотке число витков уменьшится, а вторичное напряжение увеличится на 5%. При повороте переключателя в обратную сторону вторичное напряжение уменьшится также на 5%.

При ремонте переключающих устройств особое внимание уделяют состоянию их контактной системы. Причиной выхода из строя трансформаторов в десяти случаях из ста бывает неисправность переключающих устройств, в частности повреждение их контактов. Неисправности в контактной системе переключающего устройства: недостаточная плотность прилегания подвижных контактов к неподвижным; ослабление соединений регулировочных отводов к контактам переключающего устройства; нарушение

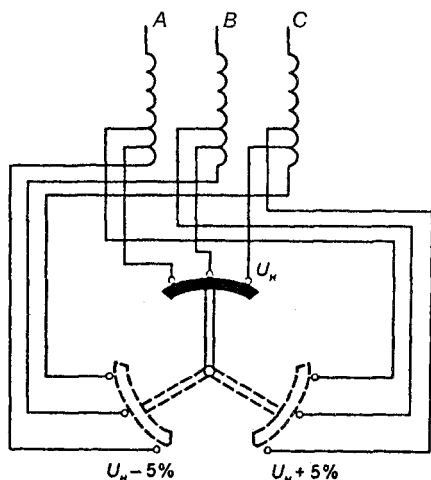


Рис. 3.4. Принципиальная электрическая схема трехступенчатого переключателя коэффициента трансформации трансформатора

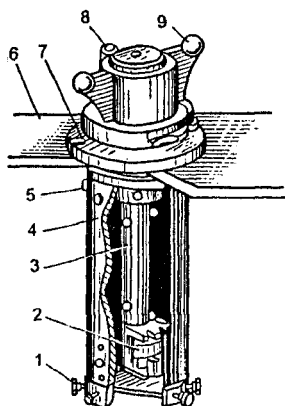


Рис. 3.5. Переключатель ПБВ:
1 - неподвижный контакт; 2 - подвижный сегментный контакт; 3, 4 - бумажно-бакелитовые трубка и цилиндр; 5 - болт; 6 - крышка бака трансформатора; 7 - металлический фланец; 8 - стопорный болт; 9 - колпак привода

ние прочности соединений отводов с обмоткой и др. Эти неисправности вызывают повышенные местные нагревы, часто приводящие к выходу трансформатора из строя.

В трансформаторах применяются переключающие устройства ПБВ (переключение без возбуждения) и РПН (регулирование под нагрузкой).

Большинство силовых трансформаторов выполняется с устройством ПБВ различных конструкций, однако основным их элементом является система подвижных и неподвижных контактов. Например, в трансформаторах напряжением 6 или 10 кВ применяют переключатель ПБВ (рис. 3.5). Рабочее положение переключателя фиксируется стопорным болтом, который необходимо открутить, перед тем как повернуть переключатель. На фланце переключателя цифрами помечены положения, а на колпаке имеется стрелка, показывающая положение контактной системы. На рис. 3.6 приведена контактная система переключателя ПБВ. На бумажно-бакелитовом цилиндре 1 закреплены неподвижные контакты 3 с болтами 2 для подключения отводов. Подвижные контакты 5 сегментного типа установлены на валу 4 и прижаты пружинами к неподвижным контактам. Нижний валик 6, вал 4 и контакты

(сегменты) 5 приводятся в действие (поворачиваются) с помощью рукоятки колпака.

Переключающие устройства РПН выполняются с токоограничивающим реактором, токоограничивающими сопротивлениями и без них. На рис. 3.7 приведено переключающее устройство РПН с реактором. РПН состоит из избирателя отводов A_1-A_n обмотки I , контакторов для отключения тока в цепях переключающего устройства, реактора или сопротивлений, с помощью которых ограничивается ток в переключаемой части обмотки во время перевода тока нагрузки с одного отвода на другой без разрыва цепи тока нагрузки трансформатора. Кроме этого, переключающие устройства могут иметь ручной привод, электрический с кнопками управления или автоматический, а также элементы автоматики и сигнализации.

Электрическая схема каждой фазы устройства РПН (рис. 3.7, а) состоит из двух симметричных цепей (избиратель B с системой подвижных и неподвижных контактов, контакторы K_1 и K_2 и реактор P). На схеме показано рабочее положение на одном из отводов обмотки PO . При необходимости перехода на другую ступень

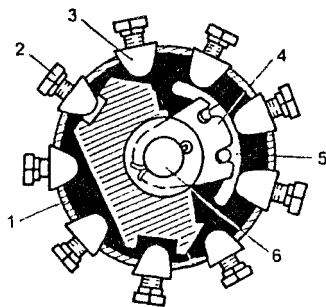


Рис. 3.6. Контактная система переключателя РПВ

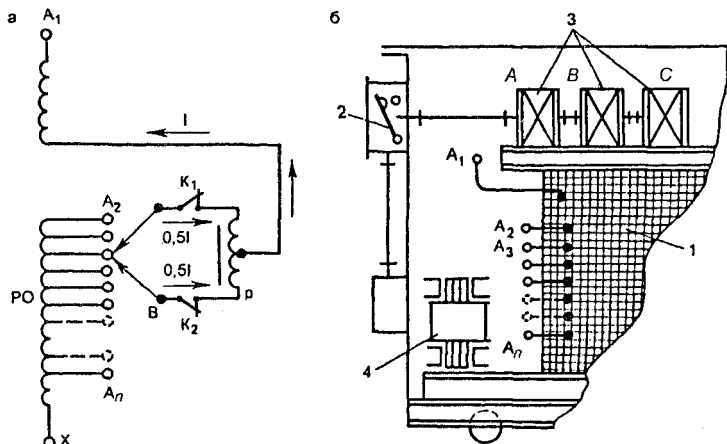


Рис. 3.7. Переключающее устройство РПН с токоограничивающим реактором:

а – электрическая схема (одной фазы); б – расположение в трансформаторе устройства РПН типа РНТ-13-623/35

напряжения включением привода переключаются на соответствующие отводы контакты одной параллельной цепи, а затем – другой в такой последовательности: размыкается контакт K_1 (или K_2) контактора, избиратель одной цепи переходит на нужный отвод обмотки РО, после чего контакт контактора замыкается (переход на другой отвод первой параллельной цепи окончен). Далее в той же последовательности осуществляется переход другой параллельной цепи на тот же отвод, на который перешел избиратель первой цепи. На этом цикл перехода с одного отвода на другой без разрыва цепи рабочего тока заканчивается. Реактор в этой схеме ограничивает ток в цепи «моста», когда одна параллельная цепь перешла на следующий отвод, а другая еще находится на предыдущем отводе. Рабочий ток реактора при этом не ограничивается, так как индуктивное сопротивление реактора практически равно нулю, потому что в каждой половине его обмотки рабочие токи, а соответственно и магнитное поле, имеют противоположное направление.

Однофазные избиратели 3 (рис. 3.7, б) и реактор 4 крепятся на ярмовых балках. Контактная система избирателей работает без разрыва цепи тока, их контакты не подгорают, поэтому избиратели располагают на активной части трансформатора. Действие контакторов 2 сопровождается разрывом тока в параллельных цепях и возникновением дуги, поэтому контакторы располагают в отдельном отсеке, заполненном трансформаторным маслом. Это позволяет проводить осмотр и ремонт контакторов с заменой масла без вскрытия бака трансформатора.

Ремонт переключающего устройства ПБВ начинают с внимательного осмотра всех деталей. Особое внимание обращают на состояние рабочих поверхностей подвижных и неподвижных контактов, так как при длительной работе контактов в масле они покрываются тонкой пленкой желтоватого цвета, которая увеличивает переходное сопротивление в контактах, вызывая повышенный их нагрев и повреждение. Поэтому контакты старательно очищают, протирая технической салфеткой, смоченной в ацетоне или чистом бензине. Подгоревшие и оплавленные контакты заменяют новыми.

При ремонте переключающего устройства ПБВ подтягивают все крепежные детали, заменяют поврежденные пружины, изолирующие детали и прокладки, проверяют отсутствие заеданий в контактах и совпадение рабочих поверхностей подвижных контактов с неподвижными, устраняют также другие дефекты, обновляют надписи и обозначения на переключателе.

Полностью отремонтированный переключатель проверяют десятью циклами переключения по всем ступеням (цикл – это ход механизма от первого положения до последнего и обратно).

Ремонт переключающего устройства РПН значительно сложнее, чем переключателя ПБВ. Кроме очистки, промывки, протирки внутренних и внешних деталей, выполняют дополнительные работы, определяемые конструкцией отдельных частей переключателя и наличием большого числа контактов. Проверяют состояние поверхностей контактов избирателя ступеней, контакторов и электрической части приводного механизма (контактов контроллера, реле, конечных выключателей). Контакты всех элементов переключающего устройства, покрытые копотью и слегка оплавленные, зачищают и обпиливают, удаляя подгары и наплывы металла, контакты с металлокерамическим покрытием промывают, а сильно поврежденные – заменяют новыми.

В системе привода могут быть сверхдопустимые люфты, которые устраняют подтяжкой креплений и заменой деталей, имеющих разработанные отверстия и большой износ, а также регулировкой контактора и избирателя.

Ремонт отдельных частей переключающего устройства РПН обусловлен необходимостью их разборки и сборки. В случае сборки и регулировки приводов руководствуются рисками, которые наносятся на соединяемые детали при изготовлении трансформатора на заводе. Ошибка в подключении отводов может стать причиной выхода из строя переключающего устройства, а следовательно, и трансформатора. Например, неправильное подключение реактора к контактору, нарушает последовательность работы контактной системы. Во избежание ошибок в схеме подключения отводов после сборки, регулировки и визуальной проверки схемы соединений строят круговую диаграмму (рис. 3.8), которая показы-

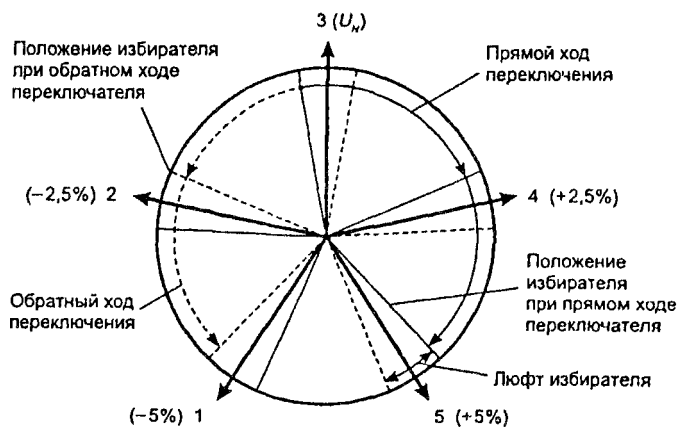


Рис. 3.8. Круговая диаграмма переключающего устройства на 5 ступенях с регулировкой напряжения трансформатора $\pm 2,5\%$ номинального напряжения на одной ступени

вает последовательность действия контактной системы переключателя, а также углы опережения и запаздывания при работе контактов контакторов и избирателя.

Построив круговую диаграмму последовательности действия контактов избирателя и контакторов при прямом и обратном ходах, по величине люфта судят о качестве сборки избирателя (если люфт меньше 16° , сборка считается удовлетворительной). Затем выполняют десять циклов переключений и если дефекты отсутствуют, считают, что переключающее устройство отремонтировано удовлетворительно и может быть установлено на трансформатор.

3.6. Ремонт вводов

В эксплуатации находится большое количество трансформаторов с армированными вводами для обмоток НН и ВН. Вводы трансформатора работают в тяжелых условиях. В то время, когда часть ввода, находящаяся внутри бака, нагревается до 70°C , другая его часть, возвышающаяся над крышкой, может подвергаться воздействию отрицательной температуры (-35°C и ниже), а также агрессивных веществ из атмосферы. На изоляторы вводов действуют атмосферные явления (грозовые разряды), в десятки и сотни раз превышающие номинальные напряжения трансформатора и даже испытательные напряжения изолятора.

Наиболее часто в армированных вводах повреждаются армировочные швы в месте соединений фарфоровых изоляторов с металлическими фланцами. Это объясняется тем, что при воздействии на изолятор переменных температур в швах возникают значительные механические усилия, обусловленные различными коэффициентами расширения фарфора и металла. Разрушение швов может вызываться и электродинамическими силами. Они действуют на вводы, если через их стержни часто проходят токи короткого замыкания.

При ремонте трансформатора вводы тщательно осматривают. Если на поверхности изолятора имеется не более двух (на одной вертикальной линии) сколов площадью до 1 см^2 и глубиной до 1 мм , дефектные места промывают, а затем покрывают двумя слоями бакелитового лака, просушивая каждый слой в сушильном шкафу при $50\text{--}60^\circ\text{C}$. Изоляторы с большим количеством дефектов заменяют новыми.

Вводы, армированные швы которых разрушены не более чем на 30% по окружности, ремонтируют, очищая поврежденные участки и заливая их цементирующим составом. При значительных разрушениях армированного шва ввод переармируют. Для этого

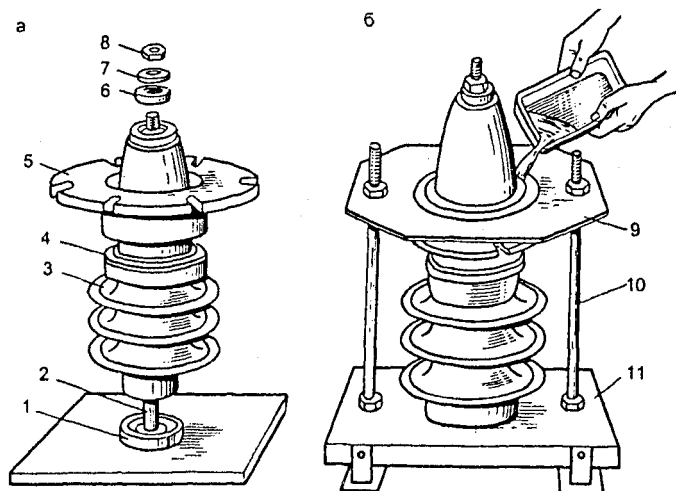


Рис. 3.9. Ремонт ввода трансформатора:

а – сборка; б – перearмировка; 1 – колпачок; 2 – токопроводящий медный стержень; 3 – фарфоровый изолятор; 4 – резиновая маслястойкая прокладка; 5 – фланец; 6, 7 – гетинаксовая и стальная шайбы; 8 – гайка; 9, 11 – нажимная и опорная плиты; 10 – шпилька

фасонным зубилом разрушают старую замазку и удаляют ее. Если замазка не поддается зубилу, ее предварительно смачивают 5% -м раствором плавиковой или 30% -м раствором соляной кислоты. Работу с растворами кислот выполняют в защитных очках и перчатках из кислотоупорной резины.

Старую армировочную замазку ввода удаляют и путем разрушения после предварительного нагревания. Для этого ввод помещают в термошкаф и в течение 1,5–2 ч выдерживают при 450–500 °С, а затем легкими ударами по фланцу удаляют замазку.

Перearмировку ввода (рис. 3.9) выполняют следующим образом. Очистив изолятор ввода от пыли и грязи, а его фланец от остатков старой замазки, собирают ввод и устанавливают его вертикально в приспособление, которое состоит из стальной нажимной плиты толщиной 5 мм, двух вертикальных стальных шпилек диаметром 10–12 мм с гайками и деревянной опорной плиты толщиной 40–50 мм. Далее приготавливают порцию цементирующей смеси (140 мас. ч. магнезита, 70 мас. ч. фарфорового порошка и 170 мас. ч. раствора хлорного магния) и вливают ее тонкой струей до полного заполнения пространства между изолятором и фланцем. После затвердевания замазки (12–15 ч) ввод освобождают из приспособления, очищают от брызг магнезита и окрашивают ар-

мированный шов нитроэмалью 642 или 1.201. Вводы армируют в помещении при температуре не ниже 10 °С.

Вводы трансформатора должны быть герметичны, поэтому перearмированный ввод испытывают на специальном приспособлении: с помощью ручного гидравлического насоса создают избыточное давление (400 кПа) трансформаторного масла, подогретого до 70 °С. Продолжительность испытания составляет 30 мин.

3.7. Ремонт отводов

В трансформаторах с неисправными обмотками часто повреждается (частично или полностью) бумажно-бакелитовая изоляция отводов (обуглены отдельные места или вся изоляция отводов).

Удаление поврежденной изоляции отводов осуществляется в такой последовательности: отсоединяют отвод от переключателя и обмотки; снимают с него поврежденную изоляцию; надевают новую бумажно-бакелитовую изоляционную трубку; соединяют отвод с обмоткой и вводом или контактом переключателя. Эти работы выполняет обычно обмотчик-изолировщик. Однако при тяжелых авариях трансформатора может быть повреждена не только изоляция, но и сам проводник отвода (оплавляется проводник отвода, нарушается пайка в месте соединения отвода с демпфером). В таких случаях повреждение устраняет электрослесарь, изготавливая новый отвод или восстанавливая соединение отвода с демпфером.

При нарушении соединения отвода с демпфером напильником очищают концы отвода и демпфера от остатков припоя, а затем соединяют пайкой. Соединение демпфера с шиной отвода может быть выполнено и сваркой.

3.8. Ремонт бака, крышки, расширителя, термосифонного фильтра и арматуры

Баки и крышки трансформаторов повреждаются редко. При ремонте трансформаторов проверяют состояние сварных швов бака, протекает ли масло из арматуры, целость резьбы крепежных деталей, наличие и состояние уплотняющих прокладок, крепление фланца предохранительной трубы на крышке, целость мембраны предохранительной трубы. Замеченные неисправности устраняют.

Поврежденные участки сварного шва вырубает зубилом и, очистив от грязи и масла, сваривают вновь; протекание масла в местах соединения циркуляционных труб с баком устраняют чеканкой, а из пробкового крана – притиркой пробки абразивными

порошками; крепежные детали (болты, гайки, винты) с сорванной резьбой заменяют новыми; уплотняющие резиновые прокладки заменяют прокладками из маслостойкой резины; поврежденную стеклянную диафрагму, установленную на предохранительной трубке, и прокладку, потерявшую упругость, заменяют новыми.

Внутреннюю полость предохранительной трубы очищают от грязи, протирают тряпками и промывают чистым трансформаторным маслом. Поврежденную или потерявшую эластичность резиновую прокладку между фланцем предохранительной трубы и крышкой бака заменяют прокладкой, изготовленной из листа маслостойкой резины толщиной не менее 8 мм.

Расширитель, термосифонный фильтр, воздухоосушитель и маслозапорную арматуру разбирают, очищают от шлама и грязи, промывают в трансформаторном масле, а затем собирают. Покрытые ржавчиной поверхности очищают стальными щетками и окрашивают. В фильтрах и воздухоосушителях заменяют силикагель (свежим или восстановленным). Газовое реле, термометрический сигнализатор, пробивной предохранитель и другие контрольные и защитные приборы ремонтируют в соответствующих лабораториях (электротехнической, контрольно-измерительных приборов и др.).

Отремонтированные и изготовленные сборочные единицы и детали после проверок и испытаний поступают в отделение сборки.

3.9. Сборка трансформаторов

Сборку трансформатора начинают со сборки его основной части – каркаса (остова) магнитопровода. К месту работы доставляют полный комплект изолированных пластин, изоляционных деталей, приспособлений и инструмента и располагают в таком порядке, чтобы при выполнении операций не нужно было делать лишних движений.

Магнитопроводы в зависимости от габаритных размеров собирают на металлических столах, приспособлениях или кантователях.

Пластины собранного магнитопровода неплотно прилегают одна к другой, поэтому его сначала прессуют, устанавливая груз или стягивая пластины временными шпильками, а затем проверяют по всему периметру толщину магнитопровода. Надевают на стяжные шпильки бумажно-бакелитовые трубки, электрокартонные и стальные шайбы, навинчивают гайки и слегка стягивают. Затем устраняют неровности и прессуют магнитопровод до требуемого размера (равномерно закручивая гайки на шпильках). После этого к нижним ярмовым балкам крепят опорные планки. Полностью

собранный магнитопровод строят, поднимают, ставят вертикально на шпалы и устанавливают вертикальные прессующие шпильки.

После выполнения всех операций сборки магнитопровод осматривают, окончательно подтягивают шпильки, измеряют мегаомметром сопротивление изоляции ярмовых балок и шпилек по отношению к активной стали.

Полностью собранный магнитопровод доставляют в обмоточное отделение, где сначала расшихтовывают верхнее ярмо, устанавливают ярмовую изоляцию и изоляционные цилиндры, а затем насаживают обмотки на стержни и шихтуют верхнее ярмо.

При ремонте трансформаторов небольшой мощности в электроремонтном цехе магнитопровод собирают полностью (но без шихтовки верхнего ярма). На стержни такого магнитопровода насаживают обмотки НН и ВН. Изолируют их и только затем шихтуют верхнее ярмо и полностью собирают магнитопровод.

Заключительными операциями первого этапа сборки трансформатора являются сборка и соединение схемы обмоток.

Обмотки современных трансформаторов, применяемых в электроустановках промышленных предприятий, как правило, соединены «звездой» (в редких случаях – «треугольником»). Концы обмоток соединяют пайкой специальными паяльниками. После пайки участки соединений очищают от выступающих частиц припоя, изолируют лакотканью шириной 20–25 мм и покрывают лаком ГФ-95.

Для обеспечения высокой электрической прочности изоляции активную часть трансформатора подвергают сушке, в результате которой удаляется влага из его твердой изоляции. Существуют различные способы сушки трансформаторов (например, в специальном шкафу, инфракрасными лучами, методом индукционных потерь, токами короткого замыкания и др.).

После окончания сушки выполняют так называемую «отделку» активной части: подпрессовывают обмотку вертикальными шпильками верхнего и нижнего ярм магнитопровода. Затем проверяют сопротивление изоляции обмоток, стяжных шпилек и ярмовых балок и переходят к операциям второго этапа сборки трансформатора.

При сборке трансформаторов без расширителя, вводы которых расположены на стенках бака, сначала опускают активную часть в бак, устанавливают вводы, присоединяют к ним и переключателю отводы обмоток, а затем размещают крышку на баке.

Крышки трансформаторов мощностью до 560 кВ·А устанавливают на подъемных шпильках магнитопровода и снабжают необ-

ходимыми деталями, а более мощных – комплектуют отдельно и закрепляют на подъемных шпильках выемной части или баке. При этом особое внимание обращают на правильность установки уплотняющих прокладок, прочность затяжки гаек, правильность присоединения отводов к вводам и переключателю, выполнение уплотнений, исключающие протекание масла.

Активную часть с закрепленной на ней крышкой стропят за подъемные кольца тросами, поднимают краном и медленно опускают в бак, соблюдая меры предосторожности; монтируют крышку, равномерно затягивая болты по всему периметру; на крышке устанавливают кронштейны, на которых крепят расширитель с маслоуказателем; располагают предохранительную трубу; устанавливают реле и пробивной предохранитель.

После сборки трансформатора перед заполнением его маслом еще раз проверяют мегаомметром на 1000 В электрическую прочность изоляции обмоток. Затем трансформатор заполняют до требуемого уровня сухим трансформаторным маслом соответствующей электрической прочности, проверяют герметичность арматуры и установленных на крышке деталей, а также отсутствие течи масла из соединений и сварных швов.

Затем трансформатор подвергают электрическим испытаниям, объем и нормы которых установлены стандартами.

3.10. Очистка и сушка трансформаторного масла

Трансформаторное масло очищают от механических примесей и влаги с помощью специальных аппаратов – центрифуги и фильтр-пресса. Масло проверяют, периодически отбирая пробы из крана на выходном патрубке фильтр-пресса.

Для повышения качества и электрической прочности трансформаторное масло сушат в цеолитовой установке (рис. 3.10). Сушка осуществляется фильтрованием масла через слой молекулярных сит, находящихся в адсорберах, которые заполнены гранулированным цеолитом. Фильтруемое масло подогревается электронагревателем.

Сушка в цеолитовой установке весьма эффективна, так как только за один цикл фильтрования позволяет увеличить пробивное напряжение масла с 8–10 до 50 кВ и выше. Такую установку для сушки трансформаторного масла применяют на больших ремонтных предприятиях в случае необходимости переработки большого количества масла.

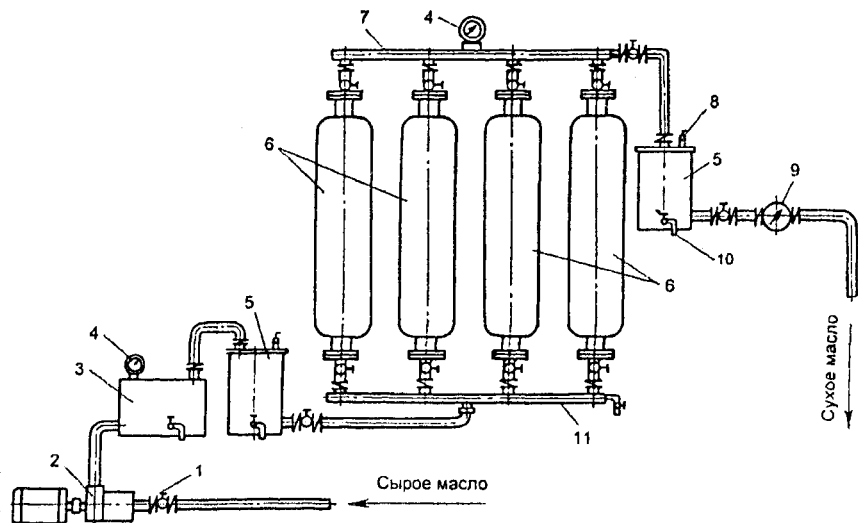


Рис. 3.10. Устройство цеолитовой установки:

1 – вентиль; 2 – насос; 3 – электронагреватель масла; 4 – манометры; 5 – фильтры; 6 – адсорберы; 7 – верхний коллектор; 8 – кран для выпуска воздуха; 9 – объемный счетчик; 10 – кран для отбора проб и слива масла; 11 – нижний коллектор

3.11. Текущий ремонт силовых трансформаторов

Периодичность текущих ремонтов силовых трансформаторов (без подъема магнитопровода) определяется в соответствии с установленными нормами и зависит от их технического состояния.

При текущем ремонте масляного трансформатора его осматривают снаружи и устраняют выявленные дефекты, чистят изоляторы, бак и радиаторы, удаляют грязь из расширителя, доливают масло, проверяют маслоуказатель, спускной кран и уплотнения, надежность контактных соединений, берут пробу масла, проводят испытания и измерения.

В процессе осмотра проверяют герметичность уплотнений. Если она нарушена и имеется течь масла между крышкой и баком или фланцевыми соединениями, то подтягивают гайки. Если же это не помогает, уплотнения заменяют новыми, из маслостойкой резины.

Бак трансформатора и радиаторы очищают от пыли и масла, изоляторы протирают бензином. Удаляют грязь из расширителя и проверяют работу маслоуказателя. При необходимости доливают масло. Нужно помнить, что температура доливаемого масла долж-

на отличаться от температуры масла в трансформаторе не более чем на 5 °С.

Затем проверяют воздухоосушитель. Если индикаторный силикагель имеет розовый цвет, его заменяют новым (голубым). Силикагель для повторного использования восстанавливают путем сушки: индикаторный – при 100–120 °С в течение 15–20 ч (до ярко-голубого цвета), гранулированный – при 400–500 °С в течение 2 ч.

Перезарядка термосифонного фильтра выполняется, если кислотное число масла составляет 0,1 мг КОН (по результатам испытания пробы масла). Для этого сливают масло из расширителя, снимают крышку фильтра, а затем решетку с силикагелем. Бывший в употреблении силикагель заменяют свежим, сухим. Установив крышку, заливают масло в расширитель, предварительно выпустив воздух из фильтра через пробку на его крышке. Масло доливают до соответствующей отметки на маслоуказателе расширителя в зависимости от температуры масла, которую контролируют термометром, установленным на крышке бака. В корпус оправы термометра также заливают трансформаторное масло.

При текущем ремонте сухого трансформатора необходимо снять кожух и удостовериться в отсутствии механических повреждений обмоток, изоляторов и других частей трансформатора, проверить надежность контактных соединений и заземлений, продуть трансформатор чистым сухим воздухом и протереть изоляторы.

По окончании ремонта замеряют сопротивление изоляции обмоток трансформатора R60" и определяют коэффициент абсорбции (отношение R60" к R15", где R60" – сопротивление изоляции через 60 с, R15" – через 15 с после начала измерения) мегаомметром на 2500 В. Сопротивление изоляции измеряют между каждой обмоткой и корпусом и между обмотками.

3.12. Ремонт измерительных трансформаторов

Текущий ремонт измерительных трансформаторов начинают с очистки их от пыли и грязи, затем осматривают фарфоровую, эпоксидную или другую изоляции, проверяют надежность их крепления к конструкции, объем масла в баке и отсутствие течи в уплотнениях и сварных швах. Чтобы устранить течь масла, подтягивают скрепляющие болты. Если это не помогает, ставят новую прокладку из маслостойкой резины. Если масло протекает через сварные швы, трансформатор заменяют новым.

Проверяют надежность соединения трансформатора с контуром заземления, контактные соединения внешних проводов с трансформатором, соединения вторичных обмоток с «землей».

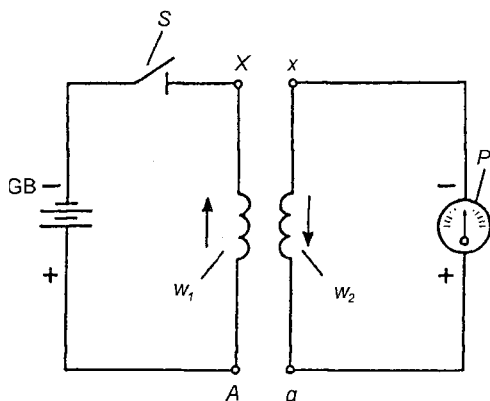


Рис. 3.11. Схема проверки полярности измерительного трансформатора:
 GB – аккумулятор; S – рубильник; P – гальванометр (поляриметр); w_1 , w_2 – первичная и вторичная обмотки

При ремонте разборных трансформаторов тока проверяют отсутствие ржавчины на торцах магнитопровода. Для этого отсоединяют проводники, откручивают гайки скрепляющих болтов и разнимают половинки трансформатора. Ржавчину снимают шкуркой, половинки скрепляют болтами, стараясь, чтобы между ними не было воздушного зазора и кабель располагался в центре окна трансформатора.

В трансформаторах измеряют сопротивление изоляции, первичной обмотки – мегаомметром на 2,5 кВ, вторичной – на 1 кВ. Сопротивление изоляции не нормируется, однако для вторичных обмоток трансформатора тока сопротивление, равное 50–100 МОм, считается достаточным. Если сопротивление изоляции обмоток менее указанной величины, трансформатор снимают и сушат.

При капитальном ремонте трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН) испытывают повышенным напряжением. При замене трансформаторов в ходе ремонта проводят испытания, проверяют целость их обмоток, а также группы соединения трехфазных и полярность однофазных трансформаторов. Как известно, направление тока в обмотке амперметра переменного тока не оказывает влияния на точность его работы (при любом способе подключения амперметра к ТТ он будет давать правильные показания). В таких же приборах, как ваттметры, счетчики электроэнергии, а также многие устройства релейной защиты, направление тока имеет большое значение. Поэтому обмотки ТТ имеют специальную маркировку, позволяющую правильно подключать его в первичную цепь высокого напряжения и во вторичную измерительную цепь. Так, начало и конец первичной обмотки маркируются соответственно Л1 и Л2 (линия), а начало и конец вторичной обмотки – И1 и И2 (измерительная цепь тока). Выводы ТН маркируют следующим образом: начало и конец первичной обмотки обозначают соответственно А и Х, а начало и конец вторичной обмотки – а и х.

Целость обмоток и правильность их соединения проверяют мегаомметром, а полярность определяют по схеме, показанной на рис. 3.11. При правильном обозначении выводов стрелка гальванометра (поляриметра) P в момент замыкания рубильника S должна отклоняться вправо. Трансформаторы с неправильно обозначенными выводами отправляют для перемаркировки. При проверке целостности вторичной обмотки закорачивают первичную обмотку, так как при разомкнутой первичной обмотке в ней будет наводиться электродвижущая сила большой величины, опасная как для человека, так и для изоляции обмотки.

3.13. Особенности ремонта сухих трансформаторов

При среднем ремонте сухих трансформаторов подпрессовывают обмотки и ярма магнитной системы, подтягивают все крепления, заменяют или ремонтируют изоляторы, вентиляторы и их электропроводку, кожух, зажимы и панель для переключения регулируемых ответвлений, чистят и продувают сухим сжатым воздухом все части и вентиляционные каналы, измеряют сопротивление изоляции обмоток, ярмовых балок, деталей прессовки обмоток и стяжки магнитной системы, красят кожух, шинные отводы и другие части, имеющие повреждения антикоррозийного покрытия, замеряют сопротивление обмотки постоянному току и коэффициент трансформации. При измерении сопротивления изоляции используют мегаомметр на 1000 В. Сопротивление изоляции обмоток при 20–30 °С для трансформаторов с номинальным напряжением до 1 кВ должно быть не менее 100 МОм, более 1 до 6 кВ – не менее 300 МОм, более 6 кВ – не менее 500 МОм.

При капитальном ремонте перематывают или заменяют обмотки, ремонтируют каркас и его магнитную систему, детали главной изоляции, переизолируют отводы, сушат, красят и запекают лаковое покрытие обмоток, а также выполняют все работы, относящиеся к среднему ремонту, включая электрические испытания.

Активную часть сухих трансформаторов сушат в шкафу или воздуходувкой.

3.14. Испытания силовых трансформаторов

Отремонтированные трансформаторы проходят *контрольные (окончательные) испытания*, которые должны подтвердить высокое качество выполненного ремонта, отсутствие дефектов, соответствие характеристик трансформаторов паспортным значениям, а также требованиям стандартов:

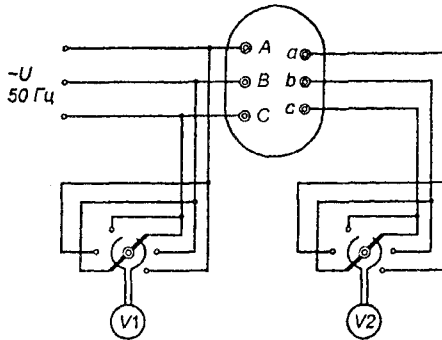


Рис. 3.12. Схема измерения коэффициента трансформации с помощью двух вольтметров с переключателями

- испытание трансформаторного масла;
- определение коэффициента трансформации и группы соединения обмоток;
- измерение сопротивления обмоток постоянному току;
- измерение токов, потерь холостого хода и короткого замыкания;
- измерение сопротивления изоляции обмоток;
- испытание электрической прочности главной изоляции повышенным напряжением промышленной частоты;
- испытание электрической прочности витковой изоляции повышенным напряжением.

Испытание трансформаторного масла осуществляют на электрическую прочность (пробой и диэлектрические потери). Для этого берут *пробу масла* (из бака трансформатора в чистую сухую стеклянную посуду не менее 0,5 л) и заливают ее в маслопробойный аппарат. Спустя 20 мин (за это время из масла выходят пузырьки воздуха) плавно повышают напряжение, наблюдая за стрелкой вольтметра, до пробоя. Выполняют 6 пробоев с интервалом 10 мин. Первый пробой не учитывается. Среднее арифметическое пробивное напряжения остальных пяти пробоев принимают за пробивное напряжение трансформаторного масла, которое должно быть не менее 25 кВ для трансформаторов с напряжением до 15 кВ включительно и не менее 30 кВ – с напряжением 15–30 кВ.

При ремонте выполняют и химический анализ масла, в результате которого определяют кислотное число, температуру вспышки паров, реакцию водной вытяжки, массу взвешенного угля и механических примесей. Одновременно проверяют прозрачность масла.

Коэффициент трансформации проверяют по схеме, приведенной на рис. 3.12, чтобы убедиться в правильности числа витков, сборки схемы соединения обмоток и подключения отводов к переключателю. Одновременно подают напряжение (не менее 2% номинального) на все фазы трехфазного трансформатора и все ступени напряжения, отклонение по фазам не должно превышать 2%.

При проверке группы соединения определяют правильность соединения обмоток и их соответствие группе.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току позволяет выявить дефекты, допущенные при ремонте: обрыв параллельных проводников обмоток; низкое качество соединений пайкой; плохой контакт в месте присоединения отвода к переключателю и др. Перечисленные дефекты увеличивают сопротивление обмоток за счет повышения переходного сопротивления на дефектных участках. Измеренные сопротивления по всем фазам и ступеням не должны различаться более чем на 2%.

Измерение токов, потерь холостого хода и короткого замыкания проводят для выявления таких дефектов в магнитной системе трансформатора, которые увеличивают ток холостого хода и дополнительные потери, снижающие КПД трансформатора, а в отдельных случаях приводят к недопустимому нагреву. На обмотку НН подают симметричное напряжение частотой 50 Гц при разомкнутой обмотке ВН и плавно увеличивают его от нуля до номинального значения. При этом измеряют ваттметром мощность, потребляемую трансформатором, и амперметрами – линейные токи.

Допущенные при ремонте трансформатора неправильная транспозиция проводов, обрыв или надлом одного из параллельных проводов, плохой контакт и применение проводов заниженного сечения увеличивают омическое сопротивление обмоток и вызывают дополнительные потери энергии в них при нагрузке. Перечисленные дефекты выявляются путем проведения опыта короткого замыкания и сопоставления фактических и расчетных потерь в обмотках. При опыте короткого замыкания вводы обмоток НН трансформатора замыкают между собой, а к вводам обмоток ВН подают такое напряжение, при котором в обмотках устанавливаются номинальные токи. Измерение потерь энергии при опыте короткого замыкания сопоставляют с расчетными. Если они выше расчетных, значит в трансформаторе имеются неисправности.

Измерение сопротивления изоляции обмоток осуществляется мегаомметром между обмоткой ВН и баком при заземленной обмотке НН, обмоткой НН и баком при заземленной обмотке ВН, обмотками ВН и НН, соединенными между собой, и баком. Сопротивление изоляции обмоток трансформатора до 35 кВ считается удовлетворительным, если оно не менее 300 МОм для трансформаторов мощностью до 6300 кВ·А включительно и 600 МОм для трансформаторов 10 000 кВ·А и выше.

Испытание электрической прочности главной изоляции (между обмотками различных напряжений и каждой из них относительно заземленных частей трансформатора) *повышенным нап-*

ряжением промышленной частоты заключается в том, что от специального трансформатора с регулируемым напряжением подают повышенное напряжение (25 кВ для трансформаторов 6 кВ, 35 кВ – 10 кВ, 85 кВ – 35 кВ) частотой 50 Гц на исследуемые обмотки трансформатора. Если в течение 1 мин с момента подачи испытательного напряжения амперметр не показывает увеличения тока, а вольтметр – уменьшения напряжения и внутри трансформатора нет потрескиваний, напряжение снижают до нуля и считают, что трансформатор выдержал испытание.

Испытание электрической прочности витковой изоляции повышенным напряжением проводят таким образом: к обмотке НН при разомкнутой обмотке ВН и заземленном баке трансформатора подают от генератора испытательное напряжение: 115% номинального – при магнитопроводе шпилечной конструкции, 130% – при бесшпилечной конструкции. Трансформатор считается выдержавшим испытание, если в течение 1 мин не наблюдаются скачки тока, разряды и другие явления, свидетельствующие о повреждении изоляции.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким признакам различают силовые трансформаторы?
2. С какой целью применяют измерительные трансформаторы?
3. Как устроен силовой трехфазный двухобмоточный трансформатор?
4. Перечислите наиболее характерные неисправности трансформаторов и возможные причины их возникновения.
5. Назовите основные операции, производимые при разборке трансформатора.
6. В чем заключается ремонт магнитопровода трансформатора?
7. Каким образом выполняют ремонт вводов и переключающего устройства трансформатора?
8. Какие способы сушки активной части трансформатора применяются?
9. В чем заключается ремонт сухих и измерительных трансформаторов?
10. Перечислите основные послеремонтные испытания трансформаторов.

РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

4.1. Общие сведения

Электрические аппараты предназначены для включения и отключения, управления, регулирования и защиты электрооборудования и участков электрических цепей. В зависимости от назначения их делят на четыре группы:

коммутационные – для включения и отключения электрических цепей;

защиты – защищающие электрические цепи от перегрузки, токов короткого замыкания, недопустимого повышения напряжения, снижения или исчезновения напряжения;

токоограничивающие и пускорегулирующие – для пуска, регулирования частоты вращения двигателей, изменения тока в электрических цепях, ограничения тока при коротком замыкании;

выполняющие одновременно несколько из перечисленных выше функций – включение и отключение электрических цепей, защита их от перегрузок, токов короткого замыкания и др.

В зависимости от номинального напряжения различают электрические аппараты до 1000 В (обычно до 660 В) и свыше 1000 В.

В электрических аппаратах чаще всего повреждаются подвижные и неподвижные рабочие контакты, а также промежуточные и дугогасительные, реже детали механизмов, пружины, пластины дугогасительных камер и изоляция.

Основным показателем качества любого контакта является его переходное сопротивление, которое зависит главным образом от состояния контактных поверхностей и степени прижатия их одна к другой, так как контактные поверхности соприкасаются не по всей их площади, а только в отдельных точках, называемых *точками соприкосновения*. Плохо обработанные и окислившиеся контакты имеют большое переходное сопротивление.

Тщательная слесарная обработка контактных поверхностей позволяет убрать оксидную пленку и получить наибольшее количество точек соприкосновения. Контактные поверхности медных контактов рекомендуется обрабатывать надфилем или напильником.

В электроустановках напряжением до 1000 В в качестве силовых выключателей используются рубильники, пакетные выключатели, автоматические выключатели, магнитные пускатели, контакторы. При отключении этих аппаратов возникающая между контактами дуга легко гасится без применения специальных дугогасительных устройств (в рубильниках) или с помощью простых дугогасительных приспособлений (дугогасительных решеток в контакторах или автоматических выключателях). Легкость гашения дуги в этих случаях объясняется тем, что при сравнительно низком напряжении напряженность электрического поля между расходящимися контактами небольшая, воздух ионизируется незначительно, поэтому дуга неустойчивая и быстро гаснет.

4.2. Ремонт автоматических воздушных выключателей

Автоматический воздушный выключатель предназначен для автоматического отключения электрических цепей при возникновении в них токов перегрузки и короткого замыкания, а также при недопустимом снижении или полном исчезновении напряжения.

Для этого он снабжается соответствующими (одним или несколькими) расцепителями, которые отключают главные контакты выключателя. Расцепители по принципу действия могут быть электромагнитными (максимального напряжения), тепловыми (термометаллическими) и комбинированными (с последовательным включением токовой катушки и нагревательного элемента электромагнитного и теплового расцепителей). Например, автоматические воздушные выключатели серии А имеют тепловые и электромагнитные расцепители, а серии АВМ (выпускаются на токи до 2000 А) обычно снабжаются электромагнитным расцепителем максимального тока, который состоит из токовой катушки и якоря, удерживаемого пружиной и соединенного с часовым механизмом. При установке часового механизма на метку «0» отключение автоматического выключателя при коротких замыканиях и больших токах перегрузки происходит мгновенно, а при установке на часовом механизме требуемой выдержки времени (перемещением специального винта на часовом механизме) – с заданной задержкой времени.

Автоматические воздушные выключатели серии АВМ помимо электромагнитных расцепителей максимального тока могут снабжаться и расцепителем минимального напряжения, которые отключают выключатель при снабжении напряжения в питающей электрической сети до 85% номинального или полном его исчезновении.

Тепловые расцепители при небольших перегрузках по току отключают автоматический выключатель через 30–60 мин (время

отключения находится в обратной зависимости от тока перегрузки), а электромагнитные расцепители при токах, превышающих номинальный ток в 6–10 раз, практически мгновенно отключают автоматический выключатель. Автоматический выключатель называют воздушным, потому что электрическая дуга, возникающая между его контактами в момент отключения, гасится в воздухе. Такие выключатели выполняют, как правило, функции защитных аппаратов, однако при необходимости могут быть использованы в качестве коммутационных аппаратов для редких эксплуатационных включений тех электрических цепей, в которых они установлены как аппараты защиты.

С помощью автоматических выключателей можно осуществлять дистанционное управление электрооборудованием и быстрое восстановление питания электроустановок повторным включением. Эти выключатели выпускаются на токи до нескольких тысяч ампер. В зависимости от количества полюсов они бывают одно- двух- и трехполюсные. Основными частями выключателя являются контактная и дугогасительная системы и механизм свободного расцепления (рис. 4.1).

Контактная система автоматических выключателей небольшой мощности (на токи до 100 А) может быть одноступенчатой (рис. 4.2, а) или двухступенчатой (главные и дугогасительные контакты). Одноступенчатую систему контактов применяют и в выключателях средней мощности (до 600 А), если рабочие поверхности контактов имеют металлокерамическое покрытие. В мощных выключателях используют двух- или трехступенчатую систему контактов. В последнем случае (рис. 4.2, б) контактная группа выключателя состоит из главных (рабочих), промежуточных (переходных) и дугогасительных (разрывных) контактов. Промежуточные контакты служат для облегчения перехода тока с главных контактов на дугогасительные при отключении.

Дугогасительная система выключения состоит из дугогасительных (подвижных и неподвижных) контактов и камеры с решеткой. Эта система служит для ограничения размеров и быстрого гашения электрической дуги, возникающей между расходящимися контактами при разрыве ими электрической цепи. Действие дугогасительного устройства основано на растяжении и охлаждении электрической дуги в камере. Камера представляет собой асбцементную коробку, в которой расположена дугогасительная решетка из стальных пластин, покрытых тонким слоем меди, предохраняющей стальные пластины от коррозии.

Гашение дуги в камере происходит следующим образом. При разрыве автоматическим выключателем электрической цепи с рабочими токами (токами перегрузки или токами короткого замыкания) между его контактами возникает электрическая дуга, ко-

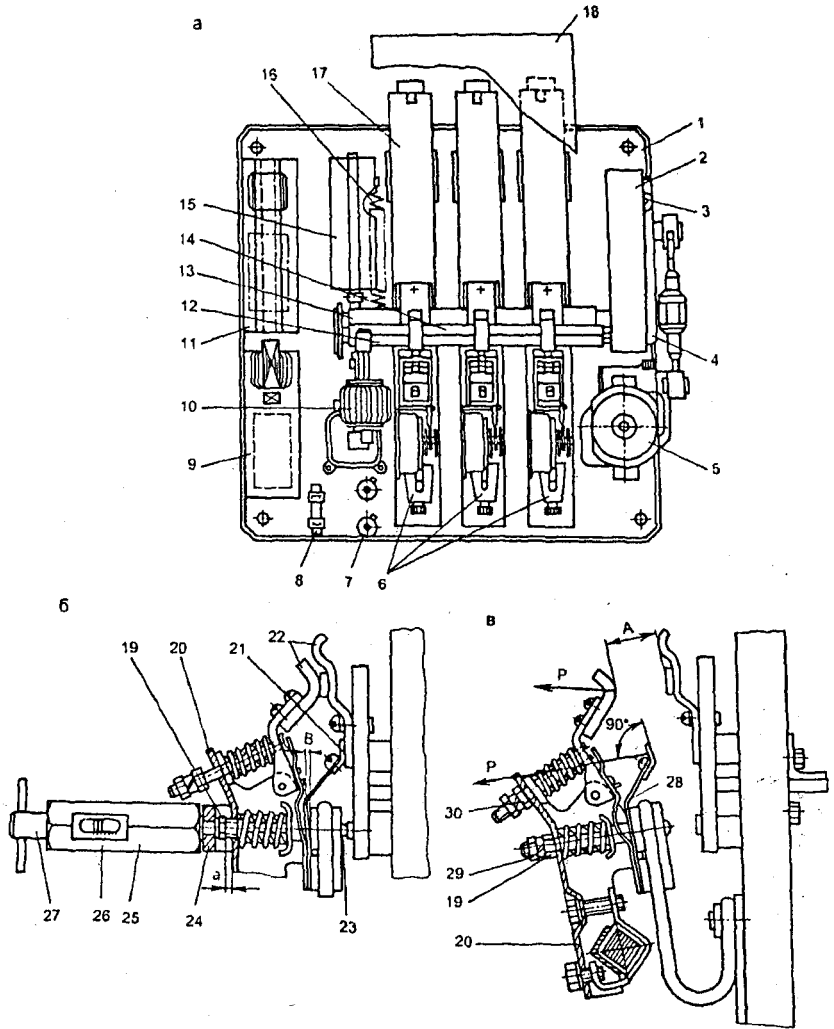


Рис. 4.1. Автоматический воздушный выключатель А15-Т на 600 А переменного тока:
 а - общий вид; б, в - контактная система во включенном и отключенном положениях автомата; 1 - плата; 2 - механизм свободного расцепления; 3 - болт заземления; 4 - механический замедлитель расцепления; 5 - электромеханический привод; 6 - максимальные расцепители; 7 - резистор; 8 - предохранитель; 9 - реле управления; 10 - дополнительный расцепитель; 11 - панель зажимов; 12 - отключающий валик; 13 - главный вал; 14 - селективный валик; 15 - коммутатор; 16 - пружина отключения выключателя; 17 - дугогасительная камера; 18 - огнестойкая перегородка; 19, 29 - нижняя и верхняя гайки; 20 - держатель; 21 - промежуточный контакт; 22 - дугогасительные контакты; 23 - главный контакт; 24 - фасонный винт; 25 - стакан динамометра; 26 - шкала динамометра с указателем; 27 - штифт; 28 - плоская пружина; 30 - регулировочная гайка

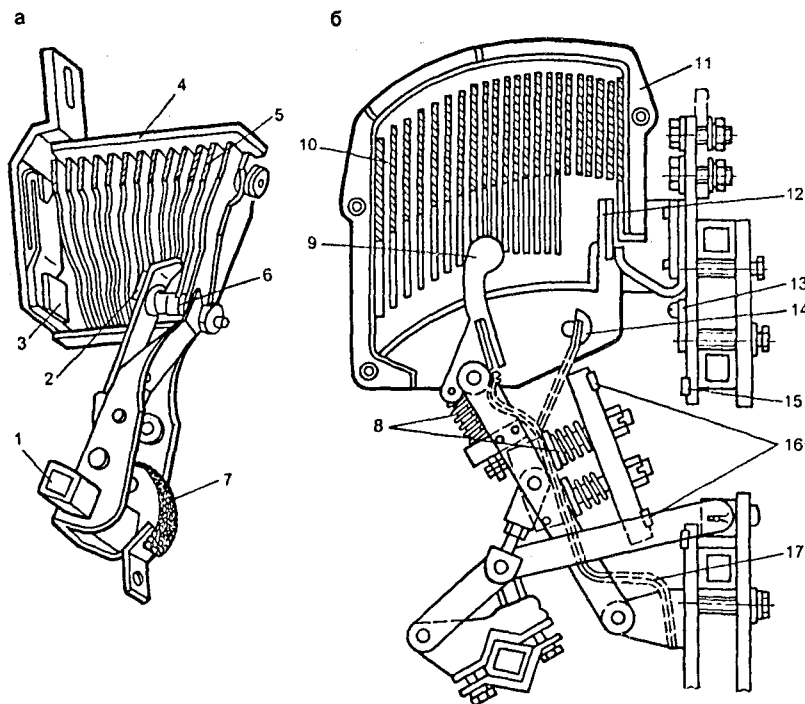


Рис. 4.2. Контактная и дугогасительная системы воздушного выключателя: а – одноступенчатая; б – трехступенчатая; 1 – вал; 2, 16 – главные подвижные контакты; 3, 15 – главные неподвижные контакты; 4, 11 – дугогасительные камеры; 5, 10 – дугогасительные решетки; 6, 8 – контактные пружины; 7, 17 – гибкие связи; 9, 12 – дугогасительные подвижные и неподвижные контакты; 13 – промежуточный неподвижный контакт; 14 – промежуточный подвижный контакт

торая под воздействием электродинамических сил растягивается вдоль пластин решетки, разделяется на ряд мелких дуг и, соприкасаясь с поверхностью пластин, быстро охлаждается и гаснет.

Механизм свободного расцепления автоматического выключателя выполняет следующие функции: предотвращает возможность удержания контактов выключателя во включенном состоянии при возникновении аварийного режима работы в защищаемой цепи; обеспечивает быстрое расхождение контактов, не зависящее от аппарата, типа и массы привода. Этот механизм представляет собой несколько шарнирных рычагов, соединяющих привод включения с системой подвижных контактов, которые, в свою очередь, связаны с отключающей пружиной.

В автоматических выключателях выходят из строя преимущественно контакты, отключающие механизм и пружины (износ и

плавление контактов, нарушение регулировки механизма, ослабление пружин). В результате электрического и механического воздействия может нарушаться изоляция обмотки электромеханического привода или главного вала. В зависимости от характера повреждения автоматические выключатели ремонтируют в электро-ремонтном цехе или на месте их установки. В последнем случае их отключают от электрических линий, а также принимают меры для предотвращения дистанционного управления выключателями.

При ремонте контактов (обгорание, оплавление и изнашивание из-за высокой температуры электрической дуги, особенно при разрыве ими больших токов) откручивают винты крепления дугогасительных камер и осторожно их снимают. Закопченные стальные омедненные пластины решетки очищают от нагара щеткой, моют и протирают чистыми тряпками. Затем промывают и опиливают напильником слегка обгоревшие контакты выключателя, снимая с их рабочих поверхностей частицы оплавленной меди. С сильно оплавленных контактов напильником убирают наплывы меди, стараясь сохранить их форму. При уменьшении размеров контактов более чем на 30% их заменяют новыми.

В автоматических выключателях, которые часто включаются и выключаются, не только изнашиваются контакты, но и нарушается их регулировка. Это приводит к перегреву контактов при работе и выходу их из строя. Поэтому после ремонта контактов необходимо отрегулировать контактную систему. Это одна из важнейших операций ремонта, от которой зависит продолжительная нормальная работа выключателя.

В процессе регулировки контактной системы добиваются соприкосновения сначала главных, затем промежуточных и дугогасительных контактов, хотя очередность их включения при работе выключателя обратная. Соприкосновения главных контактов достигают, изменяя положение их держателей с помощью гаек, промежуточных контактов сгибанием в нужном направлении плоской пружины, а дугогасительных – используя регулировочные гайки.

Контактная система регулируется так, чтобы в момент касания дугогасительных контактов зазор между подвижным и неподвижным промежуточными контактами был не менее 5 мм, а в момент касания промежуточных контактов зазор между главными контактами составлял не менее 2,5 мм. Провал (расстояние, на которое может сдвинуться плоскость соприкосновения включенных контактов, если убрать неподвижный контакт) главных контактов во включенном положении отрегулированного автоматического выключателя должен быть не менее 2 мм, а раствор (наименьшее расстояние между контактами в разомкнутом состоянии) дугогасительных контактов в отключенном положении выключателя – не менее 65 мм.

При ремонте автоматического выключателя производят также проверку и регулировку начального и конечного нажатий его контактов. *Начальное нажатие контактов* – это усилие пружины в месте первоначального касания подвижных и неподвижных контактов, а *конечное* – усилие пружины в месте конечного касания контактов. Эти усилия замеряют специальным динамометром, поставляемым заводом-изготовителем вместе с выключателем. Усилия не должны отличаться от паспортных данных более чем на 10%.

Проверяют также, правильно ли расположены рычаги на отключающем валике и есть ли необходимый зазор между рычагом валика и бойком расцепителя. Рычаги должны быть без перекосов и смещений, а зазор составлять 2–3 мм, иначе расцепитель не отключит выключатель при недопустимом снижении или полном исчезновении в питающей сети напряжения.

При ремонте автоматического выключателя подвергают проверке резисторы, плавкую вставку предохранителя, состояние контактов конечного выключателя и вспомогательных контактов.

В отремонтированном выключателе проверяют легкость хода подвижных частей, отсутствие заеданий в механизме и касаний подвижных контактов стенок дугогасительных камер, для чего 10–15 раз медленно включают и выключают выключатель вручную. При установке отремонтированного выключателя необходимо убедиться в том, что соединяемые с ним провода, кабели или шины не создают недопустимых усилий на его контакты или выводы.

Качество ремонта выключателя определяют 15–20 циклами включений и выключений сначала под напряжением без нагрузки, а затем при 50% -й и полной номинальной нагрузках. Проверяют также работу всех расцепителей и устанавливают необходимые токи вставок максимальных расцепителей, после чего выключатель испытывают при номинальных нагрузках по программе и нормам завода-изготовителя.

4.3. Ремонт контакторов

Контакторы – это коммутационные электромагнитные устройства, предназначенные для дистанционного включения и выключения силовых электрических цепей при нормальных режимах работы. Они широко используются в электроустановках промышленных предприятий и являются основными силовыми аппаратами современных автоматизированных электроприводов. В электроустановках трехфазного переменного тока применяют трехполюсные контакторы, которые состоят из электромагнитной, контактной и дугогасительной систем (рис. 4.3, а–в).

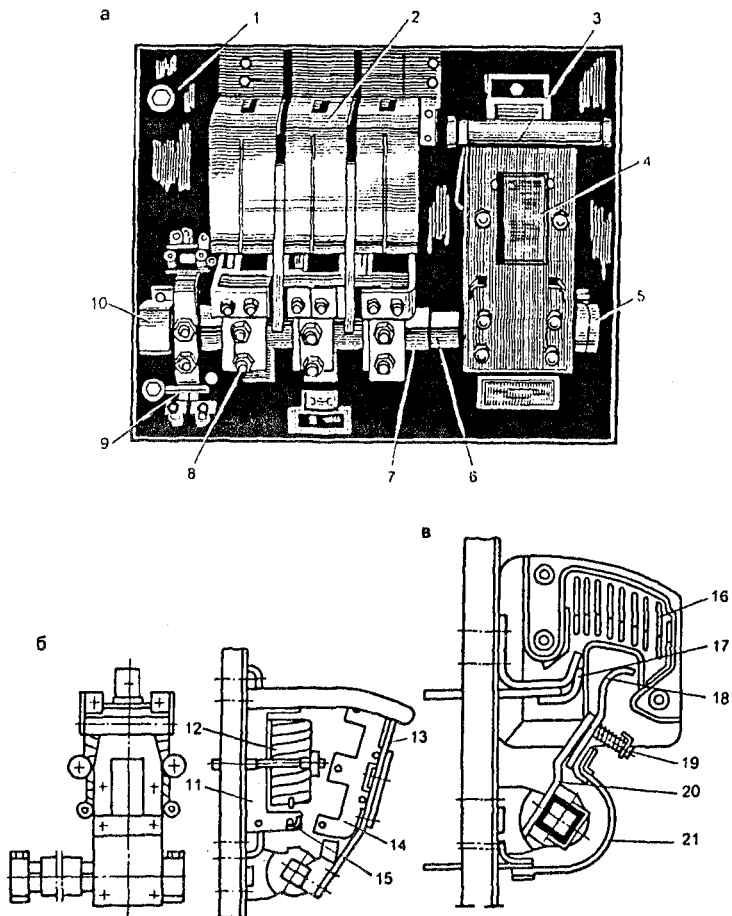


Рис. 4.3. Трехполюсный контактор:

а - общий вид; *б* - электромагнитная система; *в* - контактная и дугогасительная системы; 1 - изоляционная панель; 2 - дугогасительная камера; 3 - упор; 4 - электромагнит; 5 - подшипник; 6 - вал; 7 - изоляция вала; 8 - крепление контактной системы на валу; 9 - блок-контакты; 10 - подшипник; 11 - ярмо с сердечником; 12 - катушка электромагнита; 13 - держатель якоря; 14 - якорь; 15 - короткозамкнутый виток; 16 - пластины решетки дугогасительной камеры; 17 - неподвижный главный контакт; 18 - подвижный главный контакт; 19 - контактная пружина; 20 - держатель подвижного контакта; 21 - гибкая связь

Электромагнитная система служит для дистанционного управления (включения и отключения) контактором и состоит из ярма с сердечником, якоря, короткозамкнутого витка, катушки электромагнита и деталей крепления электромагнита к изоляционной па-

нели. Сердечник и якорь набраны из листов электротехнической стали толщиной 0,55 мм (крайние листы имеют толщину 0,8 мм).

Контактная система состоит из главных подвижных и неподвижных контактов, гибких связей и вспомогательных контактов, служащих для переключения в цепях управления контактором, блокировки и сигнализации. Главные контакты обеспечены дугогасительной системой, которая представляет собой камеру с дугогасительными стальными пластинками, покрытыми слоем меди. Камера выполнена из огнестойкого материала и состоит из двух половин. Пластины внутри камеры расположены перпендикулярно к стволу электрической дуги, которая (при отключении контактора) втягивается в решетку, разделяется в ней на ряд мелких дуг, охлаждается и гаснет.

В трехполюсном контакторе имеются три пары главных контактов, обеспеченных тремя (по одному на каждый полюс) дугогасительными устройствами.

Управление контактором осуществляется следующим образом. При подаче напряжения в цепь катушки электромагнита ее сердечник притягивает якорь, который поворачивается на определенный угол и прижимает подвижные контакты, находящиеся на одном валу с неподвижным якорем, к неподвижным. При разрыве электрической цепи катушки ее стержень перестает удерживать якорь и подвижные контакты отпадают, разрывая электрическую силовую цепь.

Якорь во включенном состоянии может удерживаться и защелкой. В таких контакторах имеется дополнительное электромагнитное устройство, отключающее контактор путем освобождения его подвижной части из-под защелки.

При выполнении текущего ремонта контакторов на месте их установки сначала отсоединяют все провода, кабели и шины (капитальный ремонт обычно производят в электроремонтных мастерских). В процессе ремонта главным образом заменяют поврежденные или изношенные детали новыми и затем регулируют и испытывают контакторы. В основном приходится менять главные контакты, гибкие соединения, дугогасительные камеры, катушки электромагнитов, пружины и короткозамкнутые витки.

С главных контактов снимают дугогасительные камеры, откручивают винты, которыми гибкие соединения крепятся к подвижным контактам, и удаляют подвижные контакты. Затем убирают неподвижные контакты, промывают их. В некоторые случаи защищают контактные поверхности всех разобранных соединений, смазывают их тонким слоем технического вазелина. Далее контакты устанавливают на место в последовательности, обратной разборке.

Поврежденные гибкие медные пластины заменяют новыми. В случаях, когда таких пластин более 20%, рекомендуется полностью заменить гибкие соединения новыми. Камеры с сильно испорченными внешними или внутренними деталями также заменяют новыми.

Неисправную катушку электромагнита меняют на новую или перематывают ее обмотку, выдерживая диаметр провода и количество витков. При намотке катушки тонким проводом для выводов используют гибкий провод диаметром 0,8 мм и более. При этом выводы соединяют с проводом катушки припоем ПОС 30, а затем места пайки изолируют полоской миканита толщиной 0,3 мм и шириной 8–10 мм. Выводы катушки закрепляют на каркасе нитками, к концам припаивают медные наконечники, а готовую катушку обматывают хлопчатобумажной лентой. Окончательно катушку проверяют пробным (не менее 10 циклов) включением и отключением контактора.

Лопнувший короткозамкнутый виток заменяют новым: сначала отгибают стальные пластины, прикрепленные к крайним листам пакета сердечника, вынимают поврежденный виток из желоба в сердечнике, а затем устанавливают в желоб новый виток и закрепляют его, загибая стальные пластины.

Поврежденные пружины заменяются новыми из числа запасных, поставляемых в комплекте с контактором.

Если нарушена изоляция вала подвижных контактов, ее заменяют новой, сделанной из материала, равноценного заменяемому по своим свойствам и толщине.

По окончании основных операций с помощью динамометра измеряют начальное и конечное нажатия главных контактов.

На заключительном этапе ремонта контактора проверяют, правильно ли собрана схема, прочно ли закреплены подвижные контакты на валу и хорошо ли прилегает якорь к сердечнику. Затем проводят послеремонтные испытания: измеряют сопротивление изоляции, омическое сопротивление обмотки катушки электромагнита и определяют точность работы контактора при снижении напряжения.

Изоляцию испытывают мегаомметром на 500 В, проверяя ее сопротивление между токопроводящими частями контактора и другими частями, не находящимися под напряжением. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм. Омическое сопротивление обмотки катушки электромагнита, измеренное при 20° С, не должно отличаться от паспортных данных более чем на 10%. Контакт, установленный вертикально, должен включаться при пониженном напряжении, составляющем 85% номинального.

Значительный нагрев контактов и катушки электромагнита, а также сильное гудение электромагнитной системы свидетельству-

При подаче напряжения (12 В постоянного тока) на катушку реле К1 (или К2 – при динамическом торможении) замыкаются контакты реле, через которые подаются управляющие сигналы на соответствующие симисторы (симметричные тиристоры, каждый из которых заменяет два обычных тиристора, включенных по встречно-параллельной схеме), при этом симисторы открываются и пропускают ток из сети переменного тока по обмоткам АД. При снятии напряжения с катушки реле К1 (или К2) соответствующие симисторы отключаются.

Конструктивно переключатели типа ПТМ выполнены в орбренном металлическом корпусе (у ПТМ 1,6-4М корпус пластмассовый) с естественным воздушным охлаждением, к которому крепятся через изолирующие прокладки коммутирующие приборы: симисторы для ПТМ 10-1М, ПТМ 1,6-4М; оптронные тиристоры для ПТМ 010-1 и тиристоры для ПТМ 40-8 и ПТМ 80-8. Для коммутации управляющих сигналов на тиристоры используются герконовые реле типа РПГ, встроенные в переключатели. Внешнее подсоединение переключателей осуществляется через клеммную коробку посредством пайки (на ПТМ 40-8 и ПТМ 80-8 подключение производится с помощью гаек).

Переключатели ПТМ выдерживают рабочие перегрузки по току до $10 I_n$ при длительности перегрузок не более 40 мс, а средний ресурс их работы составляет 30 000 ч.

Эксплуатация и обслуживание переключателей ПТМ разрешается лицам, прошедшим специальную подготовку и знакомым с инструкцией по эксплуатации. При выходе из строя переключателя в процессе эксплуатации он заменяется запасным, а при техническом обслуживании (в сроки, установленные для всей установки) проверяется надежность пайки и затяжки резьбовых соединений.

Ремонт вышедших из строя переключателей производится в электроремонтной мастерской. При ремонте путем тщательного осмотра и проведения измерений «тестером» определяются неисправные элементы переключателей, которые затем заменяются исправными. Контроль исправности тиристоров может выполняться (на стендах) с помощью осциллографа по падению напряжения на тиристоре. После ремонта с помощью мегаомметра замеряется сопротивление изоляции силовых цепей и цепей управления переключателя по отношению к корпусу, который должен быть заземлен, при этом сопротивление изоляции должно быть не меньше 5 МОм.

4.4. Ремонт магнитных пускателей

Магнитный пускатель состоит из контактора и тепловых реле. Он выполняет функции управления и защиты, например пуск,

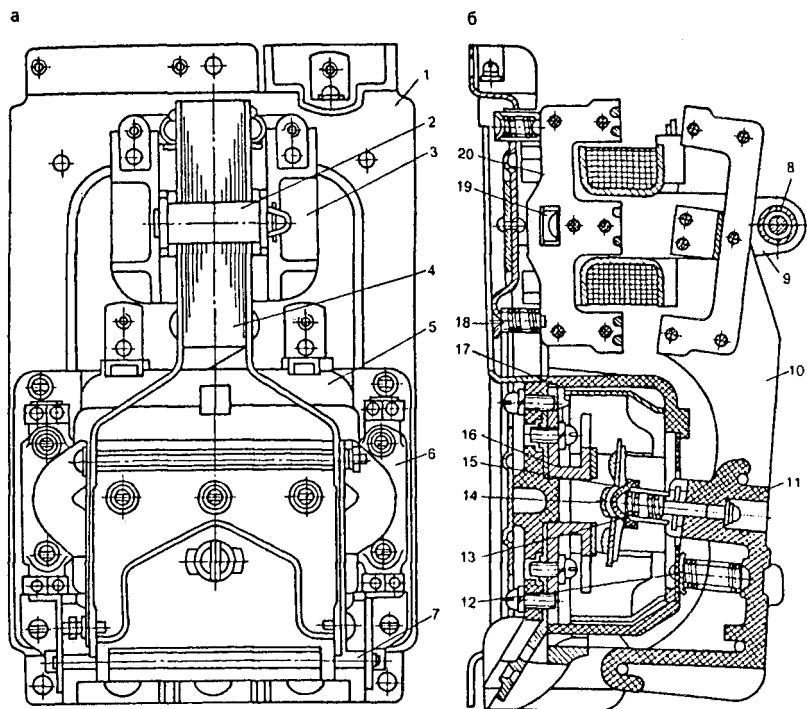


Рис. 4.5. Контактор ПА-400:

а – общий вид; б – боковой разрез; 1 – основание; 2 – упор якоря; 3 – катушка; 4 – якорь; 5 – дугогасительная камера; 6 – вспомогательные контакты; 7 – вал (ось) рычага; 8 – втулка; 9 – стойка; 10 – рычаг; 11 – траверса; 12, 14 – возвратная и контактная пружины; 13 – вкладыш; 15 – мостик контактов; 16 – неподвижный контакт; 17 – скоба; 18, 19 – пружина и защелка сердечника; 20 – сердечник

остановку и реверс электродвигателя с отключением его при перегрузках и исчезновении напряжения (нулевая защита).

В магнитных пускателях используют преимущественно контакторы ПА и ПС. Контактор ПА (рис. 4.5) магнитного пускателя представляет собой одноблочную конструкцию с токопроводящими деталями, изолированными от корпуса аппарата. Он состоит из магнитной системы (катушка 3, якорь 4, сердечник 20), контактной системы (вспомогательные контакты 6, неподвижные контакты 16, мостик 15 с подвижными контактами), механизма с возвратной пружиной 12, рычагом 10 и траверсой 11.

В настоящее время применяются также магнитные пускатели серий ПМА (преимущественно для дистанционного управления и защиты трехфазных двигателей с короткозамкнутым ротором

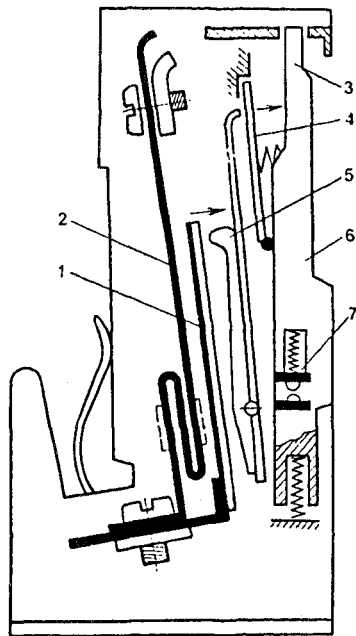


Рис. 4.6. Тепловое реле ТРН

мощностью до 75 кВт) и ПМЛ, допускающие до 1200 включений в час, со встроенными тепловыми реле (соответственно РТТ и РТЛ).

Тепловые реле РТТ, РТЛ, ТРП, ТРН, применяемые в магнитных пускателях, служат для защиты электрических цепей от токов перегрузки. Тепловое реле, например ТРН (рис. 4.6), работает следующим образом. Рабочий ток проходит через нагреватель 2 (сменные пластины из сплава с высоким удельным сопротивлением). Рядом расположена биметаллическая пластинка 1, нижний конец которой закреплен, а верхний свободный. Подвижные контакты 7 теплового реле закреплены на пластмассовой стойке 6, которая упирается в пружину. Эта пружина старается разомкнуть контакты, но с помощью рычага 4, который упирается в выступ на корпусе реле, контакты удерживаются в замкнутом состоянии.

В случае, когда ток, проходящий по нагревателю, небольшой (выделяется небольшое количество теплоты, биметаллическая пластинка почти не сгибается, подвижные части реле занимают положение, показанное на рисунке), контакты реле замкнуты. Если же ток, протекающий через нагреватель, превышает номинальную величину (режим перегрузки), количество выделяемой в нагревателе теплоты увеличивается, биметаллическая пластинка сгибается (в направлении стрелки) и поворачивает фигурную скобку 5, которая действует на рычаг 4 контактной стойки. В результате контакты реле под действием пружины размыкаются. После охлаждения биметаллической пластинки подвижные части не могут самостоятельно занять первоначальное положение, поэтому необходимо нажать на верхнюю часть 3 контактной стойки.

При ремонте контактов и дугогасительного устройства магнитного пускателя выполняют в основном те же операции, что и при ремонте контакторов. В тепловых реле чаще всего повреждаются (перегорают) нагревательные элементы, которые заменяются новыми.

Контакты магнитных пускателей покрываются металлокерамическими наплавками, повышающими продолжительность их

работы. При износе наплавки контакты следует заменить равноценными (заводского изготовления).

Проверку и испытание магнитного пускателя выполняют по программе и нормам завода-изготовителя. Результаты испытаний не должны отличаться от паспортных данных более чем на 10%.

4.5. Ремонт предохранителей

Предохранители предназначены для защиты электрических цепей от токов короткого замыкания или недопустимых токов нагрузки и характеризуются номинальными токами плавкой вставки и предохранителя. *Номинальным током плавкой вставки* называют ток, при котором она должна работать в течение продолжительного времени, а *номинальным током предохранителя* – наибольший из номинальных токов плавких вставок, используемых в данном предохранителе.

В случае прохождения через плавкую вставку предохранителя тока, превышающего ее номинальный ток, вставка перегорает и разрывает электрическую цепь, отключая защищаемый участок от остальной части электроустановки. В электроустановках напряжением до 1000 В широко применяются предохранители ПР (рис. 4.7) и ПН (рис. 4.8).

Предохранитель ПР состоит из контактных стоек и закрытого разборного патрона, внутри которого располагается плавкая вставка. Чтобы избежать выпадения предохранителя при электродинамических усилиях, возникающих в защищаемой электрической цепи при коротком замыкании, в контактах обеспечиваются необходимые нажимы за счет пружинящих свойств материала скобы контактных стоек (в предохранителях 15–60 А), стальной кольцевой или пластинчатой пружины (в предохранителях на 100–350 А) и специального зажима с рукояткой, установленного на контактной стойке.

Патрон предохранителя ПР представляет собой фибровую трубку с толщиной стенок 3–6 мм, на концах которой накручены латунные втулки с прорезями для плавкой вставки. На втулку надевают латунные колпачки, которые служат контактами в предохранителях на номинальные токи до 60 А. В предохранителях на 100–1000 А контактами являются медные ножи.

Плавкие вставки представляют собой пластины, имеющие один или несколько участков сужения. При перегрузках плавкая вставка перегорает на одном участке сужения, а при коротком замыкании – на нескольких одновременно.

Плавкие вставки изготавливают из листового цинка марки ЦО или ЦН штамповкой. При плавлении вставки пары цинка ускоряют

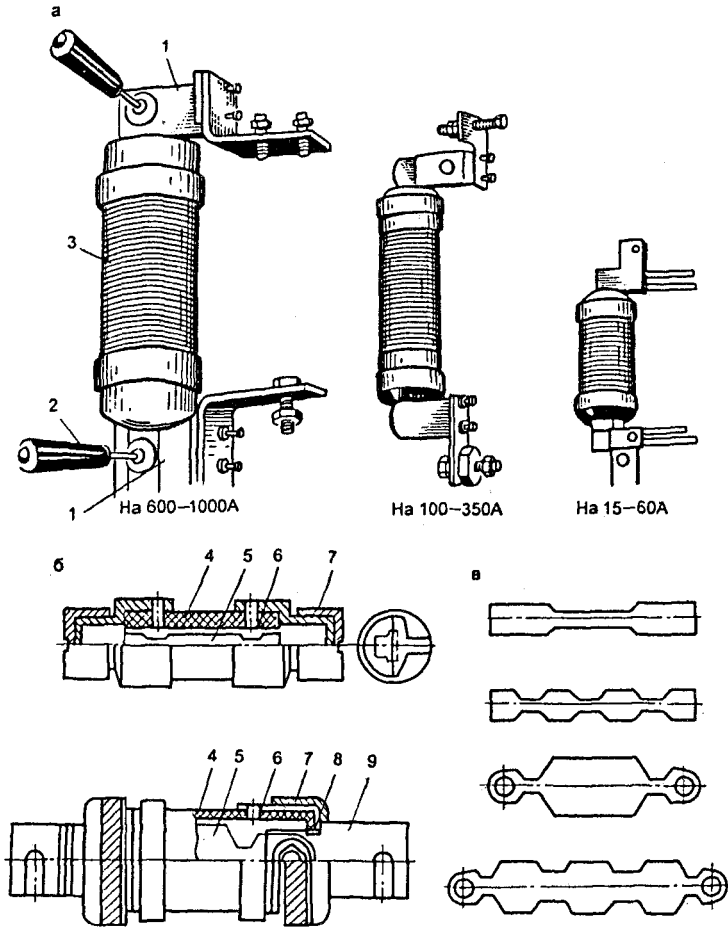


Рис. 4.7. Разборные предохранители ПР на номинальные токи 15 - 1000 А с ненаполняемыми патронами:

а - общий вид; *б* - патроны предохранителей на токи 15 - 60 А и 100 - 1000 А; *в* - конструкции плавких вставок; 1 - контактная стойка; 2 - рукоятка зажима; 3 - разборный патрон; 4 - фибровая трубка; 5 - плавкая вставка; 6, 7 - латунные втулка и колпачок; 8 - фиксирующая шайба; 9 - контактный нож

ют процесс рекомбинации ионов, благодаря чему улучшаются условия деионизации дугового пространства. А это содействует быстрому гашению электрической дуги в патроне. Отсутствие в патроне заполнителя ухудшает условия гашения дуги. Более совершенными по конструкции и характеристикам являются предохранители ПН, которые состоят из фарфорового патрона (квад-

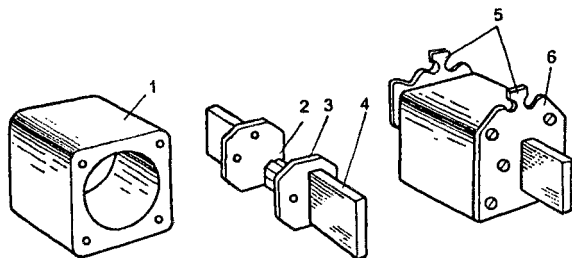


Рис. 4.8. Разборный предохранитель ПН с патроном, наполняемым кварцевым песком:

1 – фарфоровый патрон; 2 – плавкая вставка; 3 – шайба; 4 – контактный нож; 5 – выступы для снятия патрона из контактов и установки его в контактах; 6 – крышка патрона

ратного снаружи и круглого внутри) и плавкой вставки, приваренной к шайбам контактных ножей. Эти ножи, выступающие из патрона, фиксируются прорезями в крышках, прикрепленных к торцам патрона винтами. Патрон заполняется сухим кварцевым песком. Для предохранения песка от увлажнения патрон герметизируется прокладкой (между крышкой и патроном) из листового асбеста толщиной 0,8–1 мм.

Плавкая вставка предохранителя ПН представляет собой одну или несколько ленточек из меди толщиной 0,15–0,35 мм, шириной до 4 мм, с просечками длиной 6–12 мм. При использовании плавкой вставки, состоящей из нескольких параллельных ленточек, уменьшается ее общее сечение при заданном номинальном токе, а следовательно, и количество паров металла в патроне при ее перегорании. Это облегчает гашение дуги в патроне, так как при перегорании ленточек плавкой вставки создается одновременно несколько параллельных дуг, что способствует интенсивному рассеиванию энергии.

Для обеспечения быстрого плавления вставки предохранителя и повышения его защитного действия при малых перегрузках на ленточки вставки напаивают оловянные шарики диаметром 0,5–2 мм. Эти шарики позволяют использовать так называемый металлургический эффект. Сущность его заключается в том, что при нагревании вставки оловянный шарик с более низкой температурой плавления расплавляется раньше, чем вставка, и, проникая в нее, образует сплав металла, который по сравнению с исходным материалом обладает большим электрическим сопротивлением. При токах перегрузки вставка перегорает в месте напайки оловянного шарика.

Предохранители ПР и ПН характеризуются токоограничивающей способностью, так как плавкая вставка в них перегорает раньше, чем ток короткого замыкания успеет достигнуть устойчивого значения.

В ремонтных мастерских можно изготовить плавкую вставку из *калиброванной проволоки*, т. е. проволоки из легкоплавких металлов или сплавов, имеющей конкретный диаметр и рассчитанной на определенный ток (калибровку проволоки проводят на специальном стенде).

Расчет необходимого номинального значения тока плавкой вставки $I_{\text{вст.ном}}$ ведут с учетом эксплуатационных перегрузок и пуска защищаемой установки. Так, пусковой ток асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором может превышать номинальное значение тока в 7 раз. По мере разгона двигателя пусковой ток уменьшается до номинального. Длительность пуска зависит от характера нагрузки. Например, для привода металлорежущих станков с относительно небольшим моментом инерции механизма время разгона АД составляет около 1 с, а для центрифуги, обладающей большим моментом инерции, длительность пуска может достигать 10 с и более. Предохранитель не должен перегорать при воздействии на него пусковых токов. Параметры плавкой вставки в процессе эксплуатации должны быть стабильными, т. е. не должно происходить ее старения. Экспериментально установлено, что старение плавкой вставки не происходит при токах, равных $0,5 I_{\text{пл}}$, где $I_{\text{пл}}$ — ток плавления вставки. Из времятоковой характеристики предохранителя ПН-2 для времени 1 с его вставка плавится при токе, равном $5 I_{\text{вст.ном}}$. Если пуск АД длится 1 с, то среднее значение пускового тока за этот период должно быть не более $0,5 I_{\text{пл}}$ плавкой вставки за это же время. Таким образом, пусковой ток $I_{\text{п}}$ связан с током плавления $I_{\text{пл}}$ соотношением

$$I_{\text{п}} = 0,5 I_{\text{пл}} = 0,5 \cdot 5 I_{\text{вст.ном}},$$

откуда

$$I_{\text{вст.ном}} = 0,4 I_{\text{п}},$$

т. е. номинальный ток вставки выбирают в зависимости от пускового тока нагрузки.

При тяжелых условиях пуска АД (привод центрифуги и др.) или повторно-кратковременном режиме, когда пуски происходят с большой частотой, плавкая вставка выбирается с еще большим запасом по току:

$$I_{\text{вст.ном}} = (0,5 - 0,6) I_{\text{п}}.$$

Если предохранитель стоит в линии, питающей несколько АД,

$$I_{\text{вст.ном}} = 0,4 [I_{\text{р}} + (I_{\text{п}} - I_{\text{ном.дв}})],$$

где I_p – расчетный номинальный ток линии, равный сумме номинальных токов всех двигателей; $I_{\text{ном.дв}}$ – номинальный ток двигателя, имеющего наименьшую мощность.

Для АД с фазным ротором, если $I_{\text{п}} < 2I_{\text{ном.дв}}$,

$$I_{\text{вст.ном}} = (1 - 1,25) I_{\text{ном.дв}}.$$

Если двигатель работает в повторно-кратковременном режиме, в качестве номинального тока двигателя берут ток в режиме ПВ = 25%.

Номинальное напряжение предохранителя должно быть равно номинальному напряжению электрической сети.

При ремонте предохранителей ПР и ПН с контактных поверхностей губок и патронов удаляют грязь, оксидные пленки и частицы расплавленного металла. Окислившиеся контакты зачищают стеклянной бумагой, а обгоревшие и оплавленные – надфилем. Затем разбирают патрон, проверяют состояние внутренних токопроводящих частей и плавких вставок. Дефекты устраняют, а плавкую вставку, долго находившуюся в эксплуатации, заменяют новой. Вставки в предохранителях соседних фаз независимо от их состояния также меняют. Они должны быть однотипными, заводского изготовления и строго соответствовать значениям номинального тока предохранителя и тока защищаемой линии. При осмотре патрона предохранителя ПР обращают внимание на целостность и степень износа его стенок, так как при частых перегрузках плавкой вставкой стенки патрона выгорают под воздействием высокой температуры дуги. При выгорании стенок патрона более чем на 50% первоначальной толщины патрон заменяют новым.

Фибра, из которой изготавливают патрон предохранителя ПР, представляет собой электротехнический картон, пропитанный под давлением раствором хлористого цинка. При перегорании плавкой вставки под воздействием высокой температуры дуги фибра выделяет пары цинка и хлористый газ, которые способствуют быстрому гашению дуги (деионизации дугового пространства).

При ремонте патрона стенки очищают от обгоревшей фибры, промывают, насухо вытирают чистой тряпкой, покрывают двумя слоями бакелитового лака или одним слоем клея БФ-2, а затем просушивают. После очистки внутренних токопроводящих деталей полость патрона предохранителя ПН наполняют сухим кварцевым песком, который предварительно обрабатывают 2%-м раствором соляной кислоты, промывают и просушивают при 150–180 °С.

Чтобы убедиться в наличии электрической цепи между плавкой вставкой и контактными частями, отремонтированный патрон проверяют контрольной лампой, а затем устанавливают (при отключенном напряжении) в губках предохранителя. При этом обращают внимание на наличие контакта между губками и патроном.

4.6. Ремонт реостатов

Аппарат, состоящий из омического сопротивления и коммутационного устройства, с помощью которого можно регулировать это сопротивление, называют *реостатом*. По назначению различают

реостаты пусковые (для пуска электродвигателей) и *реостаты возбуждения* (для регулирования напряжения генераторов). В зависимости от материала, из которого выполняют сопротивление, реостаты бывают *металлические, угольные и жидкостные*. По способу охлаждения резисторов (в них электрическая энергия преобразуется в теплоту) реостаты разделяют на *воздушные, масляные и водяные*. Большинство пусковых и пускорегулирующих металлических реостатов общепромышленного назначения выполнены со ступенчатым выключением резисторов. В электроустановках промышленных предприятий применяют преимущественно реостаты с металлическими резисторами и воздушным или масляным охлаждением из-за простоты их конструкции и эксплуатационной надежности.

Резисторы реостатов (рис. 4.9) выполняют из металлов и сплавов, обладающих высокими удельным сопротивлением, механической прочностью, температурой плавления и коррозионной стойкостью.

Аппарат, состоящий из омического сопротивления и коммутационного устройства, с помощью которого можно регулировать это сопротивление, называют *реостатом*. По назначению различают

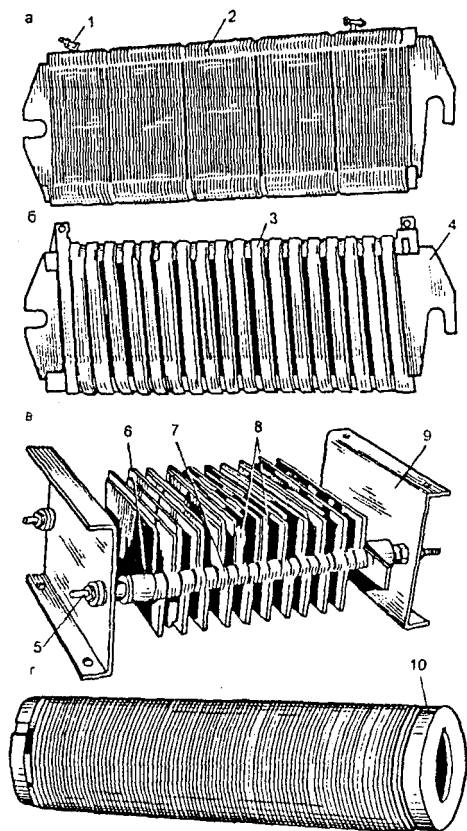


Рис. 4.9. Элементы сопротивлений (резисторы) реостатов:

а - рамочный из проволоки; б - рамочный из ленты; в - литой чугунный; г - каркасный; 1 - вывод; 2 - проволока сопротивления; 3 - лента сопротивления; 4 - рамка; 5 - изолированный стержень; 6 - изолятор пакета элементов; 7 - изоляционная межэлементная шайба; 8 - чугунные элементы сопротивления; 9 - опорная стойка; 10 - трубчатый каркас из фарфора

Это, например, фехраль (сплав железа, хрома и алюминия) и нихром с удельными сопротивлениями 1,18 и 1,13 Ом·мм²/м и максимально допустимой температурой 850 и 1000 °С соответственно. Фехраль шире распространен по сравнению с нихромом, так как является более дешевым и менее дефицитным. Но по своим механическим свойствам он напоминает чугун, что затрудняет его механическую обработку и не позволяет изготавливать из него тонкий провод для намотки реостатных секций. Меньшим удельным электрическим сопротивлением (0,8 Ом·мм²/м) и более низкой допустимой температурой нагревания (400 °С) обладает чугун. Резисторы из чугуна широко применяют в реостатах различного назначения из-за простоты их изготовления (путем литья) и сравнительно низкой стоимости.

Основные работы по ремонту реостатов включают разборку, ремонт или замену резисторов, контактных частей, изоляционных деталей и механизма управления, сборку схемы соединений, сборку и регулировку отремонтированного реостата.

Разборку производят осторожно, чтобы не повредить пригодные для повторного использования резисторы, изоляционные детали и контактные устройства. Поврежденные резисторы ремонтируют или заменяют новыми, а поврежденные электроизоляционные детали (изоляторы, втулки, шайбы, прокладки) заменяют новыми.

При ремонте реостатов особое внимание обращают на состояние их контактов: закопченные поверхности протирают чистыми тряпками, слегка обгоревшие – зачищают напильником, а сильно обгоревшие – заменяют новыми.

После выполнения всех операций ремонта проверяют непрерывность электрической цепи обмоток элементов сопротивления, правильность соединений схемы, надежность изоляции межрезисторных связей, плавность хода контактирующей щетки и правильность расположения упоров, ограничивающих ее перемещение. При необходимости отремонтированный реостат подвергают испытанию: ток реостата не должен превышать паспортных значений, а температура резисторов при нагрузке допустимым током в течение 2 ч – 250 °С.

Ремонт резисторов, контактов и коммутационного устройства наполненных реостатов выполняют так же, как и реостатов с воздушным охлаждением. После ремонта маслonaполненного реостата бак очищают от грязи, промывают, заливают чистым сухим трансформаторным маслом, после чего опускают реостат в бак и закрепляют его.

4.7. Ремонт тормозных электромагнитов и электромагнитных муфт скольжения

Тормозные электромагниты (рис. 4.10, а) предназначены для быстрой остановки механизмов, надежного удержания поднятого груза, сокращения продолжительности торможения механизмов и применяются в мостовых кранах, лифтах, шахтных подъемниках и др. Тормозные электромагниты бывают короткоходовые, длинноходовые, однофазные, трехфазные, постоянного и переменного тока и т. д. Независимо от величины хода, фазности и рода тока тормозные электромагниты имеют принципиально одинаковое устройство, различаясь главным образом конструкцией отдельных частей, определяемой назначением электромагнита и его ролью в схеме управления механизмом. Например, короткоходовый однофазный тормозной электромагнит состоит из обмотки, которая включается параллельно со статорной обмоткой электродвигателя, и системы рычагов. При отключении электромагнита с параллельно включенной обмоткой энергия магнитного поля гасится с помощью разрядного резистора. Тормозной электромагнит включается в систему управления механизмом так, что в момент отключения электродвигателя одновременно отключается и катушка электромагнита, якорь электромагнита падает и уже не удерживает растянутую пружину, которая сжимается и действует на рычаги; рычаги вместе с закрепленными на них тормозными колодками сближаются, шкив между колодками зажимается и

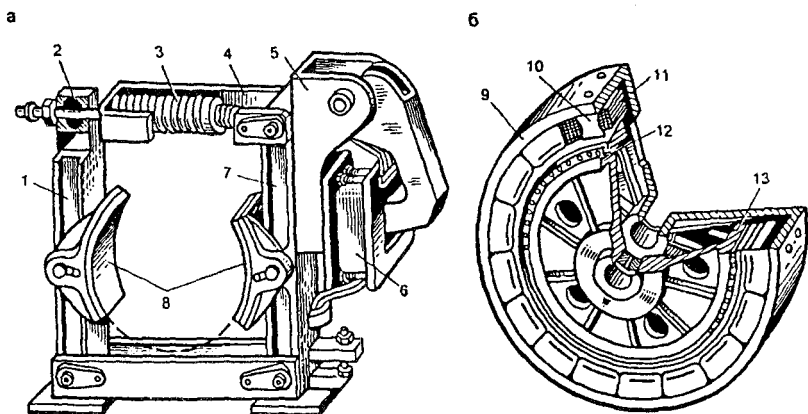


Рис. 4.10. Электромагнитные устройства кранов и механизмов: а – тормозной электромагнит; б – электромагнитная муфта; 1, 7 – рычаги; 2 – шпилька; 3 – пружина; 4 – скоба; 5 – электромагнит; 6 – катушка; 8 – тормозные колодки; 9 – внешний (статорный) обод муфты; 10 – полус; 11 – обмотка полюса; 12 – «беличья клетка»; 13 – внутренний (роторный) обод муфты

тормозится. Таким образом гасится инерция вращения вала электродвигателя или движения механизма.

При тяжелых режимах работы наиболее часто повреждаются такие части тормозных электромагнитов, как обмотки катушки и пружина. Катушки сравнительно легко поддаются ремонту сушкой, перемоткой поврежденной части или намоткой новой обмотки. Поврежденные пружины, как правило, заменяют новыми из комплекта запасных частей, поставляемых заводом – изготовителем тормозных электромагнитов.

При ремонте тормозных электромагнитов проверяют сопротивление изоляции обмотки катушки мегаомметром на 1000 В (оно должно быть не менее 0,5 МОм). Если сопротивление изоляции ниже 0,5 МОм, катушку сушат в шкафу при 60–70 °С до восстановления ею изоляции или заменяют новой. Затем проверяют площадь и плотность прилегания якоря электромагнита к сердечнику, которая должна быть не менее 70% площади сердечника, в противном случае якорь и сердечник шабруют вдоль листов пакета стали. Для проверки площади между сердечником и якорем электромагнита прокладывают сложенные вместе листы белой и копировальной бумаги, а затем, прижав якорь к сердечнику, получают на бумажном листе отпечаток, по площади которого определяют реальную площадь соприкосновения якоря и сердечника. Плотность прилегания якоря к сердечнику проверяют щупом 10×0,05 мм, который не должен входить между ними на глубину больше 6 мм.

После этого определяют состояние пружины. Витки разжатой пружины должны находиться один от другого на одинаковых расстояниях, а на их поверхностях не должно быть трещин и вмятин. Все подвижные детали электромагнита должны быть надежно закреплены и легко перемещаться в заданных пределах. При необходимости применяют контргайки и шплинты. Крепежные резьбовые детали (болты, шпильки, стержни) не должны иметь поврежденных участков резьбы.

По окончании ремонта тормозной электромагнит проверяют включением и отключением (10–15 циклов). Повторное испытание электромагнита проводят после установки его на место включением и отключением (10–15 циклов), проверяя его тормозное действие.

Данные о ремонте заносят в формуляр механизма: указывают дату ремонта, перечень выполненных ремонтных работ, исполнителей ремонта и результаты испытаний.

Электромагнитная муфта скольжения (рис. 4.10, б) состоит из наружного статора, на котором закреплены полюсы с обмоткой возбуждения, и внутреннего ротора с «беличьей клеткой». По

конструкции и принципу действия электромагнитная муфта скольжения аналогична асинхронному электродвигателю. Ее применяют для регулирования производительности роторных механизмов (дымососов, вентиляторов, центробежных насосов).

В электромагнитных муфтах повреждаются преимущественно обмотки возбуждения полюсов: происходит пробой изоляции между ее витками (межвитковое замыкание) или между обмоткой и полюсом муфты.

При необходимости восстановления витковой изоляции снимают поврежденную обмотку с полюса и изолируют поврежденный участок теми же изоляционными материалами, которые используются заводом-изготовителем. Затем полюсную обмотку собирают, пропитывают лаком, нагревают до 100–120 °С, спрессовывают при усилии 25–30 кПа и, не снимая усилия, доводят температуру нагрева до 160–180 °С и выдерживают обмотку при этой температуре в течение 1,5–2 ч. После охлаждения обмотки на нее накладывают общую изоляцию (если она применяется в заводском исполнении). Далее обмотку надевают на полюс и закрепляют ее так же, как и на соседних полюсах.

Намотку новой полюсной обмотки возбуждения выполняют по образцу поврежденной, выдерживая внешние и внутренние размеры, технологию намотки и применяя те же электроизоляционные материалы, что и завод-изготовитель. Для намотки используют медные провода тех же марок и сечений, что и в поврежденной обмотке, а в некоторых случаях провод поврежденной обмотки после его обжига, очистки и восстановления изоляции.

В новой обмотке проверяют омическое сопротивление провода (оно не должно отличаться от паспортного значения более чем на $\pm 10\%$). Учитывая специфические особенности конструкции, разборку и сборку электромагнитной муфты, ее испытание после ремонта выполняют в соответствии с указаниями и нормами завода-изготовителя.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как делятся электрические аппараты по назначению?
2. Каким образом выполняется контактная система мощных автоматических выключателей?
3. В чем заключается ремонт контакторов?
4. Для чего служит тепловое реле и как оно действует?
5. Как изготавливаются плавкие вставки предохранителей?
6. В чем состоит ремонт реостатов?
7. Где применяются тормозные электромагниты и как они действуют?
8. Какие повреждения бывают в электромагнитных муфтах скольжения?

РЕМОНТ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 10 кВ

5.1. Общие сведения

Электроэнергия вырабатывается на электрических станциях генераторами с напряжением 10–20 кВ. Передача электроэнергии на большие расстояния по техническим и экономическим причинам осуществляется при значительно больших напряжениях (500–750 кВ переменного тока и выше). Поэтому на электрических станциях устанавливают повышающие трансформаторы, от которых электроэнергия повышенного напряжения поступает в линии для передачи в районы ее потребления. Там имеются подстанции с трансформаторами, понижающими напряжение до 220, 110, 35, 10 и 6 кВ. Затем энергия передается дальше и распределяется между потребителями (предприятиями и др.).

Генераторы электростанции, повышающие и понижающие трансформаторы, линии электропередачи различных напряжений и потребителей, связанные общим режимом и непрерывностью процесса производства, распределения и потребления электроэнергии, образуют *электрическую систему*. Отдельные электрические системы соединяются между собой линиями высоких напряжений, образуя *единую электрическую систему* крупного района и даже страны.

Сети промышленных предприятий рассчитаны в основном на напряжение 20 и 10 кВ и являются частью электрической системы. Они питаются от распределительных устройств (РУ) вторичного напряжения понижающих трансформаторных подстанций (ТП) или распределительных пунктов (РП).

Распределительным устройством называется электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

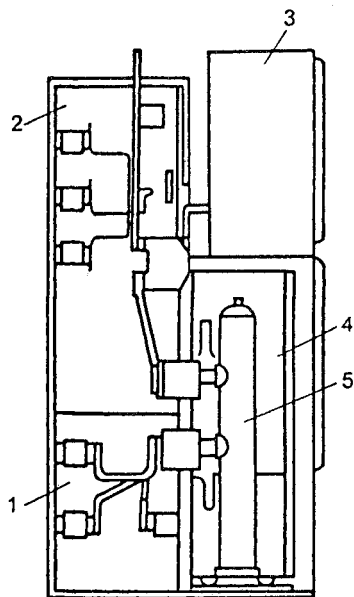


Рис. 5.1. Шкаф КРУ с треугольным расположением сборных шин: 1, 2, 3, 4 – отсеки сборных шин, шинных разъединителей, приборов и выкатной тележки; 5 – масляный выключатель

Распределительным пунктом называется РУ, предназначенное для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении без преобразования и трансформации, не входящее в состав подстанции.

Распределительные устройства на РП, РТП и ТП предназначены только для распределения электроэнергии к электроприемникам. Распределительные устройства напряжением до 10 кВ обычно располагаются в помещении и называются **закрытыми (ЗРУ)**; РУ и ТП промышленных предприятий монтируют обычно в специальных отдельных зданиях или помещениях. В зависимости от компоновки в них оборудование ТП можно разделить на подстанции, в которых оно расположено в одном помещении, и подстанции, где РУ напряжением 10 кВ, до 1000 В, а также трансформаторы находятся в отдельных помещениях. РУ могут быть **комплектными**, т. е. состоять из шкафов, в которых

смонтированы коммутационные аппараты, устройства защиты, автоматики и телемеханики, измерительные приборы и вспомогательные устройства, поставляемые на место установки комплектно в собранном или полностью подготовленном для сборки виде. Существуют два принципиально отличающихся друг от друга комплектных РУ напряжением 10 кВ: типа КРУ и типа КСО (рис. 5.1, 5.2).

Оборудование КРУ монтируется стационарно или на тележках, в шкафах, являющихся одновременно их сплошным защитным ограждением.

Оборудование КСО монтируется только стационарно и имеет частичное ограждение.

В РУ применяют медные, алюминиевые и стальные шины. **Медные шины** обладают наилучшей проводимостью, механической прочностью и коррозионной стойкостью.

Алюминиевые шины менее дефицитные, поэтому их чаще всего используют в ЗРУ. Алюминий в 3,3 раза легче меди, но имеет большее (в 1,68 раза) удельное сопротивление. Недостатками алю-

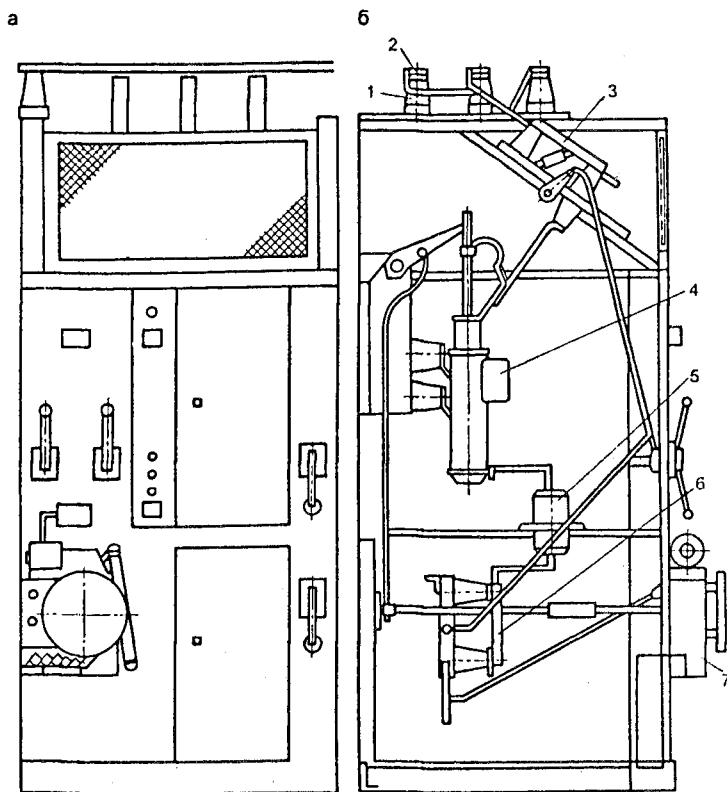


Рис. 5.2. Комплексные распределительные устройства:

a – КСО-2УМЗ; *б* – КСО-285; 1 – опорные изоляторы; 2 – сборные шины; 3, 6 – шинные и линейные разъединители; 4 – масляный выключатель; 5 – трансформаторы тока; 7 – привод выключателя

миния являются: невысокая техническая прочность при растяжении, образование оксидной пленки при окислении, которая имеет значительное электрическое сопротивление; трудность устранения этой пленки и защиты мест соединений от дальнейшего окисления; образование гальванической пары при увлажнении мест соединений алюминия с другими металлами, что приводит к быстрому его разрушению.

Стальные шины имеют значительное удельное сопротивление постоянному току (примерно в 7 раз больше, чем медные), низкую коррозионную стойкость, легко окисляются (ржавеют на воздухе), электрическое сопротивление переменному току значительно увеличивается, так как сталь является магнитным материалом и ток вытесняется из середины проводника к его поверхности. Однако

стальные шины дешевые, поэтому их применяют в сравнительно маломощных установках при небольших токах нагрузки.

Для электрической изоляции и механического крепления частей электрических устройств, находящихся под разными потенциалами, в РУ используются фарфоровые изоляторы.

Кроме этого, в комплектных РУ (6–10 кВ) шины ВН выполняются изолированными для повышения электрической прочности промежутков (а также для уменьшения этих промежутков) между шинами и заземленными конструкциями.

К электрооборудованию ЗРУ напряжением до 10 кВ также относятся: предохранители, разъединители, высоковольтные выключатели (выключатели нагрузки, масляные и электромагнитные выключатели и др.), приводы к разъединителям и выключателям, силовые и измерительные трансформаторы, реакторы, станции управления и др.

Электрооборудование РУ должно удовлетворять как номинальному режиму работы, так и режиму короткого замыкания. Как известно, токи короткого замыкания вызывают интенсивное выделение теплоты (нагрев – основная причина старения изоляции, а следовательно, и сокращения срока службы электрооборудования). Кроме этого, при их прохождении возникают электродинамические силы, действующие на шины, изоляторы и удерживающие конструкции. Поэтому для обеспечения надежной работы электрооборудование должно быть устойчивым к действию токов короткого замыкания и проверяться на термическую и динамическую устойчивость. Механические усилия на опорные и проходные изоляторы при коротком замыкании должны быть не более 60% наименьших разрушающих усилий. Допустимые температуры нагрева проводников при коротком замыкании составляют: для медных шин – 300 °С, алюминиевых – 200, кабелей с бумажной пропитанной изоляцией – 200, с полиэтиленовой изоляцией – 120 °С. Для ограничения токов короткого замыкания на отходящих кабельных линиях или в цепях понижающих трансформаторов мощных станций и подстанций применяют *реакторы*, которые представляют собой катушки с большим индуктивным и малым активным сопротивлениями.

При проведении ремонта основного оборудования РУ напряжением до 10 кВ используют типовые технологические карты. Так, типовая технологическая карта на текущий ремонт масляных выключателей напряжением 10 кВ предусматривает:

- последовательность операций ремонта, включая оформление наряда и допуска бригады, оформление окончания работ;
- инструмент, приборы, приспособления и защитные средства;

- материалы и запасные части;
- состав бригады;
- условия труда и меры безопасности;
- трудозатраты (чел.-ч);
- приемо-сдаточные испытания (с указанием норм испытаний согласно ГОСТу).

5.2. Осмотр электрооборудования

Перед капитальным ремонтом оборудование осматривают и составляют ведомости объемов работ, которые затем уточняются. При осмотре проверяют состояние контактных соединений, изоляторов, уровень масла в маслонаполненных аппаратах, температуру масла в трансформаторах, исправность концевых заделок кабелей, плавких предохранителей и осветительной проводки, защитных средств и контура заземления, показания измерительных приборов и т. д.

Все недостатки заносят в ведомость дефектов (объема работ), на основе которой выписываются необходимые материалы и запасные части для выполнения ремонтных работ.

При ремонте выполняются все работы, указанные в ведомости дефектов и выявленные в процессе ремонта.

5.3. Проверка контактных соединений шин

Отключение для ремонта любого РУ вызывает нарушение схемы электроснабжения потребителей, поэтому ремонт должен начинаться со сборных шин и линейных соединений, т. е. с транзитной части РУ. Такой порядок позволяет при необходимости, не закончив весь объем ремонтных работ, включить сборные шины и создать нормальную схему для других подстанций.

При ремонте шины очищают от пыли, проверяют их крепление и контактные соединения. Рабочие поверхности контактных соединений непосредственно перед сборкой подготавливают: медные – зачищают, алюминиевые – зачищают и покрывают нейтральной смазкой (вазелином, ЦИАТИМ-221 и т. п.), с защитным покрытием – промывают органическим растворителем. Поверхности сварных или паяных деталей предварительно зачищают и обезжиривают.

Электрическое сопротивление разборных соединений не должно превышать начальное значение более чем в 1,5 раза, а сварных и паяных должно оставаться неизменным.

При эксплуатации контакты контролируют постоянными или переносными термоиндикаторами. В качестве стационарного индикатора применяют специальную пленку, наклеиваемую вблизи

контактов. При 60–70 °С термопленка становится красной, а при дальнейшем нагревании темнеет, что указывает на плохой контакт. При выявлении дефектного контакта его поверхность обрабатывают. Контактные поверхности до обработки и после нее проверяют стальным угольником на отсутствие неровностей.

Швы стыков соединяемых шин (алюминиевых, медных с алюминиевыми) в сырых помещениях покрывают двумя-тремя слоями глифталевого лака.

По окончании проверки шины при необходимости вновь окрашивают эмалью в желтый (фаза А), зеленый (В) и красный (С) цвет.

5.4. Ремонт изоляторов

Изоляторы используются в высоковольтных и низковольтных аппаратах, на распределительных и трансформаторных подстанциях и служат для изоляции и механического крепления частей электрических устройств.

Наиболее распространенным материалом для изоляторов на 6–10 кВ является фарфор. В последние годы его стали заменять эпоксидными смолами.

Фарфоровые изоляторы делятся на опорные, проходные и аппаратные.

Опорные изоляторы служат для крепления шин и отдельных частей аппаратов и изоляции их от заземленных конструкций и других элементов РУ. Опорный изолятор (рис. 5.3) состоит из фар-

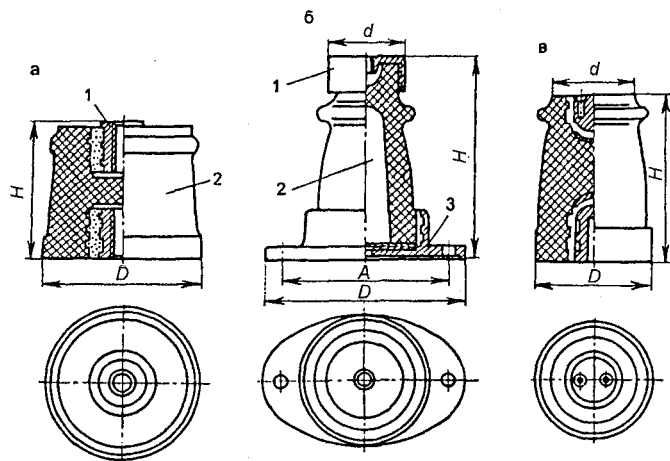


Рис. 5.3. Опорные изоляторы:
а – ИО-1-375; б – ИО-10-375ов; в – ИО-10-375

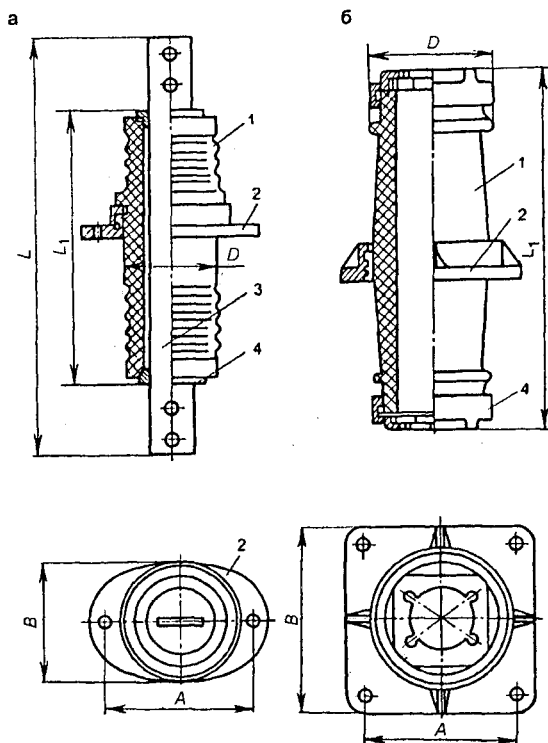


Рис. 5.4. Проходные изоляторы:
 а – ИП-10/400-750; б – ИП-10/2000-2000

фарфорового полового корпуса 2, покрытого снаружи глазурью, верхней арматуры (колпачка) 1 для крепления шин и фланца 3. Металлические детали с антикоррозийным покрытием крепятся к фарфору цементирующим составом, а швы между фарфором и металлом покрываются водостойким лаком. Колпачки изоляторов имеют резьбовые отверстия, в которые закручивают крепежные детали при монтаже шин. Фланцы могут быть овальными, круглыми и квадратными.

Проходные изоляторы (рис. 5.4) используют при прокладывании шины через стены, перегородки и перекрытия. Они состоят из фарфорового корпуса 1, в котором проходит токопроводящая шина 3, колпачков-держателей 4 (на концах корпуса) и фланца 2, армированного в середине корпуса. Проходные изоляторы на токи до 2000 А выпускаются с токопроводящей шиной из алюминия или

меди, которая имеет на концах отверстия для соединения ее с токопроводами.

В электрических аппаратах используются специальные *аппаратные изоляторы* разнообразных конструкций.

При ремонте изоляторы (после их протирки) внимательно осматривают: не появились ли за межремонтный период на поверхности глазури трещины и сколы площадью более 1 см^2 и глубиной 1 мм, прочная ли армировка колпачков и фланцев. Изоляторы со сколами площадью до 1 см^2 не меняют, а дефектные места покрывают двумя слоями бакелитового или глифталевого лака, просушивая каждый слой.

Если повреждена армировка, ее восстанавливают. При армировании фарфоровую и металлическую поверхности очищают от грязи и масла, а затем поврежденные места заполняют замазкой (1 ч. портландцемента и 1,5 ч. песка, перемешанных с водой в пропорции 100 ч. смеси на 40 ч. воды), которую можно использовать в течение 1–1,5 ч. Если необходимо восстановить армировку изоляторов, контактирующих с трансформаторным маслом, используют состав из 3 ч. глета и 1 ч. технического вазелина. При изготовлении этой замазки выделяются вредные газы, поэтому помещение необходимо хорошо проветривать.

Если на изоляторах имеются большие сколы и трещины, их заменяют новыми.

5.5. Ремонт предохранителей

Принцип действия всех *предохранителей* основан на плавлении калиброванной проволоки (плавкой вставки) при прохождении через нее тока, превышающего номинальный. Чем больше кратность проходящего тока по отношению к номинальному, тем меньше время плавления проволоки. Наиболее пригодным для плавкой вставки материалом считают медь, несмотря на высокую температуру ее плавления ($1080 \text{ }^\circ\text{C}$). Для сокращения времени и снижения температуры, под действием которой оказываются элементы предохранителей, на медные проволочки напаивают оловянные шарики, которые плавятся при $232 \text{ }^\circ\text{C}$, расплавляя более тугоплавкую медь.

Плавление вставки, как правило, сопровождается возникновением дуги. По способу гашения дуги предохранители делятся на открытые, закрытые и закрытые с кварцевым наполнителем. В *открытых предохранителях* дуга гаснет в результате увеличения расстояния между электродами, в *закрытых* – из-за большого давления в патроне, куда помещена плавкая вставка, и стреми-

тельного потока газов к открытым концам патрона, в закрытых с кварцевым наполнителем — за счет большого давления и деионизации дуги, соприкасающейся с поверхностью кварцевых песчинок.

Предохранители с кварцевым наполнителем обладают наибольшей отключающей способностью, имеют простую конструкцию и поэтому широко применяются в сетях напряжением до 1000 В, а также 6 и 10 кВ. Наиболее распространены предохранители ПКТ, ПКН, ПН, ПР.

Кварцевый предохранитель ПКТ (рис. 5.5) представляет собой стеклянный или фарфоровый патрон 1 с армированными по концам латунными колпачками 4. Он установлен в контактные держатели 6, которые закреплены на двух фарфоровых изоляторах 7. В патрон помещены засыпанные кварцевым песком 2 и запаянные плавкие вставки 3 (спиральные или намотанные на ребристый керамический стержень). Нижний колпачок предохранителя имеет устройство 5 в виде проволочки, закрепленной в верхнем колпачке и удерживающей в сжатом состоянии пружину, соединенную с цилиндрическим указателем. При перегорании плавкой вставки и проволочки пружина освобождается и выталкивает указатель срабатывания.

Предохранитель ПКН (для трансформаторов напряжения) не имеет указателя срабатывания. Его плавкая вставка (из константана) намотана на керамический стержень.

Предохранитель с наполнителем ПН-2 (рис. 5.6) имеет плавкую вставку с напаянными оловянными шариками. Разборные предохранители ПР-2 (рис. 5.7) выпускаются на токи до 1000 А с изоляцией, рассчитанной на напряжение 2000 В.

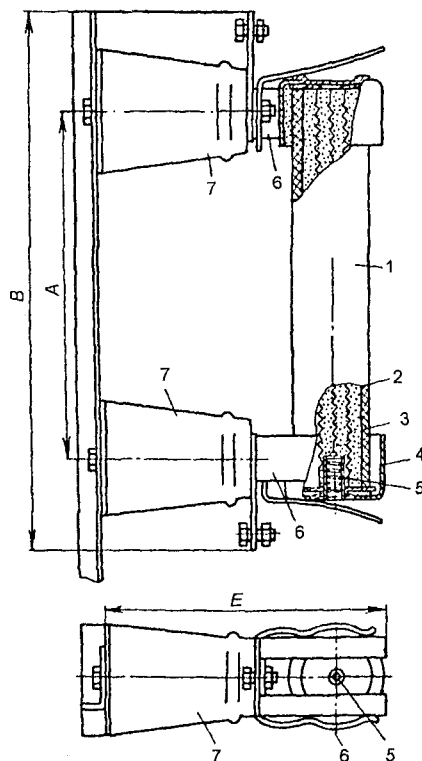


Рис. 5.5. Кварцевый предохранитель ПКТ

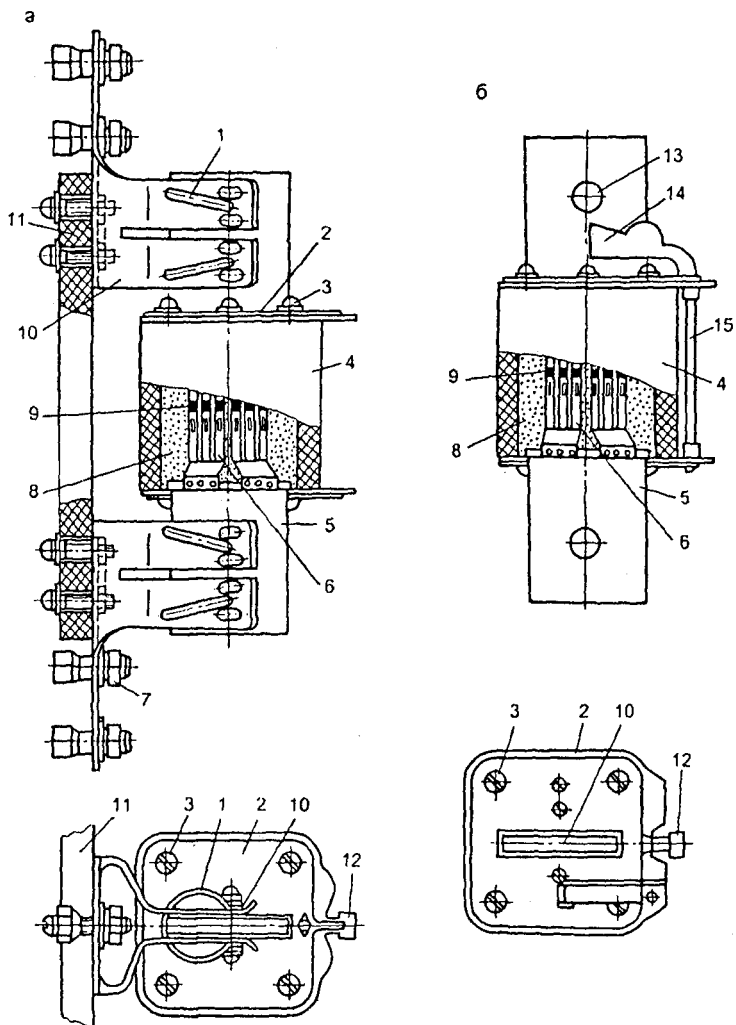


Рис. 5.6. Предохранители с кварцевым наполнителем:

a - ПН-2; *б* - ПП-17; 1 - стальные пружинящие кольца контактов; 2 - металлические крышки; 3 - винт; 4 - фарфоровый патрон; 5, 7, 10 - контактные ножи, болты и стойки; 6 - плавкие вставки; 8 - кварцевый песок; 9 - оловянный шарик (растворитель); 11 - изоляционная плита; 12 - Т-образные выступы; 13 - отверстие для соединительного болта; 14 - сигнализирующее контактное устройство; 15 - указатель срабатывания

Предохранители ремонтируют обычно одновременно с остальным оборудованием подстанции и при выявлении дефектов, требующих их устранения. Плановый ремонт начинается с очистки от

пыли и грязи опорных изоляторов с контактами и патрона. Затем путем внешнего осмотра проверяют целостность фарфоровой изоляции и армировки латунных колпачков на торцах патронов. Треснувшие опорные изоляторы и патроны заменяют, а нарушенную армировку восстанавливают.

Проверяют также плотность соприкосновения контактных поверхностей колпачков или ножей с пружинящими контактами. При необходимости подгибают контактные зажимы и железную скобу. Если медь зажимов в результате перегрева потеряла упругость, контакты заменяют.

Нажимая на цилиндрический указатель срабатывания предохранителя ПКТ, проверяют легкость его движения внутри патрона. При необходимости предохранитель заменяют.

Кроме того, проверяют качество соединений предохранителей с ошиновкой. Плохой контакт вызывает превышение допустимой температуры контактных зажимов патрона, плавкой вставки и может привести к ошибочному срабатыванию предохранителя. В процессе ремонта необходимо проверить соответствие номинального напряжения и тока перегрузки защищаемой установки или участка сети, так как в противном случае могут быть ошибочные отключения или повреждение защищаемой установки.

Перезарядку предохранителей с кварцевым наполнителем выполняют в ремонтных мастерских в соответствии с заводской инструкцией.

5.6. Ремонт разъединителей

Разъединители предназначены для включения и отключения участков электрической сети или электрических установок, не находящихся под нагрузкой. С помощью разъединителей отключа-

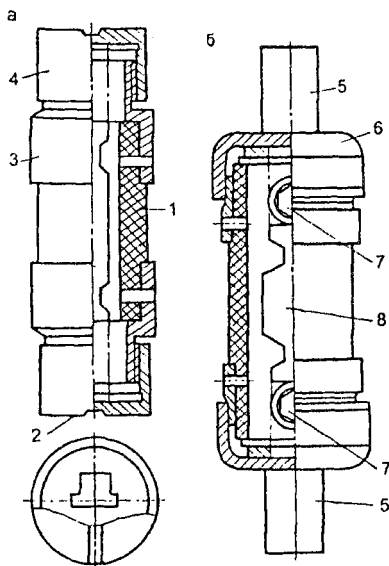


Рис. 5.7. Предохранитель ПР-2 с патронами на токи:

a – 15–60 А; *б* – 100–1000 А; 1 – фибровая трубка; 2 – шайба; 3 – латунные кольца; 4, 6 – латунные колпачки; 5 – контактный нож; 7 – болт; 8 – плавкая вставка

ют от электрической сети различные аппараты, оборудование, кабельные и воздушные линии, на которых должны выполняться ремонтные, наладочные или испытательные работы.

Разъединители внутренней установки напряжением до 10 кВ на токи до 1000 А выпускаются различных типов. Наиболее распространенными являются однополюсные, трехполюсные с заземляющими ножами и трехполюсные с проходными изоляторами и заземляющими ножами. Заземляющие ножи не требуют переносных заземлений, упрощают процесс заземления, сокращают время, необходимое для этого, создают условия, исключающие нарушение правил безопасности. Блокировка между подвижными контактами и заземляющими ножами разъединителей (а также между разъединителями и выключателями) исключает заземление частей, находящихся под напряжением.

Разъединитель (рис. 5.8) представляет собой металлическую раму 1 с изоляторами 2, на которых закреплены медные неподвижные (губки) 3 и подвижные (ножи) 4 контакты. Нож однополюсного разъединителя во включенном состоянии запирается специальным зацепом 5 во избежание самовольного отключения под действием своей массы или вибраций. Зацеп имеет ушко, с помощью которого изолированной штангой выполняется включение и отключение разъединителя. Трехполюсные разъединители снабжаются механизмами включения и отключения токоведущих ножей заземления. Подвижные контакты соединены с рычагами отключающих механизмов тягами из фарфора или другого изоляционного материала. Ограничение хода ножей и невозможность самовольного их отключения обеспечивает механизм привода, а плотность неподвижных и подвижных контактов разъединителя – пружинящие устройства 6, 7. Управление токоведущими ножами и ножами заземления осуществляется рычажным приводом ПР-10 или ПР-11. Привод ПР-10 применяется при установке разъединителя и его привода на разных стенах или противоположных сторонах одной стены, а ПР-11 – при установке разъединителей и привода на одной стороне стены. Включение и отключение разъединителей контролируют по положению рукоятки привода и сигнальным лампам.

Рама 1 разъединителя заземляется с помощью болта заземления 8.

Ремонт разъединителей включает ремонт изоляторов, токоведущих частей, приводного механизма и каркаса. Сначала изоляторы очищают от пыли и грязи (слегка смоченной в бензине тряпкой) и внимательно осматривают с целью выявления дефектов.

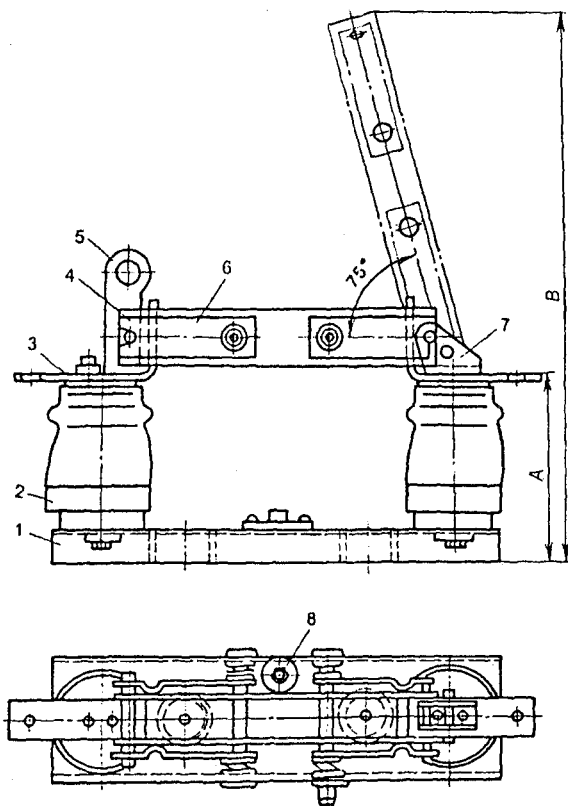


Рис. 5.8. Разъединитель РВО-6-10

Далее проверяют:

- крепление подвижных и неподвижных контактов на изоляторах, а также токоведущих шин и проходных изоляторов;
- отсутствие при включении смещения подвижного контакта относительно оси неподвижного. Если смещение вызывает удар подвижного контакта о неподвижный, изменяют положение неподвижного контакта;
- надежность контакта в месте соединения шин с неподвижными контактами (на стягивающих болтах должны быть контргайки);
- степень касания подвижного и неподвижного контактов с помощью щупа толщиной 0,05 мм, который должен проходить на глубину не более 5–6 мм. Изменение плотности достигается затяжкой спиральных пружин на неподвижных контактах. Однако плотность контактов должна быть такой, чтобы вытягивающее

усилие не превышало 100–200 Н для разъединителей РВО и РВ на ток до 600 А;

- одновременность касания ножей с губками трехфазового разъединителя. Регулировка достигается изменением длины проводов или тяг отдельных фаз;

- момент замыкания и размыкания блок-контактов. В случае включения цепь блок-контактов должна замыкаться при приближении ножей к губкам, а при выключении – после прохождения ножом 75% его полного хода. Регулировка производится изменением длины тяги блок-контактов и поворотом контактных шайб на шестигранном валу;

- целость пластин гибкой связи вала заземляющих ножей с каркасом разъединителя. Для надежности соединения поверхности заземляющей шины и рамы разъединителя плоскость вокруг отверстия для болта зачищают до блеска, смазывают тонким слоем вазелина и соединяют заземляющую шину с рамой болтом; чтобы избежать коррозии вокруг места соединения, болт окрашивают;

- точность работы механической блокировки вала разъединительных и заземляющих ножей. Трущиеся части разъединителей и привода покрывают незамерзающей смазкой, а при необходимости предварительно протирают смоченной в бензине тряпкой и зачищают шкуркой.

5.7. Высоковольтные выключатели

Высоковольтные выключатели служат для включения и отключения под нагрузкой электрических цепей в нормальных режимах работы и для автоматического отключения при коротких замыканиях в аварийных режимах.

В цепях с напряжением 10 кВ и более воздушный промежуток между расходящимися контактами настолько сильно ионизируется, что через него беспрепятственно проходит ток, т. е. горит электрическая дуга. Температура дуги составляет несколько тысяч градусов, и если ее быстро не погасить, то в считанные секунды контакты расплавляются, повреждаются близко расположенные приборы и аппараты. Интенсивность дуги зависит также от силы тока в цепи в момент его размыкания (чем больше ток, тем мощнее дуга и тем труднее ее погасить). Именно такие условия возникают в случаях, когда высоковольтный выключатель отключает цепь, в которой возникло короткое замыкание.

Отключение и включение токов короткого замыкания является наиболее тяжелым режимом работы выключателей. Поэтому силовые выключатели в установках напряжением выше 1000 В обе-

спечиваются специальными дугогасительными системами, способными погасить мощную электрическую дугу за доли секунды. По быстрдействию высоковольтные выключатели разделяют на *сверхбыстродействующие* (с временем отключения до 0,06 с), *быстродействующие* (0,06–0,8 с), *умеренного действия* (0,08–0,12 с) и *небыстродействующие* (0,12–0,25 с).

В зависимости от среды, в которой расходятся контакты и гасится дуга, выключатели бывают: масляные, со специальными жидкостями, воздушные, электромагнитные, автогазовые (с газом, генерируемым твердым веществом под действием температуры дуги), элегазовые, вакуумные.

В *элегазовых выключателях* в качестве изоляционной среды используют электрический газ – элегаз (шестифтористую серу SF₆), обладающий высокой диэлектрической прочностью (в 2,5 раза больше прочности воздуха), с хорошей дугогасительной способностью (в 4 раза выше, чем воздуха) и теплопроводностью. Нашей промышленностью выпускаются элегазовые герметические устройства на напряжение 110 кВ и выше. Зарубежные фирмы выпускают коммутационные аппараты с элегазом на напряжение 3 кВ и более. Хорошая дугогасительная способность элегаза позволяет конструировать коммутационные аппараты с высокой отключающей способностью, а герметичность и высокая надежность значительно облегчают их эксплуатацию.

Вакуумные выключатели (ВВ) (давление не более $1,3 \cdot 10^2$ Па), как и элегазовые, надежны, удобны в эксплуатации; менее пожаро- и взрывоопасны по сравнению с масляными выключателями. Гашение дуги в вакууме происходит очень быстро в результате большой скорости диффузии паров металла, которые образуются во время горения дуги, и их быстрой рекомбинации на контактах.

Вакуумные выключатели имеют большой срок службы (механическая износостойкость достигает $5 \cdot 10^6$ операций). Число коммутаций с номинальным током около 600 А равно $(500–1000 \cdot 10^3)$. Практически без ремонта ВВ могут работать до 25 лет. ВВ и элегазовые выключатели до 10 кВ применяются на подстанциях Минского метрополитена, концерна «Белэнерго» и других предприятиях. Однако используемые в настоящее время ВВ требуют эпизодического обслуживания (регулировки, смазки, контроля хода, поджатия) и могут создавать опасные перенапряжения при коммутации некоторых видов нагрузки. Привод обычных ВВ принципиально не отличается от приводов масляных и электромагнитных выключателей. Он содержит значительное количество передаточных звеньев между электромагнитом (или пружиной) включения и отключения пружино-моторного привода) и подвижными контактами вакуумной дугогасительной камеры (ВДК).

В вакуумных выключателях фирмы «Тавридаэлектрик» (Москва) используется привод с магнитной защелкой и ВДК собственного производства, в основу конструкции которого заложен принцип соосности электромагнита привода и ВДК в каждом полюсе выключателя. Оригинальная конструкция ВВ позволила существенно упростить кинематическую схему, отказаться от нагруженных узлов трения. В результате механический ресурс составил 50 тыс. операций включения-выключения без обслуживания в течение всего срока службы (в этих ВВ детали изоляции, подверженные ударным нагрузкам при включении-выключении, выполнены из современных ударпрочных пластиков с высокими механическими характеристиками).

Новая серия ВВ с магнитной защелкой обладает по сравнению с традиционными следующими преимуществами:

- отсутствие необходимости обслуживания в течение всего срока эксплуатации;
- простота и надежность привода;
- большой механический ресурс;
- малые габариты и масса;
- адаптация к различным видам КРУ и КСО.

На ТП напряжением до 10 кВ чаще всего применяют выключатели нагрузки (ВНР и ВНРЗ), масляные (ВМП, ВПМ) и электромагнитные (ВЭМ) выключатели.

Выключатели нагрузки ВНР (рис. 5.9) предназначены только для включения и отключения токов нагрузки. Для отключения

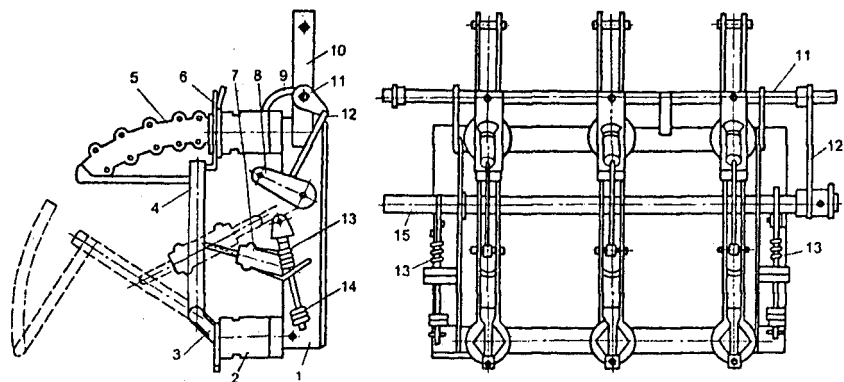


Рис. 5.9. Выключатель нагрузки ВНР-10/400-10з:

1 – рама; 2 – опорный изолятор; 3 – контакты с держателями; 4 – ножи; 5 – гасительная камера; 6 – основной верхний контакт; 7, 12 – изоляционная и блокировочная тяги; 8 – рычаг; 9 – гибкий соединитель; 10 – нож заземления; 11, 15 – валы заземляющего устройства и выключателя; 13 – пружины; 14 – резиновые шайбы

цепей при коротких замыканиях на выключателях нагрузки ВНРЗ устанавливают высоковольтные предохранители. Выключатели нагрузки монтируются на стальной раме с опорными изоляторами. На верхних изоляторах (для каждой фазы) установлены неподвижные контакты – рабочие и дугогасительные. Дугогасительный контакт располагается в пластмассовой камере (рис. 5.10), внутри которой находится вкладыш из органического стекла. Вкладыш состоит из двух частей и в собранном виде образует узкую щель для входа подвижного дугогасительного контакта. На нижних изоляторах закреплены ножи – подвижные рабочие контакты, состоящие из двух соединенных между собой медных полос. Подвижные дугогасительные контакты расположены между двумя направляющими полосами, прикрепленными к ножу. На раме в подшипниках установлен вал, к которому приварены три рычага с фарфоровыми тягами. Подвижная система выключателя нагрузки отключается с помощью двух пружин. Чтобы установить предохранители, к раме крепится дополнительный каркас с опорными изоляторами, которые имеют контактные губки и пружины. На этом каркасе может быть смонтировано устройство, подающее команду на отключение выключателя при перегорании предохранителя.

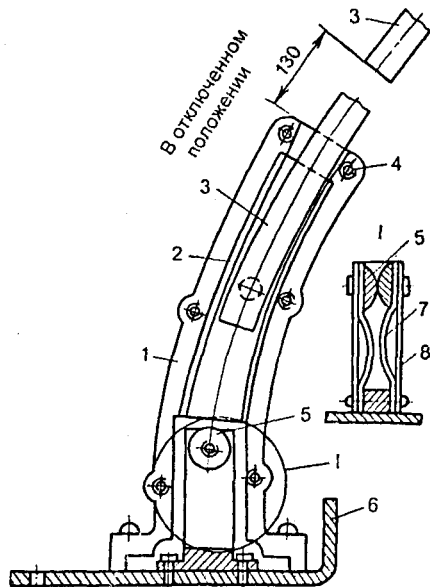


Рис. 5.10. Дугогасительное устройство:
 1 – пластмассовый корпус; 2 – вкладыши;
 3, 5 – подвижный и неподвижный дугогасительные контакты; 4 – отверстия для соединительных винтов; 6 – основной неподвижный контакт выключателя; 7 – гибкая связь; 8 – пружинящая пластина; I – устройство неподвижного дугогасительного контакта

При этом размыкаются главные контакты, затем дугогасительные, а возникающая дуга затягивается в щель между вкладышами. Под действием высокой температуры дуги органическое стекло интенсивно выделяет газы, которые с большой скоростью вырываются из камеры и в сотые доли секунды гасят дугу.

Заземляющее устройство выключателя нагрузки представляет собой вал с приваренными к нему контактными пластинками (ножами) и может располагаться сверху или снизу рамы выключате-

ля и соответственно заземлять стойки неподвижных или подвижных контактов выключателя.

Простейшая механическая блокировка между двумя валами выключателя и заземляющих ножей исключает возможность включения заземляющих ножей при включенном выключателе и включения выключателя при включенных ножах заземления. Управление заземляющим устройством выполняется с помощью привода ПР-2 или другого ручного привода.

Масляные выключатели – устройства, у которых дугогасительной средой является трансформаторное масло. Когда между контактами, находящимися в масле, возникает дуга, под действием высокой температуры масло переходит в газообразное состояние (до 70% водорода, который не поддается ионизации). Давление газа быстро повышается до нескольких десятков атмосфер, что способствует быстрому гашению дуги.

В зависимости от объема масла выключатели бывают баковые (многообъемные) и горшковые (малообъемные). В РУ на 10 кВ в основном применяют малообъемные выключатели, каждый полюс которых находится в отдельном цилиндре: ВМП-10 (масляный подвесной), ВМПП-10 (с пружинным приводом), ВК-10 (колонковый), ВМПЭ-10 (с электромагнитным приводом) и др.

Выключатель ВМП-10 (рис. 5.11), применяемый на напряжение 10 кВ и номинальные токи 630 и 1000 А, используется вместо выключателя ВМГ-10. Выключатель имеет три полюса 1, смонти-

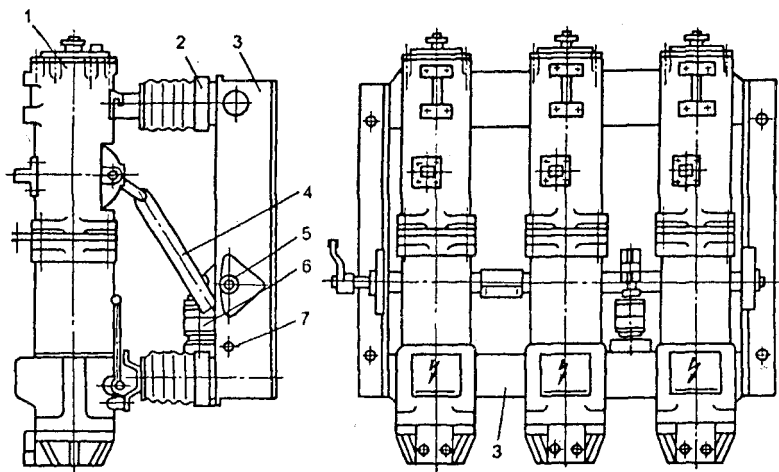


Рис. 5.11. Выключатель ВМП-10

рованных на общей заземляемой с помощью болта заземления 7 раме 3, внутри которой расположены главный вал 5, отключающие пружины, масляный 6 и пружинный буферы. Полюсы крепят к раме шестью фарфоровыми изоляторами 2 (по два на полюсе) с эластичным соединением арматуры, что повышает механическую устойчивость выключателя. Главный вал соединяется с механизмом каждого полюса изоляционными тягами 4.

Полюс выключателя (рис. 5.12) представляет собой цилиндр из прочного изоляционного материала — стеклоэпоксида, на концах которого заармированы металлические фланцы. На верхнем фланце крепится корпус выпрямляющего механизма, передающего движение от вала выключателя к токоведущему стержню. Этот корпус (из алюминиевого сплава) закрывается сверху крышкой из изоляционного материала. Внутри размещают, кроме выпрямляющего механизма, рожковый токосъем и маслоотделитель, который предотвращает выброс масла при отключении тока короткого замыкания.

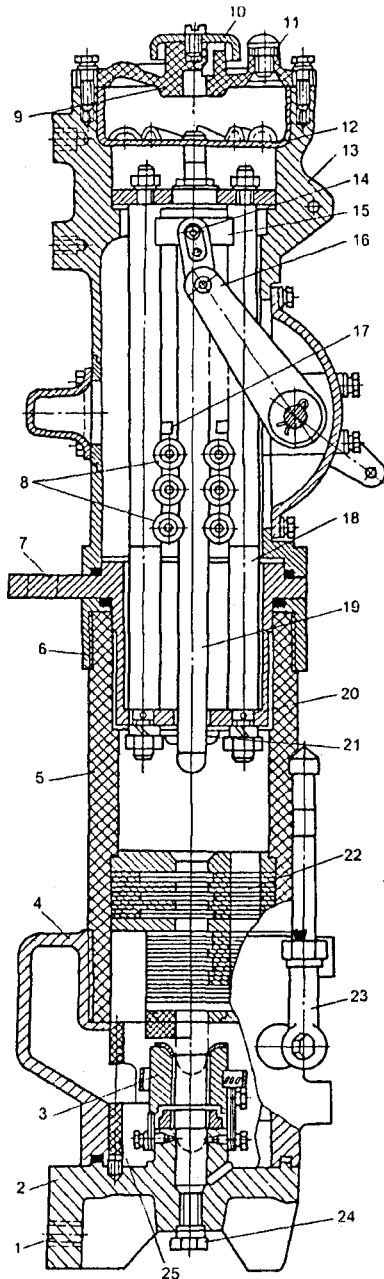


Рис. 5.12. Разрез полюса выключателя ВМП-10:

1, 7 — выводы; 2, 9 — крышки; 3 — неподвижный розеточный контакт; 4, 6 — фланцы; 5, 25 — цилиндры; 8 — роликотосъем; 10 — колпак; 11, 24 — пробки; 12 — маслоотделитель; 13 — корпус механизма; 14 — ось; 15 — направляющая колодка; 16 — рычаг; 17 — упоры; 18, 19 — стержни; 20 — стопорный винт; 21 — шайба; 22 — дугогасительная камера; 23 — маслоуказатель

Нижний фланец закрывается силуминовой крышкой, на которой расположен розеточный неподвижный контакт. Использование силумина уменьшает магнитные потери в выключателе. На каждой крышке устанавливается цилиндр с дугогасительной камерой.

Уровень масла в выключателе определяется с помощью маслоуказателя.

Электромагнитные выключатели ВЭМ-10 (рис. 5.13) не требуют для своей работы масла, что делает их взрыво- и пожаробезопасными, а высокая токоустойчивость контактов и дугогасительных камер обеспечивает большое количество включений в электроустановках с частыми коммутационными операциями.

Дугогасительная система состоит из электромагнита и дугогасительной камеры. На П-образный магнитопровод электромагнита надета катушка электромагнитного дутья. Дугогасительная камера представляет собой пакет тонких керамических пластин с

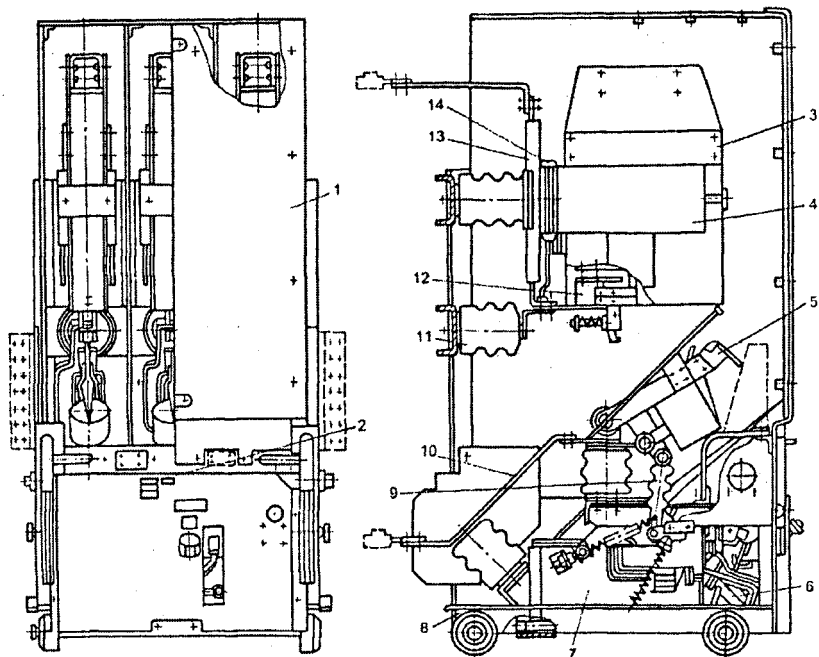


Рис. 5.13. Выключатель ВЭМ-10:

1, 9 - изоляционные кожух и тяга; 2 - счетчик; 3 - дугогасительная камера; 4 - магнитопровод; 5, 12 - подвижный и неподвижный контакты; 6 - контактор; 7 - электромагнитный привод; 8 - рама (тележка); 10, 13 - токоотвод и токоподвод; 11 - изолятор; 14 - катушка магнитного дутья

Л-образными вырезами и располагается между полюсными наконечниками электромагнита над контактами выключателя.

Пластины в пакете уложены в шахматном порядке и обладают высокой дугоустойчивостью и теплопроводностью, допуская температуру 2000 °С. По концам пакета в специальных керамических лотках закреплены медные электроды (рога), по которым движется дуга в процессе отключения выключателя. Она затягивается вверх по узким щелям между холодными керамическими пластинами, отдает теплоту, растягивается по длине и гаснет. Дуга движется вверх в дугогасительную камеру под действием электродинамических сил и тепловых потоков.

Катушка магнитного дутья имеет небольшое сопротивление и включается последовательно в электрическую цепь, через нее проходит полный ток отключаемой цепи. В результате между полюсными наконечниками электромагнита создается интенсивное магнитное поле, которое заставляет дугу двигаться по медным рогам, так как на каждый проводник с током (в том числе и на электрическую дугу), находящийся в магнитном поле, действует электродинамическая сила, направление которой, как известно, определяется по правилу левой руки. Гашению дуги способствует также резкое снижение тока в электромагнитном выключателе из-за увеличения сопротивления дуги. Время горения дуги при отключении токов короткого замыкания не превышает 0,02 с.

При отключении малого тока электродинамическая сила, действующая на дугу, небольшая. В этом случае передвижению дуги в щели дугогасительной камеры способствуют цилиндры воздушного дутья, закрепленные на подвижных контактах выключателя. При отключении выключателя поршни передвигаются в цилиндрах и выталкивают воздух между размыкающимися дугогасительными контактами (система принудительного дутья).

Контактная система выключателя состоит из главных и дугогасительных контактов. Наконечники дугогасительных контактов выполнены из металла (кирита), обеспечивающего большой срок их службы. При включении выключателя сначала замыкаются дугогасительные контакты, а затем шунтирующие их главные контакты. При отключении контакты размыкаются в обратном порядке. Таким образом защищаются от обгорания главные контакты.

5.8. Ремонт выключателей нагрузки

Ремонт *выключателей нагрузки* проводят вместе с ремонтом остального оборудования подстанции. Сначала очищают выключатель от пыли, грязи, старой смазки и ржавчины, проверяют вер-

тикальность и надежность крепления его рамы. Внимательно осматривают изоляторы и пластмассовые дугогасительные камеры, при наличии трещин их заменяют.

Дугогасительные камеры разбирают, очищают от копоти вкладыши из органического стекла. При толщине стенок вкладышей менее 1 мм их заменяют, контролируют также крепление изоляторов на раме.

Далее проверяют состояние подвижных и неподвижных главных и дугогасительных контактов, удаляют напильником места незначительного подгорания, сильно обгоревшие контакты заменяют. Медленно отключая выключатель, убеждаются в совпадении осей подвижных и неподвижных главных контактов и свободном вхождении подвижных дугогасительных контактов в горловину дугогасительных камер. При повороте вала выключателя на 70° ножи должны передвигаться на 50° , а дугогасительные подвижные контакты – входить в камеру на 160 мм.

Если в конце включения выключателя ножи упираются в неподвижные контакты, то это необходимо устранить путем изменения длины тяги, соединяющей вал выключателя с приводом. Если выключатель отключается тяжело, зачищают и смазывают трущиеся детали, а также проверяют, правильно ли он соединен с приводом.

Затем контролируют точность блокировки и состояние гибкой связи, соединяющей валы выключателя.

Заключительная часть ремонта – подкраска каркаса, рычагов и тяг, а также смазывание контактных поверхностей тонким слоем технического вазелина.

В Белорусской энергосистеме используются выключатели нагрузки повышенной надежности и безопасности обслуживания типа ORU и ORS на 110 кВ (СП «БелПолЭлектро», Брест).

5.9. Ремонт масляных выключателей

Плановый капитальный ремонт *масляных выключателей* производится один раз в 6–8 лет по мере необходимости; внеочередной, который зависит от состояния выключателей, – после определенного количества коммутационных отключений (например, для выключателей ВМП-10 после 2500 операций включения и отключения).

Масло в выключателях меняют при капитальных ремонтах, снижении его пробивной прочности ниже 15 кВ и наличии в нем взвешенных частиц угля.

Перед ремонтом выключатель тщательно очищают от пыли и грязи и внимательно осматривают его, чтобы определить объем работ. Особое внимание обращают на состояние изоляционных частей, отсутствие течи масла, надежность крепления выключателя и заземления его рамы. Окончательный объем ремонтных работ уточняется после разборки выключателя.

Все трущиеся части механизма выключателя после удаления старой смазки покрывают тонким слоем ЦИАТИМа-203 (кроме частей, находящихся внутри полюсов) и при необходимости восстанавливают поврежденную окраску. Контактные выводы выключателя и концы шин покрывают слоем смазки ПВК.

После ремонта и регулировки выключатели испытывают.

Наиболее часто встречающиеся неисправности масляных выключателей, причины и способы их устранения приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Неисправности масляных выключателей и способы их устранения

Неисправность	Возможные причины	Способ устранения
1	2	3
Выключатель не включается или не отключается	Отсутствует цепь тока. Недостаточное напряжение в цепи	Проверить цепи включения и отключения. Повысить напряжение оперативного тока до номинального
Повышенный нагрев нижнего контакта	Недостаточно входит в розеточный контакт токоведущий стержень. Лопнуло упорное кольцо или ослабли пружины розеточного контакта	Отрегулировать ход контактов. Заменить кольцо или пружины
Масло в выключателе быстро (после нескольких отключений) становится темным. При коротком замыкании выключатель отключается с выплескиванием масла	Недостаточная скорость движения токоведущего стержня в момент отключения из-за большого трения в механизме привода. Неправильно гасится дуга из-за плохой установки дугогасительной камеры в цилиндре или сильного выгорания ее. Износились уплотняющие манжеты проходного изолятора (в выключателе ВМП-10)	Отрегулировать выключатель. Разобрать полюс и правильно установить камеру или заменить ее. Поставить новые манжеты
Заклинивание токоведущего стержня (в выключателе ВМП-10)	Смещение упоров ограничителя хода токосъемных роликов и в результате — поломки направляющей капроновой колдки	Разобрать полюс, заменить направляющую колодку и зафиксировать положение направляющих стержней, установив стопорные винты М4

Окончание табл 5.1

1	2	3
Поломка опорных изоляторов	Рычаг механизма упирается в колпачок. Значительный зазор (более 1,5 мм) между роликом рычага пружинного буфера и упором, в результате чего токоведущие стержни при включении ударяются о дно розеточного контакта	Заменить полюс. Отрегулировать пружинный буфер
Поломка в проходных изоляторах	Малый (менее 19 мм) запасной ход между колодкой токоведущего стержня и головками болтов кулачка проходного изолятора, в результате чего колодки ударяют по изоляторам	Отрегулировать положение колодки токоведущего стержня

5.10. Ремонт электромагнитных выключателей

Периодичность ремонтов и их объем зависят от частоты операций включения-выключения и значений отключаемых токов. Рассмотрим операции ремонта *электромагнитных выключателей* на примере выключателя ВЭМ-10. В соответствии с рекомендациями завода-изготовителя текущий ремонт выключателя должен проводиться через каждые 10 000 отключений, но не реже одного раза в год, а капитальный, с полной разборкой выключателя и привода, — через 75 000 отключений, но не реже одного раза в 5 лет.

Перед ремонтом выключатель очищают от пыли и грязи, при этом проверяют места сварки рамы, состояние ее фарфоровых изоляторов, изоляционных тяг, изоляции токоподвода, катушек магнитного дутья. Окончательный объем ремонта уточняют при разборке. На трущиеся части механизмов выключателя и привода после удаления старой смазки тонким слоем наносят смазку ЦИАТИМ-203 (кроме главных и дугогасительных контактов).

Основными элементами выключателя являются дугогасительная камера и контакты. Дугогасительная камера должна иметь изоляцию, надежно выдерживающую рабочее напряжение. Снятую камеру продувают сухим воздухом для удаления пыли и посторонних частиц. При капитальном ремонте, а также после пяти отключений больших токов короткого замыкания (более 20 кА) проводят полную ревизию камеры: открывают винты и гайки, осто-

рожно снимают стенку и вынимают керамические пластины, которые очищают от пыли, копти сухой тряпкой и стеклянной шкуркой. Очищенную поверхность покрывают изоляционным лаком.

При многократных отключениях больших токов увеличивается ширина верхушек вырезов пластин за счет эрозии керамического материала. Пластины, ширина вырезов верхушек которых увеличилась до 3,5 мм, а также перегоревшие заменяют новыми.

При ремонте системы воздушного дутья вынимают поршень из цилиндра, снятые детали и внутреннюю полость цилиндра промывают бензином и насухо вытирают. При сборке системы стенки цилиндра и манжет хорошо смазывают.

Благодаря наличию дугогасительных контактов главные контакты не изнашиваются. При отключении больших токов на поверхности дугогасительных контактов образуются капли и наплывы меди, которые при ремонте зачищают напильником и наждачной шкуркой. При отсутствии оплавления контакты достаточно промывать бензином.

Критерием пригодности дугогасительных контактов является расстояние между главными контактами (10–12 мм) в момент замыкания дугогасительных. Уменьшение этого расстояния до 5 мм означает, что дугогасительные контакты сильно изношены и их необходимо заменить.

Заход подвижного дугогасительного контакта в неподвижный должен составлять 30–35 мм, рабочий ход пальца главного неподвижного контакта – 4–5 мм, а его нажим – 100 Н.

5.11. Ремонт приводов

Плановый капитальный ремонт *приводов* осуществляют одновременно с ремонтом остального оборудования. При выявлении какой-либо неисправности выполняют внеочередной ремонт.

Нормальная работа привода во многом зависит от правильной регулировки аппарата, для которого он предназначен.

При капитальном ремонте приводов внимательно осматривают все их части для выявления возможных неисправностей. Особое внимание обращают на детали, несущие самую большую нагрузку, и на трущиеся поверхности зацепления. Поврежденные и изношенные детали ремонтируют или заменяют новыми.

Разбирают не весь привод, а только те части, которые мешают устранению неисправностей. Для удаления пыли и старой смазки механизм привода протирают чистой тряпкой, смоченной в бензине или керосине. Новую смазку наносят тонким слоем, удаляя излишки. Рекомендуется применять густые морозостойкие смазки

(ЦИАТИМ-201,-203, -221, ГОИ-54 и др.), которые не застывают при низких температурах. Разрешается использовать трансформаторное масло, однако смазывание в этом случае необходимо проводить чаще.

Если имеется повышенный люфт в осях, их заменяют новыми. Особое внимание обращают на релейную планку приводов выключателей, которая должна быть без кривизны, свободно вращаться в подшипниках с осевыми зазорами не более 0,2–0,4 мм. Винты и гайки подтягивают. Корпус, кронштейны при необходимости подкрашивают.

После ремонта и регулировки проводят испытание привода. В приводах к масляным выключателям и выключателям нагрузки проверяют механизм свободного расцепления (при выключенном приводе, в двух-трех промежуточных положениях и на границе зоны действия свободного расцепления). Для этого устанавливают привод в проверяемое положение и подают импульс на отключение. Надежность запирающего устройства контролируют осмотром и легким постукиванием молотка. При этом не должно быть самопроизвольного отключения механизма.

При ремонте кроме общих положений, указанных выше, необходимо учитывать особенности конструкции и регулировки каждого типа привода.

5.12. Ремонт токоограничивающих реакторов

Наиболее распространены *бетонные реакторы* с воздушным охлаждением (рис. 5.14), так как они просты по конструкции и надежны в работе. Обмотки реакторов 1 выполняют из гибкого многожильного изолированного провода. Витки обмотки укладывают на специальном каркасе и закрепляют бетонными колонками 2, пропитанными лаком. В трехфазных установках применяют реакторы с тремя катушками, изолированными одна от другой и от заземленных частей с помощью опорных изоляторов 3. Реактор характеризуется номинальным током и напряжением, а также индуктивным сопротивлением (в процентах), которое соответствует падению напряжения в нем при прохождении номинального тока.

Бетонные реакторы выполняют на номинальные напряжения 6 и 10 кВ и токи до 4000 А с индуктивным сопротивлением от 4 до 12%. Например, бетонный реактор с алюминиевой обмоткой РБА-6-400-4 имеет индуктивное сопротивление 4%, номинальное напряжение 6 кВ и номинальный ток 400 А.

При номинальном токе 1500 А обычно применяют вертикальную установку катушек (фаз) реактора, а более 1500 А – горизон-

тальную. Направление намотки витков средней катушки должно быть противоположно направлению намотки витков крайних катушек. Это необходимо для того, чтобы при прохождении тока короткого замыкания катушки притягивались. В этом случае их легче надежно закрепить.

В последние годы широко применяют двоянные реакторы, по конструкции отличающиеся от обычных тем, что вывод от середины обмотки соединяют с линией питания, а два других вывода каждой обмотки – с защищаемым оборудованием. При использовании двоянных реакторов уменьшается их общее количество.

При текущем ремонте реактора его очищают от пыли и осматривают. Проверяют отсутствие трещин и сколов бетонных колонок, целостность их лакового покрытия, прочность заделки в бетон крепящих болтов и контактных зажимов, состояние изоляции снаружи витков, отсутствие их деформации и замыкания между собой, повреждение опорных изоляторов и надежность крепления. Затем проводят испытания изоляции и опорных изоляторов.

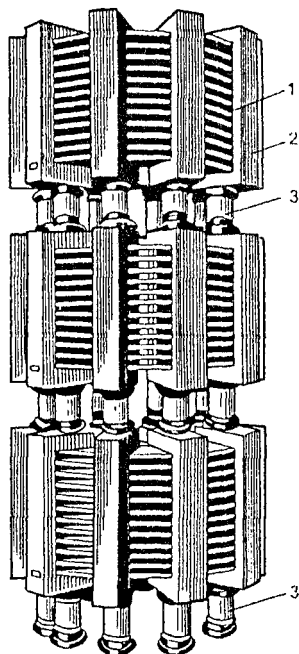


Рис. 5.14. Бетонный реактор РБА-6-400-4

5.13. Ремонт КРУ и КРУН

Ячейки КРУ и КРУН (КРУ для наружной установки) подвергаются плановому осмотру, а также осмотрам после отключения цепи короткого замыкания. При этом определяют состояние дверей шкафов, замков, цепей заземления, изоляции, смазки на трущихся поверхностях, всех механических систем, тяг, блокировок, неподвижных разъемных контактов, главных и вспомогательных цепей. Выявленные дефекты заносят в ремонтную ведомость и устраняют немедленно или в процессе текущего или капитального ремонта.

При плановом ремонте выполняют:

- проверку состояния болтовых и разъемных соединений главных и вспомогательных цепей, а при необходимости замену ламелей, пружин и других изношенных деталей;

- проверку и регулировку механизма заземления и замену изношенных деталей;
- контроль работы блокировочных устройств, смазывание трущихся поверхностей тонким слоем ЦИАТИМа-200 или -201;
- проверку работы штормочного механизма;
- очистку всего оборудования и особенно изоляционных деталей от пыли и грязи;
- проверку сочленения выдвижных тележек со шкафами КРУ по размерам, приведенным в заводских инструкциях.

Ремонт выключателей и другой комплектующей аппаратуры, смонтированной в шкафах и на выкатных тележках, выполняется согласно инструкциям.

В табл. 5.2 приведены наиболее часто встречающиеся неисправности КРУ и способы их устранения.

Таблица 5.2. Возможные неисправности КРУ и способы их устранения

Неисправность	Возможные причины	Способ устранения
1	2	3
При закатывании тележки в шкаф КРУ неподвижные контакты разъединяющих устройств не совпадают	Смещение неподвижных или подвижных контактов	Ослабить затяжку болтов крепления и устранить смещение
Недостаточный контактный нажим	Ослабление пружин на подвижных контактах	Заменить пружины
При закатывании тележки в шкаф наблюдается недостаточный заход ножей в контакты	Нарушение установочных размеров "	Отрегулировать заход ножей перемещением фиксатора в овальных отверстиях или контактов в тележке в овальных отверстиях путем изменения количества шайб под опорными изоляторами
Дефект опорного или проходного изолятора	Большая нагрузка на изолятор или дефектный изолятор	Заменить изолятор
При закатывании тележки не закрываются шторки	Деформация шкафа или нарушение соосности направляющей пластины	Устранить деформацию или обеспечить соосность
Отсутствует плавное перемещение шторок	Отсутствие смазки	Смазать все трущиеся детали
Не горят лампы сигнализации положения выключателя	Перегорание ламп. Обрыв провода в добавочном сопротивлении к лампе	Заменить лампу. Проверить исправность сопротивления и при необходимости заменить

Окончание табл. 5.2

1	2	3
При включении заземляющего устройства требуется приложить большее усилие к рычагу	Отсутствие смазки на заземляющих устройствах	Смазать контакты
При включении заземляющего разъединителя не требуется усилия на рычаг	Ослабление или нарушение сочленения	Заменить пружины, восстановить соединение в приводном механизме
Окислились или обгорели поверхности контактов или выводов оборудования	Ослабление контактов	Зачистить обгоревшие контакты, протереть чистой тряпкой контактные поверхности, промыть их бензином и смазать техническим вазелином или покрыть смазкой

5.14. Ремонт автоматических выключателей серии «Электрон»

Автоматические выключатели (автоматы) серии «Электрон» (рис. 5.15) выпускаются двух- и трехполюсные для сетей с напряжением 440 В постоянного и 660 В переменного тока на номинальные токи 660 (Э-6), 1000 (Э-10), 1600 (Э-16), 2500 (Э-25) и 4000 А (Э-40). Автоматы имеют максимальный, независимый или минимальный расцепители. Защита от токов короткого замыкания и перегрузки выполняется электронным блоком. Для дистанционного управления выключатель Э-6 имеет электромагнитный привод постоянного тока, а выключатели Э-10, Э-16, Э-25 и Э-40 – моторно-пружинный. Выключатели поставляют обычно для стационарного монтажа и выкатные для КРУ.

Автомат серии «Электрон» состоит из дугогасительных камер, механизмов включения и свободного расцепления, завода включающей пружины, управления электроприводом, электродвигателя и редуктора, расцепителя и электронного блока максимальной токовой защиты. Все элементы выключателя расположены в корпусе. Для выполнения ремонтных и наладочных работ предусмотрена крышка, которая снимается.

Контактная система каждого полюса выключателя состоит из главных и дугогасительных контактов. Главные неподвижные контакты покрыты серебром, а подвижные и дугогасительные – металлокерамикой. Замыкание контактов осуществляется за счет

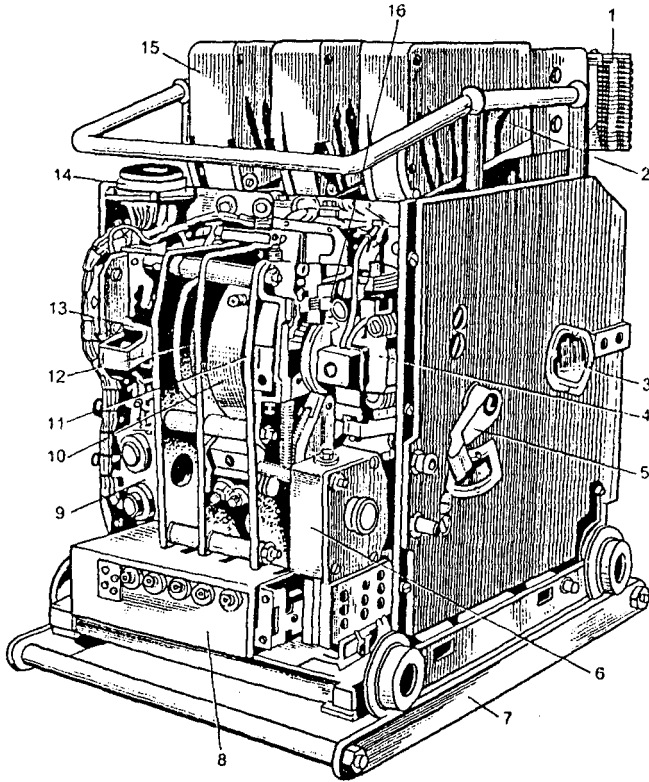


Рис. 5.15. Автоматический выключатель «Электрон»:

1 – основной подвижный контакт; 2 – ручка; 3 – смотровое окно; 4 – электродвигатель; 5 – рычаг механической блокировки; 6 – редуктор; 7 – откидные рельсы; 8 – электронный блок максимальной токовой защиты; 9 – кнопка управления; 10 – пружина; 11 – механизм завода включающей пружины; 12 – механизм включения и свободного расцепления; 13 – расцепитель; 14 – неподвижная часть контактного разъема; 15 – дугогасительная камера; 16 – механизм управления электроприводом

энергии включающей пружины через механизм свободного расцепления. Сначала замыкаются дугогасительные контакты, затем главные.

Сразу после включения автомата электродвигатель с редуктором подготавливает пружину к новым операциям.

Возникающая на дугогасительных контактах дуга втягивается в дугогасительную камеру и, разорванная деионной решеткой, гаснет. Механизм свободного расцепления представляет собой пятизвенный шарнирный механизм. Его включение происходит за

счет энергии включающей пружины, которая заводится электроприводом или ремонтной рукояткой.

Выключатели могут иметь независимые расцепители на напряжения 127, 220, 380 В переменного тока и 24, 48, 110, 220 В постоянного тока, минимальные расцепители на напряжения 127, 220, 380 и 660 В переменного тока и 24, 48, 110, 220 В постоянного тока, а также максимальные расцепители, представляющие собой электромагнит с поворотным якорем и удерживающими пружинами.

Минимальный расцепитель защищает цепи выключателя от чрезмерного снижения напряжения, т. е. при снижении напряжения он отключает выключатель. Напряжение срабатывания расцепителя регулируется натяжением пружины с помощью винта. Расцепитель надежно отключает выключатель при напряжении от 0,7 до 0,35 $U_{ном}$, не позволяет включение при напряжении менее 0,35 $U_{ном}$ и позволяет включение при напряжении 0,85 $U_{ном}$ и более.

Максимальный расцепитель отключает автомат при токах короткого замыкания и перегрузках.

При определении периодичности ремонта выключателей «Электрон» учитывают рекомендации завода-изготовителя: осматривать и ремонтировать выключатель 2 раза в год, а также после каждого отключения выключателем предельного для него тока короткого замыкания.

Перед осмотром выключатель должен быть обесточен. Затем сухой или смоченной в бензине тряпкой с него удаляют пыль, грязь и копоть. Если при эксплуатации дефекты не выявлены, полную разборку выключателя и его отдельных элементов не производят, а ограничиваются смазкой механизма свободного расцепления, электропривода, подшипников вала-выключателя, рабочих поверхностей защелок и т. п.

При ремонте выключателя проверяют затяжку всех болтов, винтов и гаек, крепление токоведущих шин к выводам, дугогасительные камеры, устраняют копоть и брызги металла. Обгоревшие пластины деионной решетки заменяют новыми. Камеры с трещинами и значительными сколами также заменяют резервными, при установке которых наблюдают, чтобы контакты не касались стенок камер и пластин решетки.

Напльвы на контактах снимают напильником, сохраняя при этом их форму. Сильно обгоревшие или стертые контакты заменяют новыми.

Основные неисправности выключателей «Электрон» и способы их устранения приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Неисправности выключателей «Электрон» и способы их устранения

Неисправность	Возможные причины	Способ устранения
Выключатель не включается	Не действует пружинный привод; нет напряжения на катушке электромагнита включения; катушка имеет обрыв или витковое замыкание	Проверить: правильность заводки пружины; исправность цепи питания катушки электромагнита включения. Заменить катушку
Выключатель не отключается	Не действует блок максимальной токовой защиты (МТЗ); нарушен контакт в цепи от датчика до блока МТЗ; неисправны трансформатор тока или магнитные датчики; обрыв или витковое замыкание катушки максимальной расцепителя; отсутствие питания катушки расцепителя	Восстановить контакт. Заменить трансформатор тока или магнитные датчики. Заменить катушку. Проверить состояние контактов и целостность цепи питания катушки расцепителя
Не заводится пружина привода	Не работает двигатель; нарушена регулировка системы «привод-конечный выключатель»; неисправен электродвигатель	Отрегулировать систему «привод-конечный выключатель». Заменить электродвигатель

5.15. Ремонт станций управления

Ремонт *станций управления* проводят при отключенном напряжении питания (основного и резервного). После полного отключения станций устанавливают необходимые защитные заземления, ограждения, вывешивают плакаты и оформляют наряд. Ремонт начинают с изучения ведомости дефектов и наружного осмотра, который позволяет выявить видимые дефекты: нарушение крепления станций, отклонение от вертикального положения гасительных камер, изменение цвета гибких соединителей, состояние заземления каркаса станций и т. д.

Станцию очищают от пыли, грязи и засохшей смазки. Специальным набором ключей проверяют контактные соединения схем первичной и вторичной коммутации.

Для обеспечения надежной и продолжительной работы контактов (1 млн отключений) проверяют и регулируют главные контакты. При ремонте контролируют отсутствие перекосов в контакт-

Таблица 5.4. Неисправности контакторов и способы их устранения

Неисправность	Возможные причины	Способ устранения
Контактор не включается при включении автомата подачи напряжения на его катушку	Нарушение контакта в цепи катушки. Повреждение катушки. Плохо вращается вал в подшипниках. Трение контактов о стенки камеры	Устранить разрыв цепи. Заменить катушку. Промыть бензином цапфы вала. Отрегулировать положение камеры и контактов
Контакты при включении привариваются Электромагнит сильно гудит	Большой или малый нажим контактов Неплотное соприкосновение поверхностей сердечника из-за загрязнения или их неровностей. Повреждение короткозамкнутого витка. Большой нажим контактов	Отрегулировать нажим или заменить пружины Очистить поверхности, провести шабровку. Заменить короткозамкнутый виток. Заменить пружину контактов
Контактор не ставится на защелку	Плохо отрегулированы механическая часть защелки и блок-контакты в цепи ее катушки	Отрегулировать
Контактор резервного питания не включается при отключении контактора основного питания	Обрыв цепи питания катушки резервного контактора	Проверить цепь, обратить внимание на положение рубильника или автомата и блок-контактов этой цепи

ной системе и одновременность касания (допускается рассогласованность: в контакторах КТ-35 – 1 мм, а в КТ-60 – 0,5 мм).

Основные неисправности контакторов и способы их устранения приведены в табл. 5.4.

5.16. Текущий ремонт концевых заделок силовых кабелей

Во время ремонта оборудования подстанций проводят текущий ремонт и *концевых заделок силовых кабелей*. Поверхности концевых заделок очищают от пыли. При внешнем осмотре проверяют целостность наконечников, их соответствие сечению жил кабеля и качество пайки (сварки, опрессовки). Замеченные дефекты устраняют. В стальных воронках напряжением 6 и 10 кВт протирают и осматривают фарфоровые втулки. Если они имеют сколы и трещины, их заменяют новыми. Эту работу выполняют монтеры-кабельщики.

При необходимости доливают заливочную массу. При изломе изоляции фаз ее восстанавливают, после чего жилы и корпус воронки покрывают эмалевой краской.

Концевые заделки из эпоксидного компаунда осматривают и при обнаружении течи пропитывающего состава принимают меры по восстановлению герметичности.

В случае нарушения герметичности поврежденный участок обезжиривают и накладывают двухслойную подмотку из хлопчатобумажной ленты, смазанной эпоксидным компаундом. Так же устраняют течь пропитывающего состава при нарушении герметичности в месте соединения трубки и цилиндрической части наконечника. При этом дополнительно поверх подмотки выполняют плотный бандаж из крученого шпагата, который обмазывают эпоксидным компаундом.

5.17. Ремонт осветительных установок

Осветительная установка состоит из осветительных приборов (светильников) и электропроводки.

Электропроводкой называется совокупность проводов и кабелей с креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями. Электропроводки применяют в осветительных и силовых сетях переменного тока напряжением до 660 В и выполняют изолированными проводами и небронированными кабелями малых сечений. По способу выполнения электропроводки разделяют на *открытые*, проложенные по конструкциям, в стальных коробах, трубопроводах, и *скрытые* – в стенах, перекрытиях и т. д.

Короб – конструкция прямоугольного или другого профиля, предназначенная для прокладки в ней проводов и кабелей внутри помещений. Открытые короба называются *лотками*.

На промышленных объектах чаще всего применяют открытые электропроводки, например тросовые, как более простые и экономичные. Для них используют специальные тросовые провода АРТ или АВТ со стальным тросом, а также АПР, АПВ, кабель АВРГ, АВВГ, АНРГ и др.

Для защиты от внешних механических воздействий и окружающей среды проводку выполняют изолированным проводом в стальных или пластмассовых трубах.

Наименьшие сечения медных изолированных проводов и кабеля при прокладке внутри помещений – 1 мм², алюминиевых жил – 2,5 мм². В осветительных сетях используют преимущественно провода и кабель с алюминиевыми жилами. В РУ для цепей вторичной коммутации и освещения применяют провода и кабели следующих марок: ПРО – провод в оплетке, покрытой лаком, ПРГЛ – провод гибкий, АПР – провод с алюминиевыми жилами и резиновой изоляцией в пропитанной оплетке, ПВ – провод с мед-

ной жилой и поливинилхлоридной изоляцией, АПВ – провод с алюминиевой жилой, АПН – провод с резиновой натриевой изоляцией без оплетки, АВРГ – кабель с алюминиевой жилой и резиновой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке, АНРГ – кабель с резиновой маслостойкой негорючей оболочкой.

Светильником называется устройство, состоящее из осветительной арматуры и источника света (лампы). В светильниках применяются лампы накаливания и люминесцентные.

Лампы накаливания действуют по принципу лучеиспускания. В качестве нити накаливания используется спираль из вольфрама, нагреваемая электрическим током до 2600–3000 °С. Изготавливают вакуумные (мощностью до 45 Вт) и газонаполненные лампы (смесь аргона с азотом или криптоном). Для освещения открытых пространств применяют мощные лампы накаливания с ксеноном или галогеном. Лампы накаливания просты по конструкции, обладают высокой надежностью и не требуют для включения специальных пусковых устройств (кроме ксеноновых). К недостаткам таких ламп относятся: низкий КПД (5–7%) и значительное отличие их спектрального состава от спектра дневного света.

В *люминесцентных лампах* световой поток определяется в основном свечением люминофоров под воздействием ультрафиолетового излучения электрического разряда.

Люминесцентная лампа (рис. 5.16) представляет собой стеклянную трубку 2, покрытую внутри люминофором 3; трубка заполнена парами ртути в смеси с аргоном и герметически запаяна. На ее концах имеются цоколи с контактными штырьками 1 для подключения лампы в цепь. Со штырьками соединены катоды 4 (нити подогрева). При включении лампы между катодами происходит разряд электричества, который воздействует на пары ртути. Это сопровождается ультрафиолетовым излучением, вызывающим свечение люминофора.

Люминесцентные лампы отличаются от ламп накаливания различным цветом излучения, который зависит от химического состава люминофора.

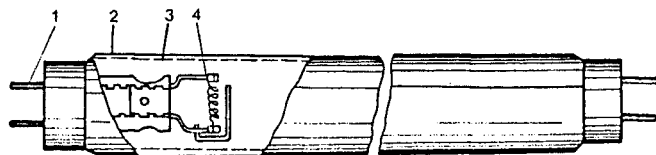


Рис. 5.16. Люминесцентная лампа

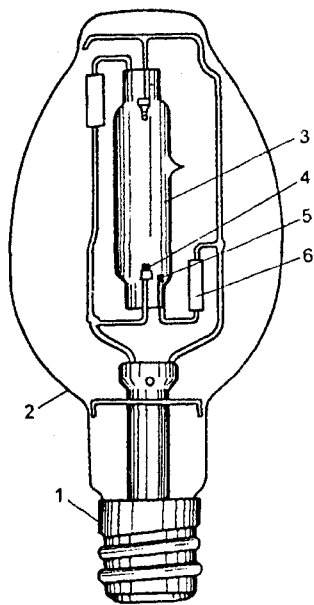


Рис. 5.17. Люминесцентная лампа ДРЛ

Для освещения улиц, цехов промышленных предприятий и других объектов применяются ртутные лампы высокого давления ДРЛ. Лампа (рис. 5.17) состоит из стеклянного баллона 2 с резьбовым цоколем 1. В центре баллона закреплена ртутно-кварцевая горелка (трубка) 3, заполненная аргоном, к которому добавлена капля ртути. Современные четырехэлектродные лампы имеют главные катоды 4 и дополнительные электроды 5, подключенные к катоду противоположной полярности через дополнительный угольный резистор 6. Дополнительные электроды облегчают зажигание лампы и содействуют ее более стабильной работе.

При подаче напряжения между близко расположенными главным катодом и дополнительным электродом обратной полярности на обоих концах горелки начинается ионизация газа, а затем разряд переходит на участок между главными катодами, так как они включены в цепь без дополнитель-

ных сопротивлений (поэтому напряжение между ними большее).

Электрический разряд в газе образует видимое голубовато-зеленое и невидимое ультрафиолетовое излучение, которое вызывает красноватое свечение люминофора. В результате получается свет, напоминающий дневной. Лампы типа ДРЛ выпускаются мощностью 80–1000 Вт.

Главные преимущества люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания следующие: высокая экономичность (например, лампа белого света ЛБ мощностью 20 Вт дает световой поток 980 лм, а лампа накаливания мощностью 60 Вт имеет световой поток 660 лм); хороший спектр излучения, невысокая температура нагрева и большой срок службы (более 10 000 часов).

Недостатками люминесцентного освещения являются: пониженный коэффициент мощности ($\cos \varphi$); неустойчивая работа и ненадежное зажигание при температуре ниже -5°C ; необходимость в пускорегулирующих аппаратах и сложность схем включения; инерционность зажигания (до 10 мин); пульсация светового потока, обусловленная колебанием переменного тока промышлен-

ной частоты. Она отрицательно влияет на зрение и приводит к возникновению стробоскопического эффекта (вращающиеся и движущиеся детали механизмов кажутся неподвижными или вращающимися в обратном направлении), что может вызвать опасные ситуации для людей, работающих в цехах промышленных предприятий.

С целью повышения эффективности люминесцентного освещения применяют компенсирующие устройства (для повышения $\cos \phi$), специальные схемы включения ламп (для уменьшения пульсаций светового потока), особые светильники и схемы (для устойчивой работы ламп при низкой температуре).

Наиболее современными источниками света являются металлогалогенные лампы (МГЛ), в колбу которых вводятся галогены различных металлов. Для общего освещения применяются МГЛ типа ДРИ (дуговая, ртутная с йодными добавками).

Самыми экономичными источниками света являются натриевые лампы, у которых световая отдача достигает сотен люмен на один ватт (применяются для освещения автострад, туннелей, товарных станций и т. д.). В натриевых лампах высокого давления используется разряд в парах натрия, ртути и зажигающем газе ксеноне. Натриевые лампы типа ДНаТ (дуговые, натриевые, трубчатые) используются для освещения улиц, площадей и больших открытых пространств.

При освещении больших территорий (карьеры, сортировочные станции) применяются более мощные (от 2 до 50 кВт) ксеноновые трубчатые лампы типа ДКсТ, которые зажигаются с помощью пускового устройства, вырабатывающего высоковольтный (до 30 кВ) высокочастотный импульс напряжения, под действием которого у ксенона возникает разряд.

Плановый ремонт осветительной установки проводят одновременно с ремонтом всего оборудования РУ: проверяют целостность щитков, рубильников, выключателей, автоматов, предохранителей, штепсельных розеток, светильников, изоляции проводов. Контактные соединения при необходимости зачищают. Перегоревшие лампы заменяют новыми. Патроны должны быть надежно закреплены и не вращаться при замене лампы. Стекланные колпаки протирают или промывают (при большом загрязнении).

После ремонта проверяют сопротивление изоляции электропроводки и понижающего трансформатора.

5.18. Ремонт заземляющего устройства РУ

Корпуса электрооборудования при повреждении изоляции токоведущих частей оказываются под напряжением, что может привести к тяжелому несчастному случаю. Для обеспечения защиты

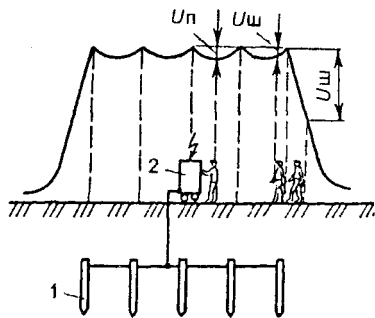


Рис. 5.18. Распределение потенциалов в зоне расположения контура заземления:

1 - контур заземления; 2 - трансформатор, имеющий пробой изоляции на корпус; $U_{\text{п}}$ - напряжение прикосновения; $U_{\text{ш}}$ - напряжение шага

прикасающихся с землей, а *заземляющим проводником* - металлический проводник, соединяющий заземляемые части электроустановки с заземлителем.

Если через заземлитель пропустить ток и измерить напряжение относительно земли на различных расстояниях, то оказывается, что чем дальше от заземлителя, тем меньше напряжение. На расстоянии более 20 м оно почти равно нулю. Между любыми двумя точками, находящимися на пути прохождения тока замыкания на землю, существует разность потенциалов. Поэтому человек, который находится в этой зоне, оказывается под воздействием шагового напряжения $U_{\text{ш}}$. Существует также напряжение прикосновения $U_{\text{п}}$, под которым оказывается человек, прикоснувшийся к заземленному корпусу электрооборудования при повреждении изоляции одной из фаз (рис. 5.18).

В зависимости от времени воздействия установлены допустимые напряжения прикосновения для РУ и ТП: свыше 1000 В с глухозаземленной нейтралью при продолжительности воздействия до 0,2 с - 500 В; 0,5 с - 200 В; 0,7 с - 130 В; 1 с - 100 В; 1 - 3 с - 65 В.

Заземление электроустановок необходимо выполнять: при напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В постоянного тока - во всех случаях; при напряжении выше 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока - в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках; при всех напряжениях переменного и постоянного тока - во взрывоопасных помещениях.

людей от поражения электрическим током выполняют заземляющие устройства и соединяют (заземляют) с ними корпуса электрооборудования и другие части электроустановки. Это так называемое «защитное заземление». Существует также «рабочее заземление», необходимое для обеспечения нормальных режимов работы оборудования, например заземление нулевого провода (вывода) трансформатора.

Заземляющее устройство состоит из заземлителя и заземляющих проводников. **Заземлителем** называется один или группа металлических проводников, соприкасающихся с землей, а **заземляющим проводником** - метал-

Заземлять необходимо: корпуса электрических машин, трансформаторов, светильников, приводы электрических аппаратов, вторичные обмотки измерительных трансформаторов, каркасы распределительных щитов и щитов управления, щитков и шкафов, металлические оболочки и броню контрольного и силового кабеля, металлические конструкции с установками электрооборудования, металлические корпуса подвижных и переносных электроприемников.

Не заземляют: арматуру изоляторов и осветительную арматуру, если они установлены на деревянных опорах линий электропередачи; оборудование на заземленных металлических конструкциях; корпуса электроизмерительных приборов, расположенных на щитках, а также на стенах камер РУ, и т. п.

В цепи заземления (чтобы избежать разрыва) не должны устанавливаться предохранители, разъединители и другие коммутационные аппараты, а заземление оборудования необходимо выполнять параллельным соединением с заземляющим контуром.

Заземлитель и заземляющие проводники соединяют сваркой и, как исключение, болтами. Соединение заземляющих проводников с металлоконструкциями также выполняют сваркой, а с корпусами электрических аппаратов и машин – болтами. Контактные поверхности болтовых соединений должны быть зачищены до металлического блеска и покрыты тонким слоем вазелина. Открыто проложенные проводники заземления окрашивают полосками краской желтого и зеленого цвета. Заземляющие проводники внутри сырых помещений должны находиться от стены на расстоянии 10–20 мм.

Примеры выполнения заземления оборудования и металлических конструкций в РУ показаны на рис. 5.19.

При ремонте оборудования РУ проверяют состояние заземляющего устройства и окрашивают открыто проложенные заземляющие проводники. При этом измеряют сопротивление заземления, выборочно раскрывают грунт, чтобы убедиться в отсутствии коррозии заземляющего устройства.

При осмотре надежность мест сварки контролируют легкими ударами молотка. При наличии пробивных предохранителей проверяют их состояние.

Измерение сопротивления заземляющего устройства чаще всего выполняют с использованием амперметра и вольтметра (рис. 5.20) или приборов МС-08 завода «Энергоприбор», Ф4103-М1 Яманского ПО «Мегаомметр». Между заземляющим устройством Z и вспомогательным токовым электродом T пропускают однофазный переменный ток I , измеряемый амперметром A . Между за-

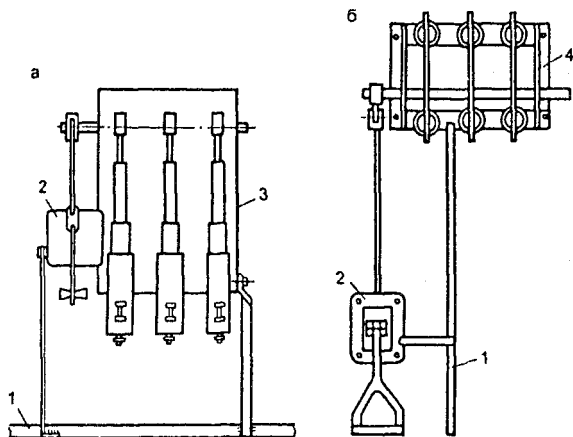


Рис. 5.19. Заземление:
 а – масляного выключателя; б – разъединителя; 1 – магистраль заземления; 2 – привод; 3, 4 – рамы масляного выключателя и разъединителя

землителем З и электродом Т в землю забивают еще один вспомогательный потенциальный электрод П и измеряют напряжение U вольтметром V .

Измерение сопротивления заземляющего устройства выполняют в таком порядке. Сначала вольтметром проверяют отсутствие напряжения между электродом П и землителем З. Если вольтметр V показывает напряжение, то, изменяя направление расположения электродов или увеличивая пропорционально расстояния между ними, добиваются, чтобы стрелка вольтметра показывала нуль или близко к нему. После этого включают в сеть переменного тока трансформатор Tr при полном сопротивлении R и увеличивают ток и одновременно снимают показания амперметра и вольтметра. Затем вычисляют сопротивление заземления:

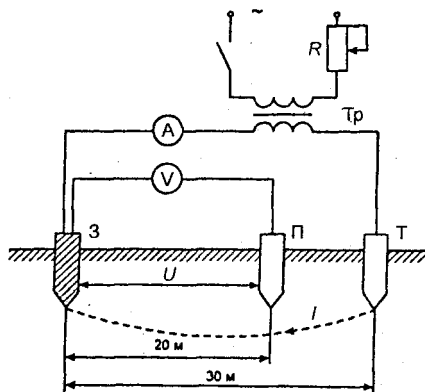


Рис. 5.20. Схема измерения сопротивления заземления методом амперметра и вольтметра

Затем вычисляют сопротивление заземления:

$$R_3 = U/I.$$

Выполняют не менее трех измерений и за величину R_3 принимают среднеарифметическое значение.

Преимуществами такого способа измерения сопротивления заземляющего устройства являются точность и возможность определения очень малых сопротивлений (до сотых долей ома), а недостатками — наличие двух измерительных приборов и трансформатора, невозможность непосредственного отсчета, повышенная опасность для людей, выполняющих измерение. Этим способом в основном измеряют сопротивление заземляющих устройств электрических станций мощных районных ТП.

Прибор МС-08 (рис. 5.21) имеет три шкалы: 10–1000, 1–100 и 0,1–10 Ом. В основе его работы — принцип одновременного измерения тока и напряжения магнитоэлектрическим лагометром. Он имеет потенциальную и токовую рамки, закрепленные под углом и находящиеся в поле постоянного магнита. Сила тока в потенциальной рамке, подключаемой параллельно П и З, пропорциональна падению напряжения U , а ток в токовой рамке, включаемой последовательно с электродом Т, пропорционален току I , проходящему через заземлитель З. Угол отклонения обеих рамок лагометра в постоянном магнитном поле пропорционален отношению

$$aU/I = R_3,$$

где a — коэффициент пропорциональности.

В прибор МС-08 входят генератор постоянного тока с ручным приводом, прерыватель тока, выпрямитель и регулируемый резистор для дополнения сопротивления потенциальной цепи до 1000 Ом. При вращении рукоятки генератора постоянный ток на прерывателе преобразуется в переменный, через зажим I_2 и электрод Т идет в землю, а через зажимы E_1 и E_2 подается на выпрямитель, а затем на потенциальную рамку лагометра и в генератор. Переменный ток I , проходя по земле, вызывает между П и З падение напряжения U .

Дополнительные электроды П и Т (стальные стержни длиной около 1 м) забивают на определенном расстоянии в плотный грунт на глубину не менее 0,5 м.

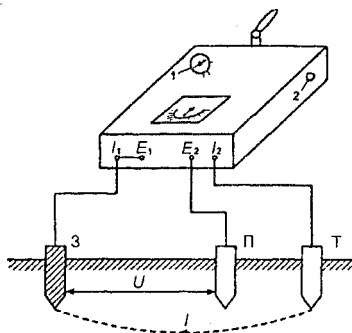


Рис. 5.21. Схема измерения сопротивления заземления прибором МС-08

Измерение R_3 производят следующим образом. Сначала выполняют компенсацию сопротивления потенциальной цепи. С этой целью переключатель 1 устанавливают в положение «регулировка», вращают генератор (частота 120–135 об/мин) и с помощью регулируемого сопротивления 2 добиваются, чтобы стрелка прибора совпала с красной чертой на шкале. После этого переключатель 1 ставят в положение «×1», продолжая вращать ручку генератора, выполняют измерение по шкале 10–1000 Ом. Если стрелка отклонилась незначительно, переключатель переводят в положение «×0,1» (шкала 1–100 Ом) и, если измерение не удовлетворяет, – в положение «×0,001» (шкала 0,1–10 Ом). При этом стрелка должна отклоняться не менее чем на 2/3 шкалы.

Преимущества прибора МС-08:

- отсутствие сети переменного тока;
- безопасность измерения для людей;
- непосредственный отсчет сопротивления по шкале прибора.

Недостатки:

- значительная масса прибора (около 13 кг);
- сравнительно большая погрешность измерения (до 12,5%).

При использовании защитного заземления уменьшается напряжение на корпусе электрооборудования (в случае повреждения изоляции его токоведущих частей), соединенного с заземлителем:

$$U_3 = I_3 R_3,$$

где I_3 – ток замыкания на землю, который проходит через заземлитель; R_3 – сопротивление заземлителя.

При касании заземленного электрооборудования в случае короткого замыкания на корпус человек оказывается как бы подключенным на напряжение U_3 параллельно с заземлителем. Поэтому, чтобы уменьшить ток $I_{\text{чел}}$, проходящий в таком случае через тело человека (с сопротивлением $R_{\text{чел}}$), необходимо иметь как можно меньшее сопротивление заземлителя, так как

$$I_{\text{чел}} = U_3 / R_{\text{чел}} = I_3 R_3 / R_{\text{чел}}.$$

Сопротивление заземляющего устройства, с которым соединяют нейтрали генераторов и трансформаторов, а также электроустановок напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью, должно составлять не более 4 Ом (при мощности 100 кВ·А и менее R_3 может быть до 10 Ом). В электроустановках с глухозаземленной нейтралью и с большими (более 500 А) токами короткого замыкания (РУ и сети напряжением 110 кВ и выше) сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 0,5 Ом. Заземляющее

устройство электроустановок в сельской местности (на животноводческих комплексах и др.) проверяется с помощью прибора Эко-200.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как создается единая электрическая система?
2. Для чего предназначены распределительные пункты и трансформаторные подстанции?
3. Что вы знаете об электрооборудовании РУ напряжением до 10 кВ?
4. Какие принципы гашения дуги используются в предохранителях ПН и ПР?
5. Какие основные марки проводов применяют для электропроводок РУ?
6. Как проверяют качество контактных соединений?
7. В какой последовательности выполняют ремонт электромагнитных выключателей?
8. Какие смазки используются при ремонте электрооборудования РУ?
9. Какими приборами измеряют сопротивление заземляющего устройства?
10. Как ремонтируют осветительную установку?
11. Для каких целей предназначены заземляющие устройства?
12. Что называется напряжением шага, напряжением прикосновения?

ОХРАНА ТРУДА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

6.1. Общие сведения

Все электроустановки разделяются на установки напряжением до 1000 В и выше 1000 В. Специальным видом электроустановки является *электропомещение* – помещение или огороженные его части с находящимся там электрооборудованием, в которое имеет доступ только обслуживающий персонал.

Техникой безопасности называется система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов. В электроустановках опасным фактором является электрический ток. Поэтому безопасность обслуживающего персонала и посторонних лиц должна обеспечиваться путем:

- применения надлежащей изоляции, а в отдельных случаях – повышенной;
- использования двойной изоляции;
- соблюдения соответствующих расстояний до токоведущих частей, их закрытия и ограждения;
- блокировки аппаратов и применения ограждающих устройств для предотвращения ошибочных операций и доступа к токоведущим частям;
- надежного и быстродействующего автоматического отключения частей электрооборудования, случайно оказавшихся под напряжением, и поврежденных участков сети, в том числе защитного отключения;
- заземления или зануления корпусов электрооборудования и элементов электроустановок, которые могут оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции;
- выравнивания потенциалов;
- применения разделительных трансформаторов;
- использования переменного тока напряжением 42 В и ниже и частотой 50 Гц, а также постоянного тока напряжением 110 В и ниже;

- применения предупреждающей сигнализации, надписей и плакатов;
- использования устройств, снижающих напряженность электрических полей;
- применения средств защиты, в том числе от воздействия электрического поля в электроустановках, где его напряженность превышает допустимые нормы.

Конкретные технические и организационные меры защиты зависят от класса помещения (табл. 6.1), напряжения и назначения электроустановки.

Неизолированные части электроустановок при любом напряжении надежно ограждают или располагают на недоступной высоте. Ограждение должно быть прочным, негорючим, из металлических листов или сеток с размером ячеек не более 25×25 мм. Ограждения запираются на замки. К ограждениям токоведущих частей напряжением свыше 1000 В предъявляются повышенные требования: двери должны иметь блокировку, которая не позволяет войти в камеру или за ограждение, прежде чем не будет отключено напряжение, и др.

Рабочим элементом блокировки могут быть механические приспособления – стопоры, защелки, фигурные вырезки (механическая блокировка), блок-контакты, разрывающие электрическую цепь (электрическая блокировка), электромагнитный ключ, который включает (или не включает) коммутационную аппаратуру (электромагнитная блокировка).

Таблица 6.1. Классификация помещений электроустановок по степени опасности поражения током

Класс	Характеристика помещения
Повышенной опасности	Наличие одного из следующих условий: сырость (относительная влажность более 75%) или токопроводящая пыль; токопроводящие полы (металлические, кирпичные, земляные и т. д.), высокая температура (выше +35 °С), возможность одновременного прикосновения человека к металлическим частям, имеющим соединение с землей, и к металлическим корпусам электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции
Особо опасные	Наличие одного из следующих условий: большая сырость (относительная влажность близка к 100%); химически активная или органическая среда или одновременно двух или более условий повышенной опасности
Без повышенной опасности	Отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность, которые перечислены выше

Для переносных ламп, паяльников, электрифицированного инструмента используют пониженное напряжение (12–36 В), получаемое с помощью понижающего трансформатора. При этом вторичную обмотку и его корпус заземляют, чтобы предотвратить случайный переход высокого (первичного) напряжения на вторичную обмотку.

6.2. Воздействие электрического тока на человека

Электрический ток, воздействующий непосредственно на человека, а также другие виды энергии, возникающие при разрядах электричества, вызывают явные или скрытые повреждения, так называемые *электрические травмы*. К ним относятся электрические знаки, ожоги и электрические удары.

Электрический знак представляет собой омертвевшую кожу в виде мозоли (появляется на входе тока в тело человека и на выходе из него), со временем (иногда через годы) исчезает.

Ожоги вызывает электрическая дуга (когда человек прикасается к токоведущим частям, находящимся под высоким напряжением, при коротком замыкании и т. п.), а также электрический ток (при непосредственном контакте тела с токоведущими частями).

Электрический удар внешне проявляется в виде судорожных сокращений мышц различной степени тяжести (потеря сознания, нарушение дыхания, работы сердца и др.). В более тяжелых случаях нарушается ритм работы сердца и может произойти даже его остановка. Если в течение 5–6 мин удастся восстановить его деятельность, можно рассчитывать на полное возвращение человека к жизни. Поэтому очень важно вовремя оказать первую помощь пострадавшему (искусственное дыхание, непрямой массаж сердца).

Действие электрического тока на человека зависит от многих факторов: рода тока (переменный или постоянный, а при переменном – от его частоты), его величины или напряжения, продолжительности воздействия и пути прохождения через тело, а также от физического и психического состояния человека.

Наиболее опасным для человека является переменный ток частотой 50–60 Гц. Человек может самостоятельно освободиться от тока такой частоты величиной до 10 мА, а при постоянном токе – до 25 мА.

Электрическое сопротивление тела человека состоит из сопротивления кожи и сопротивления внутренних тканей. Наибольшее сопротивление имеет верхний слой кожи (доли миллиметра). Сопротивление тела человека – величина нелинейная, с увеличением прикладываемого напряжения от 10 до 140 В оно резко уменьша-

ется – от 10 000 Ом до 800 Ом. Соответственно опасность поражения человека увеличивается. Сопротивление тела уменьшается с увеличением продолжительности воздействия на него тока, площади и плотности контакта с токоведущей частью, а также при неудовлетворительном физическом и психологическом состоянии человека. Особенно значительно снижает сопротивление тела человека наличие алкоголя. В расчетах по электробезопасности за наименьшее сопротивление тела человека принимают величину, равную 1000 Ом.

6.3. Виды работ, выполняемых в действующих электроустановках

Действующими называются электроустановки, находящиеся под напряжением или на которых напряжения нет, но оно может появиться при включении коммутационной аппаратуры (выключателей, разъединителей и т. д.).

По степени опасности работы в электроустановках разделяют на четыре группы.

Работа без отключения напряжения, выполняемая вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением. При этом исключается случайное приближение работающих и инструмента, которым они пользуются, к токоведущим частям на опасные расстояния, т. е. отсутствует возможность поражения людей током. В этом случае не требуется отключать электрооборудование или выполнять другие технические и организационные меры.

Работа без отключения напряжения, выполняемая вблизи и на токоведущих частях, находящихся под напряжением. Так как при этом возможно прикосновение работающих к токоведущим частям, необходимо выполнять технические и организационные меры защиты. При работе на токоведущих частях используются изолирующие средства.

Работа с частичным отключением напряжения. Напряжение снято только с того оборудования, на котором выполняется работа, или полностью с электроустановки, но имеется открытый доступ в соседнее помещение, в котором токоведущие части находятся под напряжением.

Работа с полным отключением напряжения. Со всех элементов электроустановки снято напряжение, и доступ в соседние помещения с оборудованием под напряжением закрыт.

При выполнении работ, связанных с частичным или полным отключением напряжения, обязательно должны осуществляться технические и организационные меры защиты, чтобы избежать несчастных случаев.

6.4. Технические и организационные мероприятия защиты

Целью технических мероприятий является подготовка безопасного рабочего места для выполнения ремонтных работ электрооборудования.

Отключение токоведущих частей. Отключают оборудование, которое требует ремонта, и те токоведущие части, к которым можно случайно прикоснуться или приблизиться на опасное расстояние. Отключенный участок должен иметь видимые разрывы с каждой стороны токоведущих частей, на которые может быть подано напряжение. Видимые разрывы обеспечивают отключенными разъединителями, выключателями нагрузки, рубильниками (в электроустановках напряжением до 1000 В), снятыми предохранителями, отсоединенными перемычками или частями ошиновки.

При отключении напряжения необходимо выполнять меры безопасности (например, плавкие предохранители снимают с помощью изолированных клещей в диэлектрических перчатках и защитных очках).

Вывешивание запрещающих плакатов и ограждение неотключенных токоведущих частей. На отключенных коммутационных аппаратах вывешивают плакаты: «Не включать – работают люди!», «Не включать – работа на линии!», «Не открывать – работают люди!» (на приводах вентилей подачи воздуха); при необходимости на неотключенных токоведущих частях устанавливают ограждения.

Проверка отсутствия напряжения. Сначала снимают постоянные ограждения. Подключают переносное заземление к металлической шине, соединенной с заземляющим устройством. Указателем напряжения проверяют отсутствие напряжения, но перед этим необходимо обязательно проконтролировать его исправность, приблизив щуп (контакт-электрод) к находящейся под напряжением токоведущей части на расстояние, достаточное для появления свечения лампы (светодиода). Если она начинает светиться, значит указатель исправен.

Исправным указателем проверяют отсутствие напряжения между фазами, между каждой фазой и землей, между фазами и нулевым проводом. Если указатель покажет напряжение на токоведущей части, необходимо установить на место снятые ограждения и найти причину появления напряжения.

Делать заключение об отсутствии на установке напряжения по показаниям сигнальных ламп, вольтметра нельзя, так как они являются только дополнительными средствами контроля.

Наложение и снятие заземления. После проверки отсутствия напряжения отключенные части немедленно заземляют с помощью переносного заземления, один конец которого уже был соединен с заземляющим устройством. При этом зажимы переносного заземления накладывают на отключенные токоведущие части сначала с помощью изолирующей штанги, а затем уже закрепляют эти зажимы штангой или вручную.

Снимают заземление (после окончания работ) в обратном порядке: сначала с токоведущих частей, а затем с заземляющей шины с помощью изолирующей штанги. Все работы выполняют в диэлектрических перчатках.

Ограждение рабочего места и вывешивание плакатов безопасности. Вдоль пути от входа в электроустановку до места ремонтных работ устанавливают временные ограждения или переносные щиты, на которых (а также на постоянных ограждениях соседних ячеек) вывешивают предупреждающие плакаты («Стоять – напряжение»), на месте работ – предписывающие плакаты («Работать здесь», «Влезать здесь»).

Работы в электроустановках должен выполнять обученный персонал, имеющий квалификационные группы электробезопасности (I–V), а технические мероприятия – оперативный персонал (один из них должен иметь квалификационную группу не ниже IV).

Организационные мероприятия при подготовке рабочего места и в период выполнения ремонтных работ включают: оформление наряда-допуска (наряда) или распоряжения; допуск к работе; надзор во время работы; занесение в журнал записей о перерывах в работе, переходов на другое рабочее место, об окончании работы.

Наряд-допуск (наряд) – составленное на специальном бланке распоряжение на безопасное проведение работы, определяющее ее содержание, место, время начала и окончания, необходимые меры безопасности, состав бригады и лиц, ответственных за безопасное выполнение работы.

Работающие отвечают за выполнение ими правил безопасности и указаний, полученных при допуске к работе и во время работы.

6.5. Средства защиты работающих в электроустановках

Средствами защиты называются средства, использование которых предотвращает или уменьшает воздействие на работающих опасных или вредных производственных факторов.

Электрозащитные средства предназначены для защиты людей от поражения электрическим током, воздействия электриче-

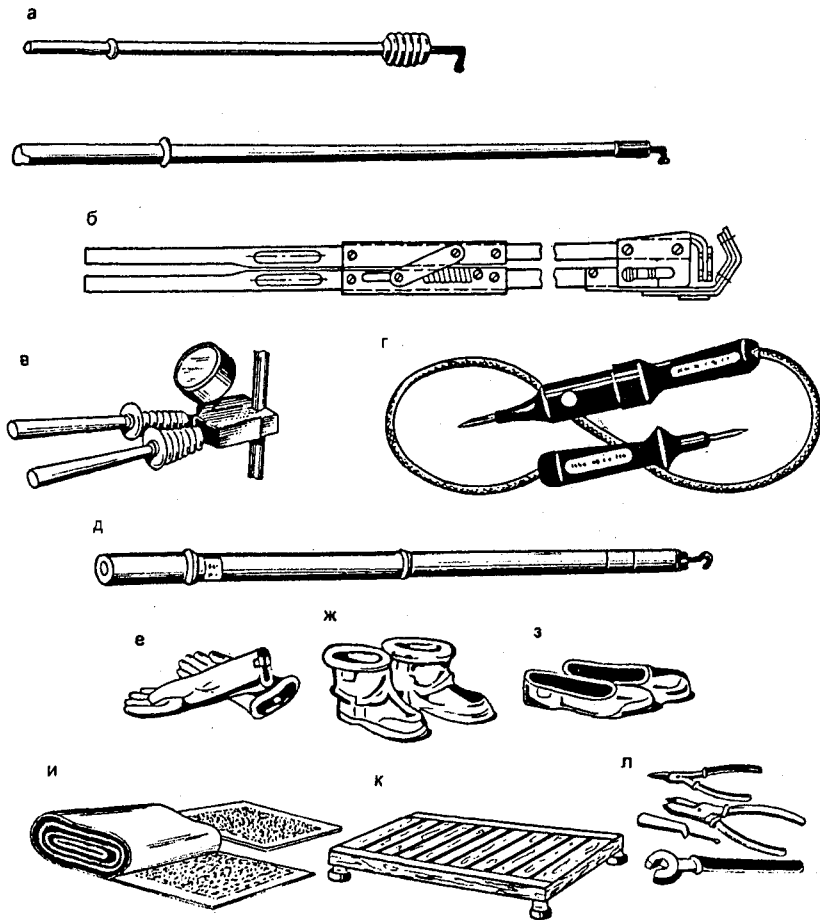


Рис. 6.1. Защитные диэлектрические средства:

а – изолирующие штанги; *б* – изолирующие клещи; *в* – токоизмерительные клещи; *г* – указатель напряжения до 1000 В; *д* – указатель напряжения выше 1000 В; *е* – перчатки; *ж* – боты; *з* – галоши; *и* – коврики; *к* – изолирующая подставка; *л* – монтерский инструмент с изолирующими рукоятками

ской дуги и электромагнитного поля (рис. 6.1). К электробезопасным средствам относят:

- изолирующие штанги (оперативные, для наложения заземления, измерительные), изолирующие клещи, электроизмерительные указатели напряжения для фазировки;
- изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ под напряжением свыше 1000 В и слесарно-монтажный

инструмент с изолирующими рукоятками для работы в электроустановках напряжением до 1000 В;

- диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие накладки и подставки;
- индивидуальные экранирующие комплекты;
- переносные заземления;
- оградительные устройства и диэлектрические колпаки;
- плакаты и знаки безопасности.

Изолирующие штанги выполняют из прочного и высококачественного диэлектрика. Они состоят из изолированной части, ограничительного кольца и ручки.

Изолирующие клещи состоят из двух частей, каждая из которых имеет изолированную рабочую губку, ограничительное кольцо и ручку-захват.

Токоизмерительные клещи представляют собой переносной трансформатор тока с разъемным сердечником, вторичной обмоткой и амперметром.

Указатель напряжения выше 1000 В – это изолирующая штанга с индикатором напряжения (неоновой лампой или светодиодом). Для напряжения до 500 В используют указатели (токоискатели) типа ТИ-2, УНН-90 или МИН-1 с неоновой лампой в качестве индикатора.

Резиновые диэлектрические перчатки, боты, галоши и коврик изготавливают из высококачественной технической резины.

Изолирующая подставка – деревянный настил размером 0,5×0,5 м на опорных изоляторах. Используется для дополнительной изоляции при операциях с предохранителями, разъединителями и т. д.

Изолирующие рукоятки слесарно-монтажного инструмента должны иметь ограничительный упор и гладкое изоляционное покрытие длиной не менее 10 см.

При работах в электроустановках могут применяться также средства индивидуальной защиты: очки, каски, противогазы, рукавицы, предохранительные пояса и страховочные канаты.

Электрозашитные средства разделяют на основные и дополнительные.

Основные – это электрозашитные средства, изоляция которых длительное время выдерживает рабочее напряжение электроустановок и которые позволяют прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Поэтому их изготавливают из материалов с устойчивой диэлектрической характеристикой (пластмасса, бакелит, фарфор, эбонит, гетинакс и т. п.).

Дополнительными называются средства для защиты от напряжения прикосновения и напряжения шага, которые сами не могут при данном напряжении обеспечить защиту от поражения током, а применяются вместе с основными электрозащитными средствами.

Классификация электрозащитных средств приведена в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Электрозащитные средства

Электрозащитные средства	Электрозащитные средства, используемые при напряжении электроустановки до 1000 В	Электрозащитные средства, используемые при напряжении электроустановки свыше 1000 В
Основные	Изолирующие штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи, диэлектрические перчатки, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками, указатели напряжения	Изолирующие штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи, указатели напряжения и приспособления для ремонтных работ: изолирующие лестницы, площадки, тяги, канаты, корзины телескопических вышек и др.
Дополнительные	Диэлектрические галоши, диэлектрические коврики, изолирующие подставки и накладки, переносные заземления	Диэлектрические перчатки, боты, коврики, индивидуальные экранирующие комплекты, изолирующие подставки и накладки, диэлектрические колпаки, переносные заземления, оградительные устройства, плакаты и знаки безопасности

В энергосистеме Беларуси используются новейшие электрозащитные средства, обеспечивающие безопасность труда. С 1994 г. успешно эксплуатируется более 1000 бесконтактных светозвуковых указателей высокого напряжения с самоконтролем на напряжение 6–400 кВ типа КД-400 (разработаны и изготовлены в Польше). Такой указатель имеет переключатель диапазонов напряжения (6–35, 110–220 и 400 кВ) и поэтому заменяет несколько указателей на разные классы напряжения, которые применялись раньше. Принцип работы основан на регистрации электрического поля, усилении его за счет энергии встроенных аккумуляторов и выдачи ярких световых сигналов (от светодиодов) и звукового сигнала.

На электростанциях, трансформаторных подстанциях и преимущественно в распределительных электрических сетях (6–10 кВ) применяются комбинированные указатели высокого напряжения типа УВНК-10Б (разработаны и изготавливаются МО «Шанс», Минск), они используются отдельно и вместе с универсальной электроизолирующей штангой типа ШЭУ-10 и др. Работоспособ-

ность бесконтактной части таких указателей подтверждается возникновением звукового или светового сигнала (свечение от светодиода красного цвета). Проверка отсутствия напряжения на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) 6–10 кВ или 35–110 кВ контактным способом с помощью указателя УВНК-10Б на штангах ШЭУ производится непосредственно с земли или с телескопических вышек на всех проводах ВЛ с соблюдением безопасных расстояний до проводов этих линий, которые могут оказаться под напряжением.

Вместо указателей УВНФ-10, УВНФ-10 МК и других, не подлежащих восстановлению, можно применять указатели для проверки совпадения фаз в электроустановках 6–10 кВ типа УПСФ-10 (МО «Шанс»). Этот указатель при касании разноименных фаз выдает световой сигнал красного цвета, который виден на расстоянии 7 м даже при ярком освещении.

Кроме этого, в энергосистеме Беларуси применяются новые приборы для определения напряжения:

- бесконтактный индикатор напряжения типа БИН-10 (ОАО «Белэнергоремналадка»), используется оперативным и оперативно-ремонтным персоналом;
- универсальный контактный указатель напряжения типа УНУ-12-400 (Витебский опытно-экспериментальный завод концерна «Белэнерго»), применяется для проверки напряжения от 12 до 400 В переменного тока и в цепях постоянного тока с определением полярности;
- бесконтактный прибор индикации опасного напряжения типа ПИОН (МО «Шанс»), который также можно использовать для определения места расположения скрытой проводки, находящейся под напряжением;
- электрический фонарь – бесконтактный сигнализатор наличия напряжения типа «Шанс-Ф», совмещающий осветительный и звуковой приборы.

Переносные заземления применяют для защиты от ошибочной подачи напряжения на отключенные для ремонтных работ части электроустановок и появления на них наведенного напряжения. Переносное заземление, например ШЗП (рис. 6.2), состоит из гибких медных проводов 2 для соединения токоведущих частей всех трех фаз электроустановки, провода 6, соединяющего их с заземляющим устройством, зажимов 1 для подключения заземления к оборудованию и струбины 5, соединяющей заземление с заземляющей шиной.

Заземление накладывается с помощью постоянной или съемной штанги, представляющей собой изолированную часть 3, рукоятка которой ограничивается кольцом 4.

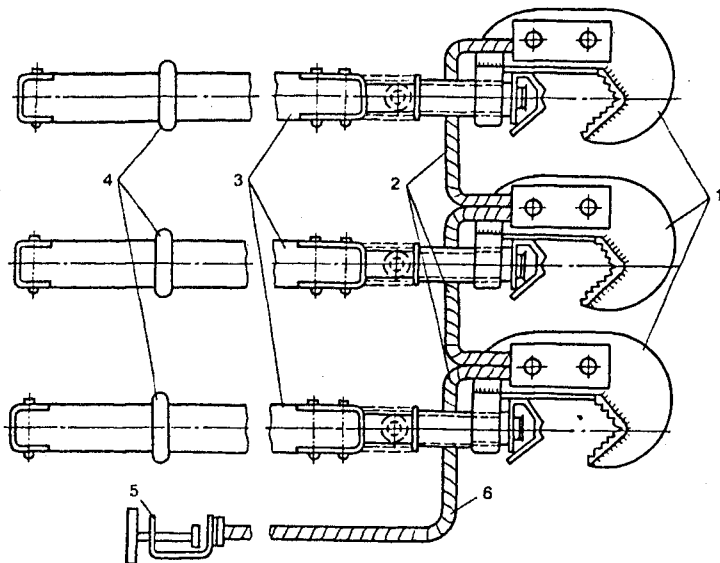


Рис. 6.2. Переносное заземление со штангами ППЗ

Сечение проводов заземления выбирается по термической устойчивости при коротком замыкании. Оно должно быть не менее 25 мм в электроустановках напряжением свыше 1000 В и не менее 16 мм в установках 1000 В и ниже.

6.6. Защитное зануление и защитное отключение

Защитное заземление (см. рис. 5.18) применяется в трехфазных электроустановках напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и свыше 1000 В при любом режиме нейтрали. В трехфазных четырехпроводных электрических сетях с глухозаземленной нейтралью до 1000 В (380/220, 220/127 В) применяют защитное зануление, так как заземление в этих сетях не обеспечивает надежной защиты человека от поражения электрическим током.

Защитное зануление – вид защиты от поражения электрическим током путем автоматического отключения поврежденного участка и одновременного снижения напряжения на корпусах электрооборудования, пока не отключится коммутационный аппарат. Зануление осуществляют соединением нетоковедущих частей с нулевым проводом с помощью металлических проводников, имеющих очень малое (меньше 1 Ом) сопротивление. При этом ток

короткого замыкания, проходя по металлической цепи зануления, является достаточным для надежного отключения поврежденного электрооборудования.

Защитное отключение – вид защиты от поражения электрическим током в электроустановках напряжением до 1000 В путем отключения всех фаз аварийного участка сети за время, допустимое по безопасности для человека. Опасность поражения возникает в случаях однофазного замыкания на корпус, снижения сопротивления изоляции ниже допустимого уровня. Продолжительность отключения поврежденного участка сети – не более 0,2 с.

Области применения защитного отключения:

- в передвижных электроустановках напряжением до 1000 В;
- дополнительно к защитному занулению для отключения электрооборудования, находящегося на больших расстояниях от пункта питания;
- дополнительно к защитному заземлению или занулению в электрифицированном инструменте;
- если невозможно выполнить необходимое заземление в скальных, многолетнемерзлых грунтах и т. п.

Принцип выполнения защитного отключения зависит от типа входного сигнала, поступающего на датчик (реле максимального тока или реле напряжения – основной элемент схемы). Замыкание фазы электрической сети на землю или снижение изоляции приводит к несимметрии трехфазной системы токов и напряжений электроустановки. На корпусе поврежденного элемента появляется напряжение относительно земли. Токи короткого замыкания, напряжения или их несимметрия действуют на соответствующие датчики, которые отключают коммутационный аппарат в цепи питания аварийного участка.

Устройство защитного отключения (УЗО) является высокоэффективным электрорезервным средством. Обычно УЗО совмещают с автоматическими выключателями (например УЗО на 220 и 380 В гомельского завода «Электроаппаратура», УЗО-ВАД2 ОАО концерна «Энергомер», Москва).

УЗО-ВАД2 представляет собой двухполюсный автоматический выключатель со встроенной защитой от сверхтоков. Реагирует на дифференциальный ток, выполняется на номинальные токи 10–63 А, имеет дополнительные функциональные возможности. Состоит из обособленных, механически соединенных и электрически связанных: 1) автоматического выключателя, содержащего независимый расцепитель в одном из полюсов, и комбинированный (тепловой и электромагнитный) расцепитель в другом полюсе; 2) модуля дифференциального тока, т. е. данная конструкция

позволяет совмещать с УЗО различные типы автоматических выключателей. В модуле дифференциального тока размещены:

- печатная плата с электронной схемой усиления, питаемой от защищаемой сети;
- измерительный трансформатор тока, выделяющий дифференциальный (остаточный) ток;
- кнопка для проверки работоспособности цепи тока.

При появлении на защищаемом участке сети тока утечки (повреждения) на землю или сверхтока (тока перегрузки или короткого замыкания) устройство срабатывает и защищаемый участок сети отключается. УЗО реагирует как на синусоидальный переменный дифференциальный, так и на пульсирующий постоянный дифференциальный ток. Это позволяет применять их в зданиях и жилых помещениях, насыщенных бытовой техникой (телевизор, видеомагнитофон, персональный компьютер, стиральная машина и др.).

УЗО имеют повышенную коммутационную способность (до 3000 А) и соответствуют требованиям пожарной безопасности (детали выполнены из материалов, выдерживающих испытание на огнестойкость при температуре до 960 °С, и обладают высокой теплостойкостью).

6.7. Меры безопасности при отдельных ремонтных работах

Требования к переносным электрическим приборам и инструменту. Повышенная опасность возникает при работе с переносными электрическими приборами и инструментом. Для питания переносных ламп, приборов и инструмента в помещениях применяют напряжение: 12 В – в особо опасных и 36 В – в помещениях с повышенной опасностью, а также при работах вне помещений. При этом вилки переносных ламп на 12 и 36 В не должны подходить к штепсельным розеткам на 220 В, возле которых помещают соответствующие надписи.

Вне помещений и в помещениях с повышенной опасностью при напряжении до 220 В используют электрифицированный инструмент с двойной изоляцией. При работе применяют дополнительные защитные средства – диэлектрические перчатки, галоши, коврики. В инструменте с одинарной изоляцией заземляют корпус.

Сопротивление изоляции электрических цепей инструмента проверяют мегаомметром на 500 В один раз в месяц: оно должно быть не ниже 1 МОм. Прочность изоляции испытывают повышенным напряжением один раз в год.

Замена предохранителей. Перед заменой предохранителей необходимо отключить напряжение. В исключительных случаях, когда это сопряжено с перерывом в энергоснабжении ответственных потребителей, разрешается замена предохранителей под напряжением, но при отключенной нагрузке. Работу по замене предохранителей осуществляют в защитных очках и диэлектрических перчатках с помощью изолированных клещей. Ее выполняют без наряда два электрослесаря (IV или III квалификационная группа по электробезопасности) при напряжении выше 1000 В или один (III группа) – при напряжении до 1000 В.

Обслуживание электрических машин. Запрещается осуществлять ремонт вращающихся машин, за исключением тех работ, которые не могут быть выполнены на неподвижной машине, например испытания машин, шлифование колец ротора электродвигателя, проверка щеток и др.

В обмотках статора генератора даже при отсутствии возбуждения наводится значительная ЭДС от остаточного намагничивания ротора. Поэтому при работах в цепях возбуждения необходимо применять индивидуальные средства защиты: инструмент с изолирующими рукоятками, галоши, резиновые диэлектрические коврики.

Работы в преобразовательных установках. Все виды ремонтов в таких установках (ртутных или полупроводниковых, которые преобразуют переменный ток одной частоты в постоянный или переменный ток другой частоты) выполняют по наряду-допуску при полном отключении напряжения и заземлении со всех сторон.

Осмотры ртутных установок, находящихся в работе, выполняют один раз в три месяца, стоя на резиновом коврике или изолированной подставке. Обслуживать ртутные установки необходимо с особой осторожностью, так как ртуть и ее пары ядовиты. Шкаф ртутной установки должен быть всегда закрыт.

Работа в цепях измерения, управления, сигнализации и защиты. Для цепей управления, сигнализации и защиты применяют как постоянный, так и переменный ток напряжением до 220 В. Измерительные приборы, устройства релейной защиты и автоматики подключаются во вторичные цепи измерительных трансформаторов (ТТ и ТН). Особенно опасна работа в цепях ТТ. Запрещается даже кратковременно размыкать цепь вторичной обмотки, так как при этом нарушается баланс магнитных потоков в сердечнике трансформатора и первичный ток становится током намагничивания. Он перегревает железо ТТ и наводит во вторичной обмотке высокое напряжение, опасное для человека. Поэтому до начала работ цепи вторичных обмоток ТТ замыкают между собой металли-

ческим проводом с наконечниками, используя отвертку с изолированной ручкой и изолированным стержнем и стоя на резиновом коврике. Вторичные обмотки ТТ и ТН заземляют, что является защитой при возможном пробое высокого напряжения на обмотку НН.

Работы в КРУ напряжением 6–10 кВ. Для выполнения работ на оборудовании выкатной тележки или на оборудовании отсека КРУ (за выкатной тележкой) тележку полностью выкатывают, автоматические шторки (или дверцы) запирают, так как работникам запрещается проникать за шторки КРУ, вывешивают плакат «Не включать – работают люди!». Если работы производятся непосредственно в отсеке, на верхнюю шторку вывешивают также плакат «Стоять – напряжение!». На кабель, по которому подают напряжение в ячейку, после проверки отсутствия напряжения накладывают заземление и вывешивают плакат «Работать здесь!».

Ремонт выключателя и оборудования, расположенных на выкатной тележке, выполняют обычно далеко от ячеек и находящихся под напряжением токоведущих частей.

При ремонтных работах в приборном отсеке (выкатка тележки в этом случае не требуется) вывешивается плакат «Работать здесь!», а на рукоятке фиксации тележки или дверцах – «Не включать – работают люди!».

Выкатку и закатку тележки выполняет оперативный персонал с IV квалификационной группой (единолично или с контролирующим лицом).

Чистка изоляции в РУ. Изоляцию очищают (без отключения напряжения) щеткой-пылесосом на изолированных штангах, если ширина проходов достаточна для свободного перемещения пылесоса. Работу выполняют в диэлектрических перчатках. Основное требование безопасности при этом – не допустить загрязнения и перекрытия штанги. Поэтому ее полую часть в процессе работы периодически очищают от пыли.

Фазировка цепей в электроустановках. Чтобы включить на параллельную работу трансформаторы, линии и кабели, необходима их предварительная *фазировка*, т. е. определение одноименных фаз, которые подлежат соединению. Фазировку производят на отключенных разъединителях, выключателях или кабелях, отсоединенных от линейных разъединителей. Эту операцию, выполняемую по наряду, осуществляют как минимум два человека, имеющие III и IV квалификационные группы.

Перед началом работы необходимо застегнуть одежду, надеть головные уборы, защитные очки и диэлектрические перчатки. Стоять следует на изолированной подставке и не прикасаться к стенам или заземленным частям.

Перед фазировкой проверяют напряжение на всех шести зажимах: при напряжении до 220 В – токоискателем, свыше 220 В – указателем напряжения с дополнительным сопротивлением.

При фазировке щупом (или электродом-наконечником в УВНФ и УПСФ) указателя напряжения касаются токоведущего провода какой-нибудь фазы, а щупом – другой трубки с дополнительным сопротивлением – той же фазы другой линии. При совпадении одноименных фаз лампа (или светодиод в указателях УВНФ и УПСФ) светиться не будет. Если фазы не совпадают, фазировку выправляют только после полного отключения напряжения и выполнения других необходимых мер безопасности. Указатель напряжения должен быть рассчитан на двойное рабочее напряжение фазлируемых цепей или иметь дополнительное сопротивление.

Работы в осветительных сетях. Как правило, ремонтные работы (чистка арматуры, замена перегоревших ламп) выполняют днем при отключенном напряжении. Если этого сделать нельзя, разрешается осуществлять ремонтные работы под напряжением. При этом соседние токоведущие части ограждают изоляционными щитами или накладками, используют инструмент с изолирующими рукоятками. Работаящий должен быть в головном уборе, с застегнутыми рукавами, стоять на изолированной подставке (или в диэлектрических галошах). Работу выполняют не менее двух человек.

Поврежденные ртутные и люминесцентные лампы уничтожают в специально отведенных местах.

Установку, снятие и проверку счетчиков электроэнергии, подключенных через измерительные трансформаторы, проводят при отключенном напряжении, по наряду, вдвоем (IV и III квалификационные группы).

6.8. Меры безопасности при такелажных работах

Такелажными называют работы по подъему и перемещению тяжелого оборудования с помощью ручных и механизированных средств (например, крупногабаритных и массой более 60 кг трансформаторов, электрических машин и аппаратов).

Электрослесарю часто приходится заниматься демонтажом, перемещением и установкой электрооборудования большой массы. Поэтому он должен знать основные правила выполнения такелажных работ, устройство и способы применения такелажной оснастки и механизмов.

При такелажных работах широко применяют простые по конструкции *грузоподъемные механизмы*: блоки, полиспасты, тали, электротельферы и домкраты (рис. 6.3).

Для крепления грузов к крюкам грузоподъемных механизмов используют чаще всего пеньковые и стальные канаты, реже — хлопчатобумажные и капроновые. Канаты, на концах которых вяжут узлы, называют *чалочными*. Отрезки канатов, соединенные

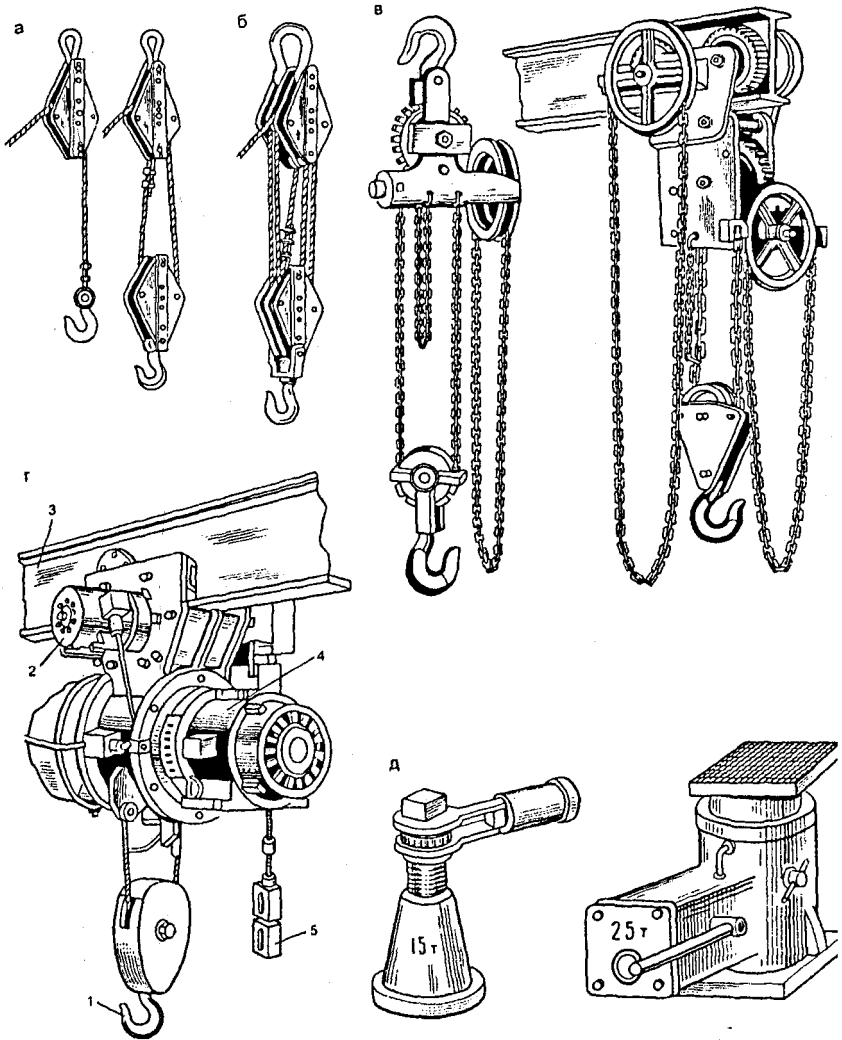


Рис. 6.3. Грузоподъемные механизмы, применяемые при такелажных работах: а — блоки (подвижный и неподвижный); б — полиспаст; в — тали; г — электротельфер; д — домкраты (ручной и гидравлический); 1 — крюк; 2, 4 — электродвигатели тележки и вертикального перемещения груза; 3 — кран-балка; 5 — блок кнопок управления электродвигателями тельфера

определенным образом и имеющие специальные подвесные приспособления, которые позволяют быстро, удобно и безопасно крепить грузы, называют *стропами* (рис. 6.4). Наиболее распространенные способы вязки стропов, а также вязки и заделки концов чалочных канатов показаны на рис. 6.5.

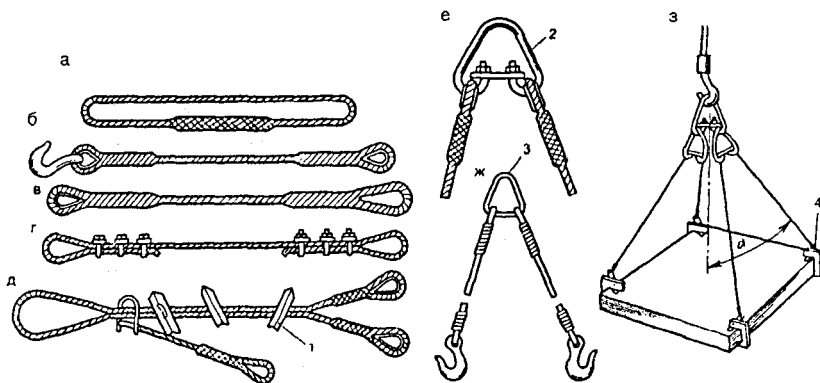


Рис. 6.4. Стропы из стальных канатов:

а – универсальный (кольцевой); *б, в, г* – облегченные одинарные; *д* – полуавтоматический; *е, ж* – двухветвевые; *з* – четырехветвевые; *1* – инвентарные подкладки; *2, 3* – разъемная и сварная подвески; *4* – рычажный захват

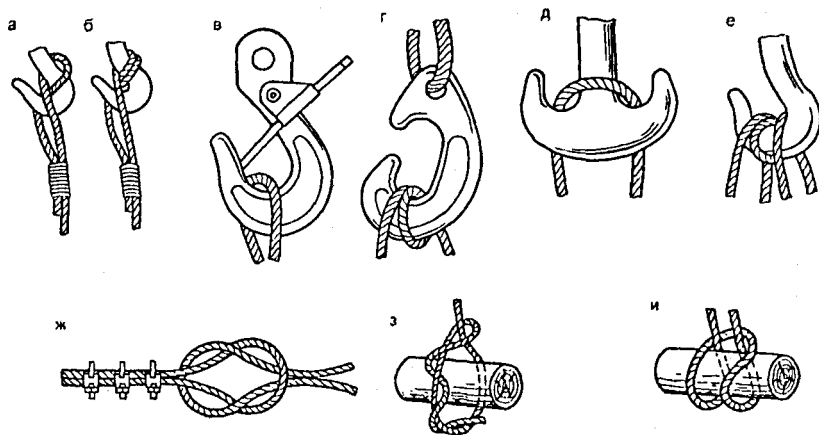


Рис. 6.5. Способы вязки стропов за крюк, вязки и заделки концов чалочных канатов:

а – крюковый узел; *б* – крюковый узел с нахлесткой; *в* – петлевой строп; *г* – кольцевой или петлевой строп с нахлесткой; *д* – кольцевой строп; *е* – два строба (один с нахлесткой); *ж* – строповка петель; *з* – удавка; *и* – мертвая петля

Такелажные работы относятся к числу очень опасных. Поэтому они выполняются специально обученными и проинструктированными рабочими – такелажниками, а все грузоподъемные механизмы, используемые при такелажных работах, а также канаты и стропы должны быть исправными и проходить соответствующие испытания в установленные сроки.

Перед началом такелажных работ убеждаются в исправности грузоподъемных механизмов и такелажных средств. Работу начинают, удостоверившись в том, что электрооборудование, подлежащее перемещению, отключено и приняты меры, исключающие подачу напряжения к месту технологических работ.

Работы по строповке и перемещению трансформаторов и электрических машин должны выполняться с соблюдением особых мер предосторожности, чтобы избежать повреждения стропами фарфоровых выводов трансформаторов, обмоток электрических машин и других деталей перемещаемого оборудования. Стропы накладываются на оборудование без заломов, узлов и перекруток. После натяжения строп проверяют положение груза, чтобы исключить его поворот при подъеме. При неправильном положении груза его опускают и выполняют перестроповку.

При перемещении электрических машин и трансформаторов захват стропами выполняют за основание детали (корпус, бак, раму или станину). При этом, чтобы избежать повреждения оборудования, подкладывают деревянные, резиновые или другие подкладки в местах прилегания строп.

Электрооборудование большой массы сначала поднимают на высоту 20–30 см и в этом положении снова осматривают такелажные приспособления, проверяя равномерность натяжения строп нажатием рукой на каждую ветвь, и тормоз подъемного механизма. Затем подъем продолжают.

Запрещается:

- бросать электрооборудование при разгрузке независимо от принятых мер безопасности;
- поднимать оборудование с находящимися на нем людьми;
- оттягивать оборудование во время подъема или перемещения, а также поправлять стропы на ходу;
- отключать тормоз, концевые выключатели, сигнализацию и другие устройства безопасности на грузоподъемных машинах;
- находиться под перемещаемым грузом;
- оставлять груз подвешенным во время обеденного перерыва или после окончания рабочего дня.

Если груз перемещается в горизонтальном направлении, то его предварительно поднимают на 0,5 м выше встречающегося на его пути оборудования. Затем груз опускают на подкладки (чтобы было легко снять стропы и вынуть их из-под него).

6.9. Меры пожарной безопасности

Неисправности и неправильная эксплуатация электроустановок являются причинами пожаров и загораний. Поэтому пожаро- и взрывобезопасность электроустановок – не менее важная задача, чем обеспечение безопасности людей от поражения электрическим током.

Горением называется химическая реакция окисления с выделением большого количества теплоты и света, а *взрывом* – очень быстрое преобразование горючей смеси, сопровождающееся выделением не только энергии, но и сжатых газов, обладающих большой разрушительной силой. Для возникновения горения или взрыва необходимы горючее вещество и окислитель (кислород воздуха, хлор, оксиды азота и др.).

В электроустановках горючими веществами являются: масло в выключателях и трансформаторах, изоляционная резина, пластмасса, лак, бумажная и полиэтиленовая изоляция кабеля, водород, выделяющийся при заряде аккумуляторных батарей.

Вещества и материалы могут загораться и сами (*самовозгорание*), например промасленная ветошь и спецодежда (в скомканном виде), смеси горючих газов и паров с воздухом и т. п.

Основными причинами пожаров в электроустановках являются: короткое замыкание в электрических сетях и электрооборудовании, токовые перегрузки, перегревы мест соединения токоведущих частей и др.

Для предотвращения короткого замыкания и перегрузок необходимо, чтобы параметры сетей и электрооборудования (марка проводов, кабеля, сечение жил, класс изоляции машин и т. п.) соответствовали электрическим параметрам (току, напряжению, нагрузке).

Нужно строго соблюдать периодичность осмотров, ремонтов и испытаний электрооборудования, особенно во взрыво- и пожароопасных помещениях. Чтобы погасить начинающийся пожар, необходимо иметь в достаточном количестве первичные средства пожаротушения и уметь ими пользоваться. В качестве первичных средств пожаротушения в электроустановках применяют: песок (для тушения небольших очагов загоревшегося кабеля, электро-

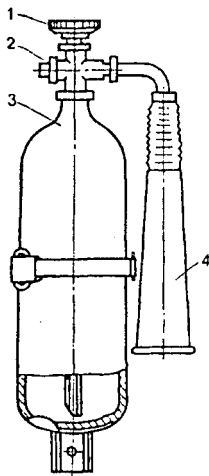


Рис. 6.6. Углекислотный огнетушитель ОУ-5

проводки и горючих жидкостей), войлок и асбестовое полотно, огнетушители, воду, воздухомеханическую пену, т. е. смесь воздуха (90%), воды (около 10%) и пенообразователя (0,2–0,4%).

Углекислотные огнетушители ОУ-5 (рис. 6.6), ОУ-8, УП-2М применяют для тушения загоревшегося электрооборудования, находящегося под напряжением (углекислота не проводит электрический ток). В баллоне 3 находится жидкая углекислота под давлением 3,6 кПа. При атмосферном давлении она преобразуется в углекислый газ, который охлаждает пламя и снижает концентрацию кислорода в воздухе. Раструб 4 направляют на очаг пожара и открывают до конца маховик 1 запорного вентиля 2. Маховик головки огнетушителя держатверху, раструб – за ручку, чтобы не обморозить руки.

Углекислотные огнетушители осматривают один раз в месяц; массу баллона с углекислотой проверяют один раз в три месяца, так как возможна утечка через вентиль.

Рассмотрим особенности тушения пожаров на некоторых видах электрооборудования.

При загорании обмоток генератора или синхронного компенсатора (СК) магнитопроводов следует немедленно отключить их от сети вместе с автоматом гашения поля. При загорании водорода в результате его утечки из корпуса генератора или СК и аппаратуры газо- и маслоснабжения необходимо сначала снизить давление водорода в системе до 0,03–0,05 кПа, перекрыв доступ водорода и воздуха к месту горения и наложив на место утечки асбестовую негорючую ткань, а затем сбить пламя струей углекислоты (тушить следует углекислотными или аэрозольными огнетушителями).

При загорании электродвигателей их необходимо сначала отключить от электросети, а затем тушить обычными методами. Если же отключить их невозможно, используют углекислотные, порошковые, аэрозольные огнетушители или распыленную воду с соблюдением требований электробезопасности.

При пожарах в трансформаторах, реакторах и другом маслонаполненном оборудовании следует сначала их отключить с помощью коммутационной аппаратуры от шин распределительного устройства, заземлить ошиновку присоединений (если необхо-

димо, отключить системы воздушного и масляного охлаждения оборудования) и заземлить другие близко расположенные токоведущие части. При тушении огня используют распыленную воду, углекислотные и пенные огнетушители, воздушно-механическую пену или порошковые огнетушители. Горящее трансформаторное масло тушат песком, распыленной водой, воздушно-механической пеной или порошковыми составами.

Тушение пожара в сухих трансформаторах (до 10 кВ), расположенных в помещениях, производят после отключения их коммутационными аппаратами, как на стороне высокого, так и низкого напряжения, а если невозможно – под напряжением углекислотными огнетушителями с соблюдением правил безопасности.

При тушении пожаров в распределительных устройствах (до 10 кВ), как правило, снимают напряжение. Однако можно тушить и под напряжением, используя углекислотные, порошковые, аэрозольные составы и соблюдая правила безопасности, т. е. в электроизолирующих перчатках и ботах, с заземлением пожарного ствола и насоса пожарного автомобиля путем присоединения их к общему контуру заземления РУ.

В РУ свыше 10 кВ тушение пожара следует производить после отключения коммутационными аппаратами горящего оборудования (водой или другими составами).

При загорании *щитов управления* (до 400 В) тушение допускается осуществлять под напряжением, применяя углекислотные, аэрозольные и порошковые огнетушители. Если пожар продолжается, используют распыленные водяные струи от пожарного водопровода или пожарной техники. При этом необходимо соблюдать правила безопасности (использовать электроизолирующие перчатки, боты, индивидуальные средства защиты, заземлить пожарный ствол и насос пожарного автомобиля).

В кабельных сооружениях электроустановок (туннелях, каналах, шахтах и др.) пожары тушат с помощью стационарной системы водяного или пенного пожаротушения, углекислотных, порошковых, аэрозольных составов, воды, пены, асбестового полотна и т. п. Способ тушения выбирается в зависимости от места возникновения пожара, площади его распространения. Дежурный персонал должен немедленно отключить коммутационными аппаратами электрические кабели, находящиеся в зоне пожара, и в первую очередь кабели более высокого напряжения (110, 35, 10 кВ).

Тушение пожара ручными средствами в кабельных сооружениях и помещениях при сильной задымленности (видимость менее 5 м) без снятия напряжения с токоведущих частей электроустановки работников запрещается.

При загорании кабелей, проводов и аппаратуры на панели управления или релейной защиты дежурный персонал должен немедленно начать тушение пожара углекислотными, порошковыми, аэрозольными средствами или распыленной водой с соблюдением правил безопасности (заземление пожарных стволов, использование электроизолирующих перчаток и бот). При этом необходимо принимать меры по ограничению распространения огня на расположенные рядом панели и в кабельное сооружение.

Тушение пожаров на отдельно стоящих комплектных трансформаторных подстанциях (КТП) напряжением до 10 кВ производится, как правило, со снятием напряжения путем отключения выключателя питающей линии электростанции, подстанции или ближайшего коммутационного аппарата (выключателя или выключателя нагрузки) в закрытых ТП или КРУН.

Разъединитель, установленный перед КТП, должен отключить дежурный или электротехнический персонал предприятия (объекта), имеющий право на оперативные переключения. При наличии на разъединителе стационарных заземляющих ножей в сторону КТП необходимо быстро их включить с помощью дополнительной рукоятки-трубы к приводу.

Не допускается отключать под нагрузкой горящий силовой трансформатор КТП установленным перед ним разъединителем во избежание возникновения на разъединителе электрической дуги.

Допускается тушить горящий силовой трансформатор и другое электрооборудование КТП без снятия напряжения распыленной водой из пожарных стволов путем подачи воды от пожарной техники с предварительным заземлением стволов и насосов автомобилей переносными заземляющими устройствами. При этом применяют индивидуальные электротехнические средства (электроизолирующие перчатки и боты).

Заземление ручных пожарных стволов и насосов пожарных автомобилей при тушении пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением до 1000 В, должно осуществляться с помощью гибких медных проводов сечением не менее 16 мм², снабженных специальными устройствами (зажимами) для быстрого и надежного присоединения к заземленным конструкциям.

При тушении пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением, необходимо применять индивидуальные защитные средства (электроизолирующие перчатки, боты).

Тушение пожара в помещениях с электрооборудованием, находящимся под напряжением до 10 кВ, всеми видами пены с помощью ручных средств пожаротушения **запрещается**, так как пена и раствор пенообразователя обладают повышенной электропроводностью по сравнению с распыленной водой.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Охарактеризуйте помещения электроустановок по степени опасности поражения электрическим током.
2. Какие травмы вызывает электрический ток?
3. Как проявляется действие электрического удара?
4. От каких факторов зависит сопротивление тела человека?
5. Перечислите технические мероприятия защиты и порядок их выполнения.
6. Назовите основные и дополнительные защитные средства в электроустановках напряжением до 1000 В и выше 1000 В.
7. Что такое защитное зануление и чем оно отличается от защитного отключения?
8. Когда применяется защитное зануление?
9. Какие правила безопасности необходимо выполнять при работе в цепях ТТ и ТН?
10. Назовите меры безопасности при работе в осветительных цепях.
11. Какие меры пожарной безопасности необходимо выполнять в электроустановках?
12. Как пользуются углекислотным огнетушителем ОУ-5 при тушении пожара на электрооборудовании?

СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АД	– асинхронный двигатель
АПП	– алюминиевый провод с резиновой изоляцией
ВВ	– вакуумный выключатель
ВДК	– вакуумная дугогасительная камера
ВК	– выключатель колонковый
ВМП	– выключатель масляный, подвесной
ВМПП	– выключатель масляный, подвесной с пружинным приводом
ВМПЭ	– выключатель масляный, подвесной, с электромагнитным приводом
ВН	– высокое напряжение
ВНР	– выключатель нагрузки с ручным приводом
ВНРЗ	– выключатель нагрузки с ручным приводом с защитой от токов коротких замыканий
ВЭМ	– выключатель электромагнитный
ДРЛ	– люминесцентная ртутная лампа высокого давления
ЗРУ	– закрытое распределительное устройство
КРУ	– комплектное распределительное устройство
КРУН	– комплектное распределительное устройство для наружной установки
КТП	– комплектная трансформаторная подстанция
ЛЭП	– линия электропередачи
МГЛ	– металлогалогенная лампа
МТЗ	– максимальная токовая защита
НН	– низкое напряжение
ОУ	– огнетушитель углекислотный
ПВВ	– переключение без возбуждения
ПН	– предохранитель (разборный) с патроном, наполняемым кварцевым песком
ППК	– приборно-программный комплекс
ППР	– планово-предупредительный ремонт
ПР	– предохранитель разборный
РБА	– реактор бетонный с алюминиевой обмоткой
РП	– распределительный пункт
РПН	– регулирование под нагрузкой

РТП	– распределительный пункт, совмещенный с трансформаторной подстанцией
РУ	– распределительное устройство
СК	– синхронный компенсатор
ТМ	– трансформатор масляный
ТН	– трансформатор напряжения
ТП	– трансформаторная подстанция
ТТ	– трансформатор тока
УЗО	– устройство защитного отключения
УВНК	– указатель высокого напряжения комбинированный
ЭДС	– электродвижущая сила

ЛИТЕРАТУРА

- Арбузов, М.О.* Справочник молодого слесаря-ремонтника / М.О. Арбузов. М., 1985.
- Атабеков, В.Б.* Ремонт трансформаторов, электрических машин и аппаратов / В.Б. Атабеков. М., 1994.
- Виноградов, Н.В.* Электрослесарь по ремонту электрических машин / Н.В. Виноградов. М., 1974.
- Воронина, А.А.* Техника безопасности при работе в электроустановках / А.А. Воронина, Н.Ф. Шебеко. М., 1979.
- Гемке, Р.Г.* Неисправности электрических машин / Р.Г. Гемке. Л., 1975.
- Гусев, Н.Н.* Устройство и монтаж электрооборудования / Н.Н. Гусев, Б.Н. Мельцер. Минск, 1979.
- Зевин, М.Б.* Справочник молодого электромонтера / М.Б. Зевин, Е.П. Парини. М., 1990.
- Каминский, М.Л.* Электрические машины / М.Л. Каминский. М., 1990.
- Кацман, М.М.* Электрические машины / М.М. Кацман. М., 1990.
- Коротков, Г.С.* Ремонт оборудования и аппаратуры распределительных устройств / Г.С. Коротков, М.Я. Членов. М., 1990.
- Повышение безопасности работ и эффективности электрических сетей в энергосистемах / З. Севрук [и др.] // Ахова працы. 1999. № 4. С. 9–12.
- Правила безопасности при работе с механизмами, инструментом и приспособлениями. Минск, 1996.
- Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках. М., 1983.
- Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М., 1988.
- Правила устройства и безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов. Минск, 1995.
- Правила устройства электроустановок. М., 1986.
- Севрук, З.Б.* Внедрение новых электротехнических средств, технологий и электрооборудования в энергосистеме Беларуси / З.Б. Севрук // Ахова працы. 1998. № 6. С. 11–15.
- Худяков, З.И.* Ремонт трансформаторов / З.И. Худяков. М., 1986.
- Чунихин, А.А.* Электрические аппараты / А.А. Чунихин. М., 1988.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Глава 1. Организация и планирование ремонта и технического обслуживания электрооборудования	5
1.1. Виды и причины износа электрооборудования	5
1.2. Системы плано-предупредительного ремонта	6
1.3. Виды ремонтов	7
1.4. Планирование ремонтных работ	8
1.5. Структура электроремонтного цеха и состав его оборудования	11
1.6. Организация рабочего места по ремонту электрооборудования	14
Контрольные вопросы	17
Глава 2. Ремонт и обслуживание электрических машин	18
2.1. Общие сведения	18
2.2. Асинхронные двигатели трехфазного переменного тока ..	28
2.3. Синхронные машины	38
2.4. Электрические машины постоянного тока	43
2.5. Виды ремонта электрических машин	54
2.6. Объем работ по техническому обслуживанию и ремонту ..	56
2.7. Технические условия и организация ремонта	58
2.8. Структурно-технологическая схема ремонта электрических машин	59
2.9. Основные неисправности электрических машин	60
2.10. Предремонтные испытания электрических машин	65
2.11. Разборка электрических машин	69
2.12. Ремонт обмоток электрических машин	82
2.13. Ремонт коллекторов, щеткодержателей и контактных колец	99
2.14. Ремонт сердечников, валов и вентиляторов	104
2.15. Ремонт станин, подшипниковых щитов и подшипников	106

2.16. Балансировка роторов и якорей	113
2.17. Сборка электрических машин	115
2.18. Испытания электрических машин	118
Контрольные вопросы	120
Глава 3. Ремонт трансформаторов	121
3.1. Общие сведения	121
3.2. Разборка и дефектировка трансформаторов	127
3.3. Ремонт и изготовление обмоток	129
3.4. Ремонт магнитопроводов	130
3.5. Ремонт переключающих устройств	131
3.6. Ремонт вводов	136
3.7. Ремонт отводов	138
3.8. Ремонт бака, крышки, расширителя, термосифонного фильтра и арматуры	138
3.9. Сборка трансформаторов	139
3.10. Очистка и сушка трансформаторного масла	141
3.11. Текущий ремонт силовых трансформаторов	142
3.12. Ремонт измерительных трансформаторов	143
3.13. Особенности ремонта сухих трансформаторов	145
3.14. Испытания силовых трансформаторов	145
Контрольные вопросы	148
Глава 4. Ремонт электрических аппаратов напряжением до 1000 В 149	
4.1. Общие сведения	149
4.2. Ремонт автоматических воздушных выключателей	150
4.3. Ремонт контакторов	155
4.4. Ремонт магнитных пускателей	160
4.5. Ремонт предохранителей	163
4.6. Ремонт реостатов	168
4.7. Ремонт тормозных электромагнитов и электромагнит- ных муфт скольжения	170
Контрольные вопросы	172
Глава 5. Ремонт и обслуживание электрооборудования распределительных устройств напряжением до 10 кВ	173
5.1. Общие сведения	173
5.2. Осмотр электрооборудования	177
5.3. Проверка контактных соединений шин	177
5.4. Ремонт изоляторов	178
5.5. Ремонт предохранителей	180

5.6. Ремонт разъединителей	183
5.7. Высоковольтные выключатели	186
5.8. Ремонт выключателей нагрузки	193
5.9. Ремонт масляных выключателей.	194
5.10. Ремонт электромагнитных выключателей	196
5.11. Ремонт приводов.	197
5.12. Ремонт токоограничивающих реакторов	198
5.13. Ремонт КРУ и КРУН	199
5.14. Ремонт автоматических выключателей серии «Электрон»	201
5.15. Ремонт станций управления	204
5.16. Текущий ремонт концевых заделок силовых кабелей	205
5.17. Ремонт осветительных установок	206
5.18. Ремонт заземляющего устройства РУ	209
Контрольные вопросы	215
Глава 6. Охрана труда при выполнении ремонтных работ в электроустановках	216
6.1. Общие сведения	216
6.2. Воздействие электрического тока на человека.	218
6.3. Виды работ, выполняемых в действующих электроустановках.	219
6.4. Технические и организационные мероприятия защиты.	220
6.5. Средства защиты работающих в электроустановках	221
6.6. Защитное зануление и защитное отключение	226
6.7. Меры безопасности при отдельных ремонтных работах.	228
6.8. Меры безопасности при такелажных работах	231
6.9. Меры пожарной безопасности	235
Контрольные вопросы	239
СПИСОК ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	240
ЛИТЕРАТУРА.	242

Учебное издание

Павлович Сергей Николаевич
Фираго Бронислав Иосифович

РЕМОНТ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *Ю.А. Мисюль*

Редактор *Т.К. Майборода*

Художественный редактор *В.А. Ярошевич*

Технический редактор *Н.А. Лебедевич*

Корректор *Е.З. Липень*

Компьютерная верстка *И.В. Скубий*

Подписано в печать 14.01.2009. Формат 60×90/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «Школьная». Офсетная печать. Усл. печ. л. 15,5.
Уч.-изд. л. 15,9. Тираж 2500 экз. Заказ 143.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”». ЛИ № 02330/0131768 от 06.03.2006. Пр. Победителей, 11, 220048, Минск. <http://vshph.com>

Открытое акционерное общество «Барановичская укрупненная типография». ЛП № 02330/0131659 от 02.02.2006. Ул. Советская, 80, 225409, Барановичи.

Павлович, С. Н.

П12 Ремонт и обслуживание электрооборудования: учеб. пособие / С. Н. Павлович, Б. И. Фираго. – 4-е изд. – Минск : Выш. шк., 2009. – 245 с.; ил.

ISBN 978-985-06-1688-3.

Описываются основные операции ремонта электрооборудования (трансформаторов, электрических машин, коммутационных аппаратов и др.), рассматриваются вопросы планирования и организации электроремонтных работ и охраны труда.

Печатается по изданию, вышедшему в 2006 г.

Для учащихся профессионально-технических учебных заведений. Может быть полезно рабочим при профессиональном обучении на предприятии, слесарям по ремонту электрооборудования, учащимся средних специальных учебных заведений.

УДК 621.31(075.32)

ББК 31.29-5-08я722

Издательство “Вышэйшая школа”



**Книги по издательской цене
(с доставкой, оптом и в розницу)
можно приобрести по адресу:**

Издательство “Вышэйшая школа”

пр. Победителей, 11
220048, Минск, Республика Беларусь

Тел.: (+375-17) 203-67-38, 203-99-35

Факс: (+375-17) 203-54-15

<http://vshph.com>

e-mail: market@vshph.com

**На территории Российской Федерации
книги издательства «Вышэйшая школа»
можно заказать по адресу:**

**Издательско-книготорговая компания
«Техническая книга»**

ул. Шоссе Энтузиастов, 56
111123, Москва, Российская Федерация

Тел.: (+7-495) 778-92-27, 8-916-812-73-12

e-mail: tbook@lit.by