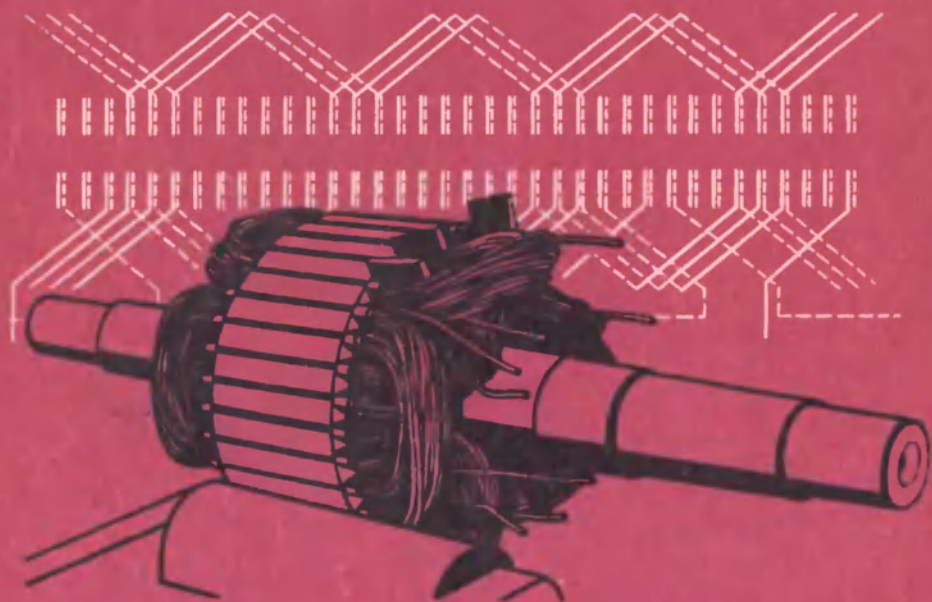


В.Б.Атабеков

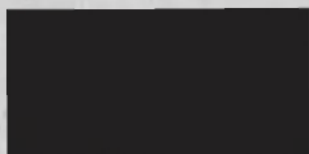
# РЕМОНТ электро- оборудования промышленных предприятий



ПРОФЕССИОНАЛЬНО-  
ТЕХНИЧЕСКОЕ  
ОБРАЗОВАНИЕ



**В. Б. АТАБЕКОВ**



# **РЕМОНТ ЭЛЕКТРО- ОБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**ИЗДАНИЕ ПЯТОЕ,  
ИСПРАВЛЕННОЕ**

**Одобрено Ученым советом  
Государственного комитета СССР  
по профессионально-техническому  
образованию в качестве учебника  
для средних профессионально-  
технических училищ**



**МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1985**

ББК. 31.26  
А92  
УДК. 621.311

Рецензент:  
канд. техн. наук, доцент Б. К. Клоков  
(Московский энергетический институт)

А92 Атабеков В. Б.  
Ремонт электрооборудования промышленных предприятий: Учеб. для сред. ПТУ — 5-е изд., испр. М.: Высш. шк., 1985. — 175 с., ил. — (Профтехобразование).  
30 к.

В книге рассмотрены вопросы организации и структуры электроремонтных цехов, состав их оборудования и технологической оснастки, описаны способы дефектации, разборки, ремонта, сборки, послеремонтных испытаний электрических машин и др.

В пятое издание книги внесены изменения в соответствии с новыми ГОСТами. Учебник может быть использован при профессиональном обучении рабочих на производстве.

А 2302030000—039 12—85  
052(01)—85

ББК.31.26  
6П2.1.081

© Издательство «Высшая школа», 1979  
© Издательство «Высшая школа», 1985, с изменениями

Определенные XXVI съездом КПСС масштабы и темпы развития всех отраслей народного хозяйства нашей страны неразрывно связаны с необходимостью последовательного внедрения электрической энергии во все без исключения сферы производства. В этой связи все возрастающая потребность в электрооборудовании не может быть полностью удовлетворена без организации его ремонта на техническом уровне и в масштабах, обеспечивающих высокое качество и экономичность ремонтных работ.

Одним из наиболее действенных средств поддержания оборудования в должном техническом состоянии и продления его жизни является, как известно, своевременный и качественный ремонт. Не случайно непосредственно ремонтом в настоящее время занимается каждый шестой рабочий в машиностроительной промышленности. Ремонтом тракторов занято больше людей, чем изготовлением новых, а ремонтом станков занимается в 4 раза больше людей, чем производством станков во всей станкостроительной промышленности.

В настоящее время предприятия, занимающиеся ремонтом нескольких миллионов единиц электрооборудования, практически составляют целую отрасль промышленности, постоянно нуждающуюся в квалифицированных кадрах ремонтников.

Насколько велико значение ремонта, можно представить себе, если учесть, что при ремонте не только возвращается в строй поврежденный электродвигатель или электрический аппарат, но и изменяются в нужном направлении некоторые его технические параметры, а также совершенствуется конструкция, повышается надежность в соответствии с конкретными требованиями и условиями работы.

Объем и сложность ремонтируемого электрооборудования непрерывно растут, в связи с чем возникает необходимость в постоянном совершенствовании технологии и сокращении сроков ремонта, привлечении к работам по ремонту электрооборудования наиболее квалифицированных электромонтеров-ремонтников.

Работу современного электромонтера-ремонтника принято сравнивать с работой врача, а электроремонтный цех предприятия — со своего рода лечебным учреждением. Этим сравнением наиболее точно характеризуется значение ремонтной службы и та роль, которую играет в ней квалифицированный рабочий по ремонту электрооборудования.

В своей практической работе электромонтер-ремонтник должен уметь по малейшим признакам не только устанавливать характер и причину возникновения неисправностей, но и определять способы их быстрого устранения, а также квалифицированно устранять

неисправности. Для этого он должен хорошо знать конструкцию и принцип действия электрооборудования, процессы, происходящие в электрических машинах и аппаратах, современную технологию ремонта и способы модернизации поступающего в ремонт электрооборудования, т. е. обладать инженерным мышлением, широким техническим кругозором и высокой профессиональной подготовкой.

Для подготовки квалифицированных электромонтеров-ремонтников и предназначается настоящий учебник. Он написан на основе опыта работы электроремонтных цехов ряда промышленных предприятий машиностроительной и металлургической отраслей промышленности и специализированных электроремонтных заводов. В учебнике описаны организация и технология ремонта электрических машин и аппаратов общепромышленного назначения. Вопросы ремонта технологического электрооборудования и электрических аппаратов специальных исполнений (тропического, для районов Крайнего Севера и др.) в настоящем учебнике не рассматриваются.

## ОРГАНИЗАЦИЯ, ПЛАНИРОВАНИЕ И СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

### § 1. Виды и причины износов

В процессе эксплуатации электрическое оборудование изнашивается и устаревает. Износ электрооборудования по своему характеру и вызывающим его причинам можно условно разделить на механический, электрический и моральный.

*Механический износ* электрооборудования является, как правило, следствием длительных постоянных или переменных механических воздействий на его отдельные части или детали, в результате которых изменяются их первоначальные формы или качества. Механическим износом является, например, образование на поверхности коллектора электрической машины глубоких борозд (выработок) вследствие длительного воздействия на коллектор щеток (особенно прижатых к нему с усилием, превышающим допустимые нормы). На интенсивность износа коллекторов и контактных колец определенное воздействие оказывает электрическая эрозия.

В электрических аппаратах механический износ выражается в истирании (абразивном износе) и изменении первоначальной формы контактов, ослаблении пружин механизма и др. В электрических двигателях из-за трения механически изнашиваются главным образом шейки валов, подшипников и контактные кольца роторов с фазной обмоткой.

*Электрическим износом* является невозможная потеря электроизоляционными материалами электрооборудования изоляционных свойств. Электрически изнашиваются, например, пазовая изоляция электрических машин, изоляция проводов обмотки электродвигателей, изолирующие детали аппаратов и др. Электрический износ изоляции чаще всего является следствием длительной работы электрооборудования, воздействия на изоляцию недопустимо высоких температур или химически агрессивных веществ, что приводит к витковым замыканиям в обмотках и катушках, пробое изоляции и появлению потенциалов опасной величины на частях электрооборудования, нормально не находящихся под напряжением, т. е. это повреждения, устранение которых требует капитального ремонта электрооборудования.

*Моральный износ* — это результат старения исправного резервного или работающего электрооборудования, дальнейшая эксплуатация которого нецелесообразна из-за создания нового технически

более совершенного и экономичного оборудования аналогичного назначения. Моральный износ электрооборудования является закономерным явлением, обусловленным развитием науки и непрерывным техническим прогрессом. Однако эксплуатация морально износившегося электрооборудования может стать экономически целесообразной, если при капитальном ремонте его конструкцию и технические параметры в результате модернизации приблизить к конструкции и техническим параметрам аналогичного по назначению, но более современного электрооборудования.

## § 2. Система и классификация ремонтов

В промышленности СССР применена система плано-предупредительных ремонтов (ППР), основным содержанием которой является планоное осуществление комплекса работ и мероприятий по уходу за электрооборудованием и его ремонту. Чередование, периодичность и объемы ремонтов устанавливаются системой ППР в зависимости от режимов работы и условий эксплуатации электрооборудования, учитывая необходимость обеспечения бесперебойной работы предприятия и безопасности обслуживающего персонала. В результате широкого применения системы ППР в промышленности снизились издержки на содержание электрооборудования, уменьшилось время его простоев, сократилось число аварий, увеличились сроки межремонтной работы, повысилась надежность работы и возросла техническая культура электроремонтного дела.

Создание зональных и ведомственных специализированных электроремонтных заводов способствовало централизации ремонта электрооборудования многочисленных мелких и средних промышленных предприятий, повышению качества ремонта, снижению стоимости затрат на ремонт единицы электрооборудования.

Не менее важное значение имело создание на крупных предприятиях ведущих отраслей промышленности электроремонтных цехов (ЭРЦ), где ремонт электрооборудования осуществляют на основе строго разработанной технологии, практически не отличающейся от технологии, принятой на специализированных электроремонтных заводах. В металлургической, машиностроительной, станкостроительной и ряде других отраслей промышленности применяют централизованную, децентрализованную или смешанную систему организации ремонта.

При *централизованной системе* ремонт электрооборудования выполняют специализированные ремонтные службы, подчиненные главному энергетическому предприятию. Обслуживание работающего электрооборудования, уход за ним и мелкий ремонт выполняет персонал, подчиненный также главному энергетическому или начальникам соответствующих производственных подразделений (цехов, пролетов, участков).

*Децентрализованная система* характерна отсутствием специальных ремонтных служб. Все ремонтные работы выполняет персонал электроремонтных мастерских или бригад, находящихся в административном подчинении у начальников производственных под-

разделений, а в оперативно-техническом подчинении — у главного энергетика предприятия.

*Смешанная система* организации ремонта электрооборудования отличается тем, что в производственных подразделениях имеются не только свои электроремонтные мастерские и бригады, выполняющие небольшие по объему и сложности ремонтные работы, но и специализированные ремонтные службы, выполняющие большие по объему и сложности работы. Для крупных промышленных предприятий с мощным электрохозяйством наиболее приемлемой, прогрессивной и экономически выгодной является централизованная система ППР электрооборудования.

Положением о ППР электрооборудования промышленных предприятий ряда отраслей промышленности предусмотрено выполнение нескольких видов ремонтов (текущего и капитального, среднего и капитального или текущего, среднего и капитального). Наиболее прогрессивной системой является выполнение для большей части электрооборудования двух видов ремонта — текущего и капитального.

При текущем ремонте заменяют небольшие детали, устраняют мелкие дефекты, регулируют механизмы электрооборудования и обеспечивают его нормальную работу до очередного планового ремонта. К текущему ремонту относятся такие работы, как чистка электрооборудования, восстановление небольших участков поврежденной изоляции обмоток электрических машин, перезарядка предохранителей с заменой плавкой вставки, обработка обгоревших контактов аппаратов, промывка подшипников электродвигателей, смена износившихся щеток, подтягивание креплений электрооборудования и т. п. В процессе выполнения текущих ремонтов проверяют состояние изоляции обмоток электрических машин и электромагнитов отключающих аппаратов, а также производят различные профилактические испытания с целью выявления и своевременного устранения имеющихся неисправностей в электрооборудовании. Текущие ремонты выполняют, как правило, без разборки электрооборудования, используя кратковременные остановки производственного оборудования.

Средним принято считать такой ремонт, при котором предупреждают опасность чрезмерного износа наиболее ответственных частей электрооборудования или предотвращают аварийный выход его из строя. В состав работ среднего ремонта входят: замена отдельных частей механизма аппаратов, восстановление надежности электрических соединений, устранение дефектов изоляции лобовых частей обмоток электродвигателей, ремонт щеткодержателей с заменой пружин и гибких связей, продороживание коллекторов электрических машин, шлифовка контактных колец электродвигателей с фазными роторами, замена оплавленных рабочих или дугогасительных контактов отключающих аппаратов, катушек электромагнитов автоматических выключателей и т. п.

При капитальном ремонте восстанавливают или заменяют отдельные базисные части и детали электрооборудования. К капи-



гальному ремонту относят, например, перемотку роторной или статорной обмотки электродвигателей, намотку и установку новых полюсных катушек машин постоянного тока, перекаливку подшипников скольжения электродвигателя и т. п.

Выполнение капитальных ремонтов электрооборудования связано, как правило, с необходимостью полной его разборки. В некоторых случаях электрооборудование модернизируют, т. е. совершенствуют конструкцию, улучшают эксплуатационные качества, повышают надежность, ремонтпригодность или безопасность ремонтируемых аппаратов и электрических машин. Основной целью модернизации является приближение старого и технически несовершенного электрооборудования к современным конструкциям.

Модернизацию при капитальном ремонте осуществляют в тех случаях, когда конструкция ремонтируемого электрооборудования допускает внесение в него требуемых изменений.

Затраты времени, средств, труда и материалов на модернизацию электрооборудования должны быть оправданы теми техническими или экономическими результатами, которые достигаются после его модернизации. Если выполняемая при капитальном ремонте модернизация электрооборудования связана с необходимостью коренных изменений его конструкции и основных технических параметров, такой ремонт называют капитально-реконструктивным.

### § 3. Планирование и методы выполнения ремонтных работ

Ремонты электрооборудования планируют, исходя из межремонтных периодов, ремонтных циклов и их структуры.

*Межремонтным* называют период работы электрооборудования между двумя очередными плановыми ремонтами (например, между соседними текущими или между текущим и средним).

*Ремонтный цикл* — это отрезок времени, в течение которого электрооборудование работает между двумя капитальными ремонтами или с момента ввода в эксплуатацию электрооборудования до первого капитального ремонта.

*Структурой ремонтного цикла* называют совокупность текущих и средних ремонтов, выполняемых между капитальными ремонтами, т. е. в течение одного ремонтного цикла.

Основой для определения продолжительности межремонтного периода и ремонтного цикла служит расчетное или действительное время, в течение которого электрооборудование способно нормально работать в заданных режимах. Одним из факторов, определяющих это время, является продолжительность работы наиболее быстроизнашивающихся частей и деталей электрооборудования.

Ремонты электрооборудования предприятия, как правило, планируют на один год с разбивкой по кварталам и месяцам. Такое планирование ремонта называют *текущим*. Наряду с текущим планированием с помощью сетевых графиков осуществляют также *оперативное* планирование ремонта.

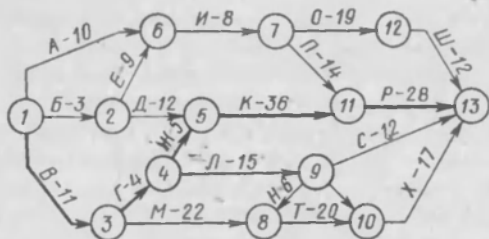
Сетевой график может быть общим, предусматривающим ремонт определенного комплекса электрооборудования (отдельной электроустановки, электрооборудования цеха), и локальным, предусматривающим ремонт отдельной крупной единицы электрооборудования (мощного электродвигателя).

Примерное построение (модель) сетевого графика ремонта показано на рис. 1, а. Сетевой график состоит из безмасштабных стрелок, обозначающих работы, и кружков (или других геометрических фигур), обозначающих события. Работа означает определенный производственный процесс ремонта (или совокупность ремонтов), требующий затрат времени или материалов, применения различных инструментов или приспособлений.

Событие представляет собой промежуточный или окончательный результат одной или нескольких работ, необходимый для начала каких-либо других работ, предусмотренных технологией ремонта.

Таким образом, сетевой график является схематическим изображением операций и элементов производственного процесса ремонта, а также взаимных связей между ними, порядка и технологической последовательности их выполнения. Составление сетевых графиков ремонтов электрооборудования начинают после предварительного установления взаимных связей между работами и согласования их с технологической последовательностью выполнения планируемых электроремонтных работ. При этом стрелки, изображающие направление (работы), должны идти слева направо, а номер события, откуда выходит работа, должен быть меньше номера события, куда она входит. Запрещается дважды в одном графике использовать одни и те же номера событий. Все события, кроме завершающего 13 (см. рис. 1, а), должны иметь продолжение в виде стрелок, обозначающих работу.

В модели сетевого графика событие 1 является началом работ А—10, Б—3 и В—11, а события 2, 3 и 6 — результатами этих работ. В свою очередь, события 2, 3 и 6, будучи результатом предыдущих



а)



б)

Рис. 1. Сетевое планирование ремонта:  
а — модель сетевого графика, б — универсальный кондуктор для составления сетевых графиков

работ А—10, Б—3 и В—11, являются началом работ Г—4, Е—9, Д—12 и т. д.

При составлении сетевых графиков различают входные и выходные работы. Так, в рассматриваемом графике для события 2 работа Б—3 будет входной, а Е—9 и Д—12 — выходными и т. д. Цифрами после букв в сетевых графиках указывают продолжительность (в месяцах, неделях, днях или часах) ожидания или выполнения отдельных работ между двумя событиями. В сетевых графиках ремонта четко выявлены те работы, от которых зависит общий срок завершения всего комплекса работ по ремонту отдельной электрической машины, электрооборудования цеха или электроустановки предприятия. Этот срок определяется последовательностью ремонтных работ с наибольшей продолжительностью от исходного до завершающего события.

Последовательность выполнения ремонтных работ является важнейшим элементом сетевого графика и определяет его критический путь, который обозначен на сетевом графике жирными стрелками. Сокращение или увеличение срока ремонтных работ, лежащих на критическом пути, определяет общую продолжительность работ по ремонту. Применительно к ремонту крупного электродвигателя событие 1 (см. рис. 1,а) может означать его разборку, а событие 13 — его испытание после ремонта.

Сетевое планирование ремонтов имеет большое организующее и дисциплинирующее значение. На современных ремонтных предприятиях сетевое планирование осуществляют с помощью универсальных кондукторов, предназначенных для изображения на них различных по сложности, объектам ремонта и назначению сетевых графиков.

Универсальный кондуктор (рис. 1,б) представляет собой набор перфорированных досок — полей, изготовленных из пластмассы. Для удобства пользования доски — поля изготовляют из пластмассы разных цветов. При составлении сетевого графика ремонта в соответствующие перфорационные отверстия (гнезда) доски вставляют пластмассовые обозначающие знаки в виде стрелок, кружков, квадратов, изображающие позиции сетевого графика. Применение универсальных кондукторов при сетевом планировании ремонтов значительно ускоряет составление графиков, упрощает процесс планирования и облегчает корректировку готового плана, как при его составлении, так и при выполнении ремонтных работ.

Текущее и оперативное планирование с помощью сетевых графиков является действенным способом лучшего использования имеющегося ремонтного персонала и повышения производительности его труда.

Для успешного ремонта электрооборудования предприятия необходимо сочетание текущего и оперативного планирования с наиболее прогрессивными методами ремонта, одним из которых является скоростной ремонт.

На современных предприятиях, где почти все технологические процессы производства электрифицированы, малейшее нарушение

установленного ритма работы вследствие неисправности электрооборудования наносит государству огромный материальный ущерб.

Замена поврежденного конструктивно сложного электрооборудования в ряде случаев оказывается невозможной из-за отсутствия равноценного резервного оборудования. Трудно заменимы электродвигатели, электрические аппараты и пускорегулировочные устройства специальных (встроенных, фланцевых и др.) исполнений. В таких случаях применяют скоростные методы ремонта поврежденного электрооборудования без его замены или с заменой на минимальное время, необходимое для ремонта поврежденного.

Основой скоростного ремонта является поточный метод, при котором все сборочные единицы ремонтируют одновременно на специализированных ремонтных участках ЭРЦ или в цехах электрооборудования завода. Применение скоростного метода ремонта электрооборудования позволяет: сократить время пребывания электрооборудования в ожидании ремонта и в ремонте, повысить качество ремонта, снизить до 40% затраты труда на выполнение ремонтных операций, на 25% стоимость ремонта и увеличить не менее чем на 30% пропускную способность ремонтного цеха; резко сократить простой технологического оборудования; уменьшить затраты средств и труда на установку и демонтаж резервного электрооборудования; обеспечить более надежную и длительную работу отремонтированного электрооборудования, а также увеличить продолжительность работы электрооборудования между плановыми сроками очередных ремонтов.

Основой перехода на метод скоростного ремонта электрооборудования являются научная организация труда (НОТ), которая охватывает практически все стороны трудовой деятельности коллектива, увеличивает выпуск продукции и повышает ее качество, и социалистическое соревнование между ремонтными цехами, отделениями, участками, бригадами и отдельными рабочими, которое вызывает у рабочих стремление работать лучше и достигать более высоких производственных показателей, воспитывает у них коммунистическое отношение к труду.

Основным содержанием НОТ в ремонтном производстве является рациональное разделение и кооперация труда, высокий уровень организации труда и обслуживания рабочих мест, внедрение передовых приемов и методов ремонта, подготовка и постоянное повышение квалификации кадров ремонтников, рациональная расстановка и правильное использование ремонтного персонала, а также совершенствование материально-технического обеспечения ремонтных работ.

#### **§ 4. Структура электроремонтного цеха и состав его оборудования**

Структура электроремонтного предприятия или цеха и состав его оборудования определяются большим количеством факторов, основными из которых являются объем и номенклатура ремонтируемого электрооборудования.

Ремонтный цех среднего по мощности предприятия со сравнительно небольшим объемом ремонта электрооборудования состоит из разборочного, ремонтно-механического, обмоточного, сушильно-пропиточного, комплектовочного, сборочного отделений и испытательной станции, а также отдельных участков, где производятся электро- и газосварочные работы, окраска отремонтированного электрооборудования и др.

*В разборочном отделении* очищают электрооборудование перед разборкой, сливают масло из маслonaполненного оборудования, выполняют необходимые предремонтные испытания, разбирают оборудование, производят дефектацию (определяют объем необходимого ремонта, состояние и степень износа сборочных единиц и деталей и оформляют документы на ремонт), передают неисправные детали электрооборудования в соответствующие ремонтные отделения, а исправные — в отделение комплектации. В разборочном отделении должны быть подъемно-транспортные средства требуемой грузоподъемности, моечные машины, гидравлические и винтовые съемники, приспособления для вывода ротора из статора электродвигателя, станок для извлечения обмоток из пазов статора электродвигателя, автогенный и электросварочный аппараты, электросверлилки и соответствующие наборы инструментов для разборки электрооборудования, специальное оборудование и приспособления для разборки электрических машин и аппаратов нестандартного или особого исполнения.

*В ремонтно-механическом отделении* ремонтируют и изготавливают новые детали электрооборудования (валы, коллекторы, контактные кольца, щеточные механизмы, подшипники скольжения, обмотки короткозамкнутых роторов), производят перешихтовку статоров и роторов электрических машин и магнитопроводов силовых трансформаторов, а также слесарную и механическую обработку различных деталей ремонтируемого электрооборудования. Ремонтно-механическое отделение должно быть оснащено подъемно-транспортными средствами, металлообрабатывающими станками (строгальными, сверлильными, токарными, фрезерными, шлифовальными, прессами, гильотинными ножницами для резки металла, электро- и газосварочными аппаратами, электрифицированными инструментами, инвентарными и специальными приспособлениями, наборами бригадного инструмента для разборки электрооборудования.

*В обмоточном и сушильно-пропиточном отделениях* ремонтируют поврежденные и изготавливают новые обмотки электродвигателей, силовых трансформаторов, катушек электромагнитов, а также пропитывают и сушат их, восстанавливают изоляцию обмоточных проводов для повторного использования. Обмоточное отделение должно быть оснащено станками для очистки и изолировки проводов, намоточными станками для изготовления обмоток, гильотинными ножницами для резки изоляции, приспособлениями для изготовления и формовки изоляционных деталей, сварочным и паяльным инструментом для соединения проводов обмоток, станками для бандажирования роторов и якорей электрических машин, станком для изго-

товления клиньев и др. Кроме того, обмоточный цех должен быть оснащен небольшой испытательной установкой для пооперационного и межоперационного контроля изоляции изготавливаемых секций, катушек и обмоток, а также аппаратами контроля правильности сборки и соединения различных схем обмоток.

В необходимых случаях обмоточное отделение оборудуют печью для обжига проводов, ванной для их травления и нейтрализации после травления и станком для волочения и калибровки проводов. Для размещения этого оборудования в обмоточном цехе выделяют особое помещение, снабженное соответствующими вентиляционными устройствами.

Сушильно-пропиточное отделение оборудуют ваннами для пропитки обмоток, шкафами для сушки и запечки изоляции обмоток, емкостями для безопасного хранения лаков и растворителей в количествах, обеспечивающих потребность в них не более чем на 1 сут. Для транспортировки крупногабаритных обмоток большой массы применяют специальные устройства и подъемно-транспортные средства.

В комплекточное отделение (или участок) направляют отремонтированные сборочные единицы и детали. Там же комплектуют ремонтируемое электрооборудование недостающими частями. Проверенное и полностью скомплектованное электрооборудование передают в отделение или на участок сборки.

Комплектовочное отделение должно быть оснащено верстаками, стеллажами, необходимыми инструментами и приспособлениями.

В сборочном отделении производят сборку отремонтированного электрооборудования. Отделение сборки оснащают аналогично сборочному отделению, дополняя его оборудованием, приспособлениями и инструментами для статической и динамической балансировки роторов электродвигателей и якорей электрических машин.

При ремонтах электрооборудования часто возникает необходимость в электросварочных, газосварочных, штамповочных, кузнечных и окрасочных работах, выполняемых на отдельных участках ремонтного цеха или его отделений, которые должны быть оснащены необходимым оборудованием и инвентарем.

На испытательной станции испытывают новые конструкции и детали, предназначенные для замены вышедших из строя, а также производят заключительные (выходные) электрические и механические послеремонтные испытания электрооборудования. Испытательная станция должна быть оснащена высоковольтными испытательными электроустановками и стендами, различными приборами, мерительным инструментом и соответствующими защитными средствами.

Электроремонтный цех должен располагать помещениями с производственными площадями, рассчитанными на массу и габариты ремонтируемого электрооборудования, складами для хранения ремонтного фонда и отремонтированного электрооборудования, инструментальными и материальными кладовыми, подсобными конторскими и бытовыми помещениями, а также помещениями, коли-

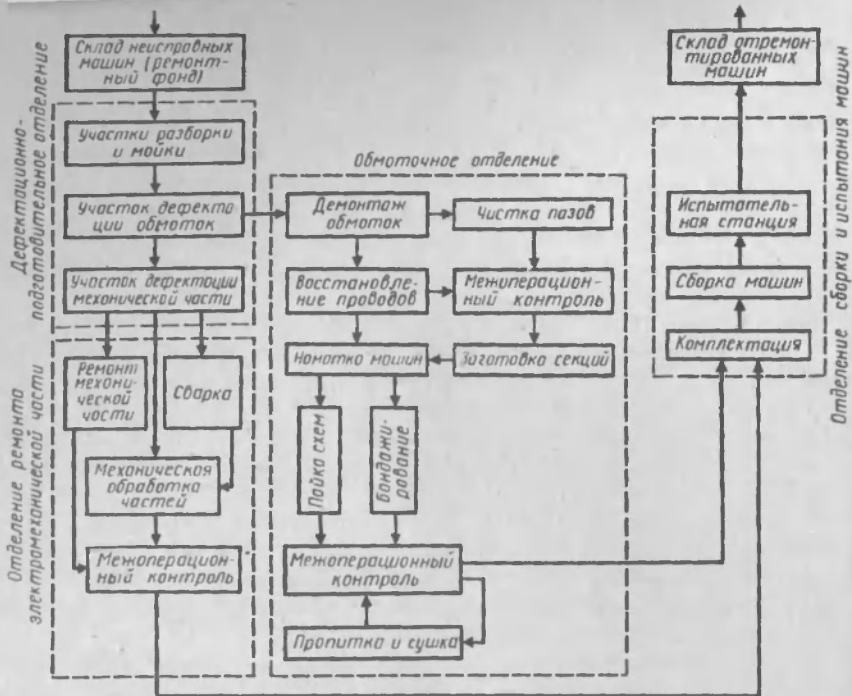


Рис. 2. Структурно-технологическая схема ремонта электрических машин

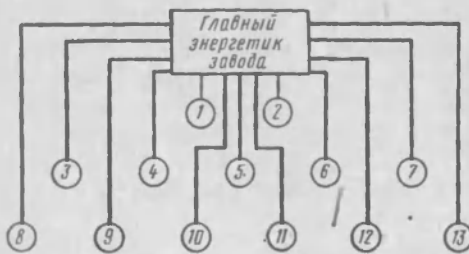


Рис. 3. Примерный состав энергетического хозяйства крупного промышленного предприятия.

1 — электрические станции, 2 — электрические подстанции и сети, 3 — цеховые электроустановки, 4 — устройства и сети связи и сигнализации, 5 — устройства электрозащиты, 6 — цехи и мастерские по ремонту энергооборудования, 7 — парокотельные и бойлерные установки, 8 — установки вентиляции и кондиционирования воздуха, 9 — газогенерирующие установки, 10 — устройства водозабора и водоснабжения, 11 — водосборные, очистные и канализационные сооружения, 12 — лаборатории (электротехническая, КИП и др.), 13 — топливное хозяйство

чество, размеры и назначение которых определяются в каждом конкретном случае сложившимися технологией и условиями выполнения ремонтных работ.

При определении структуры производственных подразделений и необходимого оснащения ЭРЦ оборудованием большое значение имеют принятые технологические схемы ремонтов и система управления электрохозяйством предприятия.

Наиболее распространенная структурно-технологическая схема ремонта электрических машин, занимающих большой удельный вес в общем количестве ремонтируемого электрооборудования, приведена на рис. 2.

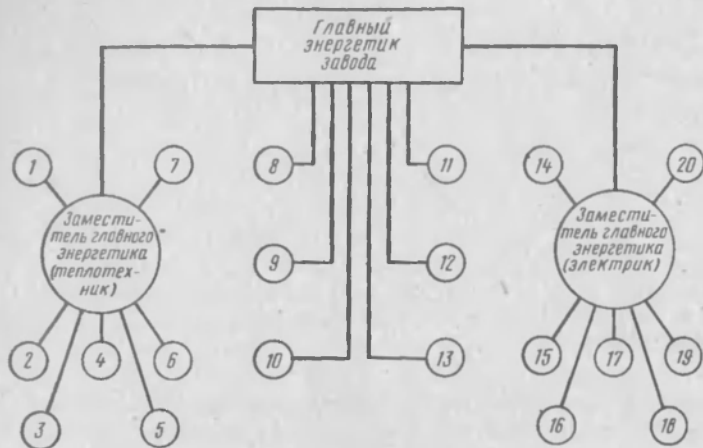


Рис. 4. Структура управления энергетическим хозяйством крупного промышленного предприятия:

1 — начальник теплосилового цеха, 2 — начальник санитарно-технического цеха, 3 — начальник водоснабжения, 4 — начальник газового хозяйства, 5 — начальник компрессорных установок, 6 — начальник водосборных и очистных сооружений, 7 — начальник теплотехнических лабораторий, 8 — группа энергонадзора, 9 — плановая группа ОГЭ, 10 — техническое бюро ОГЭ, 11 — проектно-сметная группа ОГЭ, 12 — группа инвентаризации энергетического оборудования, 13 — группа ППР, 14 — начальник электроцеха, 15 — начальник телефонной станции, диспетчерской связи и сигнализации, 16 — начальник подстанций и электрических сетей, 17 — начальник радиоузла и радиотрансляционных сетей, 18 — начальник масло-трансформаторного хозяйства, 19 — начальник устройств электрочасофикации, 20 — начальник электротехнической лаборатории и лаборатории КИП

Факторами, определяющими организацию и состав электро-ремонтных цехов и ремонтных служб предприятия, являются сложность электрохозяйства и принятая система управления им.

Необходимое представление о составе электрохозяйства крупного промышленного предприятия дает схема, показанная на рис. 3, о структуре управления этим хозяйством службой главного энергетика — схема, приведенная на рис. 4.

**Контрольные вопросы.** 1. Что такое износ и какие виды износа наиболее часто встречаются в ремонтной практике? 2. Каковы сущность и преимущества системы ППР? 3. Чем отличаются текущие ремонты электрооборудования от капитальных? Приведите примеры текущего и капитального ремонтов. 4. Как и для чего составляют сетевые графики планирования ремонтов? Каковы структура ЭРЦ и состав его оборудования? Чем они определяются?



## Глава II УСТРОЙСТВО И РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

### § 5. Общие сведения

Электрические аппараты являются самым многочисленным и конструктивно разнообразным электрооборудованием, выполняющим различные функции в электроустановках.

Электротехнические устройства, предназначенные для включения и отключения, управления, регулирования и защиты электрооборудования и участков электрических цепей называют электрическими аппаратами. В зависимости от назначения электрические аппараты можно условно разделить на четыре группы:

коммутационные, предназначенные для включения, отключения и переключения электрических цепей;

защиты, осуществляющие защиту электрических цепей от перегрузок, токов короткого замыкания, недопустимого повышения напряжения, снижения или исчезновения напряжения;

токоограничивающие и пускорегулирующие, предназначенные для пуска, регулирования частоты вращения двигателей, изменения силы тока в электрических цепях, ограничения тока при коротких замыканиях;

выполняющие одновременно несколько из перечисленных выше функций (например, включение и отключение электрических цепей, а также защиту их от перегрузок и др.).

Аппараты могут быть автоматического и неавтоматического действия. В зависимости от номинального напряжения различают электрические аппараты до 1000 В (обычно до 660 В) и выше 1000 В. В этой главе рассматриваются аппараты номинальным напряжением 220, 380 и 660 В.

В электрическом аппарате чаще всего повреждаются рабочие подвижный и неподвижный, а также промежуточные и дугогасительные контакты\*, образующие контактную систему.

Хорошо отшлифованные контактные поверхности имеют микроскопические возвышения и впадины, вследствие чего их соприкосновение происходит не по всей площади, а лишь в отдельных точках (рис. 5,а), которые называют *точками соприкосновения*.

В контактах, не испытывающих при соприкосновении значи-

\* Термином «контакт» обозначают как сами детали, образующие электрическое соединение, так и участок их соприкосновения.

тельных давлений (усилий, прижимающих контакты друг к другу), число точек соприкосновения незначительно. При увеличенном давлении, прижимающем контактные поверхности друг к другу, выступающие неровности деформируются и первоначальные точки соприкосновения превращаются в небольшие площади (рис. 5, б). С увеличением силы, приложенной к контактам, растет число «контактных точек» и их общая площадь. Ток с одной контактной поверхности на другую переходит в точках соприкосновения, т. е. через участки с сильно суженным сечением I и II. Из-за чрезмерно малых поперечных сечений этих участков возникает большое электрическое сопротивление, называемое *переходным*.

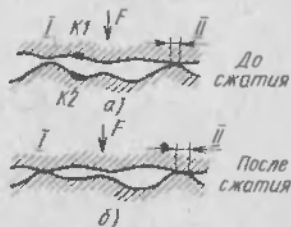


Рис. 5. Контактные поверхности при отсутствии (а) и наличии (б) сжимающих усилий

K1, K2 — контакты

Переходное сопротивление в контакте зависит главным образом от состояния контактных поверхностей и давления, с которым контакты прижаты друг к другу. Зависимость переходного сопротивления от давления контактов друг на друга объясняется тем, что при большом давлении легче смять выступающие на их поверхность точки и таким образом улучшить контакт между ними. При этом на контактных поверхностях создаются новые точки соприкосновения, улучшающие условия перехода тока, а следовательно, и качество контакта.

Известно, что чем больше число и площадь точек соприкосновения между контактными поверхностями, тем меньше переходное сопротивление между ними. Однако интенсивность процесса образования новых точек соприкосновения даже при дальнейшем возрастании давления в контактах постепенно замедляется. Это объясняется тем, что при повышении давления оно воспринимается большей площадью, удельное давление в точках соприкосновения контактов уменьшается, материал контактов сменяется не так интенсивно, поэтому процесс увеличения числа и площади точек соприкосновения замедляется.

Переходное сопротивление, которое является основным показателем качества всякого контакта, в значительной мере зависит от обработки контактных поверхностей и их состояния. Плохо обработанные и окислившиеся контакты имеют высокое переходное сопротивление. Тщательная слесарная обработка контактных поверхностей дает возможность удалить пленку оксидов и создать при соприкосновении наибольшее число точечных контактов. Медные контакты обрабатывают надфилем или напильником, в результате чего образуются поверхности с меньшим переходным сопротивлением, чем при полировании или шлифовании.

Качество контакта зависит также от свойств контактных материалов (механической прочности, электрической проводимости и теплостойкости). Материалы, обладающие низкой электрической проводимостью и механической прочностью или недостаточной

теплостойкостью, не могут создать надежного контакта на длительное время, так как подвергаются разрушающим механическим нагрузкам и температурным воздействиям.

Материалы контактных соединений должны обладать следующими свойствами:

механической прочностью, т. е. способностью длительное время выдерживать определенные механические усилия, возникающие в контактах в процессе работы;

температурной устойчивостью — стойкостью материала при длительном воздействии на него повышенной температуры;

тугоплавкостью — способностью не оплавляться при воздействии на контакт сверх допустимой температуры;

электрической проводимостью — способностью проводить электрический ток с малым сопротивлением;

неокисляемостью (коррозиестойчивостью) — способностью противостоять окисляющему воздействию кислорода, содержащегося в воздухе.

Материалы, отвечающие перечисленным требованиям, пока отсутствуют, поэтому контакты аппаратов изготовляют из таких материалов, которые наиболее удовлетворяют условиям работы аппарата. Например, в аппаратах, предназначенных для отключения больших токов, применяют контактные детали, изготовленные из тугоплавких материалов (металлокерамики).

Металлокерамические детали для контактов выпускают из смеси порошков вольфрама или молибдена с порошками меди или серебра, изготавливаемых под высоким давлением с последующей термической обработкой при 1100—1300°C\*.

Металлокерамические контакты благодаря присутствию в них молибдена и вольфрама обладают повышенной механической прочностью и температурной устойчивостью, а наличие в металлокерамике серебра или меди придает им высокую электрическую проводимость. Контакты с покрытиями из металлокерамики (например, медно-вольфрамовый АВМ-2) широко распространены в современных аппаратах.

В электрических аппаратах помимо контактов повреждаются также детали механизма, пружины, пластины дугогасительной камеры и изоляция. Характерными признаками неисправности аппарата являются повышенный нагрев отдельных частей, нечеткое включение, произвольное отключение, отказ аппарата.

Причинами неисправностей могут быть повреждения отдельных деталей вследствие неудовлетворительной эксплуатации аппарата, нарушения сроков текущих и капитальных ремонтов. Поврежденные аппараты ремонтируют, применяя при этом более качественные электроизоляционные и контактные материалы, улучшая конструкцию отдельных деталей. В необходимых случаях аппараты старых конструкций модернизируют.

\* Способ изготовления деталей из порошков различных металлов прессованием и последующей термической обработкой называют *порошковой металлургией*.

## § 6. Ремонт автоматических выключателей, контакторов и магнитных пускателей

**Автоматические воздушные выключатели.** Аппарат, предназначенный для автоматического размыкания электрических цепей или отключения электроустановки при возникновении в них токов перегрузки и короткого замыкания, а также при недопустимом снижении или полном исчезновении напряжения, называют автоматическим воздушным выключателем. Воздушным называют выключатель потому, что электрическая дуга, возникающая между его контактами в момент отключения, гасится в среде окружающего воздуха. Автоматические воздушные выключатели выполняют, как правило, функции защитных аппаратов, однако при необходимости могут быть использованы в качестве коммутационных аппаратов — при нечастых эксплуатационных включениях и отключениях тех электрических цепей, в которых они установлены как аппараты защиты.

Автоматическими выключателями можно дистанционно управлять электрооборудованием и повторным их включением быстро восстанавливать питание электроустановок. Эти выключатели изготавливают на токи, достигающие нескольких тысяч ампер и различают по числу полюсов: одно-, двух- и трехполюсные. Основными частями выключателей являются контактная система, дугогасительное устройство и механизм свободного расцепления.

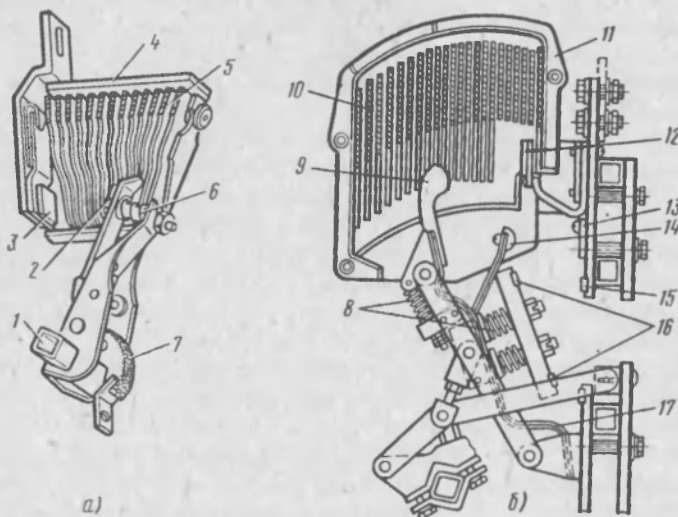


Рис. 6. Контактная и дугогасительная системы воздушных выключателей:

*a* — 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 — дугогасительный подвижный и неподвижные контакты, 13, 14 — промежуточные неподвижный и подвижный контакты

Контактная система автоматических выключателей небольшой мощности (на токи до 100 А) может быть одноступенчатой (рис. 6,а) или двухступенчатой (главные и дугогасительные контакты). Одноступенчатую систему контактов применяют в выключателях средней мощности (до 600 А), если рабочие поверхности контактов имеют металлокерамическое покрытие. В мощных выключателях используют двух- или трехступенчатую систему контактов (рис. 6,б). При трехступенчатой системе контактная группа выключателя состоит из главных (рабочих), дугогасительных (разрывных) и промежуточных (переходных) контактов.

Главные контакты служат для присоединения управляемой электрической цепи к питающей сети и допускают длительное прохождение через них номинальных и рабочих токов нагрузки. Дугогасительные контакты предназначены для разрыва электрической цепи при наличии в них рабочих токов, а также токов перегрузки или короткого замыкания и сохранения таким образом главных контактов. Промежуточные контакты предназначены для облегчения перехода тока с главных контактов на дугогасительные при отключении выключателя и с дугогасительных на главные — при его включении.

Дугогасительная система выключателя (см. рис. 6,б) состоит из подвижного 9 и неподвижного 12 контактов, камеры 11, в которой расположена решетка 10 и служит для ограничения размеров и быстрого гашения 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 асбестоцементную коробку, в которой размещена дугогасительная (деионная) решетка, состоящая из стальных пластин, покрытых тонким слоем меди для предохранения стальной основы от коррозии.

Гашение дуги в камере происходит следующим образом. При разрыве автоматическим выключателем электрической цепи с рабочими токами, токами перегрузки или короткого замыкания между его контактами возникает электрическая дуга, которая под воздействием электродинамических сил растягивается вдоль пластин решетки, разбивается на ряд мелких дуг и, соприкасаясь с поверхностью пластин, быстро охлаждается и гаснет.

Механизм свободного расцепления автоматического выключателя выполняет следующие функции: предотвращает возможность удерживания контактов выключателя во включенном положении при возникновении аварийного режима работы в защищаемой цепи; обеспечивает скорость расхождения (моментное отключение) контактов, не зависящую от оператора, рода и массы привода.

Этот механизм представляет собой систему связанных шарнирно рычагов, соединяющих привод включения с системой подвижных контактов, которые в свою очередь связаны с отключающей пружиной. При аварийных режимах в электрической цепи, защищаемой автоматическим выключателем, расцепитель выводит вал привода из зацепления с фигурным рычагом, который поворачивается и другим

концом выводит «ломающиеся» рычаги из «мертвого» положения. При этом отключающая пружина, действуя на «ломающиеся» рычаги, размыкает контакты.

Механизмы свободного расцепления автоматических выключателей весьма разнообразны, однако принцип действия и их устройство

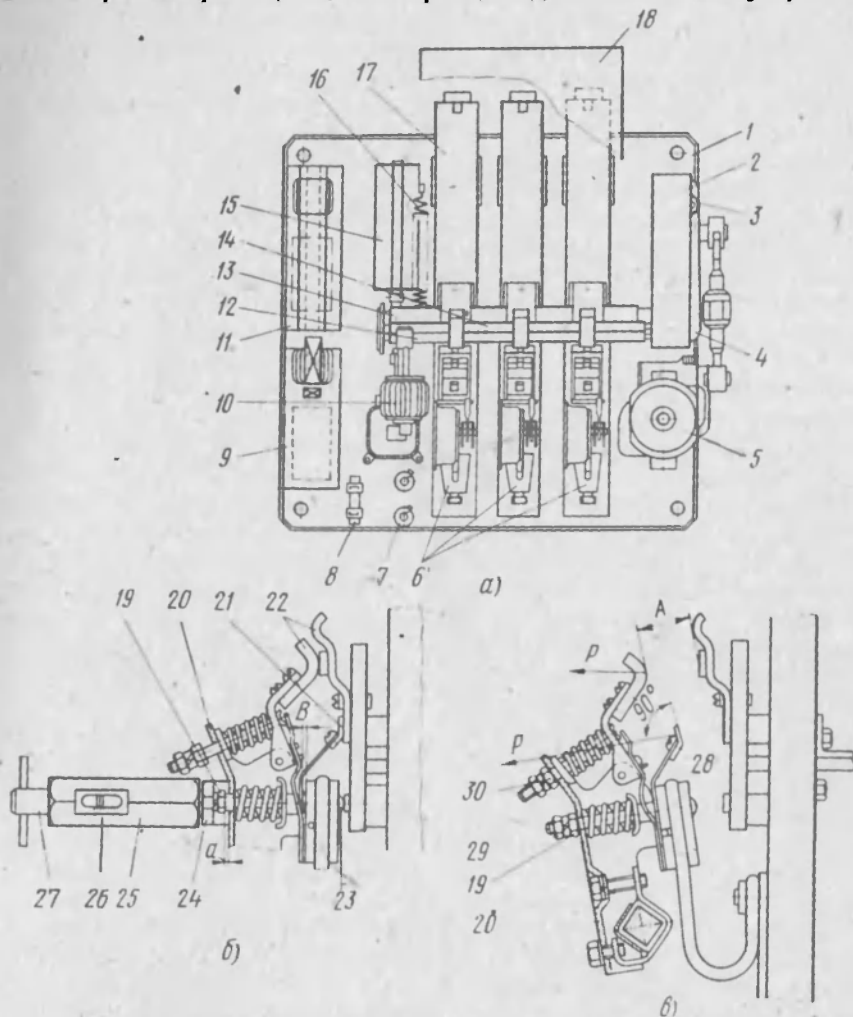


Рис. 7. Автоматический воздушный выключатель AIS-T на 600 А переменного тока: а — общий вид, б, б<sub>1</sub> — контактная система в включенном и отключенном положениях автомата; 1 — плата, 2 — механизм свободного расцепления, 3 — болт заземления, 4 — механический замедлитель расцепления, 5 — электромеханический привод, 6, 10 — максимальный и дополнительный расцепители, 7 — резистор, 8 — предохранитель, 9 — реле управления, 11 — панель зажимов, 12, 14 — отключающий и селективный валики, 13 — главный вал, 15 — коммутатор, 16 — пружина отключения выключателя, 17 — дугогасительная камера, 18 — огнестойкая перегородка, 19, 29 — нижняя и верхняя гайки, 20 — держатель, 21, 23 — промежуточный и главный контакты, 22 — дугогасительные контакты, 24 — фасонный винт, 25 — стакан динамометра, 26 — шкала динамометра с указателем, 27 — штифт, 28 — плоская пружина, 30 — регулировочная гайка. (Стрелками указано направление усилий при определении величин провалов и растворов контактов.)

подобны описанным. Автоматические выключатели отличаются многообразием конструктивных исполнений, но их устройство и принцип действия сходны и определяются главным образом назначением аппарата.

В электрических силовых установках промышленных предприятий широко распространены автоматические воздушные выключатели серии А. Описание устройства выключателя А15-Т и его ремонта может дать необходимое представление о конструкции и способах ремонта большинства современных автоматических выключателей, применяемых в электроустановках промышленных предприятий в качестве аппаратов защиты и управления.

Автоматический воздушный выключатель А15-Т (рис. 7,а) смонтирован на термостойкой и механически прочной изоляционной плите 1. Основными частями выключателя являются контакты (на рисунке они не видны, поскольку закрыты дугогасительными камерами 17), механизм свободного расцепления 2, электромеханический привод 5, максимальные 6 и дополнительные 10 расцепители, панель 11 зажимов и коммутатор 15.

В выключателе применена трехступенчатая система контактов. Каждый полюс выключателя имеет три пары контактов: главные, промежуточные (переходные) и дугогасительные (разрывные).

Главные контакты выполнены из металлокерамики, а промежуточные и разрывные — из меди. Контактная система каждого полюса выключателя расположена в дугогасительной камере 17, обеспечивающей эффективное гашение дуги и исключающей возможность переброса дуги на соседние фазы или другие токопроводящие части автомата.

Подвижные контакты автоматического выключателя укреплены на изолированном главном валу 13. Автоматический выключатель отключается с помощью валика 12 от воздействия максимальных расцепителей 6 при недопустимом увеличении тока в защищаемой цепи, а также при воздействии на валик 12 дополнительных расцепителей 10. Воздействие при токе короткого замыкания максимальных расцепителей 6 на селективный валик 14 приводит также к отключению выключателя, но через определенный промежуток времени. Выдержка времени осуществляется механическим замедлителем 4, расположенным на правой щеке механизма свободного расцепления 2. Подвижная контактная система связана с пружиной 16, служащей для отключения выключателя. Электромеханический привод 5 связан с механизмом свободного расцепления 2. В схеме его защиты и управления имеются трубчатый резистор, плавкий предохранитель 8 и реле управления 9.

Для присоединения автоматического выключателя к сети заземления служит болт 3. Наличие огнестойкой асбестошиферной перегородки 18 предотвращает возможность переброса дуги. Дистанционное включение автоматического выключателя осуществляют электромеханическим приводом 5, а отключение — дополнительным расцепителем 10.

Контактная система автоматического выключателя (рис. 7,б, в)

состоит из трех параллельно включаемых групп контактов — главных 23, промежуточных 21 и дугогасительных 22. При включении выключателя замыкаются сначала дугогасительные, затем промежуточные и, наконец, главные контакты. Размыкание контактов при отключении выключателя происходит в обратном порядке.

У автоматических выключателей серии А и других конструктивно аналогичных выключателей повреждаются преимущественно контакты, отключающий механизм и пружины. Эти повреждения выражаются в износе и оплавлении контактов, нарушении регулировки механизма, ослаблении пружин. Вследствие частых электрических и механических воздействий у автоматических выключателей может оказаться поврежденной изоляция обмотки электромеханического привода или главного вала. В зависимости от характера повреждения ремонтируют автоматические выключатели в электроремонтном цехе или на месте их установки. В последнем случае полностью отключают выключатель от присоединенных к нему электрических цепей, а также принимают меры для избежания дистанционного управления выключателем.

Для получения доступа к контактам отвертывают винты креплений дугогасительных камер, а затем, соблюдая меры предосторожности, исключающие возможность появления трещин в асбестоцементных щечках камеры, снимают дугогасительные камеры так, чтобы не повредить находящиеся внутри них пластины решетки дугогасительного устройства и контакты аппарата.

Закопченные стальные омедненные пластины решетки осторожно очищают деревянной палочкой или мягкой стальной щеткой, освобождая их от слоя нагара, а затем протирают чистыми тряпками и промывают. Применять для этих целей металлические инструменты (монтерские ножи, шаберы, напильники) запрещается, поскольку можно повредить тонкий защитный слой меди, покрывающий стальные пластины.

В контактной системе автоматических выключателей повреждаются (обгорают, оплавляются и изнашиваются) преимущественно дугогасительные контакты, подвергающиеся воздействию высокой температуры электрической дуги, особенно при разрыве ими больших токов. Слегка обгоревшие контакты промывают синтетическими моющими средствами, а затем опиливают напильником, чтобы снять с их рабочей поверхности имеющиеся небольшие частицы оплавленной меди. Для очистки контактов нельзя применять наждачную бумагу, так как наждачная пыль и мелкие частицы наждака могут попасть в механизм выключателя и вызвать быстрый износ его трущихся деталей. С сильно оплавленных контактов спиливают напильником наплывы меди, стараясь снять минимальное количество металла с контакта, сохранив его первоначальную форму. При уменьшении размера контактов ремонтируемых выключателей более чем на 30% рекомендуется заменять их новыми контактами заводского изготовления.

При длительной работе автоматического выключателя в условиях частых включений и отключений не только изнашиваются его



контакты, но и нарушается их регулировка, что приводит к недопустимому нагреву контактов и быстрому выходу их из строя. Регулировка работы контактной системы автоматического выключателя одна из важнейших операций ремонта, от которой зависит его длительная нормальная работа. При регулировке контактной системы после ремонта добиваются одновременности касания главных, а затем промежуточных и дугогасительных контактов, хотя очередность их включения имеет обратный порядок. Одновременность касания главных контактов регулируют изменением положения держателя 20 на главном валу 13 с помощью затяжки или ослабления гайки 19.

Регулировку одновременности касания промежуточных контактов осуществляют изгибанием в нужном направлении плоской пружины 28, а дугогасительных контактов — наворачиванием или отворачиванием регулировочной гайки 30.

Контактная система должна быть отрегулирована так, чтобы в момент касания дугогасительных контактов 22 зазор между подвижным и неподвижным промежуточными контактами 21 был не менее 5 мм, а в момент касания промежуточных контактов между подвижным и неподвижным главными контактами 23 — не менее 2,5 мм. Провал \* В главных контактов (рис. 7,б) во включенном положении отрегулированного автоматического выключателя должен быть не менее 2 мм, а раствор \*\* А (рис. 7,в) дугогасительных контактов в отключенном положении выключателя — не менее 65 мм.

В число работ по ремонту автоматического выключателя входят также проверка и регулировка начального и конечного нажатий его контактов. Начальным нажатием контактов называют усилие, создаваемое пружинкой в месте первоначального касания контактов, а конечным — усилие в месте конечного касания контактов. За действительное начальное нажатие дугогасительных контактов выключателя принимают показания динамометра, когда становится возможным свободное перемещение фасонного винта 24, а промежуточных контактов — когда зазор В (рис. 7,б) достигает величины, указанной в паспорте автомата.

Конечное нажатие главных контактов измеряют специальным динамометром, поставляемым заводом-изготовителем вместе с выключателем. Динамометр состоит из стакана 25, шкалы 26 с указателем и штифта 27 с рукояткой. Измерение производят в соответствии с заводской инструкцией и паспортными данными автоматического выключателя. Начальные и конечные нажатия всех контактов аппарата не должны отличаться от соответствующих паспортных данных более чем на  $\pm 10\%$ .

Нажатие контактов регулируют очень тщательно, так как недо-

---

\* Расстояние, на которое может сместиться плоскость касания полностью включенного контакта, если удалить неподвижный контакт, называют *провалом контактов*.

\*\* Кратчайшее расстояние между контактными поверхностями разомкнутых контактов называют *раствором контактов*.

статочное начальное нажатие может вызвать недопустимые перегревы и оплавление контактов, а чрезмерное — привести к быстрому износу контактной системы и нарушению четкости ее работы. Нажатия контактов должны быть в пределах величин, нормируемых заводом-изготовителем. Если в процессе регулировки начальные нажатия при изношенных и конечные нажатия при новых контактах не укладываются в нормируемые заводом пределы, указанные в паспорте выключателя, необходимо сменить соответствующие контактные пружины, взяв их из запасных деталей, поставляемых заводом-изготовителем.

При ремонте автоматических выключателей обращают внимание на правильность расположения рычагов на отключающем валике и наличие требуемого зазора между рычагом валика и бойком расцепителя. Рычаги не должны иметь перекосов и смещений, зазор между рычагом и бойком должен быть 2—3 мм, иначе минимальный или специальный расцепитель не отключит выключатель при недопустимом снижении или полном исчезновении напряжения в питающей сети.

В процессе ремонта проверяют сохранность резисторов 7, плавкой вставки предохранителя 8, состояние контактов конечного выключателя и блок-контактов. При неисправности этих деталей и плохих контактах выключатель не будет включаться электромеханическим приводом. Сгоревший резистор и перегоревшую плавкую вставку в предохранителе заменяют новыми. Обгоревшие контакты очищают, а сильно поврежденные заменяют новыми.

У отремонтированного выключателя проверяют легкость хода подвижных частей, отсутствие заеданий в механизме и касания подвижными контактами стенок дугогасительных камер, для чего 10—15 раз медленно включают и отключают выключатель вруч-

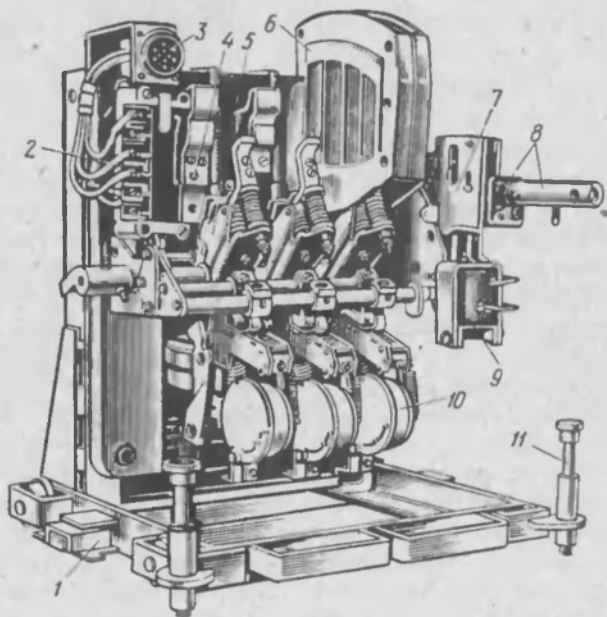


Рис. 8. Автоматический трехполюсный выключатель переменного тока АВМ:

1 — подвижный заземляющий контакт, 2 — коммутатор, 3 — штепсельный разъем, 4, 5 — неподвижный и подвижный контакты, 6 — дугогасительная камера, 7 — механизм свободного расцепления, 8 — привод ручного включения, 9, 10 — расцепители минимального напряжения и максимального тока, 11 — фиксатор положения тележки

ную. При установке отремонтированного автоматического выключателя на место следует проверить, хорошо ли затянуты контактные зажимы, не создают ли провода, кабели или шины, присоединенные к аппарату, недопустимых механических усилий на его контакты или выводы.

Правильность сборки, качество ремонта аппарата, а также отсутствие в нем дефектов, препятствующих нормальной работе, проверяют включениями и отключениями (15—20 циклов) сначала под напряжением (без нагрузки), а затем при 50%-ной и полной номинальной нагрузках. Проверяют также работу всех расцепителей и устанавливают требуемые токи уставок максимальных расцепителей, после чего выключатель испытывают при номинальных нагрузках по программе, параметрам и нормам, установленным заводом-изготовителем.

В электроустановках напряжением до 1000 В применяют автоматические выключатели серий АВМ и «Электрон», при ремонте которых обычно руководствуются приведенными выше указаниями, относящимися к ремонту выключателей серии А.

Автоматический выключатель АВМ (рис. 8) состоит из системы неподвижных 4 и подвижных 5 контактов, закрытых дугогасительными камерами 6, механизма свободного расцепления 7, привода 8 ручного включения, расцепителей минимального напряжения 9 и максимального тока 10.

Выключатели АВМ выпускают на номинальные токи от 400 до 2000 А и напряжение 380 В переменного тока. Контактная система мощных выключателей АВМ-15 и АВМ-20 состоит из трех групп контактов.

Управление выключателем осуществляют ручным приводом 8, усилие которого передается валу механизмом свободного расцепления 7, состоящего из системы взаимосвязанных рычагов. Ручное отключение автоматического выключателя производят выводом рычага механизма свободного расцепления 7 из «мертвого» положения, а автоматическое — воздействием бойка расцепителя на отключающий валик.

Расцепитель максимального тока 10 состоит из катушки и якоря, удерживаемого пружиной и соединенного с часовым механизмом, на шкале которого имеются метки «0», «Мин» и «Макс». При установке часового механизма на метку «0» отключение автоматическим выключателем токов короткого замыкания и перегрузки происходит мгновенно. Селективные автоматические выключатели отключаются с заданной выдержкой времени, осуществляемой механическим замедлителем расцепления. Требуемую выдержку времени устанавливают перемещением специального винта, расположенного на часовом механизме.

Автоматические выключатели АВМ помимо расцепителей максимального тока могут быть снабжены расцепителем минимального напряжения, отключающим выключатель при снижении напряжения в питающей электрической сети до 36% номинального. Автоматический выключатель допускает дистанционное включение и отклю-

чение. Дистанционное включение производят электродвигательным приводом, которым снабжен выключатель. Привод состоит из электродвигателя, редуктора с выключающим диском, конечного выключателя, кулисы и тормозного устройства. В тормозное устройство входят два полудиска, вращающиеся вместе с валом электродвигателя привода и расходящиеся в радиальном направлении под действием центробежных сил, и стальная лента, охватывающая полудиски. При торможении стальная лента прижимается к полудискам и останавливает электродвигатель. По окончании торможения полудиски и лента возвращаются в исходное положение. Электродвигательный привод действует безотказно при колебаниях напряжения от 85 до 110% номинального.

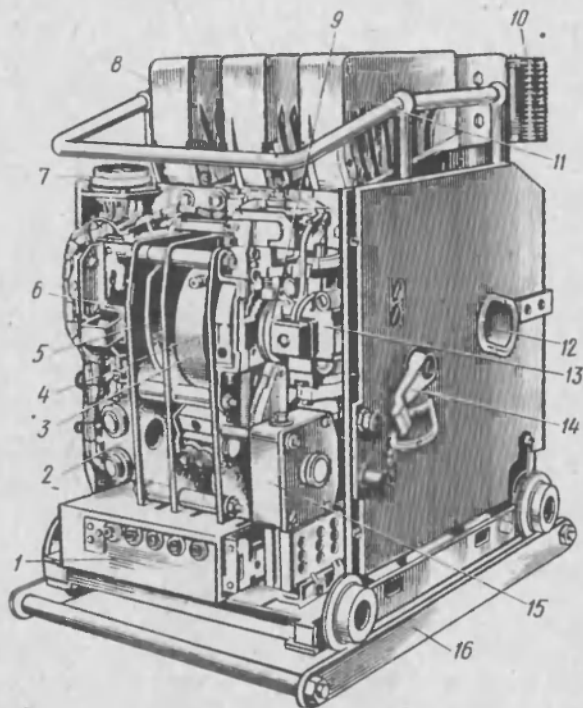


Рис. 9. Автоматический трехполюсный выключатель переменного тока «Электрон»:

1 — электронный блок максимальной токовой защиты, 2 — блок кнопок управления, 3 — включающая пружина, 4 — механизм завода включающей пружины, 5 — механизм включения и свободного расцепления, 6 — расцепитель, 7 — неподвижная часть контактного разъема, 8 — дугогасительная камера, 9 — механизм управления электроприводом, 10 — главный подвижный контакт, 11 — рукоятка, 12 — смотровое окно, 13 — электродвигатель, 14 — рычаг механической блокировки, 15 — редуктор, 16 — откидные рельсы

Для осуществления дистанционного отключения автоматического выключателя АВМ служит отключающий расцепитель, расположенный на щеке механизма свободного расцепления и состоящий из якоря, сердечника со стопом и катушки.

В электроустановках переменного тока напряжением 660 В применяют автоматические выключатели серии «Электрон», выпускаемые промышленностью в двух исполнениях: обычном — для стационарного монтажа; выкатном — для комплексных распределительных устройств (КРУ).

Автоматический выключатель «Электрон» (рис. 9) имеет принципиальное сходство с рассмотренными выше автоматическими выключателями серий А и АВМ. Выключатель снабжен двухступенчатой контактной системой, расположенной в дугогасительной камере 8, механизмами включения и свободного расцепления 5, завода

включающей пружины 4, управления электроприводом 9, электродвигателем 13 с редуктором 15, расцепителем 6 и электронным блоком 1 максимальной токовой защиты. Все указанные сборочные единицы и детали заключены в корпус автоматического выключателя, их назначение и принцип действия аналогичны назначению и принципу действия сборочных единиц и деталей выключателя АВМ.

Выключатели «Электрон» чаще всего используют в комплектных распределительных устройствах (КРУ). Применяемый в КРУ автоматический выключатель выкатного исполнения состоит из металлической ячейки каркасной конструкции и собственно выключателя, снабженного откидными рельсами 16, служащими для облегчения вкатывания в ячейку и выкатывания из нее выключателя. На задней стенке ячейки укреплены неподвижные главные контакты, а на боковых стенках — неподвижные контакты заземляющего устройства и системы блокировки, исключающей возможность вкатывания и выкатывания выключателя при включенном положении контактов.

Каркас ячейки снабжен болтами, с помощью которых его присоединяют к сети заземления. Подвижные главные и дугогасительные контакты имеют металлокерамическое покрытие. Неподвижные главные контакты покрыты серебром, а дугогасительные — металлокерамикой. Включение контактов происходит за счет энергии, запасенной во включающей пружине, заводимой вручную ремонтной рукояткой или автоматическим электродвигателем с редуктором, после выполнения каждой операции включения. Отключение и свободное расцепление системы контактов происходит при нарушении зацепления рычага с защелкой. Выключатель снабжен пружинами самовозвода, которые после завершения отключения возвращают систему расцепления в исходное положение.

Максимальный расцепитель отключает выключатель при возникновении в управляемой выключателем электрической цепи токов короткого замыкания или перегрузки. Напряжение на отключающую катушку расцепителя подается при срабатывании электронного блока максимальной токовой защиты. Отключение выключателя электронным блоком происходит мгновенно или с выдержкой времени, регулируемой в широких пределах по току и времени отключения.

**Контакторы.** Коммутационный электромагнитный аппарат, предназначенный для дистанционных включений и отключений силовых электрических цепей при нормальных режимах работы, называют контактором.

Электромагнитные контакторы широко распространены в электроустановках промышленных предприятий, где являются основными силовыми аппаратами современных схем автоматизированного привода. Их выпускают для работы в электрических установках переменного и постоянного тока. В электроустановках трехфазного переменного тока применяют трехполюсные контакторы (рис. 10,а), состоящие из электромагнитной, контактной и дугогасительной систем.

Электромагнитная система (рис. 10,б) служит для дистанцион-

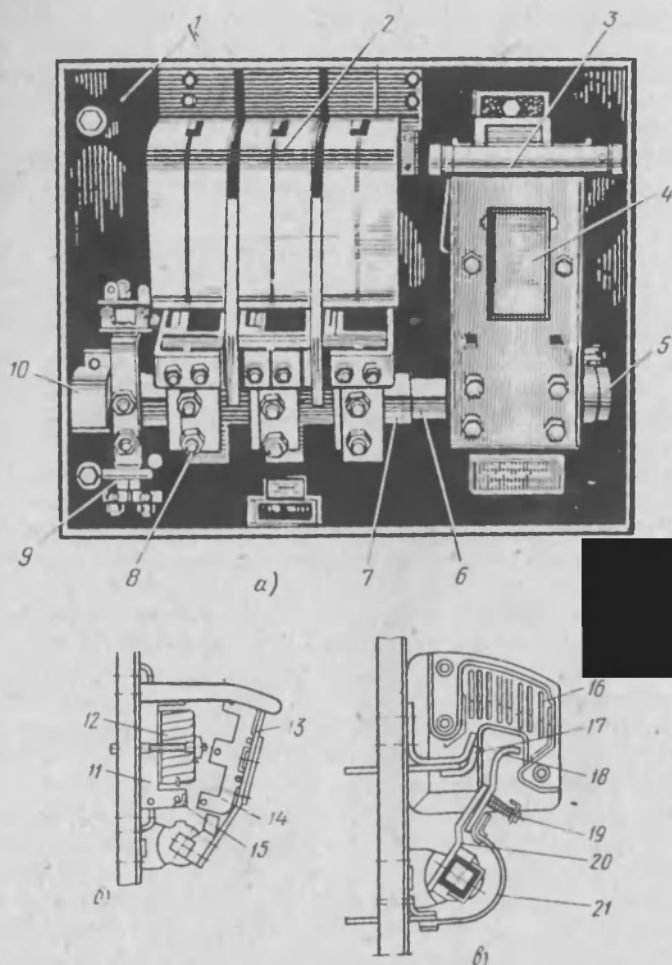


Рис. 10. Трехполюсный контактор (а), его электромагнитная (б), контактная и дугогасительная (в) системы:

1 — изоляционная панель, 2 — дугогасительная камера, 3 — упор, 4 — электромагнит, 5, 10 — подшипники, 6 — вал, 7 — изоляция вала, 8 — крепление контактной системы на валу, 9 — блок-контакты, 11 — ярмо с сердечником, 12 — катушка электромагнита, 13 — держатель якоря, 14 — якорь, 15 — короткозамкнутый виток, 16 — пластины решетки дугогасительной камеры, 17, 18 — неподвижный и подвижный главные контакты, 19 — контактная пружина, 20 — держатель подвижного контакта, 21 — гибкая связь

ного управления (включения и отключения) контактором и состоит из ярма 11 с сердечником, якоря 14, короткозамкнутого витка 15, катушки 12 и деталей крепления электромагнита к изоляционной панели. Сердечник и якорь набраны из листов электротехнической стали толщиной 0,35 или 0,5 мм и представляют собой шихтованные пакеты. Для придания сердечнику и якорю необходимой жесткости

и предотвращения расслоения шихтовки крайние стяжные листы пакетов имеют толщину 0,8 или 1 мм.

Контактная система (рис. 10,а) состоит из главных подвижных 18 и неподвижных 17 контактов, гибких связей 21 и блок-контактов мостикового типа, служащих для переключения в цепях управления контактора, блокировки и сигнализации. Главными контактами разрываются электрические цепи с токами нагрузки, поэтому они снабжены дугогасительной системой.

Дугогасительная система представляет собой устройство, состоящее из камеры с установленной в ней решеткой из стальных пластин 16, покрытых слоем меди. Камера выполнена из огнестойкого материала и состоит из двух половин. Пластины внутри камеры расположены перпендикулярно стволу электрической дуги. Возникающая при отключении контактора электрическая дуга втягивается в решетку, разбиваясь в ней на ряд мелких дуг, охлаждается и быстро гаснет.

В трехполюсном контакторе имеются три пары главных контактов, снабженных тремя (по одному на каждый полюс) дугогасительными устройствами. При частых оперированиях контактором контакты и пластины нагреваются тем сильнее, чем больше отключаемые токи.

Управление контактором осуществляется следующим образом. При подаче напряжения в цепь катушки электромагнита ее сердечник притягивает якорь, который, поворачиваясь на определенный угол, прижимает подвижные контакты, находящиеся на одном валу с ним, к неподвижным и удерживает их во включенном положении.

При разрыве электрической цепи катушки ее сердечник перестает удерживать якорь, из-за чего подвижные контакты под действием собственной массы отпадают, разрывая электрическую цепь.

В контакторах удержание якоря во включенном положении может осуществляться также защелкой. В таких контакторах кроме электромагнитной системы включения и подведения подвижной части под защелку имеется дополнительное электромагнитное устройство, осуществляющее отключение контактора освобождением его подвижной части из-под защелки. Отключение контактора может производиться не только под действием собственной массы подвижной части, но и с помощью отключающих пружин.

При выполнении текущих ремонтов контакторов на месте их установки необходимо предварительно отсоединить все присоединенные к ним провода, кабели и шины. Капитальные ремонты контакторов рекомендуется производить в электроремонтных мастерских.

Ремонт контакторов заключается главным образом в замене поврежденных или изношенных деталей новыми с последующей регулировкой и испытанием контакторов. Чаще всего приходится менять главные контакты, гибкие соединения, дугогасительные камеры, катушки электромагнитов, пружины и короткозамкнутые витки.

Приведенные ниже описания способов замены этих деталей при

ремонтах относятся к контакторам нескольких типов и конструктивных исполнений из числа наиболее распространенных в электроустановках промышленных предприятий. Чтобы заменить главные контакты, надо снять с них дугогасительную камеру, отвернуть винт, крепящий гибкое соединение к подвижному контакту, и удалить подвижный контакт. Затем отвернуть винт, крепящий сменную часть неподвижного контакта, и снять неподвижный контакт, промыть, а в необходимых случаях зачистить контактные поверхности всех разобранных болтовых контактных соединений и смазать их тонким слоем технического вазелина. Далее нужно установить новый контакт на место и собрать все детали в последовательности, обратной разборке.

Повреждение гибких соединений выражается в изломе отдельных медных пластин или проводов. В этом случае поврежденные пластины заменяют новыми, изготовленными из твердокатаной меди соответствующих марок и сечений. При повреждении более 20% пластин рекомендуется полностью заменить гибкое соединение новым, изготовленным из листовой меди толщиной 0,2—0,3 мм.

Ремонт дугогасительной камеры заключается в замене поврежденных щек и очистке пластин дугогасительной решетки от нагара и частиц оплавленного металла. Щеки камеры, имеющие сквозные трещины, заменяют новыми, изготовленными из равноценных огнестойких материалов. При наличии на щеках камеры небольших сколов образовавшееся пространство заполняют пастообразной смесью, состоящей из асбестового порошка и цемента (марки 400 или 500), разведенных водой.

Нагар с пластин дугогасительной решетки удаляют деревянной лопаточкой или мягкой стальной щеткой, а затем промывают. Сильно оплавленные пластины заменяют новыми, собирая их с помощью шаблона, имеющего вид гребенки. Камеру с сильно поврежденными внешними или внутренними деталями целесообразно заменить новой.

Повреждение катушек электромагнитов выражается в ухудшении изоляции и вследствие этого в появлении замыканий между витками ее обмотки. Поврежденную катушку заменяют новой или перематывают ее обмотку. Катушки контакторов могут быть каркасной или бескаркасной конструкции.

При повреждении обмотки каркасной катушки освобождают катушку от старой обмотки, очищают каркас от остатков старой изоляции и, покрыв слоем бакелитового лака, сушат, после чего наматывают на каркас новую обмотку проводом такой же марки и сечения, как у поврежденной. Если поврежден каркас катушки, изготавливают новый, сохраняя конструкцию и первоначальные размеры поврежденного каркаса.

Для намотки новой бескаркасной катушки изготавливают из дерева шаблон, форма которого должна соответствовать форме старой катушки, а размеры — превышать размеры сердечника контактора на толщину изоляции. На торцах шаблона укрепляют фанерные щеки на расстоянии, равном высоте катушки без внешней изоляции. Провод наматывают на шаблон, предварительно положив под первый



слой витков четыре отрезка прочных ниток для скрепления витков после намотки, чтобы катушка не рассыпалась при съеме с шаблона. Провод наматывают плотно, виток к витку, покрывая каждый слой изоляционным лаком для повышения влагостойкости катушки. Если слои витков старой катушки были изолированы бумажными прокладками, их прокладывают и между слоями новой катушки, используя для этого конденсаторную бумагу.

При намотке катушки тонким проводом начальные и конечные выводы выполняют гибким проводом  $\varnothing 0,8$  мм и больше, чтобы вывод не оборвался. Выводы соединяют с проводом катушки пайкой оловянисто-свинцовым припоем ПОС 30. Место пайки тщательно изолируют полоской миканитовой ленты толщиной 0,3 и шириной

8—10 мм, накладываемой вполнахлеста на участке, превышающем участок пайки не менее чем на 5 мм на сторону. Провода внутри катушки паяют только в самых крайних случаях, соблюдая указанные ранее требования к изоляции места пайки.

Выводы катушки прочно закрепляют на каркасе прочными нитками, а затем припаивают к их концам медные наконечники. Готовую катушку снимают с шаблона и обматывают хлопчатобумажной лентой, чтобы придать катушке необходимую жесткость и защитить ее от механических повреждений. Намотанную катушку пропитывают изоляционным лаком, для чего погружают на 15—30 мин (в зависимости лака) в ванну с лаком, не разрушающим эмалевое покрытие проводов. После пропитки катушку сушат в сушильном шкафу в течение 4—6 ч при 70—80°C или в течение 2—3 ч при 90—100°C. У готовой катушки проверяют внутренние и внешние размеры, а затем насаживают ее на сердечник и присоединяют выводные концы к схеме. Окончательно катушку проверяют пробным включением и отключением контактора (не менее 10 циклов).

Короткозамкнутый виток повреждается из-за сильных ударов при включении разрегулированного контактора, а также при недопустимых нагревах сердечника. Чтобы сменить поврежденный короткозамкнутый виток, отгибают

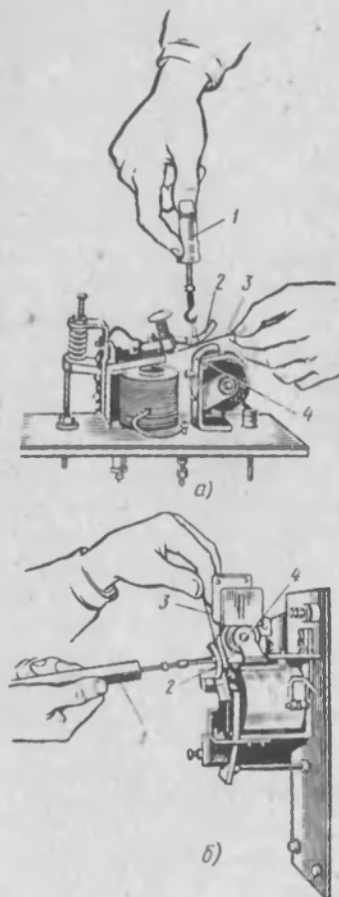


Рис. 11. Проверка нажатий главных контактов контактора: *а* — начального, *б* — конечного; 1 — динамометр, 2 — палец подвижного контакта, 3 — полоска бумаги, 4 — неподвижный контакт

стальные пластинки, прикрепленные к крайним стяжным листам пакета сердечника, вынимают поврежденный виток из желобка в сердечнике и, установив в желобке новый, закрепляют, загибая стальные пластинки на новый короткозамкнутый виток. Новые короткозамкнутые витки изготовляют из латуни, сохраняя размеры поврежденного витка. Запрещается заменять материал, изменять размеры и сечение короткозамкнутого витка во избежание нарушения нормальной работы контактора.

Поврежденные пружины должны быть заменены новыми из запасных частей, поставляемых комплектно с контактором, самодельные пружины применять запрещается.

При эксплуатации контакторов нередко повреждается изоляция вала подвижных контактов. Поврежденную изоляцию заменяют новой, изготовляемой из материала, равноценного заменяемому по своим свойствам и толщине.

По окончании основных операций ремонта проверяют величину начального и конечного нажатий главных контактов. Такая проверка особенно необходима после капитального ремонта контактора с частичной или полной заменой контактов. Начальное нажатие проверяют при разомкнутом контакте (рис. 11,а), для чего на палец 2 подвижного контакта набрасывают петлю, за которую захватывают крючок динамометра 1. Между пальцами подвижного контакта и его держателем помещают полоску бумаги (фольги) 3 шириной 20—25 мм. Затем, наблюдая за стрелкой динамометра, оттягивают одной рукой контакт до тех пор, пока полоска бумаги, которую слегка тянут другой рукой, не освободится. Динамометр в момент освобождения полоски показывает начальное нажатие. Конечное нажатие главных контактов определяют при включенном контакторе (рис. 11,б), помещая полоску бумаги между подвижным и неподвижным контактами. Конечное нажатие главных контактов характеризуется усилием, необходимым для освобождения полоски бумаги, зажатой между контактами.

Заключительным этапом ремонта полностью собранного контактора является проверка правильности собранной схемы, прочности крепления подвижных контактов на валу и плотности прилегания якоря к сердечнику. Чтобы проверить качество произведенного ремонта, а также убедиться в соответствии контактора предъявляемым к нему основным техническим требованиям, его подвергают по сокращенной программе контрольным испытаниям, применяемым заводом-изготовителем к контакторам аналогичных типов и конструкций.

В комплекс послеремонтных испытаний большинства контакторов обычно входят проверка сопротивления изоляции, измерение омического сопротивления обмотки катушки электромагнита и определения четкости срабатывания контактора при снижении напряжения.

Изоляцию испытывают мегаомметром на 500 В, проверяя ее сопротивление между токопроводящими частями контактора и другими ее частями, нормально не находящимися под напряжением.

Сопrotивление изоляции должно соответствовать данным заводских испытаний, но быть не ниже 0,5 МОм. Омическое сопротивление обмотки катушки электромагнита, измеренное при 20°С не должно отличаться от соответствующих заводских данных более чем на  $\pm 10\%$ . Контактор, установленный в вертикальном положении должен четко включаться при снижении напряжения до 85% номинального.

При работе контактора не должно быть повышенного нагрева контактов и катушки электромагнита, а также сильного гудения электромагнитной системы. Наличие указанных явлений свидетельствует о неудовлетворительном качестве ремонта и регулировки отдельных деталей и систем контактора (главным образом электромагнитной и контактной).

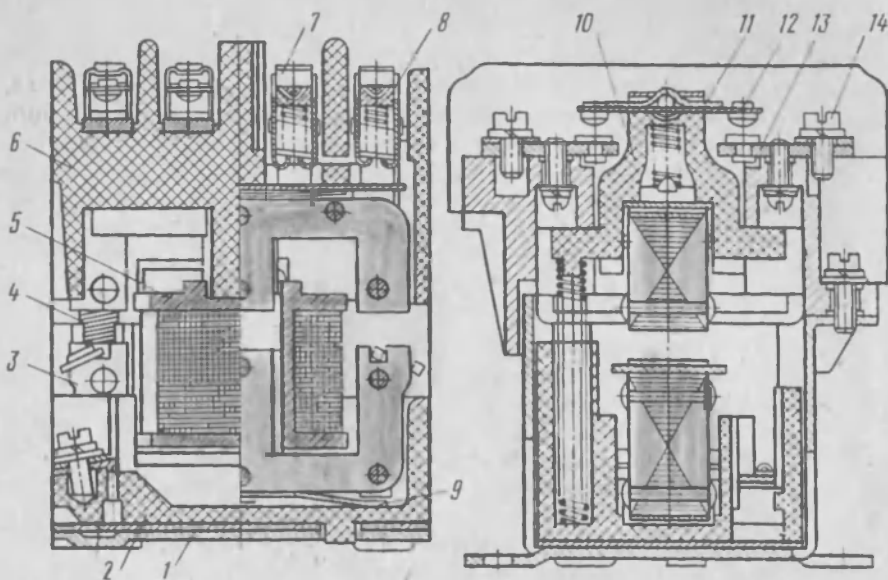


Рис. 12. Контактор Пб:

1 — стальная скоба, 2 — пластмассовая колодка, 3 — сердечник, 4, 9 и 11 — возвратная, амортизационная и плоская пружины, 5 — катушка, 6 — головка, 7 — подвижный контакт, 8 — цилиндрическая контактная пружина, 10 — траверса, 12 — мостик с поднятыми подвижными контактами, 13 — пластина с неподвижным контактом, 14 — винт для присоединения проводов (шин) внешней сети

**Магнитные пускатели.** Комбинированный аппарат дистанционного управления, состоящий из контактора, дополненного тепловым реле\*, и сочетающий в себе функции аппаратов управления и защиты, называют магнитным пускателем. В качестве аппарата управления его применяют, например, для пуска, останова и изменения (реверсирования) направления вращения электродвигателя, в ка-

\* Магнитные пускатели изготовляют и без тепловых реле, что указывается цифрой, приводимой в обозначении аппарата.

честве аппарата защиты — для отключения электродвигателя или электроустановки при недопустимых перегрузках и коротких замыканиях, а также при определенном снижении или полном исчезновении напряжения (нулевая защита). В магнитных пускателях преимущественно применяют контакторы П6 и ПА.

Контактор П6 (рис. 12) магнитного пускателя состоит из основания и пластмассовой головки. Основание представляет собой стальную скобу 1 с пластмассовой колодкой 2, в которой размещены сердечник 3 магнитопровода с втягивающей катушкой 5, а также закреплены выводные зажимы катушки.

Снаружи на головке расположены пластины 13 с неподвижными контактами и винтами для присоединения к аппарату проводов (шин) внешней сети. Внутри головки помещена пластмассовая траверса 10 с четырьмя мостиками 12, к которым приклепаны подвижные контакты. В отключенном положении контактора мостики с подвижными контактами прижаты к траверсе 10 цилиндрической контактной пружиной 8 через стальную скобу и плоскую пружину 11, предназначенную для гашения вибрации мостика при включении контактора.

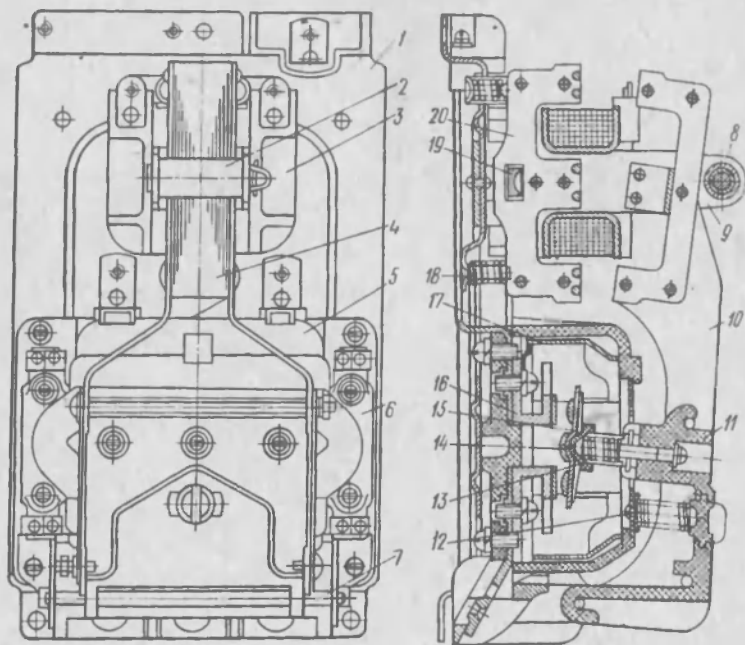


Рис. 13. Контактор ПА-400:

*a* — общий вид, *б* — боковой разрез; 1 — основание, 2 — упор якоря, 3 — катушка, 4 — якорь, 5 — дугогасительная камера, 6 — блок-контакты, 7 — вал (ось) рычага, 8 — втулка, 9 — стойка, 10 — рычаг, 11 — траверса, 12, 14 — возвратная и контактная пружины, 13 — механизм возвратной пружины, 15 — мостик контактов, 16 — неподвижный контакт, 17 — скоба, 18, 19 — амортизационная пружина и чека сердечника, 20 — сердечник

Для смягчения ударов при включении контактора его сердечник 3 снабжен амортизационной пружиной 9, расположенной в пластмассовой колодке под сердечником.

Контакторы П6 выпускают на номинальное напряжение 380 В,

номинальный ток 6,6 А, с размерами провала главных контактов  $2,4 \pm 0,5$  мм и раствора контактов  $3 \pm 0,5$  мм.

Контактор ПА-400 (рис. 13) магнитного пускателя представляет собой моноблочную конструкцию с токопроводящими деталями, изолированными от корпуса аппарата, и состоит из магнитной системы (катушки 3, якоря 4 и сердечника 20), контактной системы (блок-контактов 6, неподвижных контактов 16 и мостика 15 с подвижными контактами), механизма возвратной пружины 13, рычагом 10 и траверсой 11.

Магнитная система поворотного типа имеет Ш-образную форму и повернута вдоль направления рычага и мостиков контактов. Контактная система поворотного типа с размещением контактов между осью вращения подвижной системы и якорем 4 электромагнита расположена поперек направления рычага и мостика контактов.

Удары якоря о сердечник смягчаются тремя амортизационными пружинами 18, а удары сердечника 20 о чекку 19 — текстолитовыми пластинками, установленными между чеккой и сердечником в прямоугольном отверстии сердечника. Втулка 8 (из пластмассы или резины) служит для амортизации удара якоря 4 об упор 2.

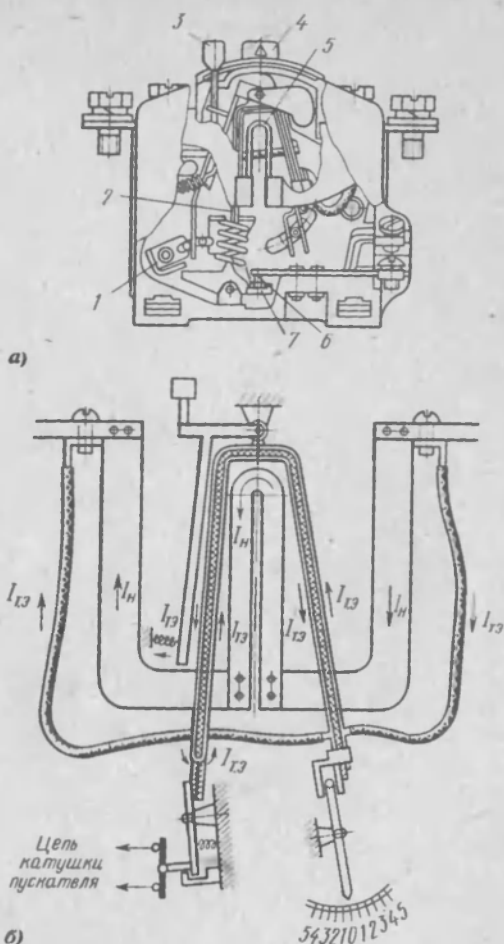


Рис. 14. Тепловое реле ТРП, встраиваемое в магнитный пускатель вместе с контактором ПА-400:

а — устройство, б — принцип действия (стрелками показан путь прохождения тока); 1 — устройство самовозврата подвижного контакта, 2 — термобиметаллический элемент, 3 — кнопка ручного возврата подвижного контакта, 4 — регулятор уставок тока, 5 — нагреватель термобиметаллического элемента, 6, 7 — неподвижный и подвижный размыкающие контакты;  $I_m$ ,  $I_n$  и  $I_{T2}$  — полный ток и токи, проходящие соответственно через нагреватель и термобиметаллический элемент реле

Тепловые реле ТРП или ТРН, применяемые в магнитных пускателях, служат для защиты электрических цепей от токов перегрузки и короткого замыкания.

Тепловое реле ТРП (рис. 14) состоит из нагревателя 5 и термобиметаллического элемента 2, действующих следующим образом. Полный ток электродвигателя  $I_n$  (рис. 14,а) на пути от контактов магнитного пускателя к двигателю проходит через параллельно присоединенные нагреватель и термобиметаллический элемент теплового реле. При этом большая часть тока  $I_n$  проходит через нагреватель с малым сопротивлением, а меньшая  $I_{т.э.}$  — через термобиметаллический элемент, состоящий из биметаллических пластинок с большим сопротивлением. При прохождении тока нагреватель и термобиметаллический элемент нагреваются. Под воздействием теплоты, выделяемой нагревателем, и собственной теплоты термобиметаллический элемент деформируется, его левая часть, отклоняясь в сторону, воздействует на размыкающие контакты 6 и 7 (рис. 14,б) и разрывает цепь питания удерживающей катушки, в результате чего пускатель отключается.

По истечении времени, необходимого для остывания термобиметаллического элемента после срабатывания, происходит самовозврат размыкающих контактов 6 и 7 в первоначальное (замкнутое) положение. Во избежание задержки или отказа самовозврата контактов тепловое реле снабжено устройством для ручного возврата контактов, состоящим из системы рычажков, управляемых кнопкой 3. Нагреватель, устанавливаемый в тепловом реле является сменной деталью и подбирается по номинальному току защищаемого электродвигателя. Ток срабатывания реле может изменяться в определенных пределах с помощью регулятора 4 уставок тока. Пределы регулировки тока срабатывания указаны на шкале уставок тока, расположенной в верхней части реле.

Операции ремонта контактов и дугогасительного устройства контакторов магнитного пускателя в основном аналогичны соответствующим операциям, выполняемым при ремонте контакторов КП.

При ремонте магнитных пускателей с тепловым реле должно быть обращено внимание на целостность и состояние этих реле. У тепловых реле чаще всего повреждаются (перегорают) нагревательные элементы. Эти элементы рассчитаны на разные токи, имеют различное устройство и бывают шести типов. Элементы первого и второго типов изготавливают из нихромовой или фехрелевой проволоки. В элементах первого типа проволока намотана на пластинку из слюды, а к концам проволоки припаяны медные наконечники, в элементах второго типа — навита в виде спирали, а к ее концам припаяны стальные наконечники. Спиральные элементы кадмированы для предохранения их от окисления. Элементы остальных четырех типов изготавливают методом штамповки.

Для обеспечения надежной работы магнитного пускателя при ремонте применяют нагревательные элементы заводского изготовления и только в исключительных случаях изготавливают новые элементы на своих предприятиях.

Сборка магнитного пускателя после ремонта должна производиться так, чтобы в процессе его работы исключалась возможность смещения якоря по отношению к сердечнику. При повреждении одной из этих деталей должна быть заменена магнитная система или же выполнена тщательная подгонка якоря к сердечнику центрированием, а затем шабровкой и шлифовкой их поверхностей.

Контакты магнитных пускателей снабжают металлокерамическими напайками, повышающими продолжительность их работы.

При частом пользовании магнитными пускателями в течение продолжительного времени их металлокерамические наплавки изнашиваются. Заменять изношенные наплавки надо равноценными металлокерамическими наплавками заводского изготовления. Применение самодельных наплавок и накладок из других металлов (медь, серебро и т. п.) недопустимо.

Регулировку провалов и одновременности касания контактов разных полюсов производят, прокладывая регулировочные шайбы между обоймой контакта и траверсой. После регулирования контактов следует несколько раз от руки включить магнитный пускатель, чтобы убедиться в отсутствии заедания пластмассового вкладыша, передающего контакту усилие пружины при его движении в обойме, а также задевания подвижных контактов за внутренние части дугогасительной камеры.

Проверку и испытание магнитного пускателя производят по программе и нормам завода-изготовителя. Данные, полученные в результате послеремонтных испытаний магнитного пускателя, не должны отличаться более чем на  $\pm 10\%$  от соответствующих данных заводских испытаний.

## **§ 7. Ремонт взрывозащищенных электрических аппаратов**

Во время ремонта взрывозащищенных электрических аппаратов предъявляют повышенные требования не только к качеству выполняемых ремонтных работ, но и к применяемым при этом материалам. С этой целью используют особо влаго- и термостойкие механически прочные электроизоляционные материалы, применяют такие способы соединений тонкопроводящих частей аппарата, при которых исключается возможность их повышенного нагрева или нарушения. Кроме того, осуществляют такую герметизацию корпусов аппаратов, при которой становится невозможным доступ легковоспламеняющихся газов к их токопроводящим и контактными частям, расположенным внутри корпусов.

При ремонте взрывозащищенных аппаратов необходимо также учитывать, что предельно допустимая температура перегрева их обмоток и контактов снижена по сравнению с допустимой по нормам для этих частей аппаратов общепромышленного назначения.

В настоящем разделе даются только краткие описания устройства некоторых наиболее распространенных взрывозащищенных и взрывобезопасных пусковых, регулирующих и защитных аппаратов, а также приводятся общие требования, предъявляемые к их ремонту.

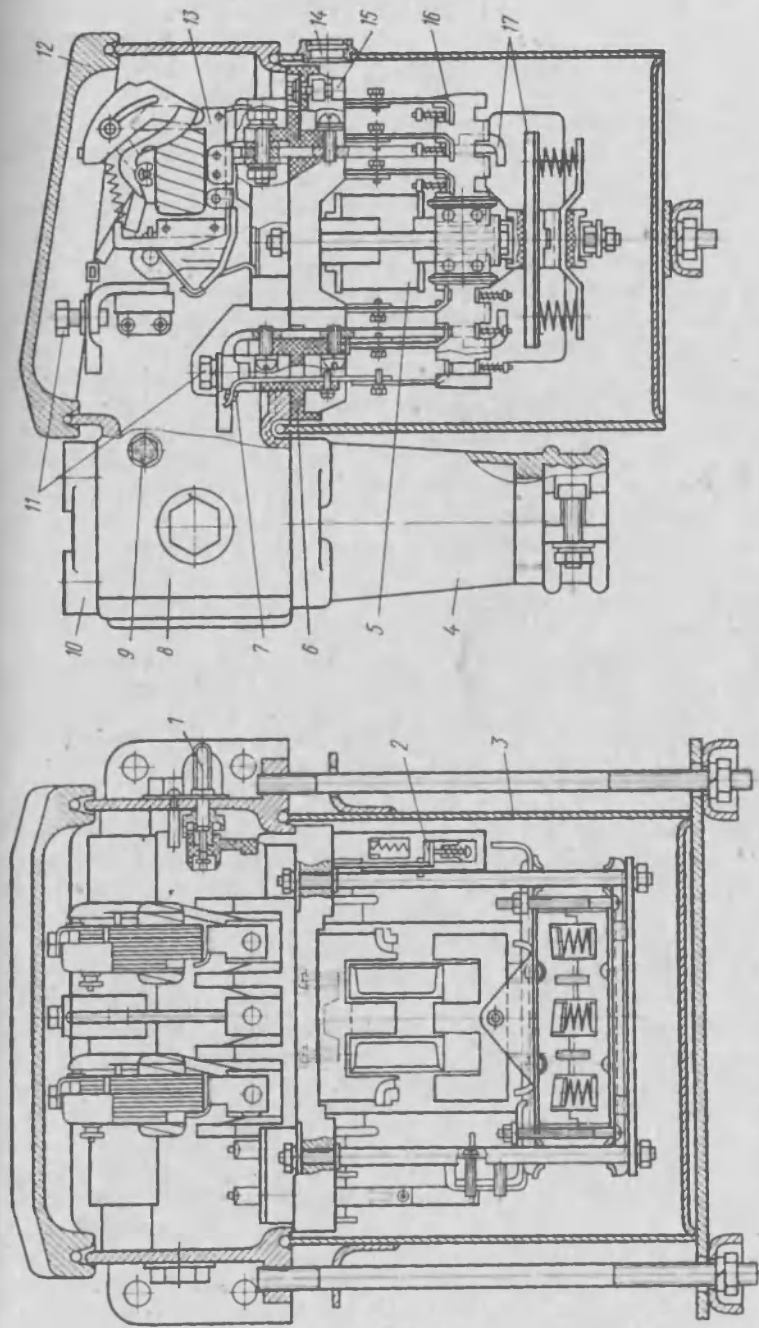


Рис. 15. Маслонаполненный магнитный пускатель ПМ-711 повышенной надежности против взрыва:

1 — рукоятка кнопки «Стоп» и «Ход», 2 — кнопка «Стоп» и «Ход», 3 — бак, 4 — муфта, 5 — втягивающая катушка, 6 — панель, 7, 11 — зажимы цепи управления и силовой цепи, 8 — коробка, 9 — заземляющий болт, 10 — малая крышка, 12 — крышка пускателя, 13 — максимальный тепловой расцепитель, 14 — окно маслоуказателя, 15 — указатель уровня масла, 16, 17 — блокировочные и главные контакты



Одним из наиболее распространенных аппаратов повышенной надежности против взрыва является маслonaполненный магнитный пускатель ПМ-711, предназначенный для управления асинхронными электродвигателями мощностью до 100 кВт с короткозамкнутым ротором.

Пускатель ПМ-711 (рис. 15) позволяет осуществлять местное и дистанционное управление (пуск и останов) электродвигателем, нулевую защиту, предотвращающую повторный его самозапуск при восстановлении исчезнувшего напряжения, а также тепловую защиту электродвигателей от перегрузок с помощью тепловых реле на токи до 250 А, включаемых в две фазы электрической цепи.

Все элементы контактора и находящиеся под напряжением токопроводящие части магнитного пускателя размещены на изоляционной панели, расположенной в литой чугунной коробке. К нижней стороне панели, обращенной к масляному баку 3, прикреплены погруженные в масло блокировочные 16 и главные 17 контакты, приводной электромагнит, кнопка 2 и шины. С верхней стороны панели 6 расположены не погруженные в масло токопроводящие части, зажимы 7 и 11 и максимальный тепловой расцепитель 13. Магнитный пускатель закрыт крышкой 12.

Сверху коробка 8 закрыта литой крышкой. В задней части коробки имеется камера для разделки кабеля. Камера снизу соединяется с вводной муфтой 4, а сверху закрывается малой крышкой 10, снабженной отверстиями с трубной резьбой. Отверстия закрыты резьбовыми пробками и используются для ввода в пускатель силового кабеля в стальных трубах. В боковых стенках коробки имеются отверстия для ввода кабеля цепи управления. Масляный бак 3 магнитного пускателя выполнен из листовой стали и крепится к коробке 8 снизу двумя шпильками и поддерживающей пластиной.

Бак магнитного пускателя имеет окошко 14 для наблюдения за уровнем масла, а также патрубков с пробкой для замеров температуры масла термометром и заливки масла в бак до требуемого уровня. Для осмотра и ремонта контактов и внутренних деталей магнитного пускателя с бака удаляют крепления и опускают его вниз по направляющим шпилькам до упора.

Магнитный пускатель ПМ-711 повышенной надежности против взрыва снабжен тремя наружными и двумя внутренними винтами: один из наружных винтов служит для присоединения к общему контуру заземления самого аппарата, два других наружных винта — для присоединения к заземлению стальных оболочек входящего и выходящего кабелей, а два внутренних винта — для присоединения заземляющих жил кабелей.

На предприятии, где может оказаться взрывоопасная смесь газов или угольной пыли с воздухом, автоматическое управление электрическими сетями и их защиту осуществляют автоматическими выключателями АФВ или АФВД.

Взрывобезопасный выключатель с дистанционным и ручным управлением АФВД (рис. 16) служит для автоматического размыкания цепи переменного тока напряжением 660/380 В и максималь-

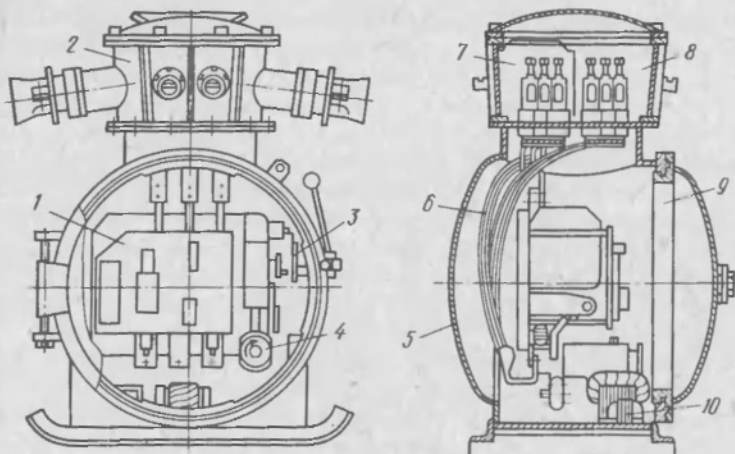


Рис. 16. Взрывобезопасный автоматический выключатель АФВД:

1 — воздушный выключатель, 2 — вводное устройство, 3 — механизм ручного управления, 4 — электродвигатель. 5 — стальная оболочка, 6 — провода внутренних цепей, 7, 8 — камеры для присоединения проводов питающей сети и внешней цепи, 9 — крышка автомата, 10 — автотрансформатор цепи управления

ной защиты от токов перегрузки и короткого замыкания. Автомат защищает кабельные сети от замыканий на землю. Он состоит из вводного устройства 2 и стальной оболочки 5, внутри которой размещены автоматический воздушный выключатель 1, автотрансформатор 10 цепи управления, механизм ручного управления 3 и кнопки проверки максимальных реле. На фланце оболочки установлено вводное устройство с двумя камерами 7 и 8. Обе камеры закрываются одной общей крышкой, сетевая камера, кроме того, закрывается отдельной крышкой, снабженной надписью «Сеть». Арматура вводного устройства рассчитана на присоединение как гибких, так и бронированных кабелей с заливкой их кабельной мастикой.

В каждой камере имеются два силовых и два вспомогательных ввода. С правой стороны оболочки размещена рукоятка ручного управления, которая заблокирована с крышкой оболочки так, что крышку 9 автомата нельзя открыть, не выключив автомат. Имеется также электрическая блокировка рукоятки ручного управления, исключающая возможность одновременного ручного и дистанционного включения автомата.

Ремонт взрывозащищенных электрических аппаратов по своим задачам и технологии сходен с описанным выше ремонтом соответствующего общепромышленного электрооборудования, но имеет свои особенности, определяемые опасной средой, в которой работают эти аппараты.

Значительное число взрывозащищенных аппаратов снабжено электрической блокировкой, не позволяющей снять кожух, когда контакты аппарата находятся под напряжением. При отделении кожуха от корпуса такого аппарата встроенная в корпус блокировка

снимает напряжение с контактов, предотвращая возможность взрыва. Ремонтируя такие аппараты, обращают внимание на исправность и безотказность действия блокировки. Включенная в цепь блокировки контрольная лампа должна погаснуть, как только между корпусом и снимаемым кожухом образуется зазор, установленный для данного аппарата.

На стенках некоторых взрывозащищенных маслonaполненных аппаратов имеются отверстия для выхода газов, образующихся при работе аппарата. Эти отверстия нередко забиваются, в результате чего выход газов затрудняется и может произойти взрыв аппарата. При ремонте таких аппаратов указанные отверстия тщательно прочищают.

У отремонтированного аппарата с нормируемыми зазорами проверяют величину зазоров по всему периметру при нормальной затяжке крепежных элементов. Проверку производят щупом, размеры которого выбирают на основании допустимых величин зазоров, указанных в заводских паспортах и инструкциях.

Оболочки или детали оболочек отремонтированного электрического аппарата с эластичными прокладками на стыках подвергаются гидравлическому испытанию избыточным давлением, которое определяется категорией взрывоопасных смесей, содержащихся в окружающей среде.

Незначительные по размерам пороки литья, обнаруженные на поверхностях фланцев или расточек после окончательной обработки, а также следы механических повреждений (забоины, вмятины) на этих поверхностях устраняют запайкой припоем ПОС 30 для стальных деталей, медью — для чугунных деталей и металлизацией — для деталей из алюминиевых сплавов. Металлизацию производят газовыми или электрическими металлизаторами. Заливка или забивание дефектных участков свинцом запрещается. Пороки литья и следы механических повреждений перед запайкой или металлизацией разделяют до бездефектной и монолитной части металла.

При исправлении поверхности запайкой или металлизацией учитывают следующее:

материал заделки должен иметь хорошую адгезию\*;

зачистка заделки должна быть произведена заподлицо с основной поверхностью и в соответствии с требуемой чистотой обработки; не допускаются местные выбоины или выступы, увеличивающие зазор между сопрягающимися поверхностями;

раковины или выбоины должны быть устранены сваркой.

В некоторых конструкциях электрических аппаратов взрывозащиту обеспечивают применением эпоксидных компаундов и кварцевого песка. Детали и сборочные единицы, залитые эпоксидным компаундом, не ремонтируют, а заменяют новыми. Кварцевый песок обязательно сушат при 300—400°C, а затем обрабатывают в соответствии с требованиями заводов-изготовителей. Запрещается при

\* Способность сцепления одного материала с другими материалами, на которые он наносится или с которыми соединяется, называется *адгезией*. Чем выше адгезия материалов, тем прочнее будет их соединение.

ремонте изменять параметры взрывозащиты любого из элементов ремонтируемого электрооборудования.

Каждую отремонтированную деталь или сборочную единицу взрывозащищенного электрооборудования испытывают. Условия, объем и нормы испытаний должны соответствовать требованиям технических условий (ТУ) завода-изготовителя и другим официальным документам, относящимся к обеспечению взрывозащиты данного электрооборудования. Испытание проводят в несколько этапов в процессе ремонта (например, гидроиспытания оболочек, испытания секций обмоток в процессе их изготовления, стендовые испытания). При этом на каждом этапе испытаний результаты заносят в специальные прошнурованные журналы.

При применении новых материалов или другой технологии изготовления деталей ремонтируемых аппаратов, а также изменении одного из параметров электрической характеристики изделия или других изменениях в конструкции ремонтируемого электрооборудования, когда по результатам контрольных испытаний нельзя определить, будет ли оно удовлетворять требованиям технической документации завода-изготовителя и соответствующим ГОСТам, отремонтированный аппарат подвергают дополнительным испытаниям и доводят до соответствия этим требованиям. Методы испытаний ремонтная организация выбирает самостоятельно.

Изделие, выдержавшее сдаточные испытания, должно иметь табличку со знаком исполнения по взрывозащите и заводскую табличку, аналогичную табличке завода-изготовителя. При этом взамен наименования завода-изготовителя и его ведомства указывают наименование ремонтного предприятия и его ведомство. С электрооборудования, прошедшего ремонт, но не удовлетворяющего действующим требованиям, знак исполнения по взрывозащите снимают.

При ремонте взрывозащищенных электрических аппаратов наряду с общими мерами, предписываемыми ПТБ, должны строго соблюдаться специальные меры безопасности, приведенные ниже.

Во взрывоопасных помещениях и наружных установках ремонт электрооборудования производят только в отключенном положении. Применяющаяся блокировка крышек взрывозащищенного электрооборудования не всегда обеспечивает полную безопасность при его осмотре или ремонте из-за неисправных элементов блокировки. Вследствие этого при открытой крышке не будет снято напряжение и не исключена опасность перекрытия между токопроводящей частью и корпусом по влажной и пыльной поверхности изоляции. Поэтому перед открытием любой крышки взрывоопасного электрооборудования следует предварительно отключить его от электрической сети.

Во взрывоопасных электроустановках и помещениях запрещается: ремонтировать электрооборудование и сети, находящиеся под напряжением, так как при этом не исключена опасность возникновения коротких замыканий из-за неосторожности работающих; вскрывать оболочку электрооборудования, если при этом токопроводящие части находятся под напряжением;

включать электроустановку, автоматически отключившуюся при коротком замыкании, без выяснения и устранения причин отключения;

держат под напряжением неиспользуемые электрические аппараты и сети;

включать электроустановки без электрической защиты от повреждений;

включать электрооборудование в исполнении повышенной надежности против взрыва при взрывоопасной концентрации паров, газов, пыли или волокон;

перегружать сверх номинальных параметров электрооборудование, провода, кабели, расположенные во взрывоопасных помещениях и наружных установках;

подключать к специальным трансформаторам, питающим искробезопасный прибор, другие аппараты и цепи, не входящие в комплект данного прибора.

Ремонтные работы, связанные с применением открытого огня во взрывоопасных производствах, должны выполняться в соответствии с местными инструкциями и «Типовыми положениями по организации огневых работ во взрыво- и огнеопасных производствах химической и металлургической промышленности».

## § 8. Ремонт тормозных электромагнитов и электромагнитных муфт скольжения

Тормозные электромагниты получили широкое распространение на предприятиях большинства ведущих отраслей промышленности и на транспорте. Они предназначены для быстрого останова механизмов, надежного удержания поднятого груза, сокращения продолжительности торможения механизмов и применяются в мостовых кранах, грузовых лифтах, шахтных подъемниках и др. Существует множество конструктивных исполнений тормозных электромагнитов, в число которых входят короткоходовые и длинноходовые, одно-

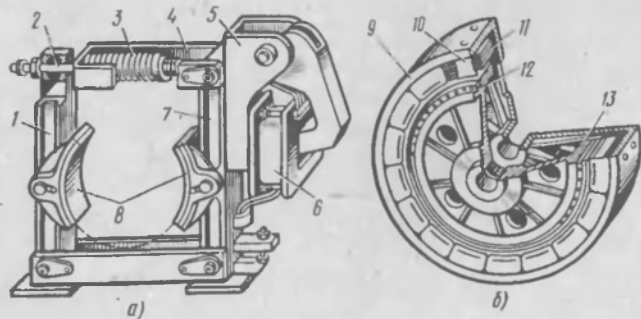


Рис. 17. Электромагнитные устройства кранов и механизмов:  
а — тормозной электромагнит. б — электромагнитная муфта; 1, 7 — рычаги, 2 — шпилька, 3 — пружина, 4 — скоба, 5 — электромагнит, 6 — катушка, 8 — тормозные колодки, 9 — внешний (статорный) обод муфты, 10 — полюс, 11 — обмотка полюса, 12 — «беличья клетка», 13 — внутренний (роторный) обод муфты

фазные и трехфазные тормозные электромагниты постоянного или переменного тока.

Независимо от величины хода, фазности и рода тока тормозные электромагниты имеют принципиально одинаковое устройство, отличаясь друг от друга главным образом конструкцией отдельных деталей, определяемой назначением электромагнита и его ролью в схеме управления механизмом.

Короткоходовый однофазный тормозной электромагнит (рис. 17,а) состоит из обмотки, которая включается параллельно со статорной обмоткой электродвигателя, и системы рычагов. Обмотку катушки б тормозного электромагнита 5, как правило, выполняют проводом с эмалевой или с эмалевой и дополнительной хлопчатобумажной изоляцией. При отключении тормозного электромагнита с параллельно включенной обмоткой накопленная энергия магнитного поля гасится с помощью разрядного резистора. Тормозной электромагнит включается в систему управления механизмом так, чтобы обесточивание катушки и тормозящее действие электромагнита происходили одновременно с отключением соответствующего электродвигателя. В момент отключения электродвигателя одновременно обесточивается катушка б электромагнита 5. Якорь электромагнита отпадая перестает удерживать растянутую пружину 3, которая, сжимаясь, воздействует на рычаги 1 и 7. Сближая рычаги вместе с укрепленными на них колодками 8, якорь зажимает расположенный между колодками шкив и, тормозя таким образом, гасит инерцию вращения электродвигателя или движения механизма.

При тяжелых режимах работы наиболее частым повреждением подвержены такие части тормозных электромагнитов, как обмотка катушки и пружина. Катушки тормозных электромагнитов сравнительно легко поддаются ремонту сушкой, частичной перемоткой поврежденной или намоткой новой обмотки. Поврежденные пружины, как правило, заменяют новыми из числа пружин, входящих в комплект запасных частей, поставляемых заводом-изготовителем тормозных электромагнитов.

При ремонте тормозных электромагнитов внешним осмотром проверяют изоляцию катушки, снятой с сердечника, а затем с помощью контрольной лампы убеждаются в отсутствии обрыва провода в обмотке катушки. Далее испытывают сопротивление корпусной изоляции обмотки катушки мегаомметром на 1000 В: оно должно быть не ниже 0,5 МОм; при более низком сопротивлении катушку сушат в шкафу при 60—70°C до восстановления ее изоляции или заменяют новой. Затем проверяют площадь и плотность прилегания якоря электромагнита к сердечнику. Площадь прилегания якоря к сердечнику должна составлять не менее 70% площади сердечника, в противном случае якорь и сердечник шабрят вдоль листов пакета стали. Для проверки между сердечником и якорем электромагнита прокладывают сложенные вместе листы белой и копировальной бумаги, а затем, прижимая с необходимым усилием якорь к сердечнику, получают на бумажном листе оттиск, по площади которого определяют действительную площадь прилегания якоря

к сердечнику. Плотность прилегания якоря к сердечнику проверяют щупом размером  $10 \times 0,05$  мм; щуп не должен входить в пространство между якорем и сердечником на глубину, превышающую 6 мм.

После этого проверяют состояние пружины. Витки растянутой пружины должны быть отдалены друг от друга на равные расстояния, а на их поверхности не должно быть трещин и вмятин. Все подвижные детали электромагнита должны быть надежно закреплены и легко перемещаться в заданных пределах. В необходимых случаях применяют контргайки и шплинты. Крепежные резьбовые детали (болты, шпильки, стержни и др.) не должны иметь поврежденных участков резьбы.

По окончании ремонта тормозной электромагнит испытывают включением и отключением (10—15 циклов), при которых не должно быть отказов или нечеткой работы электромагнита. Повторное испытание тормозного электромагнита проводят после установки его на место включением и отключением (5—10 циклов), при которых также проверяют его тормозящее действие.

Сведения о произведенных ремонтах вносят в формуляр механизма с указанием даты ремонта, перечня произведенных ремонтных работ, исполнителей ремонта и результатов испытаний.

Электромагнитная муфта скольжения (рис. 17,б) состоит из внешнего (статорного) обода 9, на котором укреплены полюса 10 с обмоткой возбуждения 11, и «беличьей клетки» 12, расположенной на внутреннем (роторном) обode 13. По своей конструкции и принципу действия электромагнитная муфта имеет сходство с асинхронным электродвигателем, работающим в режиме динамического торможения. Ее применяют для регулировки производительности роторных механизмов (дымососов, вентиляторов, центробежных насосов и др.), обладающих вентиляторным моментом.

В электромагнитных муфтах повреждаются преимущественно обмотки возбуждения полюсов. Повреждение обмотки выражается в пробое изоляции между ее витками, приводящем к межвитковому замыканию, или между обмоткой и полюсом муфты. В ряде случаев полюсная обмотка выходит из строя из-за недопустимого перегрева проводов, вызывающего сгорание всей изоляции обмотки.

При необходимости восстановления витковой изоляции снимают поврежденную обмотку с полюса, и, обнаружив участок повреждения, изолируют его такими же изоляционными материалами, которые применены в заводском исполнении. Затем полюсную обмотку собирают, пропитывают лаком, нагревают до  $100\text{--}120^\circ\text{C}$ , опрессовывают при давлении 25—30 кПа ( $25\text{--}30$  кгс/мм<sup>2</sup>) и, не снимая давления, доводят температуру нагрева до  $160\text{--}180^\circ\text{C}$ , выдерживая обмотку при этой температуре в течение 1,5—2 ч. После охлаждения обмотки на нее накладывают общую изоляцию (если она применена в заводском исполнении). Далее обмотку надевают на полюс и закрепляют на нем аналогично тому, как это сделано на соседних полюсах заводом-изготовителем.

Намотку новой полюсной обмотки возбуждения производят на намоточном станке с применением каркаса или разборного шаблона.

Для намотки используют медные провода тех же марок и сечений, что и в поврежденной обмотке. В некоторых случаях применяют провода поврежденной обмотки после их отжига, очистки и восстановления изоляции.

Новую полюсную обмотку возбуждения муфты изготавливают по образцу поврежденной обмотки, строго выдерживая все внешние и внутренние размеры и выполняя требования завода-изготовителя, предъявляемые к технологии намотки и применяемым электроизоляционным материалам.

Опрессовку, общую изоляцию и закрепление на полюсе изготовленной обмотки выполняют так же, как при восстановлении изоляции. У вновь изготовленной обмотки проверяют и сравнивают с заводскими данными омическое сопротивление провода: сопротивление проводов не должно отличаться от заводских данных более чем на  $\pm 10\%$ . Учитывая специфические особенности конструкции, разборку и сборку электромагнитной муфты, а также ее испытание после ремонта производят в соответствии с указаниями и нормами завода-изготовителя.

## § 9. Ремонт реостатов

Аппарат, состоящий из резисторов и коммутирующего устройства, с помощью которого можно регулировать сопротивление, называют *реостатом*.

В зависимости от назначения различают реостаты пусковые (для пуска электродвигателей), пускорегулировочные (для пуска и регулировки частоты вращения электродвигателей) и возбуждения (для регулировки напряжения генераторов). Одним из основных элементов, определяющих конструктивное исполнение реостата, является материал, из которого выполнены его резисторы. Различают металлические, жидкостные и угольные реостаты.

В реостате электрическая энергия превращается в теплоту, которая отводится от резисторов их охлаждением. По способу охлаждения резисторов реостаты могут быть с воздушным, масляным или водяным охлаждением.

В электроустановках промышленных предприятий применяют преимущественно реостаты с металлическими резисторами с воздушным или масляным охлаждением, что объясняется простотой их конструкции, возможностью применения в различных условиях работы, а также большой эксплуатационной надежностью. Подавляющее большинство пусковых и пускорегулировочных металлических реостатов общепромышленного назначения выполнены со ступенчатым включением резисторов.

Устройство пускового металлического реостата постоянного тока показано на рис. 18,а,б. Резисторы реостатов изготавливают из металлов, обладающих большими удельным электрическим сопротивлением, температурной стойкостью, механической прочностью и коррозионной устойчивостью. К этим металлам относят фехраль и нихром с удельными электрическими сопротивлениями 1,18 и 1,13 мкОм · м и максимально допустимой температурой нагрева



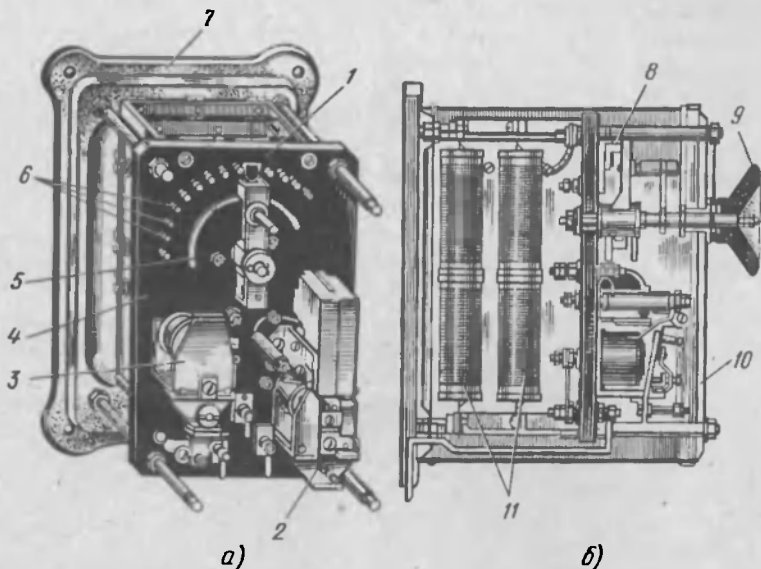


Рис. 18. Пусковой реостат постоянного тока:

*а* — вид спереди, *б* — вид сбоку; 1 — подвижный контакт, 2 — линейный контактор, 3 — максимальное реле, 4 — панель, 5 — контактная шина, 6 — неподвижные контакты ступеней резисторов, 7 — основание реостата, 8 — траверса, 9 — маховик привода, 10 — крышка, 11 — элементы сопротивления (резисторы)

850 и 1000°C соответственно. Меньшим удельным электрическим сопротивлением (0,8 мкОм · м) и более низкой допустимой температурой нагрева (400°C) обладает чугун. Резисторы из чугуна широко применяют в реостатах различного назначения из-за простоты их изготовления (литьем) и сравнительно низкой стоимости.

Резисторы пусковых и пускорегулировочных реостатов чаще всего представляют собой набор рамочных элементов, обмотанных проволокой (рис. 19,а,б) или лентой, реже — литых чугунных (рис. 19,в). В ряде реостатов используют каркасные элементы с намотанной на них проволочной спиралью (рис. 19,г). Металлические резисторы реостатов повреждаются наиболее часто.

В состав основных работ по ремонту реостатов входят: разборка, ремонт или замена поврежденных резисторов, контактных частей, изолирующих деталей и механизма управления; сборка схемы соединений; сборка и регулировка отремонтированного реостата. Реостаты разбирают так, чтобы не повредить сохранившиеся резисторы, изолирующие детали и контактные устройства, пригодные для повторного использования. Затем тщательно осматривают все детали реостата и группируют их в исправные (пригодные для повторного использования без ремонта), частично поврежденные (пригодные к повторному использованию после ремонта) и непригодные (не восстанавливаемые ремонтом). Мелкие детали (гайки, шайбы, винты) необ-

ходимо при разборке собрать в коробку или связать вместе и сохранить.

При осмотре и ремонте реостатов РШН, РШМ и РП-2200, а также других типов, конструктивно аналогичных им, удаляют пыль и грязь со всех внутренних деталей аппарата, проверяют состояние зажимных винтов, контактов и контактных соединений. Ослабленные гайки креплений подтягивают, окислившиеся контактные поверхности зачищают напильником, нарушенные соединения восстанавливают и регулируют нажатие подвижного контакта на неподвижный на различных участках хода контактов. Затем проверяют целостность и исправность витков проволочных или ленточных резисторов, отсутствие касаний их витков между собой или с соседними резисторами, а также состояние межрезисторных соединительных проводов. Поврежденные резисторы ремонтируют или заменяют. При замене сгоревшего резистора надо на его место поставить точно такой же резистор. Распределение резисторов по ступеням необходимо сохранить.

При повреждении проволочного или ленточного резистора на небольшом участке рамочного элемента на этот участок наматывают необходимое число витков проволоки или ленты соответствующей марки и сечения, а затем соединяют электродуговой сваркой с частью резистора, сохранившегося на рамке. Сварку производят электросварочными клещами, для чего свариваемые концы накладывают внахлест на расстоянии не менее 1 см и закрепляют их бандажом из 8—10 витков медной проволоки  $\varnothing 0,3—0,5$  мм. Затем концы вводят в дуговое пространство между угольными электродами клещей и держат в течение времени, необходимого для полного сплавления участка соединения. Поврежденные чугунные резисторы сварке не подлежат — их заменяют новыми. При ремонте реостатов всех типов особое внимание обращают на состояние их контактов; закопченные контакты промывают синтетическими моющими средствами и протирают чистыми тряпками, слегка обгоревшие опиливают напильником так, чтобы снималось наименьшее количество металла с контактов и предельно сохранялись их первоначальные геометрические формы, а сильно оплавленные заменяют новыми.

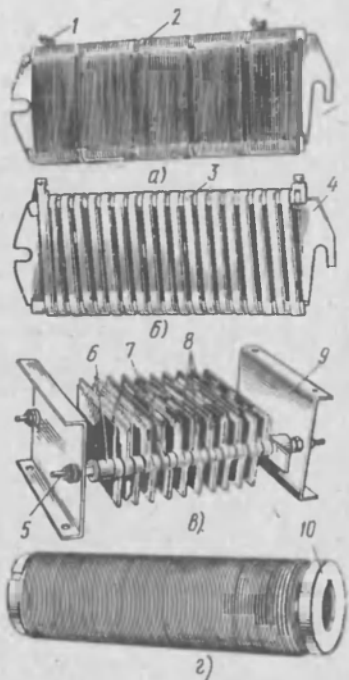


Рис. 19. Резисторы реостатов:

а — рамочный из проволоки, б — рамочный из ленты, в — литой чугунный, г — каркасный: 1 — вывод, 2 — проволока, 3 — лента, 4 — рамка, 5 — изолированный стержень, 6 — изолятор пакета элементов, 7 — изоляционная межэлементная шайба, 8 — чугунные элементы, 9 — опорная стойка, 10 — трубчатый каркас из фарфора

Поврежденные электроизоляционные детали (изоляторы, втулки, шайбы, прокладки) заменяют новыми. Допускается замена поврежденных деталей деталями, изготовленными из других материалов, если они по электроизоляционным свойствам, сопротивлению, теплостойкости, механической прочности не уступают заменяемым или превосходят их. Например, разрешается заменять стеатитовые изоляторы фарфоровыми, нихром марки А нихромом марки В или фехралем и т. п.

При частых включениях и отключениях реостатом снижается нажатие его контактов, что приводит к их обгоранию и быстрому выходу из строя. Для устранения этой неисправности отвертывают стопорный болт прижимного кольца реостата и, прижав с некоторым усилием подвижный контакт к неподвижному, вновь закрепляют стопорное кольцо болтом. Отдельные резисторы или их группы соединяют, используя схему, имевшуюся до реостата или взятую из его паспорта.

В коммутирующих устройствах реостатов, где сплошное контактное кольцо соединяют с остальными контактами щеткой мостикового типа, проверяют и регулируют нажатие щетки на контакты всех ступеней. Нажатие щетки на контакты создается пружиной, расположенной над щеткой, и регулируется винтом (поворотом винта вправо нажатие увеличивается, а поворотом влево — уменьшается).

После выполнения всех операций ремонта проверяют непрерывность электрической цепи элементов резистора, правильность соединений схемы, надежность изоляции межрезисторных связей, плавность хода контактирующей щетки и правильность расположения упоров, ограничивающих пределы ее перемещения. При необходимости отремонтированный реостат подвергают испытанию: ток реостата не должен превышать значений, указанных в его паспорте, а перегрев резисторов при нагрузке допустимым током в течение 2 ч —  $250^{\circ}\text{C}$ . Контакты отремонтированных реостатов с воздушным охлаждением покрывают тонким слоем технического вазелина во избежание их окисления во время хранения. Полностью отремонтированный реостат устанавливают в металлическом кожухе и прочно закрепляют.

Ремонт резисторов, контактов и коммутирующего устройства маслonaполненных реостатов выполняют аналогично ремонту реостатов с воздушным охлаждением. После ремонта маслonaполненного реостата (с масляным охлаждением) очищают бак от грязи, промывают, а затем заливают чистым сухим трансформаторным маслом, после чего опускают резисторы реостата в бак и закрепляют его крышку на баке.

## § 10. Ремонт предохранителей

Предохранители служат для защиты электрических цепей и электроустановок от недопустимых токов нагрузки или токов короткого замыкания и характеризуются номинальными токами плавкой вставки и предохранителя. Номинальным током плавкой вставки называют

ток, рассчитанный для ее длительной работы, а номинальным током предохранителя — наибольший ток из номинальных токов плавких вставок, допустимых к применению в данном предохранителе.

При соответствии номинального тока плавкой вставки току защищаемой электрической цепи теплота, выделяемая нагреваемой плавкой вставкой, отдается различным деталям предохранителя, а через них в окружающую среду. С увеличением тока нагрузки возрастает температура нагрева плавкой вставки и других деталей предохранителя.

Показателями, характеризующими предохранители, являются также зависимость времени перегорания плавкой вставки от силы проходящего через нее тока, а также предельный ток отключения, в качестве которого принят наибольший ток, отключаемый предохранителем без повреждений, препятствующих его нормальной работе.

При прохождении через плавкую вставку предохранителя тока, превышающего ее номинальный ток, вставка перегорает и разрывает электрическую цепь, отключая таким образом защищаемый участок от остальной части электроустановки. Предохранители с плавкой вставкой являются конструктивно простыми, но в то же время достаточно надежными и экономичными аппаратами защиты электрических сетей и электроустановок напряжением до 1000 В.

В электроустановках и электрических сетях напряжением до 1000 В в качестве защитных аппаратов широко применяют предохранители ПР (с закрытым разборным патроном без заполнения) и ПН (с закрытым разборным патроном, заполненным кварцевым песком).

Предохранитель ПР (рис. 20,а) состоит из контактных стоек 3 и закрытого разборного патрона 2 без наполнителя, внутри которого размещены одна или две (в зависимости от номинального тока предохранителя или рабочего тока в защищаемой цепи) плавкие вставки.

Во избежание выпадения предохранителя при электродинамических усилиях, которые возникают в контактах в момент коротких замыканий электрической цепи, защищаемой предохранителем, в контактах обеспечиваются необходимые нажатия. Они создаются за счет пружинящих свойств материала скобы контактных стоек (в предохранителях на 15—60 А), стальной кольцевой или пластинчатой пружины (в предохранителях на 100—350 А) и специального зажима с рукояткой 1, установленного на контактной стойке.

Патроны (рис. 20,б) предохранителя ПР представляют собой фибровую трубку 4 с толщиной стенок 3—6 мм, внутри которой расположена плавкая вставка 5, а на концах навернуты латунные втулки 6 с прорезями для прохода плавкой вставки. На втулки надеты латунные колпачки 7, служащие контактными частями у предохранителей на номинальные токи до 60 А. У предохранителей на 100—1000 А контактными частями являются медные ножи 9. Во избежание смещения ножей в предохранителе имеется фиксирующая шайба 8 с пазом для ножа.

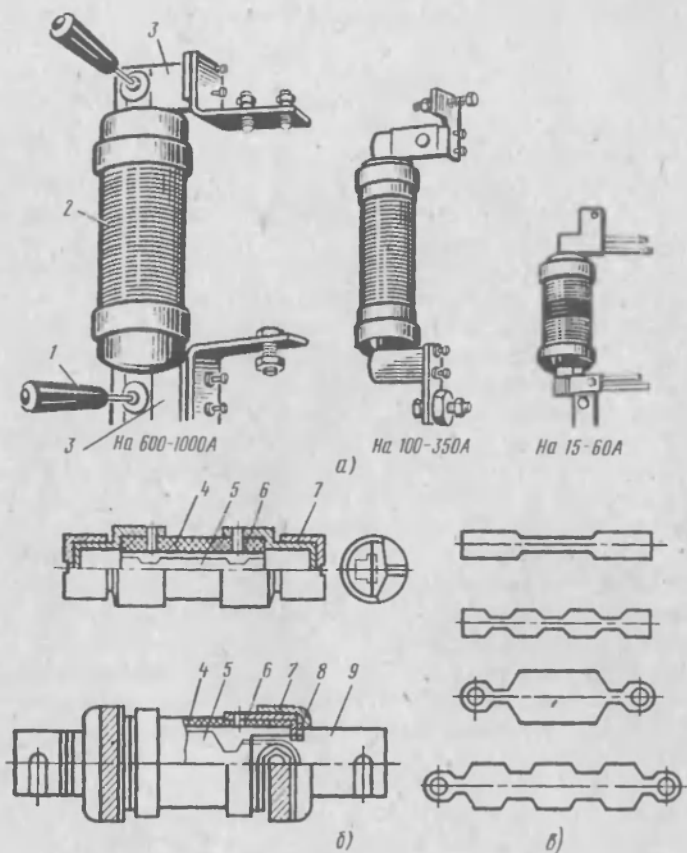


Рис. 20. Разборные предохранители ПР на номинальные токи 15—1000 А с незаполняемыми патронами:

*a* — общий вид, *б* — патроны предохранителей на номинальные токи 15—60 и 100—1000 А, *в* — конструкции плавких вставок; 1 — рукоятка зажима, 2 — разборный патрон, 3, 9 — контактные стойка и нож, 4 — фибровая трубка, 5 — плавкая вставка, 6, 7 — латунные втулки и колпачок, 8 — фиксирующая шайба

Плавкие вставки (рис. 20, *в*) представляют собой пластинки с одним или несколькими участками сужения. При перегрузках плавкая вставка (рис. 21, *а*) перегорает обычно на одном участке сужения (рис. 21, *б*), а при коротких замыканиях — на нескольких участках одновременно (рис. 21, *в*).

Плавкие вставки изготовляют из листового цинка марки Ц0 или Ц1 штамповкой. При плавлении вставки предохранителя пары цинка ускоряют процесс рекомбинации ионов, благодаря чему улучшаются условия деионизации дугового пространства, способствующей быстрому гашению электрической дуги в патроне. Отсутствие в патроне заполнителя ухудшает условия гашения электрической дуги,

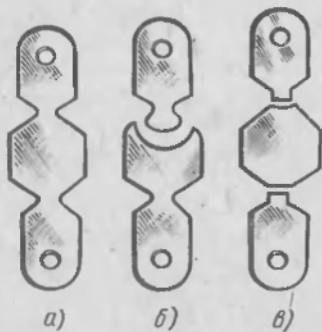


Рис. 21. Пластичные плавкие вставки с участками сужения:

*a* — нормальная, *b*, *v* — перегорание соответственно при перегрузках и коротких замыканиях

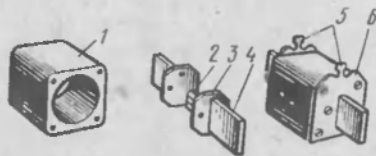


Рис. 22. Разборный предохранитель ПН с патроном, заполняемым кварцевым песком:

*1* — фарфоровый патрон, *2* — плавкая вставка, *3* — шайба, *4* — контактный нож, *5* — выступы для съема и установки патрона в контактах, *6* — крышка патрона

возникающей при разрыве электрической цепи перегорающей плавкой вставкой. Более совершенными по всей конструкции и характеристикам являются предохранители ПН с разборным патроном, заполненным кварцевым песком.

Предохранитель ПН (рис. 22) состоит из квадратного снаружи и круглого внутри фарфорового патрона *1*, в котором размещена плавкая вставка *2*, приваренная к шайбам *3* врубных контактных ножей *4*. Контактные ножи, выступающие из патрона, фиксируются прорезями в крышках *6*, прикрепленных винтами к торцам патрона. Патрон заполнен сухим кварцевым песком. Для предохранения песка от увлажнения патрон герметизирован прокладкой из листового асбеста толщиной 0,8—1 мм, установленной между крышкой и патроном предохранителя.

Плавкая вставка предохранителя ПН представляет собой одну или несколько медных ленточек толщиной 0,15—0,35 и шириной до 4 мм с просечками длиной 6—12 мм. При использовании плавкой вставки, состоящей из тонких параллельных ленточек, снижается ее сечение при данном номинальном токе, а следовательно, и количество паров металла в патроне при перегорании плавкой вставки. Это облегчает гашение электрической дуги в патроне, так как при перегорании ленточек плавкой вставки возникает одновременно несколько параллельных дуг, что способствует более интенсивному рассеянию энергии дуги.

Для обеспечения быстрого плавления вставки предохранителя и повышения его защитного действия при малых перегрузках на ленточки плавкой вставки напаяны оловянные шарики  $\varnothing 0,5$ —2 мм (в зависимости от номинальных токов плавких вставок). Наличие этих шариков позволяет использовать «металлургический эффект», сущность которого состоит в том, что при нагреве вставки оловянный шарик, обладающий более низкой температурой плавления,

расплавляется раньше, чем вставка, и, проникая в металл вставки, образует сплав металла с характеристиками, отличающимися от исходного материала большим электрическим сопротивлением и более низкой температурой плавления. При токах перегрузки плавкая вставка, нагреваясь, перегорает в том месте, где напаян шарик из олова, при этом температура нагрева всей вставки будет несколько ниже температуры плавления металла, из которого она выполнена.

Предохранители ПР и ПН обладают токоограничивающей способностью, поскольку плавкая вставка в них перегорает раньше, чем ток короткого замыкания успеет достигнуть установившегося значения. Предохранители требуют постоянного наблюдения и своевременного ремонта. От правильности их выбора и исправности зависит нормальная и безопасная работа защищаемых электроустановок.

При ремонте предохранителей ПР и ПН сначала очищают контактные поверхности губок и патронов от грязи, пленок оксидов и частиц расплавленного металла. Окислившиеся контакты очищают стеклянной бумагой, а сильно обгоревшие и оплавленные — надфилем. Применять для очистки контактов наждачную бумагу нельзя, так как зерна наждака, не проводящие электрический ток, врезаются в контактные поверхности, ухудшая контакт между губками и патроном предохранителя. Затем разбирают патрон, тщательно проверяют состояние внутренних токопроводящих частей и плавких вставок, обнаруженные дефекты устраняют.

Вставки в предохранителях соседних фаз независимо от их состояния также заменяют. Вставки должны быть однотипными, заводского изготовления и строго соответствовать номинальному току предохранителя и току защищаемой сети.

При большой потребности в плавких вставках на ряде предприятий их изготавливают в собственных электроремонтных мастерских. При этом материалы, из которых изготавливают элементы плавких вставок, должны быть тщательно калиброваны и не менее 10% готовых плавких вставок выборочно испытаны на минимальный и максимальный токи. За минимальный принимают ток, при котором плавкая вставка не должна перегореть за время менее 1 ч. Обычно этот ток равен  $1,3 \div 1,5$  ее номинального тока, т. е.  $I_{\min} = 1,3 \div 1,5 I_{\text{ном}}$ . За максимальный принимают ток, при котором плавкая вставка должна перегореть за время менее 1 ч, т. е.  $I_{\max} = 1,6 \div 2,1 I_{\text{ном}}$ .

Изготавливаемые вставки предохранителей по своим качествам, характеристикам и номинальным токам должны отвечать требованиям соответствующих ГОСТов. Вставки заводского изготовления применять недопустимо, так как они могут защитить установку только от токов короткого замыкания. Для крепления цинковой плавкой вставки используют стальную шайбу увеличенного диаметра и пружинящую шайбу. При отсутствии этих шайб цинк постепенно выдавливается из-под контактного болта и ослабляет контакт. В патроне предохранителя ПР нельзя устанавливать медную вставку без оловянного растворителя, поскольку при высокой температу-

ре плавления медной вставки фибровый патрон быстро разрушается.

При осмотре патрона предохранителя ПР обращают внимание на целостность патрона и отсутствие трещин в нем, а также на степень износа его стенок, что определяется сопоставлением фактической толщины стенок ремонтируемого патрона с толщиной стенок соответствующего ему по конструкции и номинальному току нового патрона. Замеры производят нутромером.

При частых перегораниях плавкой вставки стенки патрона сильно выгорают из-за воздействия на них высокой температуры дуги. При выгорании стенок патрона более чем на 50% первоначальной толщины патрон необходимо заменить, иначе при очередном перегорании плавкой вставки он может разрушиться из-за резкого повышения в нем давления. Разрушение патрона может стать причиной тяжелой травмы, а при перебросе дуги на соседние токопроводящие части — вызвать аварию. В сильно обгоревшем патроне ухудшаются также условия гашения дуги. При воздействии на стенки фибрового патрона высокой температуры дуги, фибра, будучи газогенерирующим материалом, разлагается, а образовавшиеся газы создают в патроне давление в несколько атмосфер, что способствует быстрому гашению дуги. В патроне из фибры и других аналогичных ей газогенерирующих материалов, процесс разложения обуглившихся стенок патрона и сопутствующие ему другие процессы (деионизация, повышение давления в патроне и др.) почти не происходят, в результате чего опасное действие электрической дуги бывает более продолжительным. Поэтому при ремонте фибрового патрона его обгоревшие внутренние стенки тщательно очищают от обуглившейся фибры, промывают, насухо вытирают чистыми сухими тряпками и покрывают двумя слоями бакелитового лака или одним слоем клея БФ, а затем просушивают. После ремонта и очистки внутренних токопроводящих деталей полость патрона предохранителя ПН наполняют чистым и сухим кварцевым песком с содержанием кварца не менее 98% и размером зерен 0,5—0,8 мм. Песок должен быть обработан 2%-ным раствором соляной кислоты, промыт и прокален при 150—180°C. Кварцевый песок размером зерен менее 0,5 или более 0,8 мм не рекомендуется применять, так как под действием высокой температуры дуги в первом случае будет спекаться песок, а во втором — ухудшаться условия гашения дуги из-за наличия воздуха между зернами кварца.

Чтобы убедиться в наличии электрической цепи между плавкой вставкой и контактными частями, отремонтированный патрон проверяют контрольной лампой, а затем устанавливают в губках предохранителя.

При установке патрона обращают внимание на создание хорошего контакта между губками и патроном. Патрон должен входить в губки контакта плотно, без перекосов и с некоторым усилием. В ножевых контактах нож должен плотно прилегать к соответствующим поверхностям губок. Плотность контакта проверяют щупом



0,05 мм, который не должен входить в пространство между ножом и губкой более чем на  $\frac{1}{3}$  контактной поверхности (на 5—8 мм). Если щуп проникает на большую глубину, плотность контакта нужно увеличить заменой кольцевых пружин или подтягиванием контактов.

Отремонтированный патрон устанавливают в контактных губках предохранителя при отключенном напряжении. Если напряжение отключить нельзя, патрон устанавливают, используя предохранительные очки, диэлектрические перчатки, диэлектрические клещи или съемные рукоятки, предварительно убедившись, что в данной электрической цепи нагрузка снята и нет короткого замыкания.

Контрольные вопросы. 1. Перечислите характерные неисправности электрических аппаратов и укажите причины их возникновения. 2. Как устроены контакторы и какие способы регулировки их контактов вы знаете? 3. Расскажите о способах ремонта основных сборочных единиц автоматического выключателя. 4. В чем заключается ремонт реостатов? 5. Как перезаряжают предохранители с патронами, заполненными кварцевым песком?

# Глава III

## УСТРОЙСТВО И РЕМОНТ

### ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ

#### § 11. Общие сведения о грузоподъемных электромагнитах

На современных промышленных предприятиях, особенно металлургических, машино- и станкостроительных, широкое распространение получили грузоподъемные электромагниты, применение которых позволяет не только механизировать погрузочные и разгрузочные работы и транспортировку крупногабаритных и тяжеловесных грузов, но и осуществлять дистанционное управление этими работами. Большинство транспортных и погрузочно-разгрузочных операций, выполняемых с помощью грузоподъемных электромагнитов, может производиться без применения креплений и практически без непосредственного участия рабочих, что резко снижает стоимость и повышает безопасность производства этих работ.

Действие грузоподъемных электромагнитов основано на намагничивании стального сердечника, помещенного в катушку\*, при прохождении электрического тока по ее обмотке. Чем больше ток катушки, тем больше сила притяжения (подъемная сила) электромагнита. Иначе говоря, сила притяжения электромагнита пропорциональна проходящему через катушку току, зависит от размера и формы катушки, а также размеров, химического состава и температуры поднимаемых грузов.

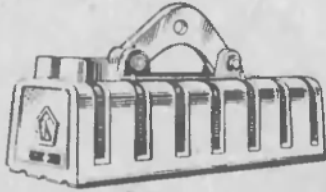
Выпускаемые в нашей стране грузоподъемные электромагниты делят по форме исполнения корпуса на круглые М (рис. 23, а) и прямоугольные ПМ (рис. 23, б), по максимальной грузоподъемности — на легкие (грузоподъемностью до 10 т), средние (10—20 т) и тяжелые (20—30 т), а по форме провода катушки — на круглые, прямоугольные или медной ленты. Изоляцию секций катушек между собой и от корпуса выполняют из миканита, текстолита или асбесто-бакелита. По способу изоляции и герметизации различают катушки с заполнением корпуса битумной, кварц-компанудной терморезактивной массой или с заключением катушки в металлический кожух (капсулу).

Вследствие тяжелых условий и режимов работы (высокая темпе-

\* Катушка без стального сердечника также будет обладать электромагнитными свойствами, т. е. притягивать к себе ферромагнитные тела, однако в этом случае сила притяжения при одном и том же токе, проходящем через катушку, будет значительно меньше из-за того, что магнитная проницаемость воздуха намного меньше, чем стального (ферромагнитного) сердечника.



а)



б)

Рис. 23. Грузоподъемные электромагниты:

а — круглый, б — прямоугольный

ратура окружающего воздуха и перевозимых грузов) грузовые электромагниты, особенно первых выпусков и устаревших конструкций, часто выходят из строя и нуждаются в капитальных ремонтах.

## § 12. Устройство грузоподъемных электромагнитов

Рассмотреть устройство и описать подробно технологию ремонта электромагнитов всех конструктивных исполнений не представляется возможным. Поэтому в данной главе рассмотрены наиболее характерные конструкции устройств электромагнитов круглой и прямоугольной формы и технология выполнения основных операций их ремонта.

Электромагнит круглой формы (рис. 24, а) состоит из катушки 1, помещенной в корпус 2, выполненный в виде стальной отливки с внутренним цилиндрическим и наружным кольцевым полюсами. Корпус является магнитопроводом и одновременно служит для защиты катушки от механических повреждений.

Сверху корпуса имеется стальная коробка вводов 3, закрытая крышкой 4. В коробке размещены вводы — латунные шпильки 5, на резьбовые концы которых накрутены гайки для присоединения к вводам токопроводящих жил питающего кабеля, оконцованных наконечниками 6. К шпилькам присоединены (внутри корпуса) начало и конец катушки 1. К верхней части корпуса приварены три пары проушин 7, к которым с помощью пальцев 8 крепят подъемные цепи 9. В нижней части корпуса прикреплены болтами наружный 10 и внутренний 11 полюсные наконечники, а также защитная шайба 12, служащая для предохранения катушки от механических повреждений при работе электромагнита. (В ряде конструкций грузоподъемных электромагнитов крепление полюсных наконечников осуществлено не болтами, а электрической или газовой сваркой).

Секции катушки изолированы друг от друга и от корпуса твердыми термостойкими и механически прочными электроизоляционными прокладками 13, а внутренняя полость корпуса электромагнита заполнена электроизоляционной заливочной мастикой. В качестве заливочных мастик для круглых грузоподъемных электромагнитов первых выпусков применялись различные битумы с температурой размягчения около  $100^{\circ}\text{C}$ . В грузоподъемных электромагнитах последующих выпусков внутренняя полость корпуса заполнялась мастикой № 96 с температурой размягчения около  $180^{\circ}\text{C}$ . В современ-

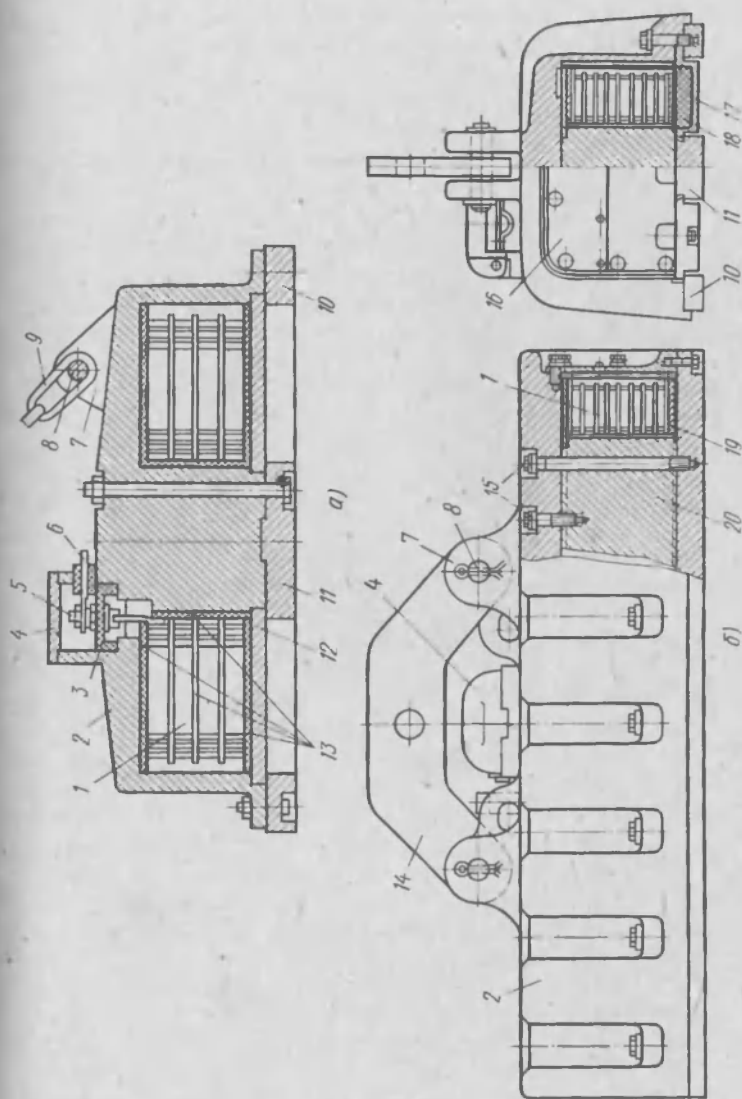


Рис. 24. Устройство грузоподъемных электромагнитов:

а — круглого, б — прямоугольного: 1 — катушка, 2 — корпус, 3 — коробка вводов, 4 — крышка коробки вводов, 5 — контактная шпилька, 6 — кабельный наконечник для присоединения к вводу питающего кабеля, 7 — проушина, 8 — палец, 9 — подьемная щепь, 10, 11 — наружный и внутренний полюсные наконечники, 12 — защитная шайба, 13 — электроизоляционные прокладки, 14 — коромысло, 15 — болты, 16 — крышка электромагнита, 17 — фигурная немагнитная плита, 18 — асбестовая набивка, 19 — капсула, 20 — сердечник

ных круглых электромагнитах для этих целей применяют электроизоляционную мастику, представляющую собой терморезистивный компаунд на основе эпоксидной смолы марки ДЭ-16, который при рабочих температурах электромагнита сохраняет необходимую твердость, что дополнительно усиливает крепление катушки к корпусу.

Электромагнит прямоугольной формы (рис. 24, б) имеет магнитопровод, состоящий из корпуса 2 и отъемного литого сердечника 20. Корпус выполнен в виде П-образной отливки, боковые стенки которой образуют два наружных полюса. Литой сердечник образует внутренний полюс и крепится к корпусу болтами 15. В верхней части корпуса отлиты две пары проушин 7, к которым с помощью пальцев 8 прикреплено коромысло 14, имеющее отверстие для захвата траверсой крана. Сверху корпуса расположена также коробка вводов, закрытая крышкой 4. Снизу корпуса к полюсам прикреплены шпильками 5 один наконечник 11 внутреннего полюса и болтами 15 два наконечника 10 наружных полюсов.

Катушка 1 снизу защищена от механических повреждений двумя фигурными немагнитными плитами 17, опирающимися на полюса и поддерживаемыми полюсными наконечниками. Имеющиеся в фигурных немагнитных плитах продольные карманы заполнены асбестовой набивкой 18, предохраняющей катушку от дополнительного нагрева горячими грузами при их транспортировке электромагнитом.

По торцам электромагнит закрыт крышками 16, которые крепятся болтами к немагнитным плитам и полюсному наконечнику.

Катушка 1 прямоугольного электромагнита намотана медной лентой и состоит из восьми секций, последовательно соединенных друг с другом пайкой твердым припоем. Она заключена в замкнутую оболочку — капсулу 19, которая после укладки в нее катушки заливается электроизоляционной мастикой. Капсула собрана вокруг сердечника 20, к которому сначала приваривают нижнюю шайбу и боковую стенку капсулы, а затем после укладки в нее катушки — верхнюю стальную (шунтирующую) шайбу. Секции закреплены расклиновкой 12 сухарями, изготовленными из асбестоцементной плиты и расположенными по периметру катушки на равных расстояниях друг от друга. На рис. 24 показано устройство электромагнитов легкой группы. Грузоподъемные электромагниты средней и особо тяжелой групп имеют более сложное устройство и относятся к категории электрооборудования с низкой ремонтпригодностью.

Капитальный ремонт грузоподъемных электромагнитов в каждом случае связан с большой затратой средств, труда и различных дорогостоящих материалов. Сложность конструкций электромагнитов, высокая стоимость ремонта и необходимость обеспечения их надежности в работе требуют надлежащей организации производственной базы ремонта.

### § 13. Организация производственной базы ремонта грузоподъемных электромагнитов

Грузоподъемные электромагниты ремонтируют на специализированных электроремонтных заводах или в собственных цехах крупных предприятий, где имеется необходимое оборудование и созданы условия для ремонта с соблюдением требуемой технологии. Состав основного и вспомогательного оборудования цеха для ремонта грузоподъемных электромагнитов определяется преимущественно количеством, единичной мощностью и типами электромагнитов, подлежащих ремонту и составляющих ремонтный фонд цеха.

Цех по ремонту грузоподъемных электромагнитов должен располагать подъемно-транспортными средствами грузоподъемностью не менее 10 т, так как масса отдельных электромагнитов достигает 3 т (ПМ-25) и даже 5,5 т (М-61). Подъемно-транспортными средствами доставляют ремонтируемые электромагниты к месту выполнения отдельных операций ремонта (например, к карусельному станку — для удаления сварочных швов при вскрытии круглых электромагнитов или к продольно-строгальному станку — для выполнения этих же операций при ремонте прямоугольных электромагнитов). Ремонтный цех должен иметь печь для отжига изоляции проводов поврежденных секций, сушильный шкаф для запечки вновь изготовленных секций, автогенный и электросварочный аппараты, прессножницы, а также крепежные детали, электро- и теплоизоляционные и проводниковые материалы, заливочные мастики, листовую сталь и стальные поковки, твердые припои и другие материалы соответствующих размеров, марок и характеристик.

Для проведения дефектационных, пооперационных и после-ремонтных проверок и испытаний в цехе должны быть испытательные электроустановки и необходимые приборы.

Ремонтный цех должен быть оснащен: установками для очистки проводников от остатков несгоревшей изоляции после отжига секции; устройствами для намотки секций новыми проводами или проводами с восстановленной изоляцией и заполнения электромагнитов электроизоляционной мастикой, а также шаблонами для намотки круглых и прямоугольных секций катушек грузоподъемных электромагнитов; приспособлениями для выпрессовки наконечников полюсов, извлечения капсул и катушек из корпусов электромагнитов; специальными горелками для разогрева корпусов электромагнитов, инвентарными приспособлениями и ремонтной оснасткой в соответствии с принятой технологией ремонта.

Такие работы, как вскрытие электромагнитов, электрическая или газовая сварка, токарная или слесарная обработка деталей электромагнитов, должны производиться в ремонтном цехе, а при отсутствии такой возможности могут выполняться в соответствующих цехах своего предприятия или на других предприятиях в порядке кооперирования.

При капитальном ремонте грузоподъемных электромагнитов основными операциями являются очистка проводов поврежденной

секции и намотка секций новой катушки, выполняемых с помощью специальных установок, описание устройства которых приведено ниже.

Установка для очистки медной ленты (рис. 25, а), имеет стол 1 Ø1500 мм, укрепленный на вертушке 2, устройство для очистки ленты, включающее направляющие ролики 3, первый скребок 4 из стеклотекстолита, изгибающие ролики 5, второй скребок 6, предохраняющий металлические щетки 7 от засорений, рихтовочно-натяжной зажим 8 и войлочный очиститель 9. Кроме того, в установку входит наматывающее устройство, представляющее собой планшайбу 10 с прикрепленной к ней кассетой 11, на которую наматывается очищенная от старой изоляции лента. Пыль, образуемая в процессе очистки ленты, отсасывается в пылесборник 12, а удаляемая с ленты асбестовая бумага сбрасывается в ящик 13.

Для намотки круглых секций из очищенной или новой медной ленты применяют установку, отдельные части которой имеют некоторое конструктивное сходство с частями установки для очистки медной ленты.

Установка для намотки круглых секций электромагнитов (рис.

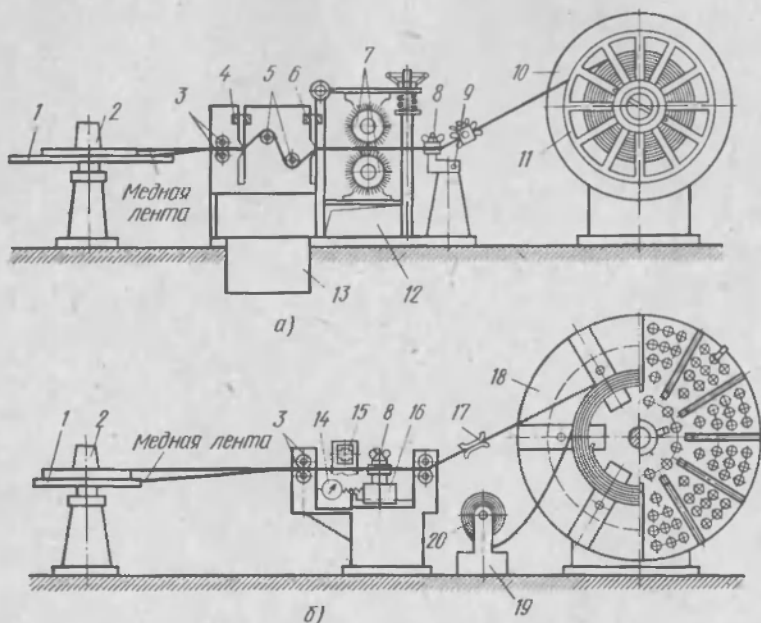


Рис. 25. Установки для очистки медной ленты (а) и намотки круглых секций электромагнитов (б):

1 — стол, 2 — вертушка, 3 — направляющие ролики, 4, 6 — первый и второй скребки, 5 — изгибающие ролики, 7 — металлические щетки, 8 — рихтовочно-натяжной зажим, 9 — войлочный очиститель, 10 — планшайба, 11 — кассета, 12 — пылесборник, 13 — ящик, 14 — динамометр, 15 — электроклетки, 16 — подвижная каретка, 17 — фетровые прокладки, 18 — шаблон, 19 — стойка для ролика с асбестобумажной лентой, 20 — ролик с асбестобумажной лентой

25, б) имеет стол 1  $\varnothing 800$  мм, закрепленный на вертушке 2. Устройство для натяжения ленты, включающее направляющие ролики 3, динамометр 14, электроклещи 15 и рихтовочно-натяжной зажим 8, укрепленный на подвижной каретке 16, наматывающее устройство, состоящее из шаблона 18 и стойки 19 для ролика 20 с асбобумажной лентой. Фетровые прокладки 17 служат для очистки ленты при наматывании секций.

Показанная на рис. 25, б установка допускает также намотку катушечных секций из медной ленты для прямоугольных магнитов и секций из прямоугольных проводов ПСДК для электромагнитов легкой группы (грузоподъемностью до 10 т).

Намотку секций катушек из медной ленты для прямоугольных электромагнитов выполняют с помощью шаблона, показанного на рис. 26. Шаблон состоит из двух удлиненных щек и двух крайних головок 1, каждая из которых через муфту 3 соединена двумя шпильками 2 и 4 с колодкой 5, расположенной в центре шаблона. Концы шпилек, входящие в головку, имеют правую резьбу, а входящие в колодку — левую, что позволяет легко изменять расстояние между головками и таким образом устанавливать необходимые размеры наматываемых секций. Конструкции шаблонов для намотки секций из прямоугольного провода для прямоугольных и круглых электромагнитов почти аналогичны конструкции шаблона, показанного на рис. 26.

Кроме указанных в настоящем разделе установок в цехе по ремонту грузоподъемных электромагнитов также должны быть помещения для хранения материалов (материальные кладовые), оборудованные стеллажами и выдвижными ящиками, инструментальные кладовые для хранения, выдачи и мелкого ремонта инструментов,

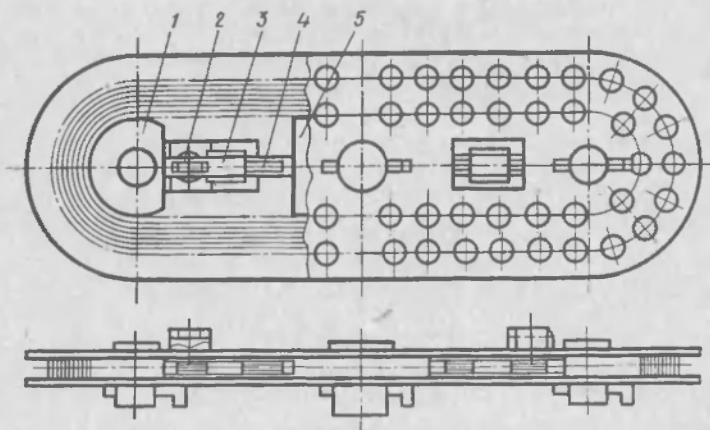


Рис. 26. Шаблон для намотки секций катушек прямоугольных электромагнитов:

1 — головка, 2, 4 — шпильки с правой и левой резьбой, 3 — муфта, 5 — колодка



площадка для складирования поврежденных электромагнитов, склад для хранения отремонтированных электромагнитов, испытательная электроустановка, надежно отгороженная от остальной части цеха, различные бытовые помещения для рабочих.

Производственную базу ремонта грузоподъемных электромагнитов организуют на предприятиях с таким расчетом, чтобы обеспечить возможность применения наиболее прогрессивной (рациональной и экономичной) технологии ремонта.

#### § 14. Технология ремонта грузоподъемных электромагнитов

Приступая к ремонту грузоподъемных электромагнитов, необходимо учитывать условия выполнения предстоящей работы, а также недостатки конструкции ремонтируемых электромагнитов или применяемых в них электро- и теплоизоляционных материалов. Так, например, электромагниты с катушками из круглого или фасонного провода с дельта-асбестовой изоляцией быстро выходят из строя из-за перемещений проводов на катушке, вызванных электромагнитными воздействиями и резкими ударами при опускании электромагнита. Чтобы продлить продолжительность работы электромагнитов, совершенствуют при ремонте крепление проводов и катушки. Подлежат реконструкции и электромагниты с катушками из алюминиевого провода с оксидной изоляцией, так как из-за ограниченной гибкости проводов и быстрого истирания оксидной изоляционной пленки, приводящих к межвитковым замыканиям в катушке, электромагниты часто выходят из строя.

Катушка электромагнитов некоторых типов недостаточно надежно защищена от воздействий влаги и агрессивных газов из-за наличия в корпусе пространств с разреженным воздухом, образовавшихся после усадки заливочной массы, и уменьшения объема охладившейся катушки. При ремонте таких электромагнитов применяют более совершенную технологию заливки электромагнита электроизоляционной



Рис. 27. Структурно-технологическая схема ремонта грузоподъемных электромагнитов

мастикой. Операции ремонта грузоподъемных электромагнитов выполняются в последовательности, определяемой принятой технологией.

В наиболее общем виде эта технология схематически представлена на рис. 27. Данная схема может варьироваться в зависимости от располагаемого оборудования, степени специализации, количества и состава ремонтного фонда, конструкций большинства ремонтируемых электромагнитов, возможности кооперирования с другими предприятиями по отдельным видам ремонтных работ, а также влияния различных технических и экономических факторов.

Основными стадиями ремонта большинства грузоподъемных электромагнитов являются:

проверка и испытание, при которых выявляют состояние и характер повреждений отдельных частей электромагнита;

разборка и дефектация, при которых устанавливают причину и степень повреждений, определяют объем предстоящих ремонтных работ и составляют документацию на ремонтные работы, а также готовят поврежденные части электромагнита к ремонту;

намотка секций новыми проводниковыми материалами или извлеченными из поврежденного электромагнита и повторно используемыми после очистки их и восстановления изоляции;

сушка и запечка секций, выполняемые в специальных печах или шкафах;

посекционная укладка катушки с последовательным соединением пайкой концов секции;

• заливка электромагнита электроизоляционной мастикой;

сборка электромагнита с соблюдением последовательности, определяемой его конструкцией;

проверка и испытание отремонтированного электромагнита, измерением омического сопротивления обмотки катушки и испытание электрической прочности изоляции.

Проверка и испытание электромагнитов. Поступивший в ремонт электромагнит тщательно очищают от грязи, масла и окалины, осматривают и подвергают электрическим испытаниям.

При внешнем осмотре проверяют наличие и характер механических повреждений, ставших причиной выхода электромагнита из строя, а также выявляют имеющиеся дефекты, подлежащие устранению в процессе ремонта.

При электрическом испытании измеряют сопротивление изоляции и катушки постоянному току. Если сопротивление изоляции холодного электромагнита, измеренное мегаомметром на 1000 В выше 10 МОм, а сопротивление катушки постоянному току, измеренное мостом МО или МТВ, отличается не более чем на 10% от соответствующих паспортных данных завода-изготовителя, дополнительно испытывают электрическую прочность изоляции приложением в течение 1 мин переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 2500 В. При удовлетворительных результатах указанных проверок и испытаний, а также отсутствии механических повреждений электромагнит признают годным к работе.

При сопротивлении изоляции катушки электромагнита ниже

10 МОм его сушат в электрической печи при температуре около 180°C в течение времени, зависящем от размера и конструкции электромагнита, но обычно не превышающем 25 ч для легких, 35 ч — для средних и 50 ч — для тяжелых электромагнитов. В процессе сушки сопротивление изоляции проверяют мегаомметром на 500 В через каждые 2—3 ч. Сушка считается законченной и состояние изоляции удовлетворительным, если в конце сушки в течение 6 ч ее сопротивление при температуре около 120°C остается неизменным и составляет не менее 0,5 МОм.

Для производства указанных испытаний предварительно разбирают коробку вводов. Для этого сначала удаляют компаундную мастику с доски зажимов, снимают гайки и шайбы с токопроводящих шпилек, вывертывают болты и снимают изоляционную панель. Далее отсоединяют выводные концы катушки от шпилек, удаляют компаундную мастику из отверстий вводов, зачищают, а затем промывают бензином и протирают чистыми тряпками участки на выводных концах катушки, к которым будут присоединять провода испытательных приборов. При неудовлетворительных результатах проверки и наличии механических повреждений электромагнит подвергают ремонту, для чего передают его в отделение или на участок разборки и дефектации.

**Разборка и дефектация электромагнитов.** Разборку и дефектацию электромагнитов выполняют в последовательности, определяемой главным образом их конструкцией.

Указанные в настоящем разделе способы разборки и дефектации относятся к наиболее распространенным круглым (М-21, М-41 и М-61) и прямоугольным (ПМ-20) грузоподъемным электромагнитам. Для электромагнитов других типов приводятся только краткие указания специфических особенностей способов выполнения этих работ.

При разборке круглых электромагнитов сначала разъединяют все крепления полюсных наконечников, для чего отвертывают соответствующие гайки с болтов и шпилек или вывертывают болты. Неподдающиеся разборке крепежные детали срезают пламенем газовой горелки. У электромагнитов с приваренными полюсными наконечниками сварные швы снимают на карусельном станке.

Далее снимают наружный полюсный наконечник с болтовым креплением. Для этого вывешивают электромагнит над полом на высоте 200—500 мм, выбивают все болты, а затем ударами кувалды о край наконечника отделяют его от полюса. Если ударами кувалды или забивкой зубил по окружности в щель разъема не удастся отделить наружный полюсный наконечник от корпуса, следует пламенем нескольких паяльных ламп, газовых горелок или специальной кольцевой горелки разогреть корпус электромагнита до 180—200°C. При этом, используя увеличение диаметра корпуса, освобождают наружный наконечник, а затем равномерными ударами кувалдой через медную надставку по всем болтам или шпилькам удаляют внутренний полюсный наконечник. При разогревании корпуса следует помнить, что темпера-

тура его нагрева не должна превышать 250°C во избежание воспламенения находящейся в корпусе заливочной мастики.

Затем выпрессовывают внутренний приваренный наконечник, прочно удерживаемый в корпусе после удаления сварного шва. Для этого применяют приспособление (рис. 28, а), состоящее из пальца 1, трех шпилек 2  $\varnothing 32$  мм с круглой серьгой на одном конце каждой шпильки и резьбой под гайку — на другом, стального диска 3 толщиной 200—250 мм, гидравлического домкрата 4 с ручным приводом и круглой стальной болванки 5. Чтобы выпрессовать наконечник внутреннего полюса, закрепляют электромагнит на двух деревянных брусках 6 размером 200 × 200 мм, собирают приспособление и устанавливают домкрат между диском 3 и болванкой 5, подбираемой по месту в зависимости от длины шпилек и высоты домкрата, а затем, приводя в действие домкрат, медленно выпрессовывают наконечник из корпуса.

После выпрессовки вскрывают капсулу (у электромагнитов с капсульным креплением катушки в корпусе), для чего устанавливают электромагнит на столе карусельного станка проушинами вниз и снимают резцом сварной шов крепления капсулы к наружному полюсу сначала по большему, а затем по меньшему диаметрам капсулы. Вскрыв капсулу, извлекают из нее катушку с помощью приспособления (рис. 28, б), состоящего из стального диска 3, имеющего четыре резьбовых от-

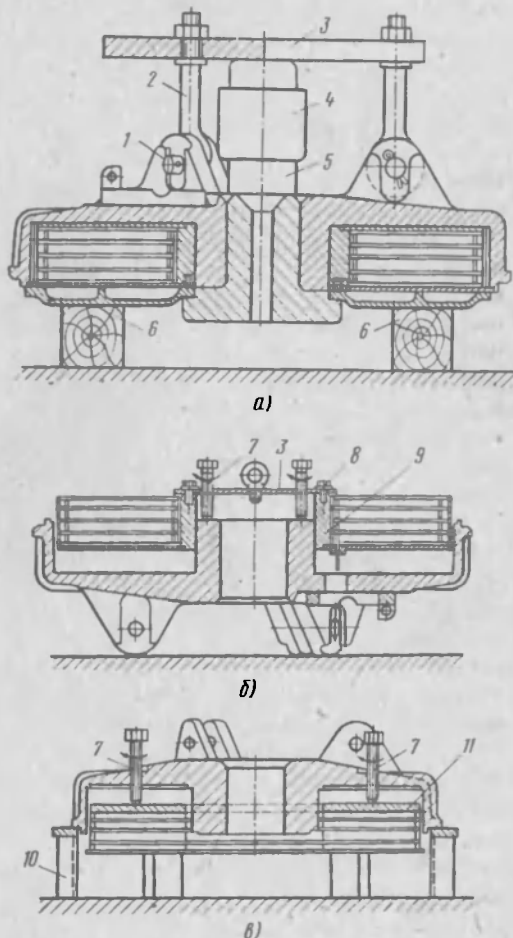


Рис. 28. Операции разборки круглых электромагнитов:

а — выпрессовка наконечника внутреннего полюса гидравлическим домкратом, б — выемка капсулы из корпуса электромагнита, в — извлечение катушки из корпуса электромагнита бескаркасно-капсульного исполнения; 1 — палец, 2 — шпилька, 3 — стальной диск, 4 — гидравлический домкрат, 5 — стальная болванка, 6 — деревянные брусья, 7 — отжимные болты, 8 — болт крепления стального диска к втулке, 9 — втулка, 10 — подставка, 11 — отжимная шайба

верстия под отжимные болты 7 и привернутого четырьмя крепежными болтами 8 к втулке 9 капсулы. Равномерно ввертывая отжимные болты 7, выводят капсулу из корпуса электромагнита.

В конце разборки из корпуса электромагнита извлекают катушку. Для этого после освобождения от полусюных наконечников и снятия сварных швов электромагнит устанавливают проушинами вверх (рис. 28, в) на подставку 10 и, равномерно ввертывая отжимные болты 7, упирающиеся в отжимную шайбу 11, выпрессовывают катушку. Для облегчения процесса выпрессовки катушки рекомендуется предварительно (в течение 8—10 ч) нагреть электромагнит до 180—200°C.

При разборке прямоугольных электромагнитов, требующих перемотки секций катушки, соблюдают определенную последовательность операции:

устанавливают электромагнит на продольно-строгальный станок и, прикрепив его вдоль стола, снимают шов приварки наконечника наружного полюса к корпусу;

переставляют электромагнит со станка на деревянные брусья размером 250×250 мм, установленные на полу, и вывертывают болты, крепящие сердечник, торцевые крышки и наконечник наружного полюса;

отвертывают гайки со шпилек, крепящие полюсные наконечники внутреннего и наружного полюсов;

поднимают электромагнит краном и вывешивают над брусьями, при этом полюсный наконечник наружного полюса, имеющий болтовое крепление, отпадает;

вынимают капсулу, устанавливают на строгальном станке шунтирующей шайбой вверх и снимают швы по длине ее приварки к боковым стенкам;

отрезают пламенем газовой горелки швы по ширине капсулы, соблюдая меры по максимальному сохранению целостности капсулы для повторного использования;

выбивают зубилом компаунд из капсулы;

удаляют сухари, расклинивающие катушку в капсуле;

извлекают из капсулы секции катушки, разрезая межсекционные соединения;

очищают извлеченные секции от остатков компаунда.

Разборку электромагнитов производят, строго соблюдая указания завода-изготовителя, с учетом максимального сохранения разбираемых деталей для повторного их использования. После полной разборки круглого или прямоугольного электромагнита все разобранные части и детали тщательно осматривают, а изоляцию и обмотку катушки подвергают электрическим испытаниям. Поврежденные детали и части электромагнита, не выдержавшие испытаний, бракуют и направляют в соответствующие отделы ремонтного цеха для восстановления или замены новыми.

Сведения о дефектных деталях и частях грузоподъемного электромагнита заносят в соответствующие графы дефектационной

карты и вместе с маршрутной картой направляют в ремонтные отделы цеха. При дефектации электромагнитов особое внимание обращают на состояние обмотки и изоляции секций катушки, являющихся наиболее часто повреждающимися частями электромагнита, ремонт которых, как правило, связан с необходимостью намотки новых секций.

**Намотка секций электромагнитов.** Намотку секций катушки электромагнитов производят в случаях: пробоя изоляции между витками одной секции или между секциями; ослабления монолитности секций в результате снижения прочности сцепления ее витков друг с другом; снижения омического сопротивления катушки по сравнению с паспортными данными более чем на 10%; обрыва проводника внутри секций; недопустимого снижения сопротивления изоляции катушки; механического повреждения катушки.

Секции катушек электромагнитов наматывают новыми проводами прямоугольного сечения или ленточной меди. В целях экономии дорогостоящей меди (в случаях, когда это возможно) повторно используют проводниковые материалы секций катушек поврежденных электромагнитов.

Для повторного использования медной ленты поврежденную секцию помещают в печь, где при 550—600°C происходит отжиг изоляции, а затем, выдержав отоженную секцию в течение 4—6 ч в холодной воде, перематывают ее в бухту и с помощью установки (см. рис. 25, а) полностью очищают от остатков старой изоляции и лакового покрова.

Намотку новых секций производят на специальной намоточной установке (см. рис. 25, б). При намотке секции рабочий, надев рукавицы и зажав рукой фетровые прокладки 17, очищает медную ленту, одновременно проверяя ее дефекты (глубокие вмятины, трещины, надрывы, участки с уменьшенным сечением и т. д.). Во время намотки секций должны быть обеспечены рихтовка и определенное натяжение ленты, осуществляемые с помощью рихтовочно-натяжного зажима 8, укрепленного на подвижной каретке 16: Натяжение ленты контролируют по показаниям на шкале динамометра 14.

Одновременно с намоткой секции из ленточной меди осуществляют ее изолировку асбестовой бумагой шириной, превышающей на 1,5 мм ширину ленты. Асбестовую бумагу нарезают из рулона специальными ножницами в виде роликов, погружают на 3—4 ч в ванну с пропиточным лаком, а затем, подержав над ванной до полного стекания лака, устанавливают на стойке 19.

Используя одну бухту медной ленты, на стол 1 устанавливают следующую. Концы медной ленты соединяют сваркой или пайкой серебряным припоем ПСр-50, содержащим 50% серебра и 50% меди. Пайку производят электроклещами 15. С участка соединения удаляют неровности, наплывы припоя и заусенцы. В одной секции может быть не более восьми паек.

Намотав необходимое (контролируемое счетчиком) число витков медной ленты, снимают наружную щеку шаблона и через

пазы во внутренней щеке стягивают секцию планками, чтобы придать ей необходимую жесткость при транспортировке. После этого отрезают от намотанной секции остаток медной ленты, а секцию отправляют на участок запечки. Установка для намотки круглых секций (см. рис. 25, б) допускает также намотку секций из ленточной меди для прямоугольных электромагнитов. Намотку секций для прямоугольных электромагнитов выполняют с помощью специального шаблона, показанного на рис. 26.

Основные операции намотки из ленточной меди секций для прямоугольных электромагнитов отличаются от операций намотки секций для круглых электромагнитов лишь тем, что витки секций после окончания намотки скрепляют в нескольких местах временными вязками, снимают секцию с шаблона и вместе с распорным устройством направляют на запечку. По окончании запечки поворотом шпилек 2 и 4 сближают головки 1, уменьшая расстояние между концами секций, и вынимают готовую секцию. При отсутствии специальных намоточных установок намотку секций можно производить на установке, применяемой для очистки медной ленты от старой изоляции (см. рис. 25, а).

**Сушка и запечка секций.** Сушку и запечку секций выполняют для плотного скрепления витков секций лаком, запекающимся при высокой температуре, одним из следующих способов.

1. Нагрев постоянным током напряжением 220 В, подведенным к обмотке секции через резистор, подобранный с таким расчетом, чтобы максимальная сила тока в обмотке секции не превышала 50% его номинальной (рабочей) величины. При этом методе сначала нагревают катушку до 80—100°С, а затем в течение 4—6 ч доводят ее нагрев до 160—180°С. Температуру нагрева витков секции постоянным током контролируют через каждые 2 ч замером ее омического сопротивления.

2. В электрических печах сушку и запечку производят в два этапа: на первом этапе доводят температуру нагрева секции до 120°С, а на втором — до 180 или 200°С (в зависимости от размеров запекаемых секций).

Для запечки секций используют калориферные печи с паровым или электрическим подогревом воздуха до 200°С. Печь (рис. 29) состоит из всасывающего патрубка 1, соединенного с вентилятором 2 и приводимого в движение электродвигателем 3. Меха-

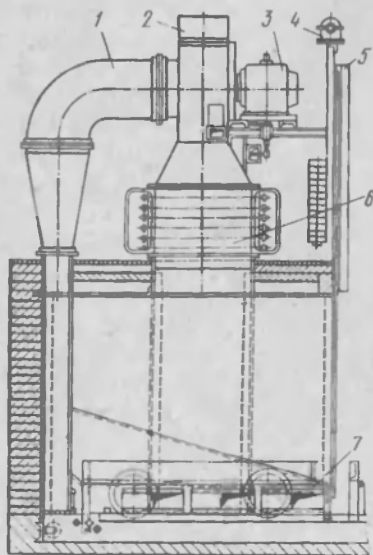


Рис. 29. Калориферная печь для термической обработки секций грузоподъемных электромагнитов:

1 — всасывающий патрубок, 2 — вентилятор, 3 — электродвигатель, 4 — механизм подъема заслонки, 5 — заслонка, 6 — калорифер, 7 — тележка

низм 4 служит для подъема заслонки 5. Запекаемую секцию доставляют на тележке 7 в камеру печи, в рабочей зоне которой происходит запечка секции воздухом, нагнетаемым вентилятором 2 и подогреваемым калорифером 6. Во время сушки секций должны быть обеспечены циркуляция горячего воздуха, а также эвакуация водяных паров и паров растворителя с помощью вентиляционной системы и имеющихся заслонок. После запечки и охлаждения секции с обмоткой из медной ленты до температуры окружающего воздуха снимают с секции элементы крепления (планки, клинья, вязки и т. п.), а затем очищают поверхность секции от остатков лака.

После запечки, охлаждения и очистки от лака секции, намотанной прямоугольным проводом, к выступающим наружу концам обмотки припаивают выводы, а затем изолируют места пайки тремя слоями стекломиканитовой ленты и одним слоем стеклотенты.

Укладка и соединение секции в катушку. При капитальном ремонте грузоподъемных электромагнитов первых выпусков и устаревших конструкций одновременно выполняют работы по улучшению их конструкций (модернизации). Модернизации подвергают преимущественно катушки, так как их повреждение является наиболее частой причиной выхода из строя электромагнитов.

При модернизации ремонтируемых электромагнитов выполняют следующие операции: заменяют устаревшие и непригодные конструкционные материалы новыми, механически более прочными и термостойкими, устаревшие электроизоляционные материалы и заливочные мастики; совершенствуют способы размещения и крепления катушки в корпусе электромагнита; повышают механическую прочность и температурную стойкость катушек; заменяют проводниковые материалы катушек и, в частности, выполняют намотку секций ленточной медью; изменяют конструкцию отдельных частей электромагнитов и способы их креплений; повышают ремонтпригодность электромагнитов.

Целью модернизации является максимальное приближение устройства электромагнитов старых конструкций к современным конструктивно более совершенным электромагнитам, повышение эксплуатационной надежности электромагнитов и увеличение межремонтных сроков их работы.

При модернизации ремонтируемых электромагнитов добиваются: плотной намотки, качественной запечки и прочного скрепления витков секций катушки, исключающих возможность вибрации проводов;

надежного крепления катушки в корпусе электромагнита, не допускающего перемещения катушки в корпусе из-за воздействий на нее неизбежных при работе электромагнита больших ударных нагрузок;

хорошей герметизации электромагнита, предотвращающей проникновение к внутренним деталям корпуса производственной пыли, водяных паров и различных газов, агрессивно действующих на изоляционные и проводниковые материалы;



высокого качества работ по изоляции выводных концов катушки, применяя электрически и механически прочные изоляционные материалы;

замена круглых и прямоугольных проводов ленточной медью.

Рассмотрим способы ремонта и модернизации одного из первых освоенных отечественной электропромышленностью и широко распространенного среднего по грузоподъемности электромагнита М-41 (рис. 30, а, б).

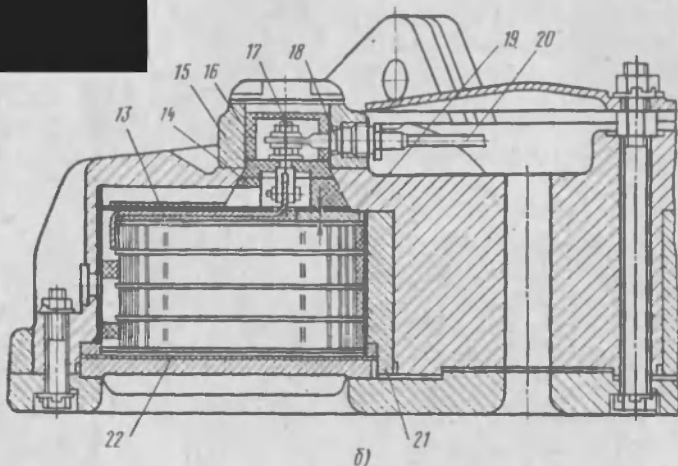
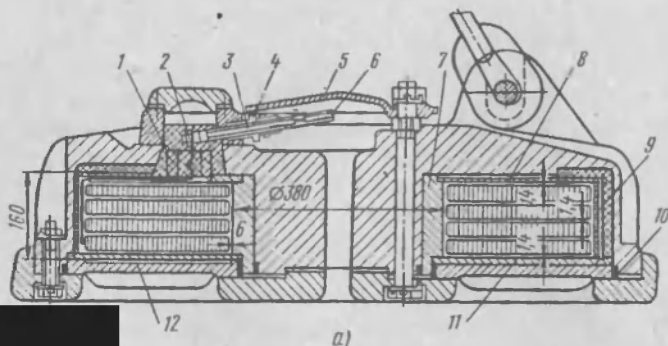


Рис. 30. Грузоподъемный электромагнит М-41:

а — до модернизации, б — модернизированный; 1 — изоляционная втулка, 2 — гайка вывода, 3 — латунная шпилька, 4 — гайка крепления латунной шпильки, 5 — стальная крышка, 6 — провод, 7 — стальная изолированная втулка, 8 — стальная шайба, 9 — стяжной винт, 10 — асбестовая набивка, 11 — алюминиевая шайба, 12 — диамагнитная плита, 13 — гибкий провод, 14 — опорная коническая втулка из текстолита, 15 — втулка ввода, 16 — стакан, 17 — шпилька ввода, 18 — центральная втулка, 19 — стальная плита, 20 — кабель, 21 — центральная втулка, 22 — центрирующая шайба

Разрез грузоподъемного электромагнита М-41 до модернизации показан на рис. 30, а. Электромагнит имеет жесткий корпус и каркасное крепление катушки. Наконечник внутреннего полюса крепится к корпусу тремя длинными болтами, проходящими через весь полюс, а наконечник наружного полюса — короткими.

К корпусу приварены стальные вводные коробки, в которые входят отводы от наружных витков крайних секций катушки. В коробке имеется резьбовое отверстие, куда вставлена изолированная токопроводящая латунная шпилька 3, прочно закрепленная во вводной коробке гайкой 4. В наружный конец шпильки впаян провод 6, а к ее внутреннему концу прикреплен гайкой 2 вывод от катушки. Провода защищены стальной крышкой 5. Катушка, состоящая из четырех секций, намотанных медной лентой, имеет каркасное крепление. Собранный в каркас катушка помещена в корпус электромагнита так, чтобы выступы в стальной шайбе 8 по ее наружному диаметру в месте установки стяжных винтов 9 вошли в соответствующие выемки наружного полюса, препятствующие перемещению катушки. Каркас закрыт ребристой диамагнитной стальной плитой 12 толщиной (без ребер) 21 мм. Для предотвращения проникновения влаги в корпус и вытекания компаунда из корпуса зазор между немагнитной плитой 12 и полюсами, а также между стальной изолированной втулкой 7 и внутренним полюсом заполнен асбестовой набивкой 10. Внутренняя полость корпуса заполнена битумным компаундом, заливаемым через коробки вводов.

В процессе капитального ремонта электромагнит М-41 модернизируют, для чего полностью герметизируют обмотку, заменяют межсекционную изоляцию более тепло- и влагостойкой (миканит, стекломикалента и др.); увеличивают расстояние между токопроводящими частями и корпусом, переводят крепление катушки в корпусе на бескаркасное, а битумный компаунд заменяют эпоксидным.

Грузоподъемный электромагнит М-41 после модернизации показан на рис. 30, б. При модернизации электромагнита М-41 крепление катушки в корпусе переводят на бескаркасное с сохранением стальной плиты 19, которая теперь служит в качестве отжимной шайбы. Для этого растачивают внутренний диаметр стальной плиты так, чтобы между плитой и центральной стальной втулкой 21 оставался зазор 5 мм. Центральную стальную втулку 21 обтачивают по наружному диаметру, вставляют в корпус и приваривают к нему, превращая таким образом втулку из съёмной детали в несъёмную.

Алюминиевую шайбу каркаса не устанавливают; место ее опоры по наружному диаметру заполняют привариваемыми к корпусу стальными кольцами и шунтирующей стальной шайбой 22, которую после укладки катушки тоже приваривают к корпусу по наружному и внутреннему диаметрам. Катушку укладывают в корпус посекционно и крепят в нем, симметрично расклинивая каждую секцию восемью «сухарями», вырезанными из асбестоцементной плиты толщиной 20 мм.

Концы укладываемых в корпус секций последовательно соединяют сваркой или пайкой серебряным припоем ПСр-50, зачищают

участки соединений от остатков припоя, а затем изолируют их тремя слоями стекломиканитовой ленты и одним слоем стеклотенты.

Выводы от катушки сохраняют отходящими от наружного диаметра, но сами выводы реконструируют; вместо набранных отрезков из медной ленты к катушке припаивают гибкий многожильный провод 13 требуемого сечения.

Соединение ввода с токоподводящим кабелем 20, выполненное проводом РКГМ, изменяют: внутри коробки устанавливают шпильку 17 ввода, к которой снизу присоединяют вывод от катушки, а сверху — кабель, входящий в коробку вводов через изоляционную трубки 18 из текстолита. В коробке вводов устанавливают текстолитовую коническую втулку 14, служащую опорой для втулки 15 со шпилькой 17 и стакана 16, закрывающего шпильку ввода сверху.

В верху корпуса просверливают, а затем нарезают три отверстия М24 для ввертывания в них болтов, отжимающих шайбу при ремонте. По окончании ремонта эти отверстия закрывают стальными резьбовыми пробками. Для компаундирования катушки высверливают в корпусе электромагнита два заливочных отверстия. Эти отверстия после заполнения корпуса компаундом закрывают пробками и проваривают электросваркой.

Заливка грузоподъемных электромагнитов электроизоляционной мастикой. Электромагниты заливают электроизоляционной мастикой вручную или с помощью специальной установки.

При ручной заливке (заполнении) электромагнита электроизоляционной заливочной мастикой закрывают одно из боковых отверстий пробкой и устанавливают электромагнит вертикально открытым отверстием вверх, вставляют в открытое отверстие воронку и уплотняют ее пластилином. Затем готовят дозированное

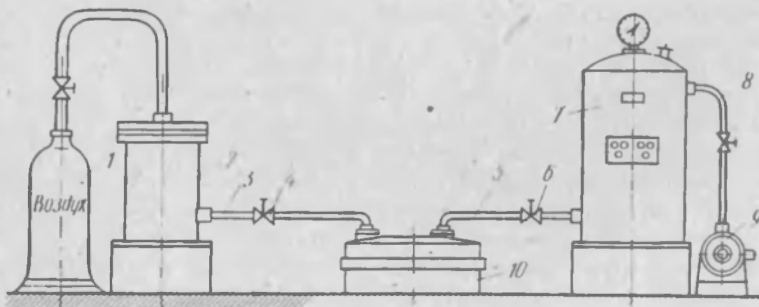


Рис. 31. Схема установки для заливки грузоподъемных электромагнитов изоляционной мастикой:

1 — баллон со сжатым воздухом, 2 — бак с изоляционной мастикой, 3 — маскотопровод, 4 — вентиль подачи изоляционной мастики, 5 — трубопровод, соединяющий корпус электромагнита с ресивером, 6 — вентиль трубопровода ресивера, 7 — ресивер, 8 — трубопровод, соединяющий ресивер с вакуум-насосом, 9 — вакуум-насос, 10 — грузоподъемный электромагнит

количество заливочной мастики, охлаждают ее до 30—40°C и тонкой непрерывной струей вливают в корпус электромагнита до полного ее заполнения. Неполное расходование приготовленной заливочной мастики будет свидетельствовать об образовании в корпусе пространства, заполненного воздухом. В этом случае вынимают воронку из отверстия, закрывают отверстие пробкой и, повернув электромагнит другим отверстием вверх, вливают через него оставшуюся часть электроизоляционной мастики. После этого оставляют электромагнит в вертикальном положении до полного остывания и полимеризации электроизоляционной мастики.

На предприятиях, ремонтирующих большое число грузоподъемных электромагнитов, заполнение электромагнитов заливочной мастикой производят с помощью специальной установки, показанной на рис. 31. При сборке электромагнитов, заливаемых электроизоляционной мастикой, все зазоры между сопрягаемыми частями электромагнита уплотняют так, чтобы была исключена возможность вытекания мастики из корпуса при подаче сжатого воздуха или срыва вакуума при подсосе воздуха.

Установка для заливки грузоподъемных электромагнитов электроизоляционной мастикой состоит из баллона 1, со сжатым воздухом, бака 2 с изоляционной мастикой, мастикопровода 3 с вентилем 4, трубопровода 5 с вентилем 6 и ресивера 7, соединенного трубопроводом 8 с вакуум-насосом 9.

При заполнении электромагнита заливочной мастикой собирают все элементы установки и проверяют исправность их действия. Для этого устанавливают корпус электромагнита на полу или на подставке соответствующей высоты с таким расчетом, чтобы обеспечивалось наиболее удобное присоединение трубопроводов установки к корпусу, и присоединяют к отверстиям выводных концов патрубки.

Далее с помощью патрубков корпус электромагнита соединяют с мастикопроводом и трубопроводом. Катушку электромагнита разогревают электрическим током до 40—50°C, а корпус электромагнита — до 150—180°C с помощью кольцевой горелки, показанной на рис. 32. С этой целью заливаемую в корпус мастику подогревают до 170°C (терморезистивную № 96) или 180°C (битумную), открывают вентиль баллона 1 (см. рис. 31) сжатого воздуха давлением 0,5—0,6 МПа/м<sup>2</sup> и вентиль 4 мастикопровода 3 и подают заливочную мастику из бака 2 в корпус электромагнита 10. Включив вакуум-насос 9, создают необходимое разрежение в корпусе, чтобы заполнить его электроизоляционной мастикой. Перекрыв вентили на мастикопроводе 3 и трубопроводе 8, останавливают вакуум-насос, прекращая таким образом подачу мастики и дальнейшее вакуумирование.

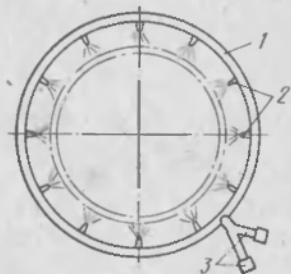


Рис. 32. Кольцевая горелка:

1 — кольцевой трубопровод, 2 — головки горелок, 3 — патрубки для присоединения горелки к линиям подачи воздуха и газа

После этого отсоединяют мастикопровод и трубопровод от электромагнита, закрывают заливочные отверстия и помещают электромагнит в сушильную печь, выдерживая его при 180—200°C в течение 20—25 ч, в результате чего электроизоляционная мастика № 96 приобретает резиноподобную структуру и не расплавляется при 300°C. Затем тщательно осматривают электромагнит и при отсутствии дефектов подвергают проверкам и испытаниям.

**Сборка электромагнитов.** Большинство операций разборки, сборки и заполнения заливочной мастикой ремонтируемых прямоугольных электромагнитов выполняют в последовательности, почти аналогичной выполнению их при ремонте круглых электромагнитов, с той лишь разницей, что в прямоугольных электромагнитах укладку и герметизацию катушки производят в капсуле.

Для изоляции катушки от корпуса и межсекционной изоляции применяют миканиты, стеклотекстолиты и другие термостойкие и электрически прочные материалы, набираемые в несколько слоев разной толщины.

При ремонте прямоугольных электромагнитов применяют специальные инвентарные приспособления, устройство которых определяется конструкцией электромагнитов и особенностями выполнения отдельных операций ремонта.

**Проверка и испытания отремонтированных грузоподъемных электромагнитов.** Проверку и испытания отремонтированных электромагнитов производят для того, чтобы убедиться в качестве выполненных ремонтных работ, а также в соответствии ряда параметров требованиям действующих норм и правил или указаниям завода-изготовителя.

В комплекс проверок и испытаний электромагнитов входят:

проверка прочности болтовых креплений и электросварочных соединений;

измерение омического сопротивления обмотки катушки постоянному току, которое не должно отличаться от паспортных данных более чем на  $\pm 10\%$ ;

испытание электрической прочности изоляции внутренних деталей электромагнита (катушки от корпуса) приложением в течение 1 мин переменного тока промышленной частоты 50 Гц напряжением 3 кВ;

проверка сопротивления изоляции, которое при 100—120°C должно быть не ниже 2 МОм у электромагнитов, подвергшихся частичному ремонту (наварка полюсов наконечников, ремонт корпуса, ремонт коробки вводов и т. п.), и 5 МОм у электромагнитов, капитально отремонтированных с заменой катушки или ее модернизацией;

проверка рабочего тока катушки при режиме работы, указанном в паспорте электромагнита (допускается отклонение от паспортных данных не более чем на  $\pm 10\%$ ).

Проверки и испытания электромагнитов квалифицированный персонал производит по установленной программе. При удовлетворительных результатах проверок и испытаний электромагнит призна-

ют пригодным к работе, о чем делают соответствующую запись в протоколе испытаний. Каждому электромагниту, находящемуся в эксплуатации у предприятия, присваивается определенный номер, наносимый на его корпус стойкой, легко различимой краской. Поверхности отремонтированного электромагнита, подлежащего хранению на складе, покрывают антикоррозионной смазкой. Хранят отремонтированные электромагниты в сухом отапливаемом помещении при температуре не ниже  $10^{\circ}\text{C}$ .

**Контрольные вопросы.** 1. Каковы области применения и основные преимущества грузоподъемных электромагнитов? 2. Как устроен грузоподъемный электромагнит и на чем основано его действие? 3. Каковы основные стадии ремонта грузоподъемного электромагнита? 4. Какие способы разборки, сборки и заливки грузоподъемного электромагнита вы знаете?

# Глава IV

## УСТРОЙСТВО И РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

### § 15. Общие сведения

Электрические машины служат для преобразования механической энергии в электрическую (генераторы), электрической энергии в механическую (двигатели), а также—для преобразования частоты переменного тока, одного рода тока в другой, например, постоянного тока в переменный, постоянного тока одного напряжения в постоянный ток другого напряжения (преобразователи).

Преобразование энергии в электрической машине происходит в пространстве, занятом электромагнитным полем. Части электрической машины, непосредственно предназначенные для энергопреобразовательного процесса, называются *активными частями*. К ним относятся магнитопроводы, проводники обмоток, промежутки между магнитопроводами и проводниками обмоток.

Однако для того чтобы машина могла осуществлять свое назначение, в ней предусмотрен еще целый ряд важных деталей, называемых конструктивными частями, которые не принимают непосредственного участия в процессе преобразования энергии.

Конструктивные части выполняют в машине следующие функции:

- придают частям статора и ротора определенное положение в пространстве и обеспечивают (или ограничивают) их необходимые степени свободы перемещения;

- передают электрическую энергию от сети к активной зоне машины или механическую энергию от активной зоны к сопряженной машине;

- осуществляют подачу охлаждающего воздуха в машину;

- электрически изолируют витки проводников обмоток друг от друга, от магнитопроводов и конструктивных частей;

- защищают активные части машины от повреждений в результате воздействия окружающей среды (влаги, вредных газов, попадания в машину посторонних предметов);

- обеспечивают безопасную эксплуатацию машины, предотвращая прикосновение обслуживающего персонала к ее вращающимся или находящимся под напряжением частям;

- делают возможным монтаж машины на месте установки.

Электрические машины характеризуются различными показателями, в число которых входят номинальные мощность, напряжение, режим работы, ток, условия применения, частота вращения, а также

кпд и другие данные, определяющие допустимые режимы их работы.

Режим работы, на который электрическая машина рассчитана и для которого она предназначена предприятием-изготовителем, называют *номинальным*. Номинальный режим указывают на заводском щите машины.

Номинальная мощность электрических машин (выражаемая в ваттах, киловаттах и мегаваттах) для генераторов постоянного тока — полезная мощность на зажимах машины; для генераторов переменного тока — полная электрическая мощность при номинальном коэффициенте мощности; для электродвигателей — полезная механическая мощность на валу.

Напряжение, соответствующее номинальному режиму работы электрической машины является номинальным. Номинальное напряжение трехфазной электрической машины является междуфазным (линейным) напряжением.

Номинальный ток — это ток, соответствующий номинальному режиму работы электрической машины.

Номинальные условия применения электрической машины обычно оговорены в стандарте или ТУ на данную машину.

Частоту вращения, соответствующую работе электрической машины при номинальных напряжении, мощности, частоте тока и условиях применения, называют номинальной.

Коэффициентом полезного действия (кпд) является отношение полезной (отдаваемой) активной мощности электрической машины к затрачиваемой (подводимой) активной мощности.

Нагрузкой электрической машины называют мощность, которую она развивает в данный момент времени, а перегрузкой — превышение фактической нагрузки машины над ее номинальной нагрузкой. Перегрузку выражают в процентах или долях номинальной нагрузки.

Рабочая температура активной части электрической машины — установившаяся температура этой части, соответствующая номинальному режиму работы при неизменной номинальной температуре охлаждающей среды. Превышением температуры отдельной части электрической машины называют разность между температурой этой части и охлаждающей среды.

Электрические машины бывают одностороннего и двустороннего направления вращения. Электрические машины одностороннего вращения могут иметь правое или левое направление вращения. Правым направлением вращения машины с односторонним приводом считается вращение по часовой стрелке, если смотреть на машину со стороны присоединения ее к первичному двигателю или рабочему механизму, левым соответственно будет направление вращения электрической машины против часовой стрелки.

Электрическая машина обладает свойством обратимости, т. е. способностью работать в режиме генератора электрического тока, если привести ее в движение каким-либо первичным двигателем, и, наоборот, в режиме электродвигателя, если подвести к ней элект-



рическое напряжение. Электрическая машина, работающая в качестве двигателя, преобразует подводимую к ней электрическую энергию в механическую, используемую для приведения в действие различных механизмов и станков. Эта же машина может вырабатывать электрическую энергию, если будет приведена в действие двигателем внутреннего сгорания или паровой турбиной и возбуждена от постороннего источника электроэнергии, т. е. будет работать в режиме генератора. Однако каждая электрическая машина, выпускаемая электромашиностроительным заводом, обычно предназначается для одного определенного режима работы — режима генератора или электродвигателя.

По принципу действия различают синхронные и асинхронные электрические машины переменного и постоянного тока.

Электрическую машину переменного тока, частота вращения которой находится в строго постоянном соотношении с частотой вращения магнитного поля или частотой сети, называют *синхронной*. Основными частями синхронной машины являются статор, несущий обмотку переменного тока, и ротор, на котором размещена обмотка возбуждения, питаемая через контактные кольца постоянным током от возбuditеля или через выпрямители.

Синхронные машины выпускают с явнополюсным и неявнополюсным ротором и используют в современном производстве в качестве двигателей при необходимости постоянной частоты вращения, а на электростанциях и в электроустановках — в качестве синхронных генераторов и компенсаторов.

Электрическую машину переменного тока, у которой частота вращения ротора меньше частоты вращения магнитного поля статора и зависит от нагрузки, называют *асинхронной*. Асинхронные двигатели бывают коллекторные и бесколлекторные. Преимущественное распространение получили бесколлекторные асинхронные электрические машины, применяемые там, где не требуется постоянная частота вращения. Асинхронные бесколлекторные электродвигатели бывают двух исполнений — с короткозамкнутым и фазным роторами.

Асинхронные двигатели с фазным ротором имеют обмотку и снабжены контактными кольцами, установленными на одном валу с ротором. Преимущества электродвигателей с фазным ротором перед двигателями с короткозамкнутым состоят главным образом в том, что они позволяют регулировать в широких пределах пусковой момент, силу пускового тока и частоту вращения. Асинхронные двигатели с фазным ротором используют для привода механизмов, требующих регулировки частоты вращения, а также в нерегулируемом приводе с тяжелыми условиями пуска, например, подъемно-транспортных механизмов.

Электрические машины постоянного тока применяют в качестве первичных двигателей и генераторов постоянного тока.

Машина постоянного тока состоит из неподвижной станины с главными и добавочными полюсами, вращающегося якоря с обмоткой и коллектором, подшипниковых щитов и траверсы с щеткодержателями. Машина обратима, т. е. может работать в режиме

двигателя или генератора (например, двигатели электрифицированного транспорта).

По способу питания обмотки возбуждения генераторы постоянного тока бывают с независимым возбуждением, в которых питание подается в эту обмотку от постороннего источника тока (выпрямителя, аккумулятора, сети постоянного тока), и с самовозбуждением, в которых питание подается от самого генератора. В зависимости от способа соединения обмоток возбуждения с обмоткой якоря различают электрические машины постоянного тока: параллельного возбуждения или шунтовые; последовательного возбуждения; смешанного возбуждения, имеющие на общих главных полюсах две (параллельную и последовательную) обмотки.

## § 16. Основные конструктивные исполнения электрических машин

Электрические машины отличаются от других видов электрооборудования разнообразием конструктивных исполнений. Это объясняется тем, что в прошлом каждый электромашиностроительный завод выпускал электрические машины собственной конструкции, выполненной по определенным технологии и чертежам. В результате этого при одной и той же мощности машины разных заводов имели различные исполнения, габаритные и установочные размеры. Конструкции сборочных единиц и деталей также были различными, что создавало трудности при монтаже, эксплуатации и ремонте электрических машин. Основные затруднения при ремонте возникали из-за отсутствия взаимозаменяемости сборочных единиц и деталей. При выходе их из строя эксплуатирующие и ремонтные предприятия обращались с просьбой к заводам-изготовителям о поставке необходимых сборочных единиц и деталей, но, как правило, изготавливали их сами. Поэтому возникла необходимость унификации и нормализации сборочных единиц и деталей и создания на этой основе электрических машин единой серии.

В 1948—1950 г. такая серия асинхронных электрических машин была разработана и внедрена на ряде заводов электротехнической промышленности, получив наименование А (защищенное) или АО (закрытое обдуваемое) исполнение. Одновременно была принята твердая шкала исполнений машин по мощности, а также разработаны необходимые модификации и конструкции электрических машин.

В период с 1951 по 1970 г. совершенствовалась технология изготовления электрических машин и были созданы асинхронные электродвигатели серий А2 и АО2, а затем кратковременно выпускались машины серии А3 и АО3.

С 1970 по 1975 г. происходила интенсивная разработка средств технологического оснащения и внедрение в производство единой серии асинхронных двигателей 4А, охватывающей диапазон мощностей от 0,12 до 400 кВт. Эта серия выпускается и в настоящее время.

Каждая вновь спроектированная серия электрических машин отличалась от предыдущей большей надежностью, более высокими техническими характеристиками и совершенными технологическими

процессами изготовления. При разработке каждой серии электрических машин предусматривалась широкая унификация и нормализация их сборочных единиц и деталей. Это позволило в короткие сроки организовать их массовое или серийное производство с внедрением более совершенных процессов изготовления.

В настоящее время разрабатываются и в ближайшее время будут внедрены в производство асинхронные двигатели новой единой серии, отличающиеся от предыдущих машин более высокими техническими и экономическими показателями.

Электрические машины различают по способу монтажа, и конструкции, климатическому исполнению, степени защиты и способу охлаждения.

Исполнение по способу монтажа имеет следующее условное обозначение: общую буквенную часть, состоящую из двух букв (*IM*), затем одну цифру (от 1 до 9), указывающую группу конструктивного исполнения, после этого две цифры, означающие способ монтажа, и, наконец, одну цифру (от 0 до 8), характеризующую конец вала.

Цифры от 1 до 9, характеризующие группы конструктивных исполнений электрических машин, означают следующее: 1 — машина на лапах с подшипниковыми щитами; 2 — с подшипниковыми щитами и фланцем на подшипниковом щите; 3 — без лап, с подшипниковыми щитами и фланцем на одном щите; 4 — без лап, с подшипниковыми щитами и фланцем на станине; 5 — без подшипников; 6 — с подшипниковыми щитами и стоячковыми подшипниками; 7 — со стоячковыми подшипниками (без щитов), 8 — с вертикальным валом (машина, не охватываемая группами *IM1—IM4*); 9 — специального исполнения.

Цифровое обозначение конца вала (части, выступающей за подшипник) расшифровывается таким образом: 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 со стороны привода и цилиндрическим — с противоположной стороны; 8 — все прочие исполнения валов. Например, *IM2101* — машина на лапах с подшипниковыми щитами, фланцем на подшипниковом щите, горизонтальным расположением вала, конец которого имеет цилиндрическую форму.

По климатическому исполнению электрические машины обозначают одной или двумя буквами (например, машину, предназначенную для эксплуатации на суше, реках и озерах в макроклиматических районах с умеренным климатом — буквой У, с холодным климатом — ХЛ, во всех климатических районах на суше — буквой О — общеклиматический и т. д.). За буквами ставят цифры, указывающие категорию размещения электрических двигателей: 1 — двигатели, рассчитанные на работу на открытом воздухе; 2 — в закрытом помещении, где температура и влажность воздуха несущественно отличаются от колебаний наружного воздуха; 3 — в закрытых помещениях, где колебания температуры и влажности,

а также воздействие песка и пыли на двигатель меньше, чем на открытом воздухе; 4 — в помещениях с искусственно регулируемы-ми климатическими условиями (например, в закрытых отопляе-мых помещениях); 5 — в помещениях с повышенной влажностью, где возможно длительное наличие воды и конденсация влаги на стенах и потолке (например, в неотапливаемых и неventилируе-мых подземных помещениях). Электродвигатели общего назначения, имеющие обозначение УЗ, можно эксплуатировать в районах с умеренным климатом в закрытом помещении категории 3; с обозна-чением ХЛ1 — в районах с холодным климатом при установке на открытом воздухе и т. д.

Исполнение по степени защиты электрических машин имеет буквенно-цифровое обозначение, состоящее из двух букв (*IP*) и двух цифр. Первая из цифр (от 0 до 6) характеризует степень защиты персонала от соприкосновения с токопроводящими или вра-щающимися частями, находящимися внутри машины, вторая (от 0 до 8) — степень защиты самой машины от проникновения в нее влаги. Например, обозначение *IP22* соответствует защите от возмож-ности соприкосновения с токопроводящими и вращающимися част-ями машины пальцем человека и твердых предметов диаметром более 12,5 мм (первая цифра 2), а также защите от попадания в машину влаги в виде капель, падающих под углом не более 15° к вертикали (вторая цифра 2). Электрическая машина открытого исполнения, в конструкции которой не предусмотрены какие-либо меры защиты, обозначается *IP00*.

Исполнение по способу охлаждения электрических машин оп-ределяет принятую систему вентиляции, расположение вентилятора и способ забора охлаждающего воздуха.

Охлаждение электрических машин может быть естественным или искусственным. При естественном охлаждении у машин от-сутствуют специальные устройства, например вентилятор, и цирку-ляция охлаждающего воздуха осуществляется главным образом за счет вентилирующего действия вращающихся частей машины.

Машины с искусственным охлаждением, имеющие специальные устройства, различают с самовентиляцией и независимой венти-ляцией. Самовентилируемые машины имеют систему, при которой ее активные части охлаждаются потоком воздуха, нагнетаемого вен-тилятором, установленным на роторе машины. У машин с незави-симой вентиляцией охлаждающая среда (газообразная или жидкая) подается в машину специальным устройством (вентилятором или насосом), имеющим отдельный двигатель.

Электрическую машину исполнения *IP22* обычно выполняют с самовентиляцией и продувом воздуха через машину, при этом вен-тилятор располагается на ее валу, а воздух, проходя внутри корпу-са, охлаждает обмотки и сердечники.

В машинах других исполнений, например *IP44* (наиболее распро-страненном) используют наружный обдув, при котором охлаждаю-щий воздух прогоняют вдоль наружной поверхности ребренного корпуса с помощью вентилятора, установленного вне корпуса на

выступающем конце вала и с противоположной стороны от его выходного конца.

В настоящей главе приводятся описания устройства асинхронных электрических машин серий А, АО2 и машин постоянного тока серии П, получивших наиболее широкое распространение в электроустановках промышленных предприятий.

### § 17. Асинхронные электродвигатели трехфазного переменного тока

Асинхронные электродвигатели единой серии А имеют различные модификации и исполнения.

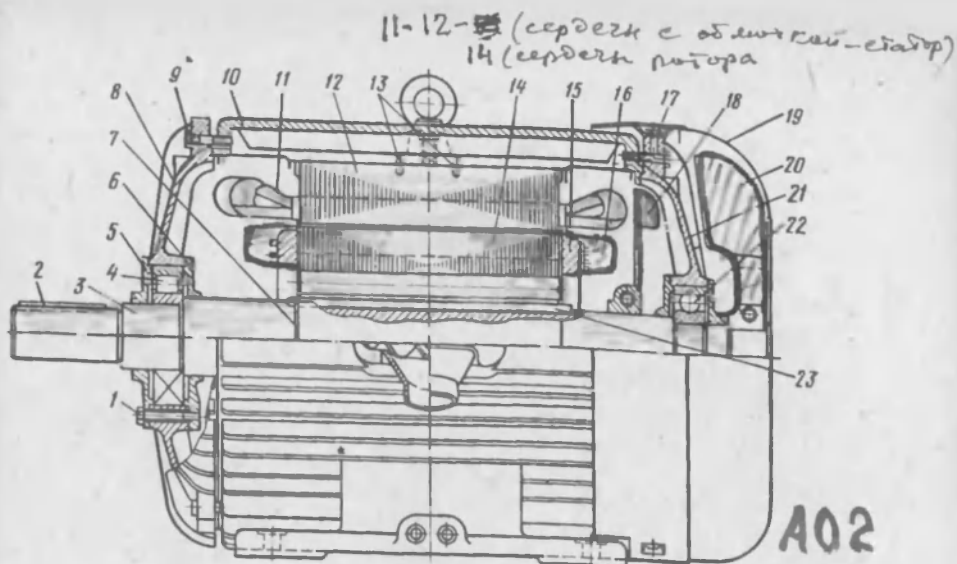
Асинхронный электродвигатель трехфазного переменного тока обдуваемого исполнения серии АО2, показанный на рис. 33, а состоит из литой чугунной станины\*, сердечника, обмотки, короткозамкнутого ротора и подшипниковых щитов. В станине 10 размещен сердечник 12, который зафиксирован винтами 13. Сердечник собран из штампованных и изолированных с одной стороны листов электротехнической стали. В пазах сердечника уложены катушки 11 обмотки. Сердечник с обмоткой называют *статором электродвигателя*. Внутри статора расположен ротор, состоящий из вала и насаженного на него сердечника.

Вал 3 ротора выточен из стальной цилиндрической заготовки и имеет небольшое число ступеней с малой разностью диаметров, что резко сокращает продолжительность токарной обработки и повышает прочность вала.

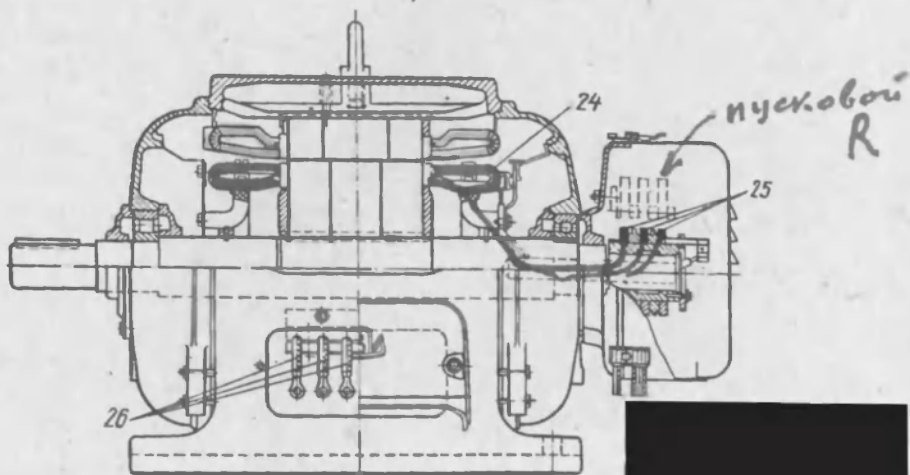
На валу расположен сердечник 14 ротора с пазами, залитыми алюминием. При заливке пазов алюминием одновременно образуются «беличья клетка», замыкающие кольца 15 на торцах стержней и лопасти 16 вентилятора на замыкающих кольцах. Сердечники роторов электродвигателей небольшой мощности (1—3-го габаритов) закреплены на валу прессовой плотной посадкой на рифленый (накатанный) участок вала, а сердечники роторов более мощных электродвигателей — дополнительно шпонкой 23. Для предотвращения осевого перемещения сердечника на валу ротора с одной стороны установлено стальное стопорное кольцо 7, углубленное наполовину в кольцевые выточки на валу, а с другой имеется стальной буртик.

В крупных асинхронных электродвигателях на валу ротора устанавливают специальные вентиляторы 18 и 20, один из которых (18) служит для перемещения воздуха внутри станины и отвода теплоты от ее внутренних частей, а другой (20) — для забора охлаждающего воздуха из окружающей среды и подачи его к наружным поверхностям двигателя. Вентилятор 20 закрыт кожухом 19 с отверстиями, через которые охлаждающий воздух поступает к наружным поверхностям электродвигателя. На шейку вала ротора насажены подшипники качения 4 и 22. Опорой для подшипников служат

\* Станину и подшипниковые щиты электродвигателей серии А1—3-го габаритов выполняют также из алюминиевого сплава и обозначают АОЛ2.



а)



б)

Рис. 33. Асинхронные электродвигатели трехфазного переменного тока серии АО2 с короткозамкнутым (а) и фазным (б) роторами:

1, 9, 17 — болты, 2, 23 — шпонки, 3 — вал ротора, 4, 22 — роликовый и шариковый подшипники, 5, 6 — наружная и внутренняя крышки подшипника, 7 — стопорное кольцо, 8, 21 — подшипниковые щиты, 10 — станина, 11 — статорная обмотка, 12, 14 — сердечники статора и ротора, 13 — винты крепления сердечника к станине, 15 — замыкающее кольцо, 16 — лопасть вентилятора, 18, 20 — вентилятор, 19 — кожух вентилятора, 24 — фазная обмотка ротора, 25 — контактные кольца, 26 — выводы статорной обмотки

подшипниковые щиты 8 и 21, прикрепленные к станине болтами, расположенными по окружности щитов на равных расстояниях друг от друга.

Асинхронный двигатель с фазным ротором (рис. 33, б) отличается от двигателя с короткозамкнутым наличием обмотки у рото-

ра и контактных колец 25, к которым присоединены концы роторной обмотки 24. Контактные кольца изолированы от вала и друг от друга. Концы роторной обмотки подведены к контактным кольцам через отверстие в валу ротора. К поверхностям контактных колец прилегают щетки, закрепленные в щеткодержателях. Щетки и контактные кольца служат для присоединения к роторной обмотке пускового реостата, с помощью которого осуществляется плавный запуск электродвигателя.

Другие части электродвигателей с фазным ротором конструктивно аналогичны соответствующим частям электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Электродвигатели серии 4А (основное исполнение) изготавливаются с короткозамкнутым ротором и предназначаются для общего применения в промышленности в условиях умеренного климата. Двигатели имеют стандартную шкалу мощностей от 0,12 до 400 кВт и выпускаются в двух вариантах по степени защиты от воздействия окружающей среды: защищенными (IP23) и закрытыми обдуваемыми (IP44).

Обозначения типов двигателей серии 4А расшифровываются следующим образом: 4 — порядковый номер серии; А — наименование вида двигателя — асинхронный; Н — обозначение двигателя защищенного исполнения; А (вторая буква) — станина и щиты из алюминия; Х — станина из алюминия и чугунные щиты; 50—355 — высота оси вращения; S, L, M — установочные размеры по длине корпуса; А, В — обозначение длины магнитопровода, если на одном установочном размере по длине корпуса предусмотрены две мощности; 2, 4, 6, 8, 10, 12 — число полюсов; У — климатическое исполнение двигателя; 3 — категория размещения.

Например: 4АА80А2У3 означает — электродвигатель серии 4, асинхронный закрытого исполнения, станина и подшипниковые щиты из алюминия, высота вращения 80 мм, магнитопровод первой длины, двухполюсный, для районов умеренного климата, третьей категории размещения.

## § 18. Электрические машины постоянного тока

Электрические машины постоянного тока имеют более сложное устройство, чем асинхронные двигатели, что объясняется наличием у них коллектора, щеточного механизма, добавочных полюсов и якорной обмотки. На промышленных предприятиях наиболее широкое распространение получили электрические машины постоянного тока единой серии П.

Машина постоянного тока П-41 защищенного продуваемого исполнения показана на рис. 34, а. Основными частями машины являются станина, полюса с обмотками и якорь. К литой чугунной станине прикреплены болтами главные полюса 17 с обмоткой возбуждения, создающие основное магнитное поле машины, и добавочные полюса 16 с обмоткой, обеспечивающие безыскровую работу щеток на коллекторе. Добавочные полюса расположены между глав-

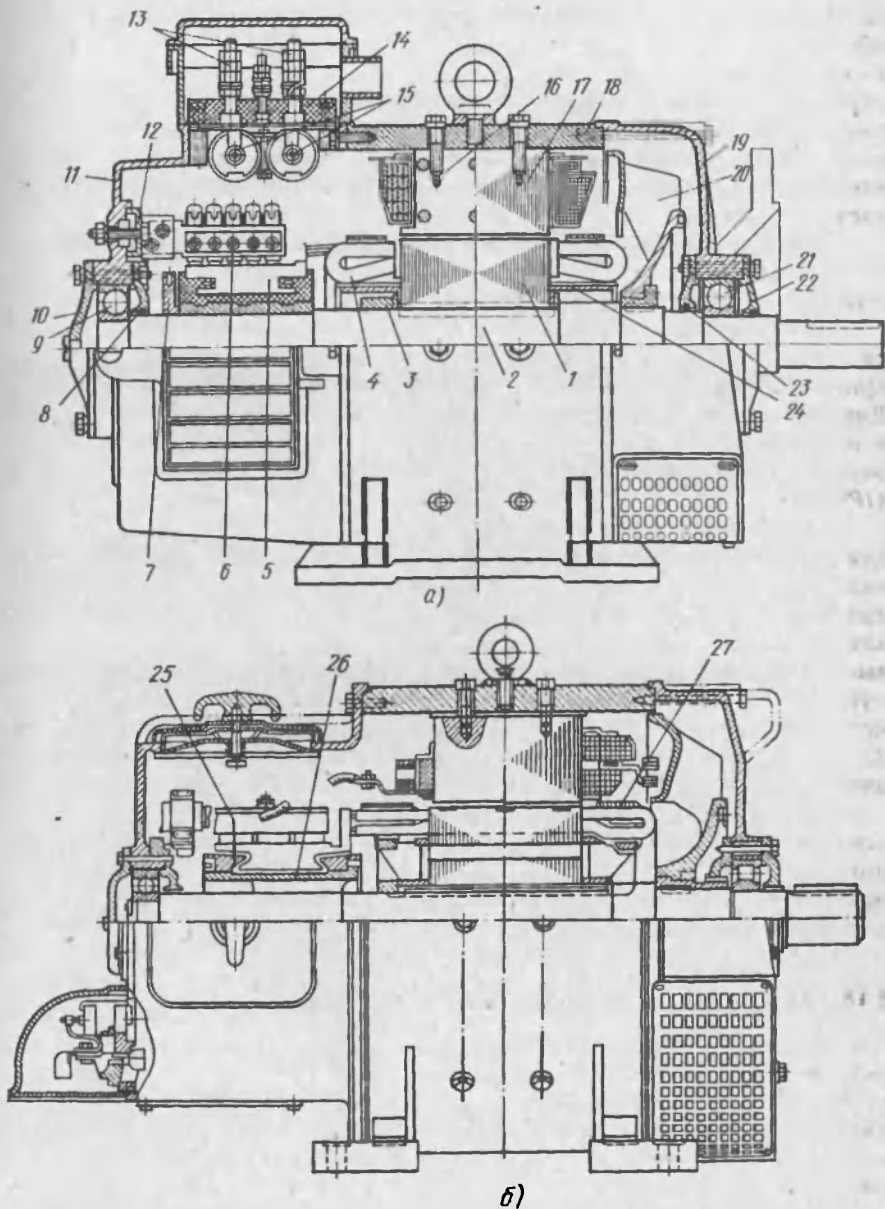


Рис. 34. Электрические машины постоянного тока П-41 (а) и П-91 (б):

1 — сердечник якоря, 2 — вал, 3 — зажимная шайба, 4 — обмотка якоря, 5 — коллектор, 6 — траверса щеткодержателя, 7 — стальной диск балансировки якоря, 8, 23 — внутренние крышки шарикоподшипников, 9, 21 — шарикоподшипники, 10, 22 — наружные крышки шарикоподшипников, 11, 19 — передний и задний подшипниковые щиты, 12 — поворотная траверса, 13 — выводные зажимы, 14 — доска зажимов, 15 — конденсаторы помехоподавляющего устройства, 16, 17 — добавочный и главный полюса, 18 — станина, 20 — вентилятор, 24 — обмоткодержатель, 25 — нажимной конус, 26 — втулка, 27 — проволоочный бандаж



ными полюсами, а их обмотки соединены последовательно с обмоткой якоря 4.

Якорь машины состоит из сердечника, обмотки, вала и коллектора. Сердечник 1 набран из листов электротехнической стали и спрессован двумя нажимными шайбами, из которых шайба на стороне привода упирается в выступ (ступень) вала 2, а со стороны коллектора 5 запирается стальной зажимной шайбой 3. Обмотка якоря 4 уложена в полузакрытые пазы сердечника, насаженного на вал 2 якоря, и удерживается в них клиньями, а в лобовых частях — бандажами из стальной проволоки или нетканой стеклоленты, пропитанной эпоксидным компаундом. Лобовые части якорной обмотки опираются на отвороты шайбы 3 и обмоткодержатель 24. Концы обмотки якоря присоединены к коллектору 5.

Коллектор 5 состоит из изолированных друг от друга медных пластин (ламель) трапецеидального сечения. Внутренняя часть коллекторных пластин имеет вырезы в форме «ласточкина хвоста». Коллекторные пластины машины запрессованы в пластмассе. Внутри коллектора имеется стальная втулка для насадки его на вал якоря. Над коллектором расположена траверса 6 щеткодержателей, прикрепленная болтами к переднему подшипниковому щиту 11, имеющему отверстия овальной формы, которые позволяют перемещать траверсу по окружности и устанавливать щетки по нейтрали машины.

Якорь вращается в широкоподшипниках 9 и 21, наружные кольца которых вставлены в отверстия подшипниковых щитов 11 и 19. Подшипники закрыты изнутри крышками 8 и 23, а снаружи крышками 10 и 22. Балансировку якоря осуществляют приваркой к стальному диску 7 (в соответствующих точках) балансировочных грузов. Таким образом регулируют равномерное распределение массы якоря по его окружности. Число, масса грузов и их расположение на дисках зависят от расположения и величины дисбаланса. Сторона якоря, где расположен вентилятор, также балансируется.

При работе электрических машин возникают электромагнитные колебания, создающие помехи радиоприему. Для подавления этих помех электрическая машина снабжена специальным помехоподавляющим устройством, состоящим из конденсаторов 15, расположенных под доской 14, и зажимов 13.

Система вентиляции машины — аксиальная и осуществляется воздухом, засасываемым вентилятором 20 через жалюзи переднего подшипникового щита 11 и выбрасываемым через решетки заднего подшипникового щита 19. К станине машины приварены лапы, которыми с помощью болтов она крепится к раме или фундаменту.

Устройство машины П-41 характерно для машин постоянного тока единой серии П с 1-го по 6-й габариты. Машины постоянного тока этой серии больших габаритов несколько отличаются по своей конструкции от машины, показанной на рис. 34, а. Например, в машине П-91 9-го габарита (рис. 34, б) сердечник якоря имеет открытые пазы, в которые вложены жесткие катушки обмотки, и горизонтальные сквозные вентиляционные каналы, улучшающие ус-

ловия охлаждения сердечника и обмотки якоря. Нажимные шайбы, прессующие листы сердечника якоря, отлиты из чугуна в виде трех колец, соединенных ребрами.

Коллектор имеет чугунную втулку 26, опирающуюся на вал тремя ребрами. Стальные нажимные конусы 25 коллектора изолированы от пластин горячепрессованными манжетами из миканита.

Обмотка имеет гнутые головки только на стороне свободного конца вала, так как выполнена из одновитковых катушек. Лобовые и пазовые части обмотки якоря удерживаются бандажами 27, намотанными из стальной проволоки. На добавочные полюса надеются катушки, которые удерживаются на них штампованной рамкой. Катушки намотаны медными шинами прямоугольного сечения.

Ротор вращается в подшипниках качения: в шариковом — на стороне коллектора и роликовым — на стороне свободного конца вала. Станина машины П-91 — сварная гнутая из листовой стали с приваренными к ней лапами для установки и крепления болтами на фундаменте или раме.

## § 19. Неисправности электрических машин

Электрические машины повреждаются чаще всего из-за нарушения сроков очередного текущего или капитального ремонта, плохого обслуживания или нарушения режима работы, на который они рассчитаны. Повреждения электрических машин бывают механические и электрические.

К механическим повреждениям относятся: выплавка баббита в подшипниках скольжения; разрушение сепаратора, кольца, шарика или ролика в подшипниках качения; деформация вала ротора (якоря); образование глубоких выработок (дорожек) на поверхности коллекторов; ослабление крепления полюсов или сердечника статора к станине, прессошки сердечника ротора (якоря); разрыв или сползание проволочных бандажей роторов (якорей) и др.

Электрическими повреждениями принято называть: пробой изоляции на корпус; обрыв проводников в обмотке; замыкание между витками обмотки; нарушение контактов и разрушение соединений, выполненных пайкой или сваркой; недопустимое снижение сопротивления изоляции вследствие ее старения, разрушения или увлажнения и др.

Электромонтер-ремонтник должен хорошо знать характерные признаки, а также способы выявления и устранения различных повреждений и неисправностей, возникающих в электрических машинах. Краткий перечень наиболее часто встречающихся неисправностей и возможных причин их возникновения в электрических машинах приведен в табл. I.

Неисправности и повреждения электрических машин не всегда удастся обнаружить внешним осмотром, так как некоторые из них (витковые замыкания в обмотках статоров, обрыв стержней в короткозамкнутых роторах, пробой изоляции на корпус, замыкания пластин коллектора, нарушение пайки в обмотках и др.) носят скрытый

Т а б л и ц а 1. Неисправности электрических машин и возможные причины их возникновения

Признаки неисправности	Возможные причины
<p><b>Двигатели с короткозамкнутым ротором</b>                      Электродвигатель не развивает номинальной частоты вращения и гудит</p>	<p>Одностороннее притяжение ротора вследствие износа подшипников, перекоса подшипниковых щитов или изгиба вала                      Оборваны один или несколько стержней обмотки ротора</p>
<p>Электродвигатель гудит, ротор вращается медленно, ток во всех трех фазах различен и даже на холостом ходу превышает номинальный</p>	<p>Неправильно соединены начало и конец фазы обмотки статора (фаза «перевернута»)                      Обрыв в фазе обмотки статора</p>
<p>Ротор не вращается или вращается медленно, двигатель сильно гудит и нагревается</p>	<p>Витковое замыкание в обмотке статора                      Ухудшение условий вентиляции вследствие загрязнения вентиляционных каналов</p>
<p>Электродвигатель перегревается при номинальных нагрузках</p>	<p>Изоляция обмотки увлажнена или сильно загрязнена                      Старение или повреждение изоляции                      Нарушена соосность валов                      Неуравновешены ротор, полумуфты или шкив                      Короткое замыкание в обмотке статора электродвигателя</p>
<p>Недопустимо низкое сопротивление изоляции обмотки статора электродвигателя</p>	
<p>Электродвигатель вибрирует во время работы и после отключения при частоте вращения ротора, близкой к номинальной                      Электродвигатель сильно вибрирует, но вибрация прекращается после отключения его от сети, двигатель сильно гудит, ток в фазах неодинаков, один из участков обмотки статора быстро нагревается</p>	
<p><b>Двигатели с фазным ротором</b></p>	
<p>Электродвигатель не развивает номинальной частоты вращения</p>	<p>Одностороннее притяжение ротора вследствие износа подшипников, перекоса подшипниковых щитов или изгиба вала</p>
	<p>Нарушен контакт в двух или трех фазах пускового реостата</p>
	<p>Нарушена электрическая цепь между пусковым реостатом и обмоткой ротора электродвигателя</p>
<p>У электродвигателя медленно увеличивается частота вращения. Ротор электродвигателя сильно нагревается даже при небольшой нагрузке</p>	<p>Часть обмотки ротора замкнута на заземленный корпус электродвигателя                      Нарушена изоляция между контактными кольцами и валом ротора</p>
<p>Электродвигатель не развивает частоты вращения под нагрузкой, гудит, ток статора «пульсирует»</p>	<p>Нарушен контакт в местах пайки обмотки ротора, в соединениях ее с контактными кольцами или в соединительных проводах</p>
<p>Повышенное искрение между щетками и контактными кольцами</p>	<p>Плюхо притерты или загрязнены щетки                      Щетки заедает в обоймах щеткодержателей</p>
	<p>Недостаточное нажатие щеток на контактные кольца</p>
<p>Образование пятен на поверхности контактных колец резервных двигателя</p>	<p>Нарушен контакт в цепи щеток                      Электрохимическое взаимодействие между щеткой и кольцом, обусловленное влажностью воздуха, а также материала-</p>

Признаки неисправности	Возможные причины
<p>Машины постоянного тока Искрообразование под щетками</p>	<p>ми щетки и контактного кольца, образующих «гальваническую пару»</p>
<p>Недопустимое искрение, сопровождающееся треском с проскакиванием искр из-под щеток, образование на коллекторе подгара (почернения)</p>	<p>Перекас щеткодержателей Неполное прилегание поверхностей щеток к коллектору Велико давление пружины на щетку Смещение щеток с нейтрали Неправильное положение щеток относительно нейтрали, выступают отдельные пластины коллектора Биение коллектора в результате эксцентричности</p>
<p>Пробой изоляции электромагнитной системы машины на корпус Замыкание пластин коллектора</p>	<p>Миканитовая изоляция выступает из коллектора Механическое повреждение или старение изоляции катушек</p>
<p>Уменьшение зазоров между якорем и полюсами</p>	<p>Образование электрического соединения пластин коллектора вследствие замыкания медной пылью или заусенцами медных пластин — Проседание вала якоря в результате износа подшипников скольжения или прогиба вала</p>
<p>Якорь машины не вращается</p>	<p>Неправильное включение реостата в цепь машины с параллельным возбуждением, вследствие чего снижено напряжение, подводимое к обмотке возбуждения машины</p>

характер и могут быть обнаружены только после соответствующих испытаний.

В число предремонтных операций по выявлению неисправностей электрических машин входят: измерение сопротивления изоляции обмоток (с целью определения степени ее увлажнения); испытание электрической прочности изоляции; проверка на холостом ходу машины целостности подшипников, величины осевого разбега ротора (якоря), вибрации; правильности прилегания (притертости) щеток к коллектору и контактными кольцам; определение зазоров между вращающимися и неподвижными частями электрической машины, а также проверка состояния крепежных деталей, плотности посадки подшипниковых щитов на заточках станины и отсутствия повреждений (трещин, сколов и др.) у отдельных частей и деталей машины.

Работа по предремонтному выявлению неисправностей и повреждений электрических машин называется *дефектацией*. Дефектацию производят внешним осмотром при частичной или полной разборке электрической машины.

Дефектация, произведенная внешним осмотром и испытаниями электрической машины, не всегда позволяет выявить и точно определить характер и размеры ее повреждений, вследствие чего нель-

зя определить и объем предстоящих ремонтных работ. Наиболее полное представление о состоянии и требуемом ремонте электрической машины дает дефектация, производимая после ее разборки.

О всех обнаруженных после разборки электрической машины неисправностях и повреждениях делают соответствующие записи в дефектационной карте, на основании которых составляют маршрутную карту ремонта с указанием работ, подлежащих выполнению по каждой ремонтной единице или по отдельным частям ремонтируемой машины.

В состав основных работ по ремонту электрических машин входят разборка, ремонт обмоток, ремонт механической части, сборка и испытания отремонтированных машин.

## § 20. Разборка электрических машин

В ремонт поступают электрические машины отечественного производства и иностранных марок, различающиеся по мощности, исполнению и конструкции.

Порядок разборки каждой ремонтируемой электрической машины определяется ее конструкцией и необходимостью сохранения имеющихся исправных частей, а степень разборки — полнотой и характером предстоящего ремонта. Если предварительные осмотр и испытания позволяют судить о характере предстоящего ремонта электрической машины, необходимо до начала ее разборки проверить наличие требуемых для ремонта материалов, изделий и запасных частей соответствующих размеров, марок и характеристик.

В настоящем разделе приводятся описания последовательности и способов выполнения основных операций разборки асинхронных электродвигателей, машин постоянного тока и синхронных машин единых серий наиболее распространенных конструкций. Способы их разборки практически применимы к большинству электрических машин как выпускаемых в настоящее время, так и выпускавшихся ранее.

Разборка большинства электрических машин начинается с удаления полумуфты с вала с помощью ручного (с регулируемым раскрытием тяг) или гидравлического съемника.

Съемник с регулируемым раскрытием тяг (рис. 35, а) применяют для стаскивания с вала (демонтажа) полумуфт различных диаметров. Раскрытие и фиксирование тяг (в соответствии с диаметрами снимаемых полумуфт) производят регулировочной гайкой 2, накрученной на резьбу винта 1. Тяговое усилие, создаваемое ручным съемником, составляет 25—30 кН. Стаскивание полумуфт ручным съемником является трудоемкой операцией, требующей больших физических усилий, поэтому для демонтажа полумуфт, не поддающихся стаскиванию ручным съемником, а также полумуфт крупных машин применяют гидравлический съемник.

Гидравлический съемник (рис. 35, б) представляет собой установленную на колесах площадку 4 с двумя стойками 5, на которых вертикально перемещается гидравлический плунжерный насос 8. Что-

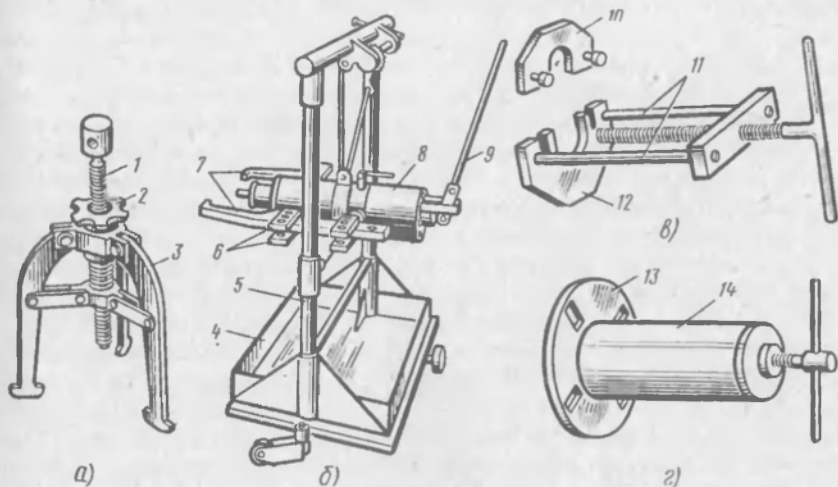


Рис. 35. Съемники для стаскивания (распрессовки) полумуфт и подшипников качения с валов электрических машин:

*а* — винтовой съемник с регулируемым раскрытием тяг, *б* — гидравлический съемник, *в* — съемник для стаскивания подшипников качения захватом за подшипник, *г* — съемник для стаскивания подшипников качения захватом за крышки или капсулы подшипника; 1 — червячный винт с головкой, 2 — регулировочная гайка, 3 — тяги (захваты), 4 — площадка, 5 — стойка, 6 — траверсы, 7 — захваты, 8 — плунжерный насос, 9 — рукоятка штока насоса, 10 — пластинка со штифтами, 11 — шпильки, 12 — плита, 13 — диск, 14 — корпус съемника

бы снять полумуфту, устанавливают и укрепляют болтами на корпусе насоса траверсы 6, между которыми также болтами закрепляют захваты 7. Расстояние между захватами определяется диаметром стаскиваемой полумуфты.

Для предотвращения падения снятой с вала полумуфты ее до начала операций демонтажа подвешивают стропом на крюк тали или тельфера. Высоту подъема насоса регулируют так, чтобы центр упора совпадал с центром вала машины, а захваты прочно зацеплялись полумуфту по горизонтали, проходящей через центр вала. После этого приводят в движение рукоятку 9 плунжерного насоса, создавая необходимое давление масла в его корпусе. Под давлением масла главный и боковые плунжеры съемника приходят в движение, при этом усилием боковых плунжеров обеспечивается надежный захват полумуфты, а усилием главного плунжера полумуфта легко стаскивается с вала электрической машины. Применение гидравлического съемника позволяет выполнять операции демонтажа полумуфт в 5—6 раз быстрее, чем это делают вручную винтовым съемником. Закончив демонтаж полумуфты, переходят к разборке электрической машины.

При разборке асинхронных электрических машин единой серии А снимают кожух 19 (см. рис. 33, *а*) наружного вентилятора 20, затем вентилятор, отвертывают болты, крепящие подшипниковые щи-

ты 8 и 21 к станине 10, а также болты, крепящие крышки 5 и 6 подшипника 4 заднего щита 8. Далее снимают задний подшипниковый щит 8, отделяя его от станины 10 легкими ударами молотка по щиту через деревянную или алюминиевую надставку. Во фланцах подшипниковых щитов машин в двух диаметрально противоположных точках имеются разъемные отверстия для так называемых отжимных болтов. Вставив в эти отверстия болты, крепившие щит к станине, медленно и равномерно ввертывая их по резьбе, отделяют щит от станины. После этого готовят вывод ротора из расточки статора, для чего легкими ударами молотка через надставку по торцу вала 3 подают ротор в сторону переднего подшипникового щита 21, отделяют щит от станины и выводят ротор из статора. Для этого пользуются специальными приспособлениями, простейшими из которых являются удлинительные трубы, надеваемые на концы вала ротора, которые предварительно обертывают двумя-тремя слоями картона, чтобы защитить шлифованные поверхности шеек вала от механических повреждений. Далее снимают передний щит с подшипника, насаженного на вал ротора, предварительно отвернув болты, крепящие подшипниковые крышки.

При разборке асинхронной машины с фазным ротором сначала снимают кожух контактных колец, а затем удаляют щетки и выпрессовывают подшипники с вала, пользуясь специальными съемниками с захватом за подшипник (рис 35, в) или за крышку подшипника (рис. 35, г).

При разборке электрических машин постоянного тока серии П (см. рис. 34) сначала снимают крышки с коробки зажимов 13 и с боковых сторон переднего подшипникового щита 11, разъединяют проводники, соединяющие щеткодержатели с катушкой добавочного полюса 16, и отсоединяют провода, соединяющие щеткодержатели с контактом в коробке зажимов, а затем вынимают щетки из гнезд щеткодержателей.

Для защиты коллектора от механических повреждений его обматывают листом картона, закрепляемым на коллекторе двумя бандажами из хлопчатобумажной ленты или шпагата. После этого отвертывают болты, крепящие подшипниковые щиты 11 и 19 к станине 18, ввертывают отжимные болты в имеющиеся для них отверстия в подшипниковых щитах и выводят бортики щитов из расточек станины, одновременно придерживая якорь за конец вала, чтобы предотвратить удар якоря о нижний полюс машины. Далее сдвигают подшипниковые щиты 11 и 19 с шарикоподшипников 9 и 21, выдвигают якорь из станины в сторону свободного конца вала 2 и вынимают его из станины.

Для того чтобы отремонтировать обмотки 4 якоря, сначала снимают винтовым съемником шарикоподшипник 21, а затем внутреннюю крышку 23 подшипника. Далее, вернув в стальную втулку вентилятора 20 шпильки съемника, снимают вентилятор и таким образом получают доступ к обмотке якоря.

Чтобы заменить конденсаторы 15 помехоподавляющего устройства машины, снимают крышку коробки зажимов 13 и, отвернув

болты крепления доски 14 к подшипниковому щиту 11, вынимают ее из коробки вместе с конденсаторами.

При разборке синхронных электрических машин (рис. 36) сначала разъединяют провода, соединяющие возбудитель со щеточным аппаратом, отвертывают гайку стопорного винта, скрепляющую подшипниковый щит с капсулой роликового подшипника 15 и вывертывают стопорный винт на три-четыре оборота. Затем отвертывают болты, крепящие подшипниковый щит к станине 8, выводят отжимными болтами задний подшипниковый щит 11 из расточки станины и снимают его с капсулы подшипника. После этого отвертывают болты, крепящие подшипниковый щит 7 к станине 8, и выводят его из расточки станины отжимными болтами, а затем опускают ротор на статор, предварительно положив под опускаемый ротор лист картона.

Далее сдвигают подшипниковый щит 7 вместе со станиной 1 возбудителя с капсулы подшипника 6 и выводят ротор синхронной машины вместе с якорем возбудителя из статора машины в сторону вентилятора 13.

В случае необходимости съема вентилятора отмечают его положение по отношению к втулке, чтобы при сборке установить на прежнее место и таким образом не нарушить балансировку ротора, а затем отвертывают болты, крепящие вентилятор к втулке, и снимают вентилятор. Чтобы снять втулку вентилятора, ее положение

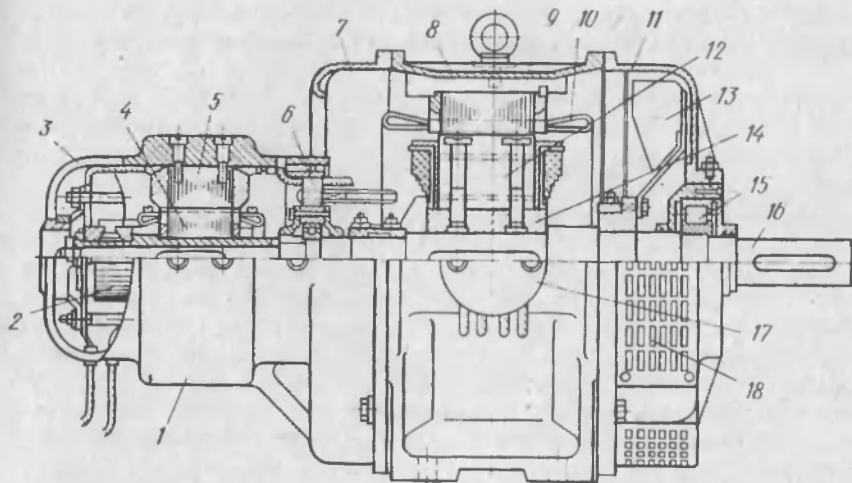


Рис. 36. Синхронная электрическая машина с машинным возбудителем:

1 — станина возбудителя, 2 — коллектор возбудителя, 3 — подшипниковый щит возбудителя, 4 — якорь возбудителя, 5 — полюс возбудителя с обмоткой, 6, 15 — шариковый и роликовый подшипники, 7, 11 — передний и задний подшипниковые щиты синхронной машины, 8 — станина синхронной машины, 9 — сердечник статора машины, 10 — обмотка статора машины, 12 — полюс ротора с обмоткой, 13 — вентилятор, 14 — втулка, 16 — вал ротора, 17 — коробка выводных зажимов, 18 — сетка на вентиляционном окне подшипникового щита



на валу также отмечают, а затем, отвернув стопорный болт, стаскивают с вала винтовым съемником.

При замене переднего подшипника 6 синхронной машины с вала 16 снимают якорь 4 возбuditеля с коллектором 2, захватывая его за вырезы в торце втулки, отвернув предварительно гайку на конце вала. Далее вывертывают винты, скрепляющие крышки шарикоподшипника с капсулой, и снимают капсулу вместе с наружной крышкой подшипника. После этого удаляют с вала контактные кольца и стаскивают подшипник.

При разборке явнополюсного ротора синхронной машины сначала снимают соединения между катушками полюсов и отвертывают винты крепления полюсов к втулке, а затем снимают полюса вместе с катушками. До начала разборки ротора рекомендуется пронумеровать полюса и отмечать на втулке места их крепления, чтобы не нарушить балансировку ротора.

Нередко при ремонте синхронных машин возникает необходимость разборки и ремонта полюсной системы возбuditеля. Чтобы снять полюса возбuditеля, отвертывают винты, крепящие полюса 5 к станине 1, а затем, сняв катушки, вынимают из станины траверсу с щеткодержателями, предварительно отметив ее положение в станине, так как сдвиг траверсы с первоначального положения при сборке вызовет сильное искрение под щетками у работающего возбuditеля. Разборку электрической машины нужно производить так, чтобы исключить возможность повреждения исправных обмоток, коллектора, щеточного аппарата, вентилятора и др. Все исправные детали разобранных электрических машин должны быть сохранены для повторного их использования.

При поступлении в ремонт электрической машины с поврежденными обмотками их демонтаж производят после разборки машины, применяя специальные приспособления и станки. При разборке машины должны быть учтены возможность восстановления и повторного использования проводов поврежденной обмотки.

Поврежденные обмотки статоров, роторов и якорей электрических машин удаляют беспламенным выжиганием изоляции в специальных печах при 350—400°C и последующим извлечением проводов или стержней из пазов сердечников или разрезанием лобовых частей обмотки с одной стороны и извлечением ее по частям с противоположной стороны с помощью приспособлений для выдергивания обмоток. Этот способ не применим к стержневым обмоткам, а также к обмоткам, провода которых могут быть использованы повторно.

Если дефектацию производят после разборки электрических машин иностранных фирм или старых конструкций, в дефектационную карту записывают данные, которые могут потребоваться при восстановлении обмоток или других деталей машины. К таким данным относятся сведения о числе и размерах проводов обмотки в пазу, схемах соединений и вылете лобовых частей обмотки, зазорах между ротором и статором (между якорем и полюсами) и др. При этом снимают также эскизы, так как сведения, необ-

ходимые для ремонта машин иностранных фирм и старых конструкций могут отсутствовать в типовых альбомах\*.

Участок разборки электроремонтного цеха должен располагать подъемно-транспортными средствами (краны, тельферы, электрокары, тележки, строповые устройства и др.), приспособлениями для распрессовки деталей, демонтажа обмоток и вывода роторов (якорей) из станины, электрифицированными инструментами, автогенным аппаратом, ванной для мойки деталей, а также наборами гаечных ключей, напильников и других инструментов.

## § 21. Основные сведения об обмотках

Обмотка электрической машины образуется из вложенных в ее пазы систем проводников, соединенных между собой по определенной схеме. Она состоит из витков, катушек и катушечных групп.

*Виток* — это два последовательно соединенных между собой активных проводника, уложенных в два паза, в которых индуктируется ЭДС. Необходимое (общее) число витков обмотки определяется номинальным напряжением машины, а площадь сечения проводников — током машины. Виток может состоять из нескольких параллельных проводников.

*Катушка* — это несколько витков, уложенных соответствующими сторонами в два паза и соединенных между собой последовательно. Части катушки, лежащие в пазах сердечника, называются пазовыми или активными частями, а расположенные вне пазов — лобовыми частями катушки.

*Катушечная группа* — это несколько последовательно соединенных катушек одной фазы, расположенных в соседних пазах.

*Обмотка* — это несколько катушечных групп, уложенных в пазы и соединенных по определенной схеме.

*Полюсное деление*  $\tau$  — это число пазов  $z$ , приходящихся на полюс  $p$ , т. е.  $\tau \sim z/2p$ . Полюсное деление представляет также длину части окружности (дуги) расточки статора, приходящуюся на один полюс, т. е.  $\tau \approx (\pi D)/2p$ . В двухполюсных электрических машинах полюсные деления равны 180 электрическим градусам, в четырехполюсных — 90, в шестиполюсных — 60 и т. д.

Для того чтобы в обмотке машины образовалось требуемое число пар полюсов  $p$ , необходимо соединить витки и катушки так, чтобы были выдержаны определенные расстояния — шаги у между сторонами витков катушек, между самими катушками или их группами.

*Шаг катушки*  $y$  — это число пазовых делений, заключенных между центрами пазов, в которые укладываются стороны витка или катушки. Шаг катушки может быть диаметральной или укороченным.

---

\* Типовыми альбомами называют сброшюрованные стандартные листы, содержащие сведения о конструкциях и технические данные электрических машин определенных типов.

Диаметральным называют шаг катушки (обмотки), равный полюсному делению, т. е.  $y = z/2p$ , а укороченным — шаг катушки (обмотки), несколько меньший диаметрального.

Одним из показателей, характеризующих обмотку электрической машины переменного тока, служит число пазов на полюс и фазу  $q$ . Это число показывает, сколько катушечных сторон каждой фазы приходится на один полюс обмотки. Поскольку катушечные стороны одной фазы, лежащие под двумя соседними полюсами обмотки, образуют катушечную группу, то число  $q$  показывает количество катушек, из которых состоят катушечные группы данной обмотки. При числе фаз  $m$   $q = z/(2pm)$ . Для трехфазной обмотки  $q = z/(3 \cdot 2p) = z/6p$ .

Обмотки электрических машин подразделяют на петлевые, волновые и комбинированные.

Петлевые обмотки наиболее распространены и применяются преимущественно в качестве статорных обмоток, а волновые — в качестве обмоток фазных роторов асинхронных машин. Комбинированные («лягушачьи») обмотки состоят из элементов петлевых и волновых обмоток и применяются чаще всего в качестве обмоток якорей электрических машин постоянного тока.

По способу заполнения пазов обмотки электрических машин могут быть как однослойными, так и двухслойными. При однослойной обмотке сторона катушки занимает весь паз по его высоте, а при двухслойной — только половину паза; другую половину этого паза заполняет соответствующая сторона другой катушки.

Способы укладки обмотки в пазы зависят от формы пазов. Пазы статоров, роторов и якорей электрических машин могут быть следующих типов:

закрытый паз, в который провода катушки вводят с торца сердечника;

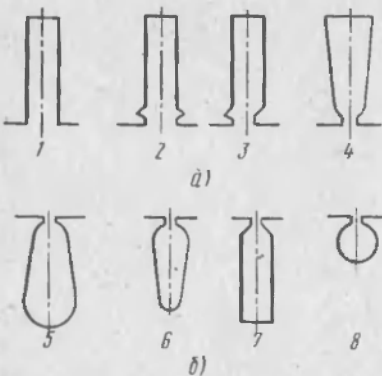


Рис. 37. Наиболее распространенные типы и формы пазов электрических машин:

*a* — статоров, *б* — роторов и якорей;  
1 — открытый, 2—5 — полукрытые,  
6—8 — полузакрытые

полузакрытый паз, в который провода катушки вкладывают через узкую прорезь паза;

полукрытый паз, в который вкладывают жесткие катушки, разделенные в каждом слое на две;

открытый паз, в который вкладывают жесткие катушки и удерживают в нем клиньями из дерева или из различных изоляционных материалов.

Различные типы и формы пазов электрических машин показаны на рис. 37.

Обмотки электрических машин выполняют, руководствуясь чертежом, на котором схема обмотки показана условно и представляет собой графическое изображение развертки окружности статора, ротора или якоря. Такую схему называют *развернутой*.

Развернутые схемы можно применять для изображения обмоток электрических машин всех видов как постоянного, так и переменного тока, однако в ремонтной практике для двухслойных обмоток статоров электрических машин переменного тока в последнее время применяются преимущественно упрощенные торцевые или круговые схемы, которые отличаются простотой исполнения и большей наглядностью.

На рис. 38, а в качестве примера приведена торцевая схема двухслойной обмотки статора четырехполюсной машины, а на рис. 38, б соответствующая ей развернутая схема.

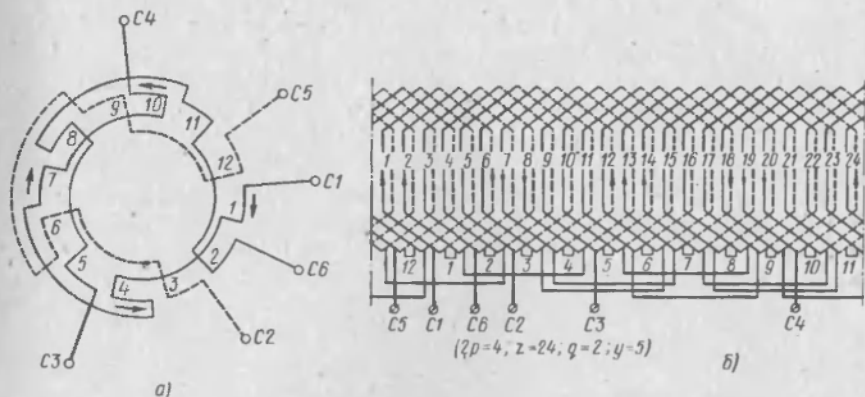


Рис. 38. Схемы двухслойной трехфазной обмотки:

а — торцевая, б — развернутая

Схемы обмоток обычно изображаются в одной проекции. Чтобы легко было различать расположение катушек в пазах сердечника в схемах двухслойных обмоток, стороны катушек в пазовой части изображают двумя рядом расположенными линиями — сплошной и пунктирной (штриховой): сплошная линия обозначает сторону катушки, уложенную в верхнюю часть паза, а пунктирная — нижнюю сторону катушки, уложенную на дно паза. В разрывах вертикальных линий указывают номера пазов сердечника. Нижний и верхний слои лобовых частей изображают соответственно пунктирными и сплошными линиями.

Стрелки на элементах обмотки, поставленные на некоторых схемах, показывают направление ЭДС или токов в соответствующих элементах обмотки в определенный (один и тот же для всех фаз обмотки) момент времени.

Начала и концы фаз обмотки статора обозначают следующим образом: начало первой фазы — C1, второй фазы — C2, третьей фазы — C3; конец первой фазы — C4, второй фазы — C5, третьей фазы — C6.

В схеме указывается вид обмотки, а также даются определяющие ее параметры;  $z$  — число пазов;  $2p$  — число полюсов;  $y$  — шаг обмотки по пазам;  $a$  — число параллельных ветвей в фазе;  $m$  — число фаз; Y (звезда) или  $\Delta$  (треугольник) — способы соединения фаз.

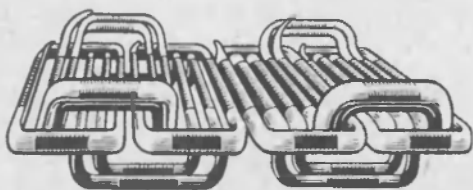


Рис. 39. Вариант расположения лобовых частей однослойной обмотки

## § 22. Схемы и конструкции обмоток электрических машин

**Обмотки статоров.** Существует множество различных схем и конструкций обмоток статоров, поэтому ниже рассматриваются только некоторые из них, главным образом полу-

чившие наиболее широкое применение в электрических машинах, выпускавшихся в прошлом и выпускаемых в настоящее время.

Обмотки статоров электрических машин могут быть однослойными или двухслойными.

Однослойные обмотки статоров встречаются в электрических машинах как старых, так и новых конструкций. Общее число катушек однослойной обмотки равно половинному числу пазов статора, так как катушечная сторона занимает весь паз, а следовательно, катушка — два паза.

Однослойные катушки имеют разные формы, а лобовые части катушек одной катушечной группы имеют одинаковую форму, но разные размеры. Для того чтобы уложить обмотку в пазы сердечника статора, лобовые части катушек приходится располагать по окружности статора в два или три ряда (рис. 39).

Из применяемых в настоящее время однослойных обмоток наиболее распространенными являются концентрические двух- и трехплоскостные обмотки. Концентрическими эти обмотки называются из-за концентрического расположения катушек катушечной группы, а двух- и трехплоскостными — из-за способа расположения лобовых частей обмотки в двух или трех уровнях.

Схема трехфазной однослойной концентрической двухплоскостной обмотки статора показана на рис. 40, а. В схеме обмотки на линиях пазов имеются стрелки, указывающие направления ЭДС и токов в каждом пазу в зависимости от расположения его под полюсами в магнитном поле обмотки в определенный момент времени. В однослойной обмотке число катушечных групп всей обмотки равно  $3p$  ( $p$  групп в каждой фазе).

При четном числе пар полюсов статора ( $2p = 4, 8, 12$  и т. д.) число катушечных групп будет также четным и их можно разделить поровну на два вида: малые катушечные группы — с расположением лобовых частей в первой плоскости; большие катушечные группы — с расположением лобовых частей во второй плоскости. В этом случае вся двухплоскостная обмотка может быть распределена на три фазы с равным числом малых и больших катушечных групп в каждой фазе. Если же число пар полюсов статора нечетное ( $2p = 6, 10, 14$  и т. д.), двухплоскостная однослойная обмотка не может быть распределена по фазам с одинаковым числом больших и малых катушечных групп. Одна из катушечных групп получается с перекошенными лобовыми

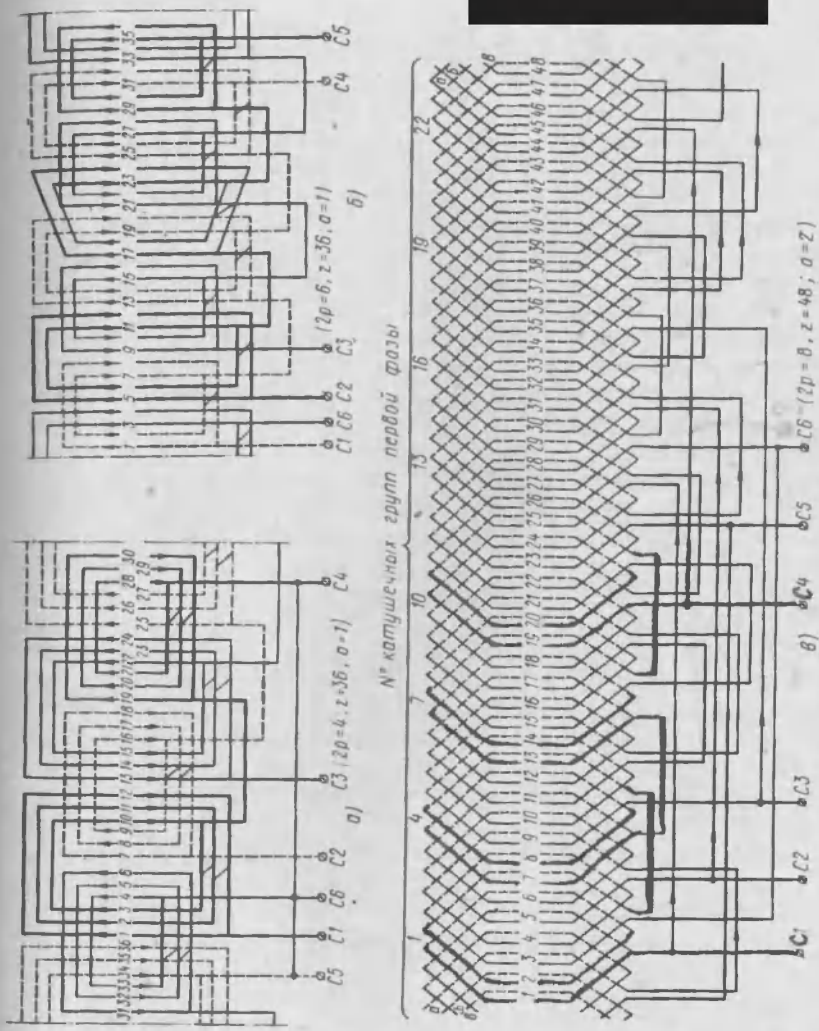


Рис. 40. Схемы обмоток статоров электрических машин:  
 а — однослойной концентрической двухслойной, б — однослойной двухслойной с переходной катушечной группой, в — двухслойной петлевой

частями, так как половина этой группы располагаются в разных плоскостях. Такую катушечную группу называют *переходной*.

Схема однослойной двухплоскостной обмотки статора шестиполюсной машины с переходной катушечной группой приведена на рис. 40, б. Изготовление однослойных обмоток с мягкими катушками из круглых проводов и с переходными лобовыми частями технологически несложно. Намотка жестких катушек однослойной обмотки из проводов прямоугольного сечения связана с рядом трудностей, вызванных необходимостью применения специальных шаблонов, и сложностью формовки лобовых частей катушек переходной группы. Если такую обмотку применяют в роторе, то вследствие неодинаковой массы (неуравновешенности) лобовых частей обмотки затрудняется балансировка ротора, а наличие дисбаланса вызывает вибрацию машины.

При образовании параллельных ветвей в фазе и необходимости сохранения одинакового числа больших и малых катушечных групп применяют так называемую равнокатушечную обмотку, схема которой отличается от схемы, показанной на рис. 40, б тем, что все катушечные группы одинаковы, а их лобовые части в первой и второй плоскостях направлены в разные стороны.

С однослойными обмотками приходится наиболее часто встречаться в практике ремонта электрических машин, выпускавшихся до 1940 г. В современных электрических машинах переменного тока наряду с широко применяемыми однослойными обмотками применяют также двухслойные обмотки статоров. В двухслойной обмотке общее число катушек равно полному числу пазов сердечника статора, а общее число катушечных групп в фазе — числу полюсов машины. Двухслойные обмотки выполняют в одну или несколько параллельных ветвей.

На рис. 40, в показана примерная схема двухслойной петлевой обмотки, выполненная в две параллели ( $a = 2$ ), а катушки изображены как бы в одновитковом исполнении. В ней отсутствуют дополнительные межкатушечные переключки, так как межкатушечные соединения выполнены непосредственно лобовыми частями.

Все катушечные группы, входящие в какую-либо параллельную ветвь, сосредоточены на одной части окружности статора, поэтому такой способ образования параллельных ветвей называют сосредоточенным в отличие от распределенного способа, при котором все катушечные группы каждой параллельной ветви распределяются по всей окружности статора. Чтобы выполнить параллельное соединение распределенным способом, необходимо в первую параллельную ветвь первой фазы включить последовательно нечетные катушечные группы 1, 7, 13 и 19 схемы (см. рис. 40, в), а во вторую — четные катушечные группы 4, 10, 16 и 22 этой схемы.

Возможное число параллельных ветвей двухслойной петлевой обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу определяется соотношением числа пар полюсов к числу параллельных ветвей, равным целому числу ( $2p/a$  равно целому числу).

Основными преимуществами двухслойных обмоток по сравнению с однослойными являются возможность выбора любых укорочений шага обмотки, улучшающих характеристики электрической машины, и непрерывной изоляции катушек и стержней, вкладываемых в сердечник с открытыми пазами.

**Обмотки роторов.** Роторы асинхронных электрических машин выполняют с короткозамкнутой или фазной обмоткой.

Короткозамкнутые обмотки электрических машин старых конструкций выполнялись в виде «беличьей клетки», состоящей из медных стержней, концы которых были запаяны в отверстиях, высверленных в медных кольцах, замыкающих все стержни.

В современных асинхронных электрических машинах короткозамкнутая обмотка ротора образуется заливкой его пазов расплавом алюминия. При заливке ротора алюминием образуются не только стержни «беличьей клетки» в пазах и замыкающие кольца на торцах ротора, но одновременно отливаются также лопасти вентилятора на замыкающих кольцах. Этим способом изготавливают обмотки короткозамкнутых роторов подавляющего большинства современных асинхронных электродвигателей различных мощностей.

В асинхронных электродвигателях с фазным ротором применяют преимущественно двухслойные волновые или петлевые обмотки. Наибольшее распространение получили волновые обмотки, основное преимущество которых состоит в минимальном числе межгрупповых соединений.

Основным элементом волновой обмотки обычно является стержень. Двухслойную волновую обмотку выполняют вставляя с торца ротора в каждый его закрытый или полузакрытый паз по два стержня.

Схема волновой обмотки четырехполюсного ротора, имеющего 24 паза, показана на рис. 41, а. В каждый паз обмотки закладываются два стержня, причем стержни верхнего и нижнего слоев соединяются пайкой с применением хомутиков, надеваемых на концы стержней.

Шаг обмотки волнового типа равен числу пазов, разделенному на число полюсов. В схеме, показанной на рис. 41, а, шаг обмотки по пазам  $y = 24 : 4 = 6$ . Это означает, что верхний стержень пазы 1 соединяется с нижним стержнем пазы 7, который при шаге обмотки ( $y = 6$ ) в свою очередь соединяется с верхним стержнем пазы 13 и нижним 19. Для продолжения обмотки шагом, равным шести, надо соединить нижний стержень пазы 19 с верхним стержнем пазы 1, т. е. замкнуть обмотку, что недопустимо.

Чтобы избежать замыкания обмотки при подходе к пазу, с которого она начиналась, укорачивают или удлиняют шаг обмотки на один паз. В данном случае нижний стержень пазы 19 должен соединяться с верхним стержнем пазы 24. При втором обходе ротора рядом с первым верхний стержень пазы 24 соединяется с нижним стержнем пазы 6, который в свою очередь соединяется с верхним стержнем пазы 12, а паз 12 — со стержнем пазы 18. Волновые обмотки, выполненные с сокращением шага на один паз, называют



обмотками с укороченными переходами, а выполненные с увеличением шага на один паз — обмотками с удлиненными переходами.

На схеме обмотки число пазов на полюс и фазу равно двум, т. е.  $q_p = 24 / (4 \cdot 3) = 2$ , поэтому надо выполнить два обхода ротора. Для создания 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 — шаг обмотки со стороны выводов (контактных колец) и задний шаг — шаг обмотки со стороны, противоположной контактными кольцам.

Обход ротора в обратном направлении, в данном случае переход на задний шаг, достигается соединением нижнего стержня паза 18 с нижним стержнем, отстоящим от него на один шаг, т. е. со стержнем паза 24 (показана на схеме рис. 41, а в виде перемычки, обозначенной I—IV). Далее делается два обхода ротора, для чего нижний стержень паза 24 соединяется с верхним стержнем паза 18, который в свою очередь соединяется с нижним стержнем паза 12. Продолжая обход ротора задним шагом, нижний стержень паза 12 соединяют с верхним стержнем паза 6. Если сохранить принятый способ соединения стержней по шагу обмотки, то стержень паза 6 должен быть соединен с нижним стержнем паза 24, но так как этот

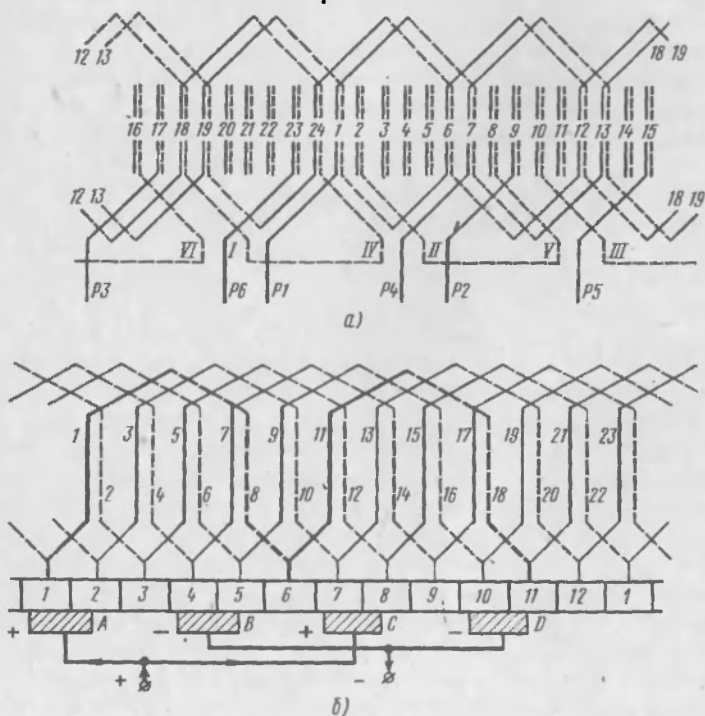


Рис. 41. Волновые обмотки:

а — ротора, б — якоря

паз уже занят, поэтому делается укороченный шаг и верхний стержень паза 6 соединяется с нижним стержнем не паза 24, а паза 1. Дальнейшие соединения производятся так. Нижний стержень паза 1 соединяют с верхним стержнем паза 19, который (как видно из схемы) соединяется с нижним стержнем паза 13, а последний в свою очередь — с верхним стержнем паза 7. Другой конец верхнего стержня паза 7 идет на вывод, составляя конец первой фазы.

Обмотки фазных роторов асинхронных двигателей соединяют преимущественно по схеме «в звезду» с выводом трех концов обмотки к контактному кольцам. Выводы концов обмотки ротора обозначаются: от первой фазы —  $P1$ ; от второй фазы —  $P2$  и от третьей фазы —  $P3$ , а концы фаз обмотки — соответственно  $P4$ ,  $P5$  и  $P6$ . Перемычки, соединяющие начала и концы фаз обмотки ротора, обозначаются римскими цифрами, например, в первой фазе перемычка, соединяющая начало  $P1$  и конец  $P4$ , обозначена цифрами I—IV,  $P2$  и  $P5$  — II—V,  $P3$ — $P6$  — III—VI.

Обмотки якорей. Простая волновая обмотка якоря (рис. 41,б) выполняется присоединением выводных концов секций к двум коллекторным пластинам, расстояние между которыми определяется двойным полюсным делением ( $2\tau$ ). При выполнении обмотки конец последней секции первого обхода соединяют с началом секции, соседней с той, от которой начат был обход, и так продолжают обходы по якорю и коллектору до тех пор, пока не будут заполнены все пазы и не замкнется обмотка.

В якорях электрических машин постоянного тока применяют сложные волновые обмотки, образуемые простыми волновыми обмотками, соединенными параллельными проводниками.

### § 23. Материалы, применяемые при изготовлении обмоток электрических машин

Изготовление обмоток при ремонте электрических машин связано с необходимостью применения разнообразных электротехнических материалов большой номенклатуры, различных свойств и назначений. Эти материалы могут быть разделены на три основные группы. Одну из этих групп составляют проводниковые материалы, другую — электроизоляционные, а третью — припои.

Проводниковые материалы. В группу проводниковых материалов входят обмоточные провода, которые изготовляют из электролитической отожженной красной меди ММ (медная мягкая) и МТ (медная твердая).

Медные обмоточные провода изолируют лаками, хлопчатобумажной пряжей, стекловолокном, дельта-асбестом и др. В ряде проводов применяют сочетания различных видов изоляционных и защитных покрытий.

Для изготовления обмоток большинства электрических машин общепромышленного назначения чаще всего применяют медные обмоточные провода с эмалевой изоляцией: АЭЛ, эмалированные лаком на масляной основе; ПБ, изолированные несколькими слоя-

ми ленты из кабельной бумаги; ПЛД, изолированные двумя слоями обмотки из лавсановых нитей и др. В настоящее время для изготовления обмоток применяют также алюминиевые обмоточные провода АПБ, АПБД, АПЛБД, ПЭТВА, ПЭСА, ПЭВА, ПЭВАт и др., что в ряде случаев не ухудшает качества машины и ее электрические характеристики, но в то же время оказывается экономически целесообразным.

**Электроизоляционные материалы.** В группу электроизоляционных материалов входят электроизоляционный картон, хлопчатобумажная лента, стеклолента, лакоткань и стеклолакоткань.

Электроизоляционный картон применяют для изоляции обмоток электрических машин в качестве пазовой изоляции и прокладок, хлопчатобумажную ленту — для защиты обмоток от механических повреждений.

Стеклоленту ЛЭС вырабатывают из крученых стеклянных нитей и выпускают толщиной 0,12—0,24 и шириной 8—50 мм. Стеклолента отличается от хлопчатобумажной большей прочностью на разрыв, более высокими изоляционными свойствами и применяется для изоляции обмоток электрических машин и защиты их от механических повреждений.

Электроизоляционные лакоткани изготовляют из хлопчатобумажной, шелковой и капроновой тканей, пропитанных светлым масляным или черным масляно-битумным электроизоляционным лаком. Толщина хлопчатобумажной лакоткани 0,15—0,24 мм, шелковой и капроновой — 0,04—0,15, ширина 700—1000 мм.

Электроизоляционные лакоткани применяют для пазовой изоляции обмоток электрических машин, чаще всего в сочетании со специальной бумагой или электроизоляционным картоном.

Стеклолакоткань ЛСК-7 изготовляют из бесщелочной стекло-ткани, пропитанной теплостойким кремнийорганическим лаком К-44, и выпускают толщиной 0,11 и 0,15 мм. Стеклолакоткань применяют в качестве нагревостойкой и влагостойкой изоляции обмоток электрических машин.

В группу электроизоляционных материалов, применяемых при изготовлении обмоток электрических машин, входят также различные лаки. Лаки представляют собой растворы пленкообразующих веществ: смол, битумов, высыхающих масел (льняного, тунгового и др.), эфиров целлюлозы или композиций этих материалов в органических растворителях. В процессе сушки из лака испаряются растворители, а в лаковой основе происходят различные физико-химические процессы, приводящие к образованию лаковой пленки, обладающей определенными свойствами (влаго-, термо- и маслостойкостью и др.). Применяемые при изготовлении обмоток лаки делят (по своему назначению) на пропиточные и покровные.

**Пропиточные лаки.** Наиболее распространенными пропиточными лаками являются масляно-битумные БТ-987, БТ-998, БТ-980, масляно-глифталевый МЛ-92 и на пентальфталеовой смоле ПФЛ-88.

Пропиточные лаки служат для пропитки обмоток электрических машин с целью упрочнения обмотки, увеличения ее теплопровод-

ности и повышения влагостойкости. С помощью покровных лаков создают на поверхности обмоток защитные влаго-, масло- и термостойкие покрытия.

Пропиточный лак БТ-987 печной сушки, средней жирности представляет собой масляно-битумный раствор. В качестве растворителей и разбавителей лака применяют толуол, ксилол, сольвент и бензин. Продолжительность высыхания лака при 100°C — 6 ч. Лак применяют для пропитки обмоток электрических машин, работающих при повышенных перегревах и в условиях повышенной влажности.

Пропиточный лак БТ-998 ускоренной печной сушки, маложирный, широко применяется для пропитки обмоток электрических машин общепромышленного назначения и отличается от лака БТ-987 меньшим временем сушки, не превышающим 3 ч при 100°C. Разновидностью маложирного лака БТ-998 является лак БТ-998а на скипидаре, применяемый для пропитки обмоток, выполненных из эмалированного провода ПЭЛ. Лак БТ-998а обладает хорошей пропитывающей способностью и водостойкостью, но не маслостоек. Растворителями лака являются толуол, ксилол, бензин и их смеси.

Пропиточный лак БТ-980 печной сушки — наиболее жирный из всех масляно-битумных пропиточных лаков и отличается высокой влагостойкостью. Продолжительность сушки 10 ч при 100°C. Его применяют также в качестве покровного лака для отделки лобовых частей обмоток электрических машин. Смешиванием разных количеств готовых лаков БТ-998 и БТ-980 можно получить лак БТ-987.

Общим недостатком пропиточных лаков БТ-980, БТ-987 и БТ-998 является воздействие их растворителей на эмалевую пленку эмальпроводов обмотки. Поэтому для пропитки обмоток, выполненных эмальпроводами, рекомендуется применять водоземulsionный лак ПФЛ-88 (жидкость белого или светло-желтого цвета), растворителем которого является вода. Лак ПФЛ-88 применяют для пропитки обмоток, выполненных проводами с любой изоляцией.

**Покровные лаки.** Масляно-битумный покровный лак БТ-99 отличается от других лаков быстрой сушкой (при 20°C). Пленка лака влагостойка, но не маслостойка и менее тверда по сравнению с пленкой лака БТ-982, применяемого для тех же целей.

Масляно-смоляной, масло- и водостойкий покровный лак КФ-95 отличается ускоренной печной сушкой. Продолжительность сушки 2 ч при 105°C. Растворителем и разбавителем лака является смесь сольвент-нафта, уайт-спирита и бензина. Лак КФ-95 применяют также для пропитки обмоток, в том числе тяговых и крановых электрических машин.

**Эмали.** В ремонтной практике нередко обмотку электрической машины покрывают эмалью для повышения влаго- или маслостойкости обмотки. Для покрытия обмоток электрических машин общепромышленного назначения применяют разновидности эмалей ГФ-92.

Эмаль ГФ-92ХС(б.СВД) — глифталемасляная серого цвета воздушной сушки — изготовлена на основе масляно-глифталевого лака с введением сиккатива. Пигментами эмали являются литопон и

пиролюзит, а растворителями и разбавителями — уайт-спирит, толуол или бензол.

Эмаль сушат при  $20^{\circ}\text{C}$ , после чего образуется гладкая блестящая эластичная маслостойкая и достаточно теплостойкая защитная пленка, которая хорошо держится на гладкой поверхности. Эмаль применяют только для неподвижных обмоток.

Эмаль ГФ-92ГС (б. СПД) — глифталемасляная серого цвета печной сушки — изготовлена на основе масляно-глифталевого лака. Пигментами эмали являются литопон и пиролюзит, а растворителями и разбавителями — смесь уайт-спирита и бензола или толуола. Кроме того, она более теплостойка, чем эмаль ГФ-92ХС.

Пленки эмали после сушки при  $105^{\circ}\text{C}$  становятся масло- и дугостойкими. Эмаль ГФ-92ГС (б. СПД) применяют для защитного покрытия обмоток неподвижных и вращающихся электрических машин с целью получения твердой, механически прочной электроизоляционной пленки, стойкой к действию минеральных масел и защищающей основную изоляцию от кратковременного воздействия электрической дуги и поверхностных разрядов.

Эмаль ГФ-92ХК (б. КВД) — глифталемасляная красного цвета воздушной сушки — изготовлена на основе глифталемасляного лака, пигментированного железным суриком. В эмаль введен сиккатив. Разбавителем эмали является смесь толуола и бутилацетата.

Пленка эмали — гладкая твердая без морщин, бензо-, масло- и дугостойкая. Эмаль применяют для покрытия лобовых частей обмотки и изоляционных деталей электрических машин, выступающих частей манжет якорей и т. п. Сушат эмаль при комнатной температуре.

В электроремонтных цехах небольших предприятий, где ремонтируют малое количество электрических машин и нет возможности хранить пропиточные и покровные лаки различных марок и назначений, рекомендуется использовать лаки, обладающие известной универсальностью применения (стойкостью против воздействия влаги, масел и высокой температуры). К таким лакам относится МЛ-92, который сохнет в течение 30—50 мин при  $105^{\circ}\text{C}$ , образуя лаковую пленку светло-коричневого цвета. Кроме того, он хорошо цементирует обмотку и повышает ее механическую прочность. Электрическая прочность лака при  $20^{\circ}\text{C}$  не менее 60 кВ/мм. Лак МЛ-92 применяют для пропитки и покрытия обмоток электрических машин, длительно работающих при  $105$ — $120^{\circ}\text{C}$ , или при наличии в окружающей среде паров аммиака (например, в цехе аммиачных компрессоров, на животноводческих фермах и др.).

**Припой.** Соединения проводников обмоток электрических машин осуществляют сваркой или пайкой припоями. В зависимости от температуры плавления припой бывают мягкие и твердые.

Припой, состоящие в основном из сплава олова и свинца, имеют низкую (обычно до  $400^{\circ}\text{C}$ ) температуру плавления и поэтому называются *мягкими*. При ремонте электрических машин применяют мягкий припой преимущественно ПОС 30, а при пайке ответственных деталей ПОС 61 (буквы означают припой оловянисто-свинцо-

вый, а цифры, стоящие после букв, — процент содержания олова в припое).

Медно-фосфористые и серебряные припои с температурой плавления выше  $700^{\circ}\text{C}$  являются твердыми припоями. Медно-фосфористый припой ПМ-7 содержит около 92% меди и 8% фосфора; температура его плавления  $750\text{—}800^{\circ}\text{C}$ . Серебряные припои ПСр состоят в основном из сплава серебра (25—65%) и меди; температура плавления  $725\text{—}800^{\circ}\text{C}$ . Из-за высокой стоимости и дефицитности припои с большим содержанием олова и серебра применяют крайне редко.

## § 24. Конструктивные исполнения изоляции обмоток электрических машин

Применяемая в электрических машинах изоляция должна обладать достаточной электрической и механической прочностью при нормальной и рабочей температурах, стойкостью к воздействию пропиточных составов и способностью сохранять необходимые качества в процессе пропитки и сушки, а также определенной стойкостью к воздействию окружающей среды (химо-, влаго- и морозостойкостью и др.) и теплостойкостью, определяемой классом нагревостойкости изоляции.

Все электроизоляционные материалы разделяют на семь классов нагревостойкости — Y, A, E, B, F, H и C с предельно допустимой температурой нагрева соответственно 90, 105, 120, 130, 155, 180 и более  $180^{\circ}\text{C}$ . Стабильность свойств изоляции при длительном воздействии на нее высокой температуры определяет надежность и срок службы электрической машины.

При ремонте современных электрических машин необходимо применять изоляционные материалы тех же классов изоляции, какие были применены заводом-изготовителем. Замена изоляционных материалов одного класса материалами другого класса допускается при ремонте электрических машин старых конструкций в тех случаях, когда такая замена повышает уровень изоляции\* машины.

Конструкции изоляции обмоток статоров, роторов и якорей электрических машин мощностью до 100 кВт показаны на рис. 42, 43 и 44.

Пазы статора изолируют до укладки в них обмоток. Изоляция паза электрических машин, допускающих нагрев обмоток до  $105^{\circ}\text{C}$  (изоляция класса A), состоит из двух-трех слоев пропитанного в льняном масле электрокартона толщиной 0,2 мм или одного-двух слоев пропитанного электрокартона и одного-двух слоев лакоткани. При двухслойной обмотке между сторонами двух катушек в пазу помещают прокладку из пропитанного электрокартона. Лобовые части двухслойной обмотки изолируют, помещая между верхним и нижним слоями прокладку из проваренного в масле электрокартона толщиной 0,3—0,5 мм. Если в статоре открытые пазы, катушки обмотки

\* Под уровнем изоляции понимают такое ее качество, при котором она в состоянии выдерживать перенапряжения заданной кратности относительно наибольшего рабочего напряжения данной машины.

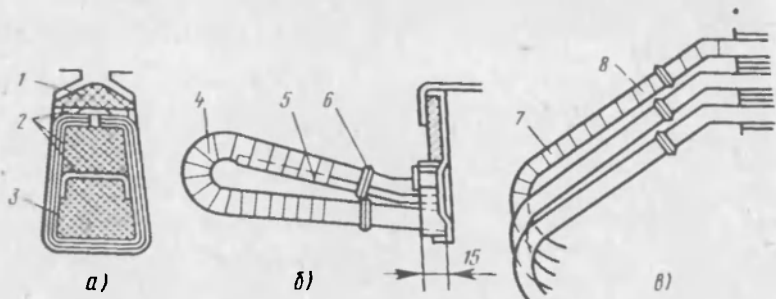


Рис. 42. Изоляция двухслойных обмоток статора асинхронных электродвигателей мощностью до 100 кВт:

*a* — пазовая, *б* — лобовых частей, *в* — междуфазная; 1 — деревянный (бук, береза) клин, 2, 5 — электрокартон, 3 — эскапоновая стеклолакоткань, 4 — хлопчатобумажная лента, 6, 8 — хлопчатобумажный чулок, 7 — хлопчатобумажная лента по слою стеклолакоткани

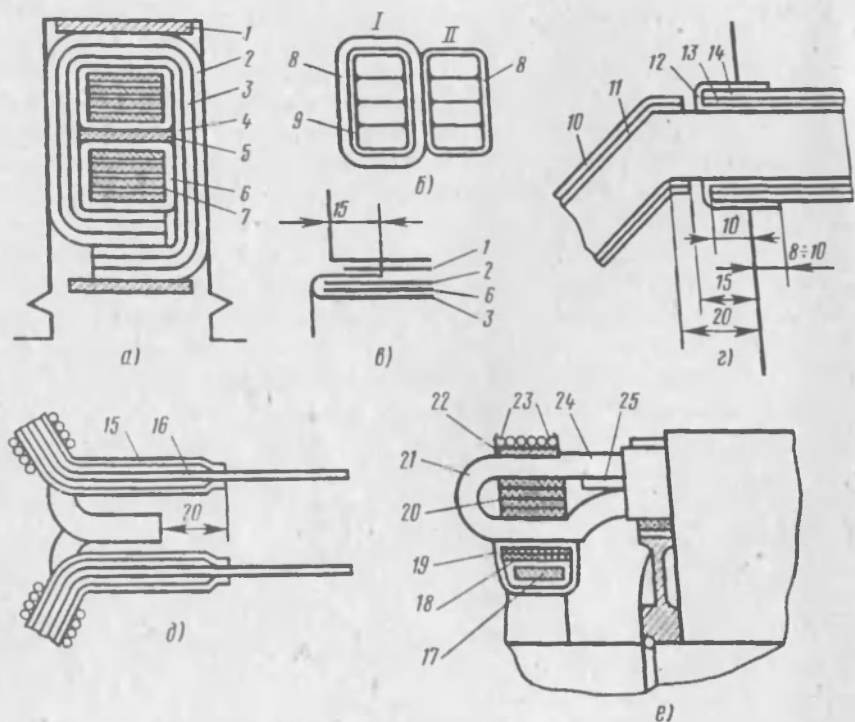


Рис. 43. Изоляция обмоток роторов асинхронных электродвигателей мощностью до 100 кВт:

*a* — пазовая, *б* — лобовых частей, *в* — выхода обмотки из паза, *г* — уголков, *д* — выводных концов, *е* — деталей крепления и соединения; 1—5, 12, 14, 18, 20, 22, 25 — электрокартон, 6, 13 — стеклолакоткань, 7 — телефонная лакированная бумага, 8, 10, 15, 19, 21, 24 — хлопчатобумажная лента, 9, 11, 16, 17 — эскапоновая стеклолакоткань, 23 — проволочный бандаж; I — первая и последняя катушки в группе, II — средняя катушка в группе

изолируют до укладки их в пазы. Изоляцию катушек двухслойной обмотки осуществляют непрерывным способом, при котором как пазовую, так и лобовую части изолируют одними материалами с постепенным переходом от пазовой части к лобовой. Лобовые части катушек дополнительно изолируют лакокраску.

Изоляция стержней обмотки фазного ротора асинхронных электродвигателей переменного тока состоит из нескольких слоев бакелизированной бумаги и гильзы. Гильза служит для предохранения изоляции стержней при вкладывании их в полузакрытые пазы сердечника через торец ротора, также применяется в качестве дополнительной изоляции стержней.

Все секции, принадлежащие одной катушке якоря электрической машины постоянного тока, изолируют от стенок пазы двумя слоями микафолия так, чтобы он выступал за пределы пазы с обеих сторон на 10—12 мм. Микафолий накладывают вполнахлеста. Для предохранения основной изоляции от механических повреждений (при небольших неровностях на стенках пазов) в пазы закладывают гильзу из электрокартона толщиной 0,2 мм. Между сторонами отдельных катушек, а также под клин, удерживающий обмотку в пазу, закладывают полоски электрокартона толщиной 0,8—1 мм, которые служат для предохранения изоляции при забивании клина в паз.

Электрические машины постоянного тока имеют параллельные или последовательные обмотки возбуждения, а также обмотки добавочных полюсов.

В машинах небольшой мощности катушки насаживают на изолированный полюс. В более крупных машинах катушки наматывают на каркас, стенки и торцы которого изолированы, а затем каркас насаживают на полюс. Последовательные катушки обычно наматывают прямоугольными изолированными или голыми проводами. Между голыми проводами ставят изоляционные прокладки.

В последовательных обмотках изоляцию наносят на катушки,

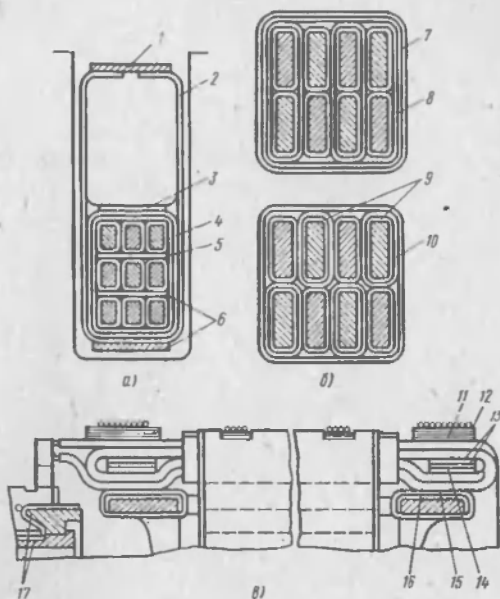


Рис. 44. Изоляция обмотки якоря машин постоянного тока мощностью 10—100 кВт:

*a* — пазовая, *б* — лобовых частей, *в* — изоляция бандажей, обмоткодержателя и коллектора; 1 — текстолит толщиной 0,5 мм, 2, 5, 6, 12, 13 — электрокартон, 3, 8, 10, 11, 14, 16 — стеклолакоткань, 4 — стеклотента, 9 — микалента, 7, 15 — изоляционная лента, 17 — формовочный миканит



которые затем насаживают на неизолированный полюс. Иногда катушки наматывают на изолированный каркас.

Для лучшей теплоотдачи в машинах со смешанным возбуждением параллельные и последовательные обмотки расположены друг над другом. Катушки добавочных полюсов наматывают прямоугольным голым медным проводом на ребро или плашмя. Между витками катушки обычно прокладывают асбестовую бумагу толщиной 0,3 мм, которую нарезают по размеру витков в виде рамок и вкладывают между витками катушки полюса. Наружная изоляция катушки состоит из последовательно накладываемых слоев лакоткани, закрепляемой тафтяной лентой.

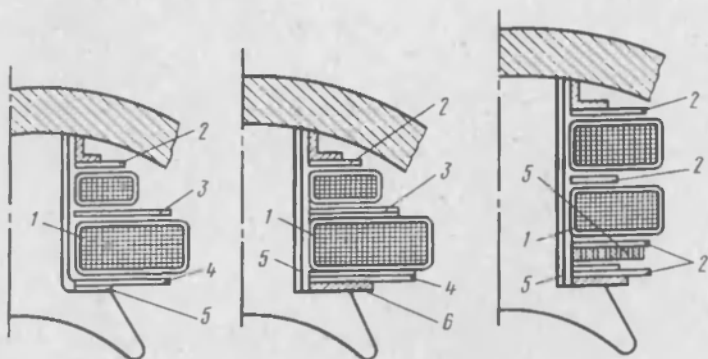


Рис. 45. Варианты изоляции сердечников полюсов и полюсных катушек:

1 — изоляционная лента, 2—4 — гетинакс, 5 — электрокартон, 6 — текстолит

Варианты изоляции сердечников, полюсов и полюсных катушек показаны на рис. 45.

## § 25. Технология ремонта обмоток электрических машин

Многолетняя практика эксплуатации отремонтированных электрических машин с частично замененными обмотками показала, что такие машины, как правило, выходят из строя после непродолжительного времени. Это вызвано рядом причин, в том числе нарушением при ремонте целостности изоляции неповрежденной части обмоток, а также несоответствием качества и сроков службы изоляции новой и старой частей обмоток. Наиболее целесообразной при ремонте электрических машин с поврежденными обмотками является замена всей обмотки с полным или частичным использованием ее проводов.

**Обмотки статоров.** Изготовление обмотки статора начинают с заготовки отдельных катушек на шаблоне. Для правильного выбора размера шаблона необходимо знать основные размеры катушек, главным образом размеры их прямолинейной и лобовой частей.

Длину прямолинейной части катушки определить нетрудно, более сложным является определение точной длины лобовой части, зави-

сящей не только от шага обмотки, но и от конструкции ремонтируемой машины.

Размеры катушек обмотки ремонтируемых машин могут быть определены замером старой обмотки. Однако при этом способе не всегда удастся получить точные данные, а в случае сильного повреждения и тем более полного отсутствия обмотки он вообще неприменим. Не всегда требуемые обмоточные данные можно найти в типовых альбомах. Поэтому в ремонтной практике наиболее приемлемым является определение размеров катушки ремонтируемой машины с помощью приведенных ниже несложных расчетов, а затем изготовления по результатам расчета одной-двух катушек и уточнения их размеров по месту после укладки в пазы сердечника.

При расчете прежде всего определяют среднюю длину (см) полувитка ( $l_{\text{пол}}$ ) по формуле

$$l_{\text{пол}} = l_n + l_n \quad (1)$$

где  $l_n$  — длина пакета активной стали, см;  $l_n$  — длина половины лобовой части, включающая два прямолинейных участка, являющихся продолжением пазовой части катушки, и два изогнутых участка, см.

Для приближенного определения  $l_n$  необходимо предварительно определить ширину катушки  $\tau_k$  по дуге, проходящей через середины пазов, в которые катушка укладывается:

$$\tau = \beta \pi (D_i \pm h_n), \quad (2)$$

где  $\beta$  — коэффициент укорочения шага;  $D_i$  — диаметр расточки, см;  $h_n$  — высота паза (знак «+» в скобке — для статора, знак «—» для ротора). По величине  $\tau_k$  можно приближенно определить длину  $l_n$ .

Для двухслойной катушечной обмотки

$$l_n = K \tau_k + 3, \quad (3)$$

где коэффициент  $K$  принимается в зависимости от числа полюсов,  $2p = 2; 4; 6; 8; K = 1,3; 1,35; 1,45; 1,55$  (соответственно).

Для однослойной концентрической обмотки приближенную величину  $l_n$  определяют, умножая результаты подсчета из формулы (3) на коэффициент 1,12.

Уточнение размеров вылета лобовых частей пробной катушки по месту необходимо для обеспечения минимально допустимого зазора между лобовыми частями новой обмотки и подшипниковыми щитами ремонтируемой машины. Это следует делать до пропитки и сушки обмотки. Попытка изменить подбивкой величину вылета лобовых частей уже пропитанной и высушенной обмотки в аксиальном или радиальном направлении недопустима, так как это приведет к нарушению монолитности обмотки и повреждению ее изоляции.

Катушки всыпных обмоток наматывают на простых или универсальных шаблонах с ручным или механическим приводом.

Для ручной намотки катушек на шаблоне предварительно разводят обе части колодок  $l$  (рис. 46) шаблона на расстояние, определяемое размерами обмотки, и закрепляют их в вырезах диска 3, насаженного на вал 2. Один конец обмоточного провода закрепляют

на шаблоне и, вращая рукоятку 5, наматывают требуемое число витков катушки.

Число витков в намотанной катушке показывает счетчик 4, установленный на раме станка и связанный с валом 2. Окончив намотку одной катушки, переносят провод в соседний вырез шаблона и наматывают следующую катушку. Катушки желательнее наматывать из одного отрезка медного провода  $\varnothing 1,81$  мм (не более) или алюминиевого  $\varnothing 2,26$  мм (не более): применение проводов больших размеров усложнит их укладку в пазы, повредит собственную изоляцию и вылеты пазовых коробочек. При отсутствии проводов требуемых диаметров катушки наматывают двумя параллельными проводами, эквивалентными требуемому по суммарному сечению.

Не рекомендуется применять более трех параллельных проводов во избежание их перекрещивания и повреждения изоляции при уплотнении катушки в пазу. Возможность замены проводов должна быть проверена расчетом.

Ручная намотка катушек на простом шаблоне требует больших затрат труда и времени. Чтобы ускорить процесс намотки, а также уменьшить число паяк и соединений, применяют механизированную намотку катушек на станках со специальными шарнирными шаблонами, позволяющими последовательно наматывать все катушки, приходящиеся на одну катушечную группу или на всю фазу.

Для намотки катушечной группы на шарнирном шаблоне с механическим приводом заводят конец провода в шаблон 8 (рис. 47) и

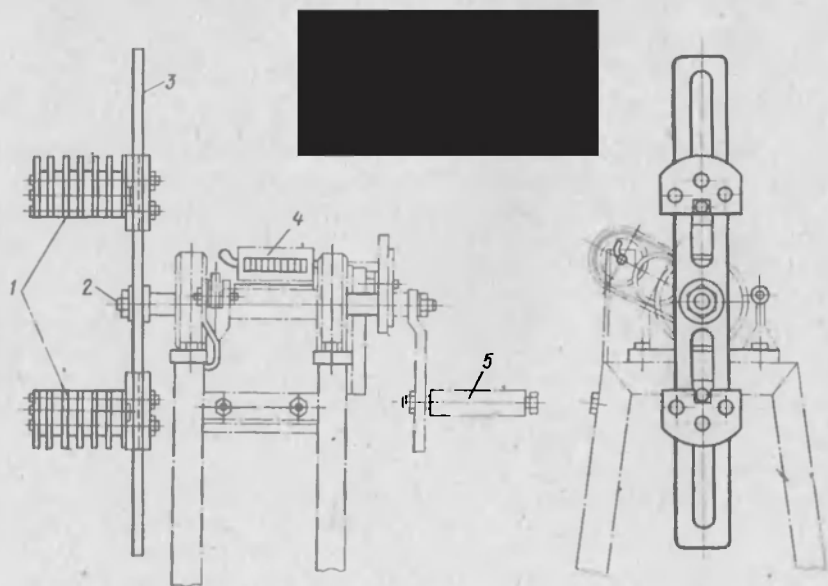


Рис. 46. Станок для ручной намотки катушек:

1 — колодки шаблона, 2 — вал, 3 — диск, 4 — счетчик оборотов, 5 — рукоятка

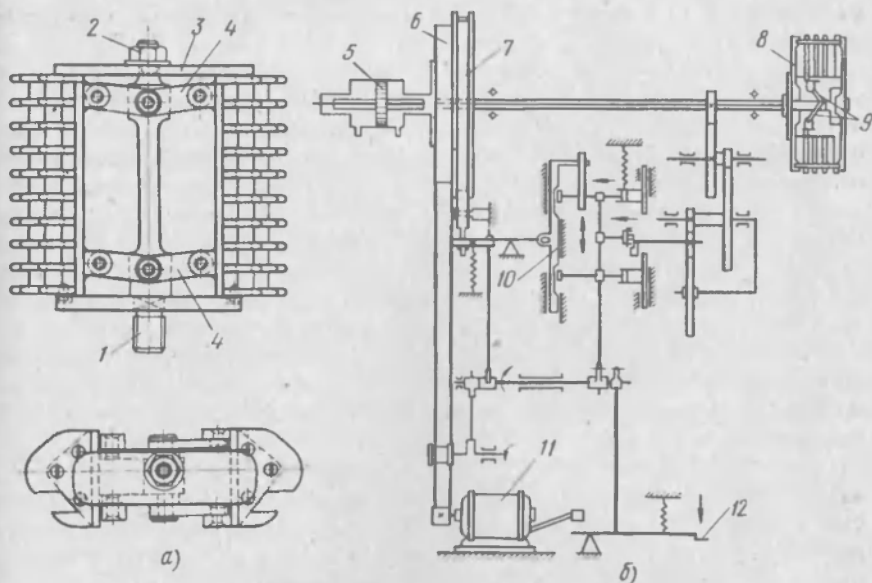


Рис. 47. Механизированная намотка катушечной группы:

*a* — шарнирный шаблон, *б* — принципиальная схема механического привода; 1 — оправка, 2 — зажимная гайка, 3 — фиксирующая планка, 4 — шарнирная планка, 5 — пневматический цилиндр, 6 — передача, 7 — ленточный тормоз, 8 — шаблон, 9 — шарнирный механизм шаблона, 10 — механизм зацепления автоматического останова станка, 11 — электродвигатель, 12 — педаль включения станка

включают станок. Наматыв требуемое число витков, станок автоматически останавливается. Для съема намотанной катушечной группы станок оборудован пневматическим цилиндром 5, который через тягу, проходящую внутри полого шпинделя, действует на шарнирный механизм 9 шаблона. При этом головки шаблона сдвигаются к центру и освободившаяся катушечная группа легко снимается с шаблона.

На ряде крупных электроремонтных предприятий применяют более совершенные намоточные станки, позволяющие полностью автоматизировать весь процесс намотки обмоток роторов и статоров электрических машин.

Перед намоткой катушек или катушечных групп обмотчик должен тщательно ознакомиться с обмоточно-расчетной запиской ремонтируемой электрической машины.

В записке указывают: мощность, номинальное напряжение и частоту вращения ротора электрической машины; тип и конструктивные особенности обмотки; число витков в катушке и число проводов в каждом витке; марку и диаметр обмоточного провода; шаг обмотки; число параллельных ветвей в фазе и катушек в группе; порядок чередования катушек; класс применяемой изоляции по нагревостойкости, а также различные сведения, относящиеся к конструкции и способу изготовления обмотки.

Нередко при ремонте обмоток двигателей приходится заменять отсутствующие провода требуемых марок и сечений имеющимися проводами. По этим же причинам намотку катушки одним проводом заменяют намоткой двумя и более параллельными проводами, суммарное сечение которых эквивалентно требуемому. При замене проводов обмоток ремонтируемых электродвигателей предварительно (до намотки катушек) проверяют коэффициент заполнения пазов  $K_{зп}$  по формуле  $K_{зп} = nd^2 / (S_{пз} - S_{и})$ , где  $n$  — общее число проводов в пазу;  $d$  — диаметр изолированного провода (по изоляции), мм;  $S_{пз}$  — площадь сечения пазов, мм<sup>2</sup>;  $S_{и}$  — суммарная площадь сечения изоляции (прокладок, пазовой коробочки и клина), мм<sup>2</sup>.

Коэффициент заполнения пазов должен быть в пределах 0,7—0,75. При коэффициенте более 0,75 будет затруднена укладка проводов обмотки в пазы, а менее 0,7 провода неплотно разместятся в пазах и неполностью будет использована мощность электродвигателя.



Рис. 48. Укладка в пазы сердечника статора проводов катушки всыпной обмотки

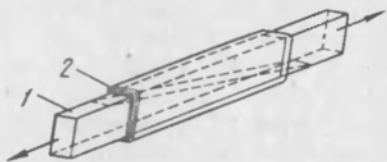


Рис. 49. Способ изготовления изоляционных гильз электрических машин с закрытыми пазами сердечника:

1 — стальной дорн, 2 — изоляционная гильза

Катушки двухслойной обмотки укладывают в пазы сердечника группами так, как они были намотаны на шаблоне. Укладку катушек производят следующим образом. Провода распределяют в один слой и вкладывают стороны катушек, прилегающие к пазу (рис. 48); другие стороны этих катушек оставляют невложенными в пазы до тех пор, пока не будут вложены нижние стороны катушек во все пазы, охватываемые шагом обмотки. Следующие катушки укладывают одновременно с нижними и верхними сторонами. Между верхними и нижними сторонами катушек в пазах устанавливают изоляционные прокладки из электрокартона, согнутые в виде скобочки, а между лобовыми частями — из лакоткани или листов картона с наклеенными на них кусками лакоткани.

При ремонте электрических машин старых конструкций с закрытыми пазами рекомендуется до начала демонтажа обмотки снять сатуры ее обмоточные данные (диаметр провода, число проводов в пазу, шаг обмотки по пазам и др.), а затем сделать эскизы лобовых частей и замаркировать пазы статора. Эти данные могут оказаться необходимыми при восстановлении обмотки.

Выполнение обмоток электрических машин с закрытыми пазами имеет ряд особенностей. Пазовую изоляцию таких машин выпол-

няют, как правило, в виде гильз из электрокартона и лакоткани. Для изготовления гильз предварительно по размерам пазов машины изготовляют стальной дорн 1, представляющий собой два встречных клина (рис. 49). Размеры дорна должны быть меньше размеров 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. Дорн нагревают до  $80\text{--}100^\circ\text{C}$  и плотно обворачивают заготовкой, пропитанной бакелитовым лаком. Поверх заготовки туго накладывают слой хлопчатобумажной ленты вполнахлеста.

По истечении времени, необходимого для охлаждения дорна до температуры окружающей среды, разводят клинья и снимают готовую гильзу. До того как приступить к намотке, вставляют гильзы в пазы статора, а затем заполняют их стальными спицами, диаметр которых должен быть на  $0,05\text{--}0,1$  мм больше диаметра изолированного обмоточного провода.

От бухты обмоточного провода отмеряют и отрезают кусок провода, необходимого для намотки одной катушки. Применение слишком длинных кусков провода усложняет намотку, требует большей затраты времени и нередко бывает причиной повреждения изоляции провода из-за частой протяжки его через паз.

Намотка впротяжку является, трудоемкой ручной работой; ее обычно выполняют два обмотчика, стоящие с двух сторон статора (рис. 50).

Процесс намотки состоит из операций протяжки провода через загильзованные пазы, предварительно очищенные от грязи и остатков старой изоляции, и укладки провода в пазах и лобовых частях. Намотку начинают обычно со стороны, где будут соединяться катушки, и ведут в последовательности, приведенной ниже.

Первый обмотчик зачищает конец провода на длине, превышающей  $10\text{--}12$  см длину паза, а затем, вынув в первом пазу спицу, вставляют вместо нее зачищенный конец провода и проталкивают его до выхода из паза на противоположной стороне сердечника. Вторым обмотчик захватывает пассатижами выступающий из паза конец провода и протаскивает провод на свою сторону, а затем, вынув спицу из соответствующего паза, по шагу обмотки вставляет вместо нее конец вытянутого провода и проталкивает его в сторону пер-

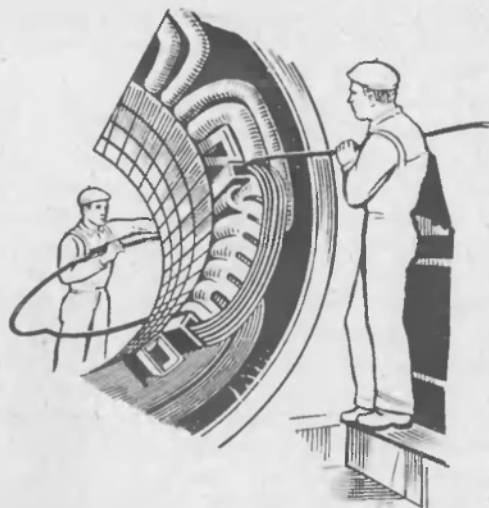


Рис. 50. Намotka катушек обмотки статора электрической машины с закрытыми пазами сердечника

вого обмотчика. Дальнейший процесс намотки представляет собой повторение описанных выше операций до полного заполнения паза.

Протяжка проводов последних витков катушек представляет известные трудности, так как приходится протаскивать провод через заполненный паз с большим усилием. Чтобы облегчить протяжку проводов марок ПЛД, ПБД, ПЛБД с волокнистой изоляцией, их натирают тальком. В ремонтной практике нередко обмотчики вместо талька применяют парафин. Применять парафин не рекомендуется, так как покрытая слоем парафина хлопчатобумажная изоляция провода плохо впитывает пропиточные лаки, вследствие чего ухудшаются условия изоляции пазовой части проводов обмотки, что может привести к витковым замыканиям в обмотке отремонтированной машины.

При намотке катушек впротяжку первой наматывают внутреннюю катушку, лобовую часть которой укладывают по шаблону, а для намотки остальных катушек на намотанную лобовую часть ставят дистанционные прокладки из электрокартона. Эти прокладки необходимы для создания между лобовыми частями зазоров, служащих для изоляции, а также для лучшего обдувания головок охлаждающим воздухом в процессе работы машины.

Изоляцию лобовых частей обмотки машин на напряжение до 500 В, предназначенных для работы в нормальной среде, выполняют хлопчатобумажной лентой, причем каждый последующий слой полуперекрывает предыдущий. Каждую катушку группы обматывают, начиная от торца сердечника, придерживаясь следующего порядка. Сначала обматывают лентой часть изоляционной гильзы, выступающую из паза, а затем часть катушки до конца изгиба, после чего закрепляют ленту клеящим составом. Середины головок группы обматывают общим слоем ленты вполнахлеста. Конец ленты закрепляют на головке клеящим составом или прочно пришивают к ней. Лежащие в пазу провода обмотки дол-

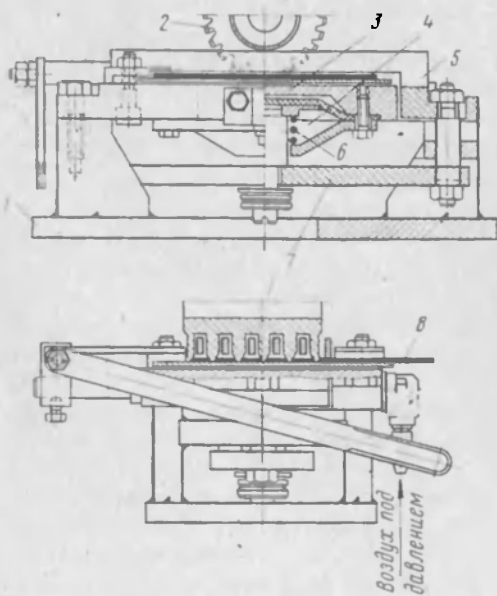


Рис. 51. Станок для изготовления пазовых клиньев:

1 — корпус, 2 — фреза, 3, 7 — верхняя и нижняя плиты, 4 — диафрагменная камера, 5 — гребенка, 6 — возвратная пружина, 8 — заготовка

жны прочно удерживаться в нем. Для этого применяют пазовые клинья, изготавливаемые главным образом из сухого бука или березы.

Клинья делают также из различных изоляционных материалов соответствующей толщины, например из листовой фибры, текстолита или гетинакса.

Клинья изготовляют на специальных станках, один из которых показан на рис. 51. Заготовка *в* заводится под гребенку *5*, а затем поворотом рукоятки подается сжатый воздух, который, воздействуя на диафрагму и систему штоков, опускает гребенку на заготовку. Заготовка разрезается при продольном механическом перемещении стола фрезерного станка относительно вращающейся фрезы *2*. За каждый проход стола нарезается пять клиньев, форма и размеры которых зависят от формы и размеров режущих частей фрезы, а также от высоты подъема стола относительно нее. При выходе фрезы из пазов гребенка возвращается в исходное положение под действием пружины *6*.

Длина клина должна быть больше длины сердечника статора на 10—20 мм и равна или на 2—3 мм меньше длины гильзы. Толщина клина зависит от формы верхней части паза и его заполнения. Деревянные клинья должны быть толщиной не менее 2 мм. Чтобы придать клиньям влагостойкость, их проваривают в течение 3—4 ч в олифе при 120—140°C, а затем в течение 8—10 ч сушат при 100—110°C.

Клинья забивают в пазы мелких и средних машин молотком и деревянной надставкой, а в пазы крупных машин — пневматическим молотком. Окончив укладку катушек в пазы статора и расклиновку обмотки, собирают схему. Если фаза обмотки намотана отдельными катушками, сборку схемы начинают с последовательного соединения катушек в катушечные группы.

За начала фаз принимают выводы катушечных групп, выходящие из пазов, расположенных вблизи выводного щитка. Эти выводы отгибают к корпусу статора и предварительно соединяют катушечные группы каждой фазы, скручивая зачищенные от изоляции концы проводов катушечных групп.

После сборки схемы обмотки приложением напряжения проверяют электрическую прочность изоляции между фазами и на корпус, а также правильность соединения схемы. Для проверки правильности схемы кратковременно подключают статор к сети 120 или 220 В, а затем к поверхности его расточки приклады-

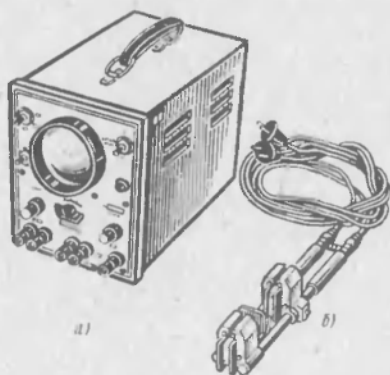


Рис. 52. Электронный аппарат ЕЛ-1 для контрольных испытаний обмоток (а) и его приспособление для обнаружения паза с короткозамкнутыми витками (б)



вают стальной шарик (от шарикоподшипника) и отпускают его. Если шарик вращается по окружности расточки, схема собрана верно. Эту проверку можно произвести также с помощью вертушки или специального аппарата.

Диск из жести пробивают в центре и укрепляют гвоздем на торце деревянной планки так, чтобы он мог свободно вращаться, а затем сделанную таким образом вертушку помещают в расточку статора, подключенного к сети. При правильной сборке схемы диск будет вращаться.

Наиболее совершенным прибором для проверки правильности сборки схемы и отсутствия витковых замыканий в обмотке ремонтируемой машины является аппарат ЕЛ-1.

Аппарат ЕЛ-1 (рис. 52, а) предназначен для выявления витковых замыканий и обрывов в обмотках электрических машин, нахождения паза с короткозамкнутыми витками в обмотках статоров, роторов и якорей, проверки правильности соединения обмоток по схеме, а также для маркировки выводных концов фазных обмоток электрических машин.

Аппарат обладает высокой чувствительностью, позволяющей выявлять наличие одного короткозамкнутого витка на каждые 2000 витков.

Переносной аппарат ЕЛ-1 помещен в металлический кожух с ручкой для переноски. На передней панели аппарата расположены ручки управления, зажимы для присоединения испытываемых обмоток или приспособлений для нахождения паза с короткозамкнутыми витками и экран электронно-лучевого индикатора. На задней стенке размещены предохранитель и колодка для присоединения шнура и подключения аппарата к сети.

В нижней части передней панели имеются пять зажимов. Крайний правый зажим служит для присоединения заземляющего провода, зажимы «Вых.имп.» — для присоединения последовательно соединенных испытываемых обмоток или возбуждающего электромагнита приспособления, зажимы «Сигн.явл.» — для подключения подвижного электромагнита приспособления или соединения средней точки испытываемых обмоток. Масса аппарата 10 кг.

Испытание обмоток аппаратом ЕЛ-1 производят по прилагаемой инструкции. Для выявления дефектов к аппарату присоединяют две одинаковые обмотки или секции, а затем с обеих испытываемых обмоток с помощью синхронного переключателя подают периодически импульсы напряжения на электронно-лучевую трубку аппарата: если в обмотках нет повреждений и они одинаковы, то кривые напряжений на экране электронно-лучевой трубки будут накладываться друг на друга, а при наличии дефектов кривые напряжений будут раздваиваться.

Для выявления пазов, в которых находятся короткозамкнутые витки обмотки, пользуются приспособлением с двумя П-образными электромагнитами на 100 и 2000 витков (рис. 52, б). Для этого катушку неподвижного электромагнита (100 витков) присоединяют к зажимам «Вых.имп.» аппарата, а катушку подвижного электромаг-

нита (2000 витков) — к зажимам «Сигн. явл.», при этом средняя ручка должна быть поставлена в крайнее левое положение «Работа с приспособлением».

При перестановке обоих электромагнитов приспособления с паза на паз по расточке статора на экране электронно-лучевой трубки будут наблюдаться прямая или кривая линия с малыми амплитудами, свидетельствующая об отсутствии в пазу короткозамкнутых витков, или две кривые линии с большими амплитудами, вывернутыми по отношению друг к другу и указывающие на наличие в пазу короткозамкнутых витков. По этим характерным кривым находят паз с короткозамкнутыми витками обмотки статора. Подобным образом, переставляя оба электромагнита приспособления по поверхности фазного ротора или якоря машины постоянного тока, находят в них пазы с короткозамкнутыми витками.

При выполнении обмоточных работ наряду с обычными инструментами (молотками, ножами, пассатижами и др.) применяют и специальные инструменты (рис. 53), облегчающие выполнение таких работ, как укладка и уплотнение проводов в пазах, обрезка выступающей из паза изоляции, гнутье медных стержней обмоток якорей и др.

**Обмотки роторов.** В асинхронных двигателях с фазным ротором распространены два основных типа обмоток: катушечная и стержневая. Способы намотки обмоток роторов практически мало отличаются от описанных выше способов намотки таких же обмоток статоров. При намотке обмоток роторов необходимо равномерно располагать лобовые части обмотки для обеспечения сбалансированности масс ротора особенно у быстроходных электродвигателей.

В средних и крупных по мощности машинах наиболее распространенными являются стержневые двухслойные волновые обмотки роторов. В этих обмотках, выполненных из медных стержней, повреждаются не сами стержни, а только их изоляция вследствие частых и чрезмерных нагревов, при которых нередко оказывается поврежденной и пазовая изоляция роторов.

При ремонте роторов со стержневыми обмотками медные стержни поврежденной обмотки, как правило, используют повторно, поэтому стержни из пазов вынимают таким образом, чтобы сохранить каждый стержень и после восстановления изоляции уложить его в тот же

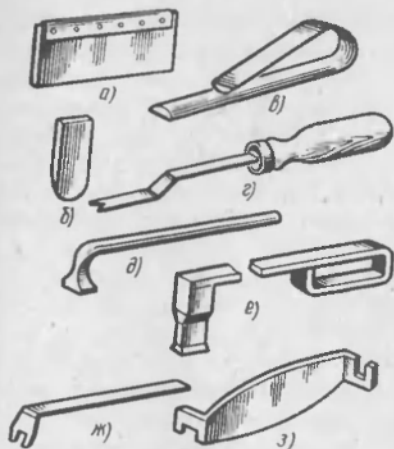


Рис. 53. Набор инструмента обмотчика:

а — фибровая пластинка, б — фибровый язык, в — обратный клин, г — угловой нож, д — выколотка, е — топорик, ж, з — ключи для гнутья роторных стержней

паз, в котором он находился до разборки. Для этого ротор эскизируют и делают записи по следующим элементам обмотки:

бандажам — числу и расположению бандажей, витков и слоев бандажной проволоки, диаметру бандажной проволоки, числу скрепок (замков) и слоев, материалу подбандажной изоляции;

лобовым частям — длине вылетов, направлению изгиба стержней, шагу обмотки (передний и задний), переходам (перемычкам), к пазам которых относятся начала и концы фаз;

пазовым частям — размерам стержня (изолированного и неизолированного), длине стержня в пределах паза и полной длине прямолинейного участка;

изоляции — материалу, размерам и числу слоев изоляции, извлеченных из пазов стержней, пазовой коробочке, прокладкам в пазу, в лобовых частях, исполнению изоляции обмоткодержателя и т. д.;

балансировочным грузам — числу и расположению балансировочных грузов;

схеме — эскизу полной схемы обмотки с нумерацией пазов и указанием ее отличительных особенностей.

Эти эскизы и записи особенно тщательно должны быть сделаны при ремонте машин старых конструкций.

При выемке стержней обмоток роторов надо разогнуть замки бандажей и удалить бандажи, набить (в соответствии с нумерацией пазов на чертеже схемы обмотки) номера на пазах, к которым относятся начала и концы фаз, а также переходные перемычки и удалить клинья из пазов ротора. Далее надо распаять пайки в головках, снять соединительные хомутики и зачистить стержни и хомутики от наплывов припоя.

Специальным ключом (см. рис. 53, з) следует разогнуть со стороны контактных колец отогнутые лобовые части стержней верхнего слоя, вынуть эти стержни из паза, при этом на каждом стержне надо выбить номер паза, слоя и в таком же порядке вынуть стержни нижнего слоя. Затем надо очистить стержни от старой изоляции, выправить (отрихтовать) их, удаляя заусенцы и неровности, и зачистить концы металлической щеткой.

В конце операции надо очистить пазы сердечника ротора, обмоткодержатель и нажимные шайбы от остатков изоляции и проверить состояние пазов. Если есть неисправности, устранить их.

Извлеченные из пазов ротора стержни, изоляцию которых не удалось удалить механическим способом, обжигают в специальных печах при 600—650°С, не допуская превышения температуры обжига выше 650°С. Изоляцию с медных стержней можно удалять химическим способом, погрузив их на 30—40 мин в ванну с 6%-ным раствором серной кислоты. Вынутые из ванны стержни следует промыть в щелочном растворе и воде, а затем обтереть тряпками и просушить. Концы стержней облуживают припоем ПОС 30.

У свободных от старой изоляции и отрихтованных стержней изоляцию восстанавливают. Новую изоляцию стержней пропитывают лаком и сушат.

Пазовую изоляцию также восстанавливают, вставляя прокладки на дно пазов и пазовые коробочки так, чтобы обеспечивался их равномерный вылет из пазов с обеих сторон сердечника ротора. По окончании подготовительных операций приступают к сборке обмотки.

Сборка стержневой обмотки ротора состоит из трех основных видов работ — укладки стержней в пазы сердечника ротора, гибки лобовой части стержней и соединения стержней верхнего и нижнего рядов пайкой или сваркой.

Стержни поступают на укладку в пазы только с одной изогнутой лобовой частью. Гибку вторых концов этих стержней производят специальными ключами после укладки в пазы. Вначале укладывают в пазы стержни нижнего ряда, вставляя их со стороны, противоположной контактному кольцу. Уложив весь нижний ряд стержней, осаживают их прямые участки на дно пазов, а изогнутые лобовые части — на изолированный обмоткодержатель. Концы изогнутых лобовых частей прочно стягивают временным бандажом из мягкой стальной проволоки, плотно прижимая их к обмоткодержателю. Второй временный бандаж из проволоки наматывают посредине лобовых частей.

Временные бандажи служат для предотвращения смещения стержней во время дальнейших операций их гибки.

После закрепления стержней временными бандажами приступают к гибке лобовых частей. Стержни гнут с помощью двух специальных ключей (см. рис. 53, ж, з) сначала по шагу, а затем по радиусу, обеспечивая требуемый осевой вылет и плотное прилегание их к обмоткодержателю. Чтобы согнуть стержень, берут в левую руку ключ (см. рис. 53, ж) и зевом надевают его на прямую часть стержня, выходящую из паза сердечника. Держа в правой руке ключ (см. рис. 53, з), надевают его зевом на лобовую часть стержня и подводят вплотную к ключу (см. рис. 53, ж), а затем ключом (см. рис. 53, з) изгибают стержень под требуемым углом.

Изогнуть первые стержни сразу на требуемый угол не позволяют прямые части соседних стержней, поэтому первый стержень удается изогнуть только на расстояние между стержнями, второй — на двойное расстояние, третий — на тройное и так до изгиба стержней, занимающих два-три шага обмотки, после чего можно изогнуть стержень на требуемый угол.

Последними (дополнительно) изгибают те стержни, с которых была начата гибка.

С помощью специальных ключей загибают также концы стержней, на которые затем будут надевать соединительные хомутики, после чего снимают временные бандажи и на лобовые части накладывают межслоевую изоляцию, а в пазы — прокладки между стержнями верхнего и нижнего слоев.

Фазный ротор асинхронного электродвигателя в процессе сборки стержневой обмотки показан на рис. 54.

Описанный способ гибки стержней обмоток с помощью специальных ключей требует больших затрат труда и времени. В ряде элект-

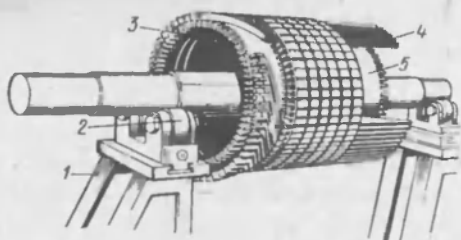


Рис. 54. Фазный ротор асинхронного электродвигателя в процессе сборки стержневой обмотки:

1 — стойка поворотного устройства, 2 — ролик, 3 — нижний ряд стержней, 4, 5 — изоляция между верхним и нижним рядами стержней

на заданный угол. Далее поворотом рычага *Б*, перемещающегося в наклонной плоскости из положения *I* в положение *II*, выгибают второй угол стержня, возвращают рычаги *А* и *Б* в исходное положение *II* и вынимают из приспособления загнутый стержень. Возврат рычага *В* в исходное положение осуществляют толкателем 4, отжимаемым пружиной 5.

По окончании укладки стержней нижнего ряда переходят к установке стержней верхнего ряда обмотки, вставляя их в пазы со сторо-

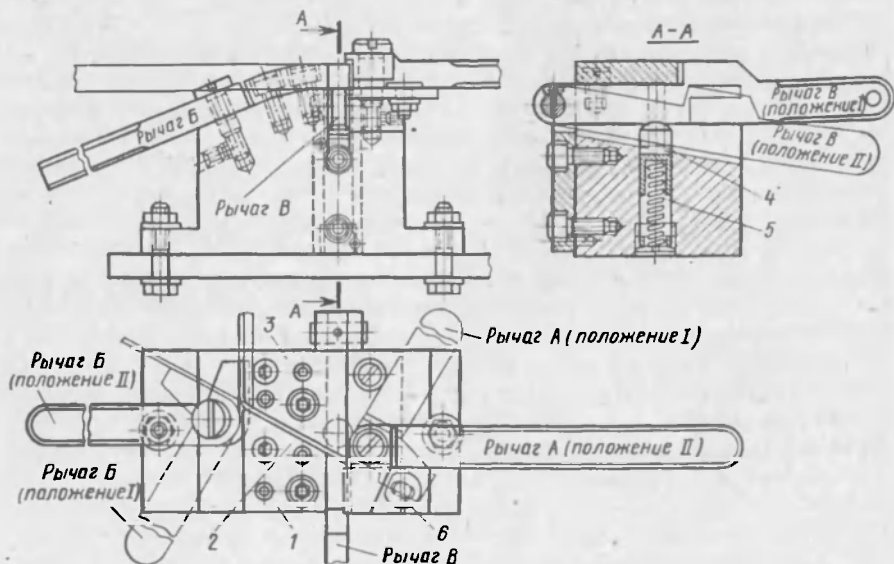


Рис. 55. Приспособление для гибки стержней обмотки ротора

\* На ряде заводов для гибких стержней якорей и фазных роторов крупных электрических машин применяют пневматическое устройство.

ны, противоположной контактными кольцам ротора. После укладки всех стержней верхнего ряда накладывают на стержни временные бандажки, а их концы соединяют медной проволокой для проверки изоляции обмотки (отсутствия замыканий на корпус).

При удовлетворительных результатах испытаний изоляции, продолжая процесс сборки обмотки, изгибают концы верхних стержней, применяя приемы, аналогичные приемам изгибания стержней нижнего слоя, но в противоположную сторону. Изогнутые лобовые части верхних стержней также крепят двумя временными бандажками.

После укладки стержней верхнего и нижнего рядов обмотку ротора сушат при 80—100°C в печи (или в сушильном шкафу), оборудованной приточно-вытяжной вентиляцией. Высушенную обмотку испытывают, присоединяя один электрод от высоковольтного испытательного трансформатора к любому из стержней ротора, а другой — к зачищенному до блеска зубцу сердечника или валу ротора, и, так как все стержни соединены между собой медной проволокой, испытывают одновременно изоляцию всех стержней.

Заключительными операциями изготовления новой обмотки ротора ремонтируемой машины являются соединение стержней, забивка клиньев в пазы и бандажировка обмотки.

Соединение стержней осуществляют пайкой припоем ПОС30 облуженными хомутиками, надеваемыми на концы стержней. Хомутики могут быть изготовлены из тонкой полосовой меди или тонкостенной медной трубки. Кроме того, применяют запирающиеся хомутики, изготавливаемые из медной полосы толщиной 1—1,5 мм. Один конец запирающегося хомутика имеет фигурный выступ, а другой — соответствующий ему вырез. При загибании хомутика выступ входит в вырез и образует замок, препятствующий разгибанию хомутика.

Хомутики надевают (согласно схеме) на концы стержней, забивают между ними по одному медному контактному клину\*, а затем пропаивают соединение припоем ПОС30 паяльником или погружают концы стержней собранной обмотки ротора в ванну с расплавленным припоем (рис. 56). В целях экономии дорогостоящего свинцово-оловянистого припоя применяют также соединение стержней сваркой, однако этот способ имеет ряд недостатков, например, снижает ремонтпригодность машины, так как разборка стержней, соединенных сваркой, связана с большими затратами труда на разъединение и зачистку сварных участков. Для повышения надежности машин применяют соединение стержней пайкой твердыми припоями.

Обмотки фазных роторов асинхронных электродвигателей соединяют преимущественно по схеме «звезда» в такой последовательности. Из шести свободных концов стержней три соединяют вместе, а остальные три подводят к контактному кольцу ротора.

По окончании сборки и пайки стержней обмотки приступают к бандажировке ротора. При вращении роторов возникают, как

---

\* Контактные клинья служат для создания надежного контакта между концами стержней, так как слои стержней разделены изоляцией и поэтому их концы не могут плотно прилегать друг к другу.

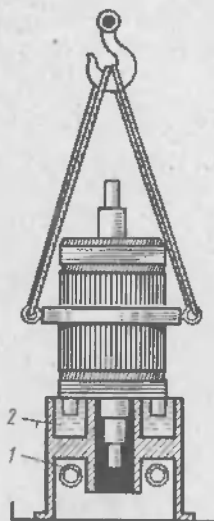


Рис. 56. Пайка концов стержней обмотки ротора в ванне с расплавленным припоем:

1 — электронагреватель, 2 — припой

известно, центробежные силы, стремящиеся отогнуть лобовые части и выбросить обмотку из пазов. Лобовые части обмоток удерживают от отгибания под действием центробежных сил проволочные бандажи.

Пазовые части обмотки крепят в пазах как бандажами, так и клиньями. Способ крепления обмотки в пазах зависит от формы паза. При закрытых, полужакрытых и полуоткрытых пазах обмотки крепят клиньями из дерева или различных твердых электроизоляционных материалов (текстолита, пластмассы и др.). Обмотки роторов, расположенные в открытых пазах сердечника, крепят клиньями и бандажами.

Бандажировку роторов производят с помощью специальных приспособлений, снабженных устройством для создания требуемого натяжения бандажной проволоки во время намотки бандажа. Бандажи обычно бывают рассчитаны на максимальную частоту вращения  $n_{\max}$ , которую может развить ротор при работе электродвигателя. Для асинхронных машин  $n_{\max}$  принимается равным 1,3 их номинальной частоты вращения, т. е.  $n_{\max} = 1,3$ .

Расчет бандажей обычно ведут, исходя из массы обмотки, отдельно для ее пазовой и лобовых частей. При расчете определяют:

массу обмотки (кг), находящейся в пазах,  $G = 0,0116abS_n z l$ , где  $a, b$  — размеры сторон прямоугольного стержня обмотки, мм;  $S_n$  — общее число стержней в пазу;  $z$  — число пазов;  $l$  — длина обмотки ротора без лобовых частей, мм; диаметр бандажной проволоки  $d$  выбирают по табл. 2;

Таблица 2. Диаметры проволоки для бандажировки роторов электрических машин

Диаметр сердечника ротора $D$ , мм	Диаметр бандажной проволоки $d$ , мм	Характеристика проволоки
100—200	0,8	Стальная луженая с сопротивлением на разрыв не менее 170 кПа
201—400	1,0	
401—600	1,2	
501—1000	1,5	
Выше 1000	2,0	

число витков всех бандажей, наматываемых на сердечник

$$w_{\text{с.с.}} = 1,2 \frac{G(D - h_n)}{d^2 R} \cdot \left( \frac{n_{\max}}{1000} \right)^2,$$

где  $D$  — диаметр сердечника ротора, мм;  $h$  — глубина паза сердечника ротора, мм;  $d$  — диаметр бандажной проволоки, мм;  $R$  — допустимое напряжение растяжения в бандаже;

массу лобовой части обмотки (кг), расположенной на одной из сторон ротора:  $G = \frac{0,012D}{p} abS z$ , где  $p$  — число пар полюсов ротора;

число витков бандажа, наматываемых на лобовые части обмотки.

$$w_{6.л} = 1,2 \frac{G(D - h_n)}{d^2 R} \cdot \frac{n_{max} \cdot 2}{1000}$$

При ремонтах, связанных с изменением частоты вращения ремонтируемой машины, новое число витков бандажа  $w_{нов} = \frac{1,63GD}{d^2(R - R_m)}$ , где  $R_m$  — напряжение растяжения, возникающее в бандаже от его массы при вращении ротора.

При отсутствии бандажной проволоки требуемого диаметра ее заменяют проволокой другого, близкого диаметра, изменяя при этом число витков бандажа пропорционально квадрату отношения диаметров. Так, например, бандаж из 30 витков, выполненный проволокой  $\varnothing 1,2$  мм, может быть заменен бандажом, выполненным проволокой  $\varnothing 1,0$  мм; при этом количество витков нового бандажа составит  $30 \left(\frac{1,2}{1,0}\right)^2 = 30 \frac{1,44}{1,0} = 43$  витка. Ширина бандажа теперь будет не  $30 \times 1,2 = 36$  мм, а  $43 \times 1 = 43$  мм.

Бандажировку обмоток роторов производят на специальных станках с электродвигательным приводом или на различных приспособлениях. В электроцехах многих предприятий для бандажировки обмоток роторов используют токарные станки в сочетании с приспособлением для контролируемого натяжения наматываемой бандажной проволоки.

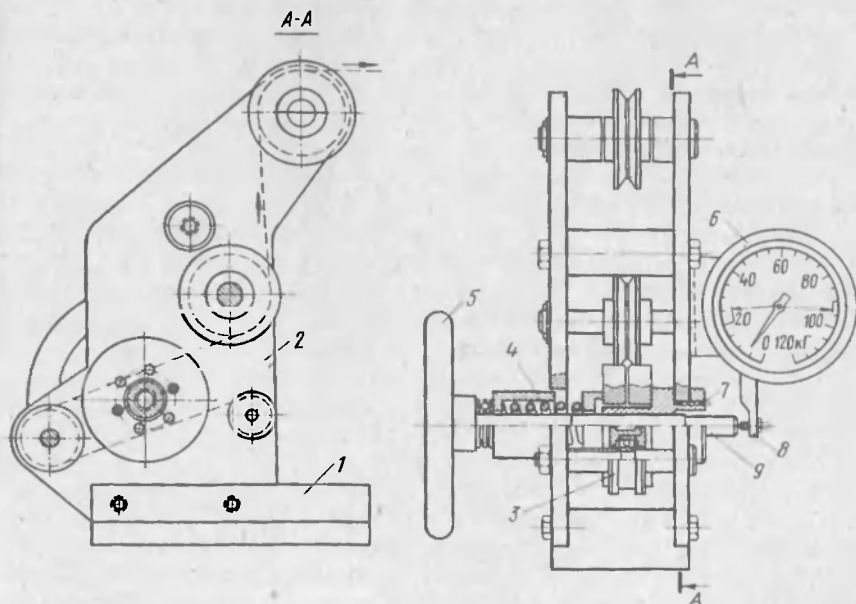


Рис. 57. Приспособление для натяжения бандажной проволоки при намотке бандажей



Простое по конструкции натяжное устройство, разработанное и внедренное на заводе «Электросила», показано на рис. 57. Основными его частями являются: основание 1, разъемная станина, состоящая из двух щек 2, механизм прижима, состоящий из штурвала 5, жестко сцепленного с винтом 9 и неподвижной гайкой 7, пружина 4 и два прижимных диска 3, между которыми происходит торможение проволоки. Бандажную проволоку заправляют через систему роликов (пунктирные линии на рисунке) и зажимают штурвалом между дисками, которые не вращаются, но свободно перемещаются относительно друг друга. Натяг проволоки, создаваемый дисками, зависит от усилия сжатия их пружиной, тарированной с циферблатом отсчета динамометра 6. Перемещая винт, воздействуют на упор передаточного рычага 8 динамометра, стрелка которого показывает усилие сжатия, т. е. натяг проволоки.

При отсутствии специальных приспособлений натяжение бандажной проволоки создают с помощью груза. Для этого заготавливают кусок проволоки необходимой длины. Установив бандажируемый ротор в козлах и временно закрепив один конец проволоки на участке, где должен располагаться крайний виток бандажа, вращают ротор по ходу часовой стрелки и наматывают на него вручную весь бандаж. Второй конец проволоки перебрасывают через блок с грузом и закрепляют его на роторе. После этого вращают ротор против хода часовой стрелки, наблюдая за грузом. При вращении ротора груз, создавая натяжение проволоки, перемещается вдоль оси ротора от одного крайнего положения до другого (по ширине бандажа), укладывая витки проволоки с необходимым натяжением.

Массу подвешиваемого груза  $Q$  (кг) определяют по формуле

$$Q = P \sqrt{4 - \left( \frac{D_p - D_b}{l} \right)^2}$$

где  $P$  — натяжение, кПа;  $D_p$  — диаметр ротора, мм;  $D_b$  — диаметр блока (должен быть не менее 60 мм), мм;  $l$  — расстояние между осями ротора и блока, мм.

Для бандажировки роторов применяют стальную луженую проволоку  $\varnothing 0,8$ —2 мм, обладающую большим сопротивлением на разрыв. Ниже приведены натяжения стальной проволоки при бандажировке.

Диаметр проволоки, мм	Натяжение, кПа
0,8	30—40
1	50—60
1,2	65—80
1,5	100—120
2	160—200

Перед намоткой бандажей лобовые части обмотки осаживают ударами молотка через деревянную прокладку, чтобы они ровно располагались по окружности. При бандажировке ротора пространство под бандажами покрывают полосками электрокартона, чтобы создать прокладку, выступающую на 1—2 мм по обеим сторонам банда-

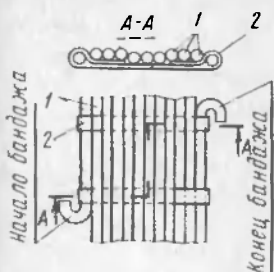


Рис. 58. Расположение витков бандажки и заделка концов бандажной проволоки:

1 — витки бандажной проволоки, 2 — замочные скобки

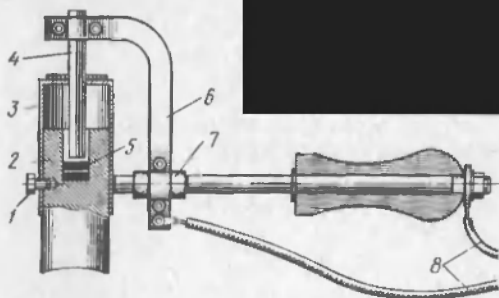


Рис. 59. Электродуговой паяльник:

1 — стопорный винт, 2 — медный стержень, 3 — стальная обойма, 4 — электрод, 5 — электроугольная пластина, 6 — электрододержатель, 7 — асбестовая изоляция, 8 — провода для подключения паяльника к сварочному трансформатору

жа. Весь бандаж наматывают одним куском проволоки, без паяк. Во избежание вспучивания на лобовые части обмотки витки проволоки накладывают от середины ротора к его концам. При наличии на роторе специальных канавок проволока бандажки и замки не должны выступать над канавками, а при отсутствии канавок толщина и расположение бандажки должны быть такими, какими они были до ремонта.

Устанавливаемые на роторе скобки должны размещаться над зубцами, а не над пазами. При этом ширина скобки должна быть меньше ширины верхней части зубца. Скобки на бандажках расставляют равномерно по окружности ротора; расстояние между ними должно быть не более 160 мм. Расстояние между двумя соседними бандажками должно быть 200—260 мм. Начало и конец бандажной проволоки 1 (рис. 58) заделывают двумя замочными скобками 2 шириной 10—15 мм, которые устанавливают на расстоянии 10—30 мм одна от другой. Края скобок заворачивают на витки бандажки и запаивают припоем ПОС30.

Полностью намотанные бандажки для увеличения прочности и предотвращения их разрушения центробежными усилиями, создаваемыми массой обмотки при вращении ротора, пропаяют по всей поверхности припоем ПОС30. Пайку бандажки производят электродуговой паяльником (рис. 59) с медным стержнем 2 Ø30—50 мм, присоединяемым к сварочному трансформатору. При пайке бандажки крупных машин для увеличения паяющей поверхности и улучшения условий нагрева и пайки применяют электродуговые паяльники со сменными стержнями, наконечники которых имеют вогнутую форму.

В ремонтной практике нередко проволочные бандажки ремонтируемой электрической машины заменяют бандажками, выполненными лентами из однонаправленного (в продольном направлении) стеклянного волокна, пропитанного термореактивными лаками. Для наматывания бандажки из стекловолна применяют то же оборудование, что и для бандажки стальной проволокой, но дополнен-

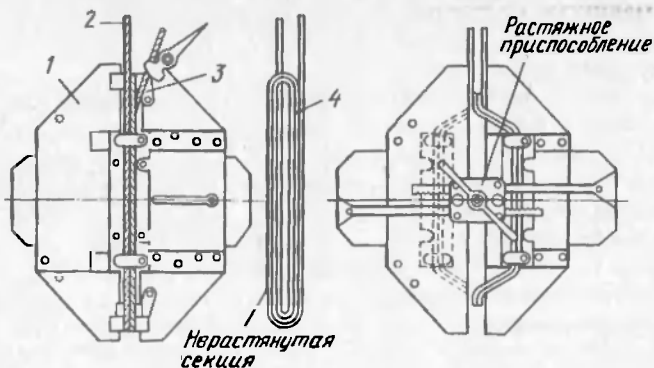


Рис. 60. Универсальный шаблон для намотки и растяжки секций обмоток якорей:

1 — щека, 2 — провод секции, 3 — скоба, 4 — секция

ное приспособлениями в виде натяжных роликов и укладчиков ленты.

В отличие от бандажировки стальной проволокой ротор до наматывания на него бандажей из стекловолокна прогревают до  $100^{\circ}\text{C}$ .

Необходимость предварительного нагрева ротора вызвана тем, что при наложении бандажа на холодный ротор остаточное натяжение в бандаже при его запекании снижается больше, чем при бандажировке нагретого.

Сечение бандажа из стекловолокна должно не менее чем в 2 раза превосходить сечение соответствующего бандажа из проволоки. Крепление последнего витка стекловолокна с нижележащим слоем происходит в процессе сушки обмотки при спекании термореактивного лака, которым пропитано стекловолокно. При бандажировке обмоток роторов стекловолокном отпадает необходимость применения замков, скобок и подбандажной изоляции.

**Обмотки якорей.** Основными неисправностями обмоток якорей являются пробой на корпус или на бандаж, замыкание между витками и секциями, механические повреждения паек. При подготовке якоря к ремонту с заменой обмотки очищают его от грязи и масла, снимают старые бандажи и, распяв коллектор, удаляют старую обмотку, предварительно записав все данные, необходимые для ремонта.

В якорях с миканитовой изоляцией часто очень трудно извлечь обмотки из пазов. Если не удастся вынуть секции, нагревают якорь в сушильном шкафу до  $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$  и поддерживают эту температуру в течение 40—50 мин. После этого извлекают секции из пазов, используя тонкий шлифованный клин, который для поднятия верхних секций вбивают между верхней и нижней секциями, а для поднятия нижних — между нижней секцией и дном паза. Пазы освобожденного от обмотки якоря очищают от остатков старой изоляции и обрабатывают напильниками или стальными дорнами, а затем дно и стенки пазов покрывают изоляционным лаком.

В машинах постоянного тока наиболее широко распространены шаблонные якорные обмотки. Для намотки секций такой обмотки применяют изолированные провода.

Секции шаблонной обмотки наматывают на универсальных шаблонах (рис. 60), которые позволяют производить намотку, а затем растяжку небольшой секции, не снимая ее с шаблона. Растяжку секций якорей крупных машин производят на специальных станках с механическим приводом. Перед растяжкой секцию скрепляют, временно оплетая ее хлопчатобумажной лентой в один слой, чтобы обеспечить правильность ее формирования при растяжке.

Катушку шаблонных обмоток (рис. 61, а) изолируют вручную, а на крупных ремонтных предприятиях — на специальных изолировочных станках. Станок (рис. 61, б) состоит из натяжного ролика 2, ролика 3 с изоляционной лентой 1, упора 4, вращающегося кольца 5 и направляющих роликов 6, установленных на станине 7. Станок приводится в движение электродвигателем мощностью 0,6 кВт с круглоремненной передачей 8. Вставив изолируемую катушку в станок до упора, включают электродвигатель, который приводит в движение кольцо с укрепленным на нем роликом 3. Ролик обегает вокруг катушки (по ее сечению) и наматывает на нее хлопчатобумажную изоляционную ленту.

Для равномерной изоляции всей поверхности катушки ее медленно передвигают слева направо по неподвижному упору 4. Изолированную катушку пропитывают и сушат, после чего вкладывают в пазы сердечника якоря и закрепляют в них клинья.

Якорь, подготовленный к закладке в его пазы катушки обмотки, показан на рис. 62. При вкладывании шаблонной катушки надо следить, чтобы она ложилась правильно в паз, т. е. ее концы, обращенные в сторону коллектора, а также расстояние от края стали

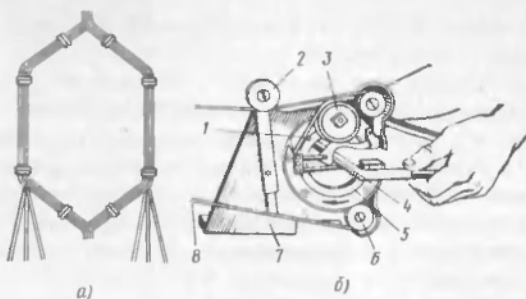


Рис. 61. Изолировка катушки шаблонной обмотки якоря:

а — катушка, подготовленная к изолировке, б — изолировка катушки на станке

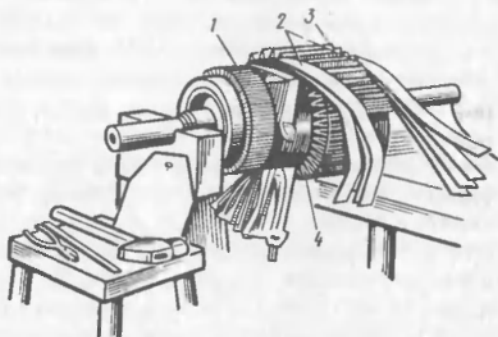


Рис. 62. Якорь машины постоянного тока перед укладкой в него катушки шаблонной обмотки:

1 — коллектор, 2 — межсекционная изоляция из полос электрокартона, 3 — сердечник, 4 — пазовая изоляция (коробочки)

сердечника до перехода прямой (пазовой) части в лобовую, должны быть одинаковыми.

После укладки всех катушек контрольной лампой проверяют правильность вывода проводов из пазов, а затем присоединяют провода к пластинам коллектора пайкой припоем ПОС30.

Присоединение пайкой концов обмотки якоря к пластинам коллектора является одной из ответственных операций, так как некачественно выполненная пайка вызывает местное увеличение сопротивления и повышенный нагрев участка соединения при работе машины.

Для выполнения пайки предварительно устанавливают якорь с коллектором на подставке в наклонном положении, чтобы при пайке не допустить затекания припоя в пространство между пластинами, а также защищают обмотку якоря несколькими слоями асбестовой ткани. Далее вкладывают зачищенные концы проводов обмотки в прорези пластин, посыпают порошком канифоли, нагревают коллектор до 180—200°C паяльной лампой или газовой горелкой и, расплавляя паяльником прутки припоя, припаивают провода обмотки к пластинам.

Качество пайки проверяют внешним осмотром места пайки, измерением переходного сопротивления между соседними парами пластин коллектора, пропуском нормального рабочего тока по обмотке якоря.

На поверхности пластин коллектора и между ними не должно быть застывших капель припоя. При качественно выполненной пайке переходное сопротивление между всеми парами пластин коллектора должно быть одинаковым: резкое отличие в сторону увеличения переходного сопротивления в какой-либо паре пластин будет свидетельствовать о низком качестве пайки на этом участке. При

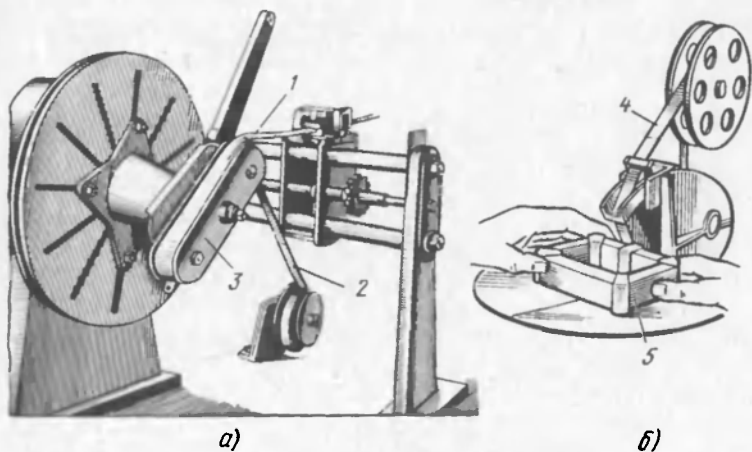


Рис. 63. Станки для намотки катушки из полосовой меди (а) и изолировки намотанной катушки (б):

1 — асбестовая лента, 2 — микалента, 3 — шаблон, 4 — изоляционная лента, 5 — полюсная катушка

пропускании по обмотке якоря в течение 20—30 мин нормального рабочего тока не должны наблюдаться местные повышенные нагревы, свидетельствующие о неудовлетворительно выполненной пайке.

Полюсные катушки машин постоянного тока. При ремонте машин постоянного тока наиболее сложной операцией является изготовление новых полюсных катушек, которые изготавливают на специальных станках (рис. 63, а, б). Катушки главных полюсов наматывают на каркасы или шаблоны, руководствуясь обмоточными данными ремонтируемой машины. Каркасы изготавливают из листового электрокартона, а шаблоны — из дерева или листовой стали. Шаблон из дерева применяют при намотке катушек малых машин, а из стали — при намотке катушек средних и крупных машин.

Намотку катушек главных полюсов выполняют в такой последовательности. Вручную изолируют каркас или шаблон по высоте несколькими слоями микафолия, а затем укрепляют на нем изолированную лакотканью выводную пластину, припаянную к началу обмоточного провода. Каркас (шаблон) устанавливают на станок и наматывают катушку. При этом следят, чтобы провод укладывался равномерно, без зазоров и переходов через витки. Перед намоткой последнего слоя провода на каркас устанавливают вторую выводную пластину, к которой припоем ПОС30 припаивают второй конец катушки. Намотанную катушку сушат и пропитывают, а затем покрывают лаком и сушат на воздухе в течение 10—12 ч. Готовую катушку 5 (рис. 64) насаживают на полюс 4 и крепят деревянными клиньями 3.

Полюсные катушки изготавливают и другим способом, при котором провод наматывают не на каркас или шаблон, а непосредственно на изолированный полюс. При этом придерживаются такой последовательности операций. Сначала очищают поверхность полюса и покрывают ее глифталевым лаком. Далее отрезают полосу лакоткани шириной 80 мм и длиной, равной периметру полюса, а затем наклеивают лакоткань так, чтобы она прилежала к сердечнику полюса половиной ширины. После этого изолируют сердечник полюса, наматывая на него слои микафолия и асбеста, пропитанного лаком. Каждый слой микафолия проглаживают горячим утюгом и протирают чистой сухой тряпкой. Наложив изоляцию требуемой толщины, загибают на сердечник свешивающийся край лакоткани и наклеивают ее на плоский слой микафолия. На изолированный полюс надевают нижнюю изоляционную шайбу, наматывают катушку и надевают верхнюю изоляционную шайбу. После этого катушку закрепляют на полюсе, расклинивая деревянными клиньями.

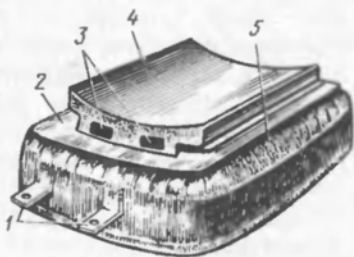


Рис. 64. Полюсная катушка, надетая на полюс:

1 — выводные пластины, 2 — каркас, 3 — клинья, 4 — полюс, 5 — катушка

Катушки дополнительных полюсов мелких машин наматывают изолированным проводом, а средних и крупных — голым шинным проводом прямоугольного сечения, укладывая витки катушки плашмя или на ребро. У катушки дополнительных полюсов повреждается не медь, а изоляция, поэтому ремонт катушки практически сводится к восстановлению ее изоляции. Изоляцией между витками служит асбестовая бумага толщиной 0,3 мм, которую нарезают по размеру витков в виде рамок и вкладывают между витками после намотки. Наружная изоляция катушки состоит из последовательно накладываемых слоев асбестовой ленты и микаленты, закрепляемых хлопчатобумажной лентой. При переизолировке катушку очищают от старой изоляции и надевают на специальную оправку.

Прокладки заготавливают из асбестовой бумаги, электрокартона или миканита. Число прокладок должно быть равно числу витков. Витки катушки на оправке раздвигают, а затем вкладывают между слоем бакелитового или глифталевого лака. Затем стягивают катушку хлопчатобумажной лентой и прессуют на металлической оправке.

Катушку прессуют следующим образом. На оправку надевают торцевую изоляционную шайбу, устанавливают на ней катушку и накрывают второй шайбой, а затем сжимают катушку. Далее подключают катушку к сварочному трансформатору, нагревают до 120°C, после чего, дополнительно сжимая, ее прессуют окончательно, а затем охлаждают в запрессованном положении на оправке до 25—30°C и снимают с оправки. Охлажденную катушку покрывают лаком воздушной сушки и выдерживают в течение 10—12 ч при 20—25°C.

Наружную поверхность опрессованной катушки изолируют асбестовой, а затем миканитовыми лентами, закрепляемыми хлопчатобумажной лентой, которую затем покрывают лаком. Готовую катушку насаживают на дополнительный полюс и закрепляют на нем деревянными клиньями.

Сушка и пропитка обмоток. Применяемые в обмотках некоторые изоляционные материалы (электрокартон и др.) способны впитывать влагу, содержащуюся в окружающей среде. Такие материалы называют гигроскопичными. Наличие влаги в электроизоляционных материалах препятствует глубокому проникновению пропиточных лаков в поры и капилляры изоляционных деталей при пропитке обмотки, поэтому перед пропиткой обмотки сушат.

Сушка обмоток\* статоров, роторов и якорей до пропитки производится в специальных печах при 100—120°C. В последнее время сушку обмоток (до пропитки) стали производить инфракрасными лучами, источниками которых являются специальные лампы накаливания. Эти лампы отличаются от обычных ламп накаливания тем,

---

\* Сушку обмоток до пропитки не производят только в случае, когда обмотка выполнена из влагостойких материалов — эмалированных проводов или проводов со стекловолоконной изоляцией, а пазовая изоляция — из стеклоткани или других аналогичных ей по своим изоляционным свойствам негигроскопичных электроизоляционных материалов.

что на их внутренней поверхности имеется отражательный слой, способствующий большой отдаче и равномерному распределению теплоты.

Просушенные обмотки пропитывают в специальных пропиточных ваннах, устанавливаемых в отдельном помещении, оборудованном приточно-вытяжной вентиляцией и оснащенном необходимыми средствами пожаротушения.

Пропитка осуществляется погружением частей электрической машины в ванну, заполненную лаком, поэтому размеры ванны должны быть рассчитаны на габариты ремонтируемых машин. Ванны для пропитки статоров и роторов крупных электрических машин снабжены пневморычажным механизмом, позволяющим поворотом рукоятки распределительного крана плавно и без усилий открывать и закрывать тяжелую крышку.

Для пропитки обмоток применяют масляные, масляно-битумные и полиэфирные пропиточные лаки, а в особых случаях кремний-органические лаки. Пропиточные лаки должны обладать малой вязкостью и хорошей проникающей способностью, обеспечивающей глубокое проникновение во все поры пропитываемой изоляции. В лаке не должно быть веществ, оказывающих вредное воздействие на провода и изоляцию обмотки, а также они должны длительное время противостоять воздействию рабочей температуры, не теряя при этом изолирующих свойств.

Обмотки электрических машин пропитывают один, два или три раза в зависимости от условий их эксплуатации, требований электрической прочности, окружающей среды, режима работы и т. д. При пропитке обмоток непрерывно проверяют вязкость и густоту лака в ванне, потому что растворители лаков постепенно улетучиваются и лаки густеют. При этом сильно снижается их способность проникать в изоляцию проводов обмотки, расположенных в пазах сердечника статора или ротора. Особенно она снижается у густого лака при плотной укладке проводов в пазах. Недостаточная изоляция обмоток при определенных условиях может привести к пробоем их изоляции и аварийному выходу электрической машины из строя.

Для сохранения требуемой густоты лака в пропиточную ванну периодически добавляют растворители (кг), количество которых определяют по формуле

$$Q_{\text{доб}} = g_{\text{л}} \frac{S_{\text{л}}}{S_{\text{р}}} \left( \frac{N_{\text{н}}}{N_{\text{ж}}} - 1 \right),$$

где  $g_{\text{л}}$  — количество лака в пропиточной ванне, кг;  $S_{\text{л}}$  — плотность лака в ванне, г/см<sup>3</sup>;  $S_{\text{р}}$  — плотность растворителя, г/см<sup>3</sup>;  $N_{\text{н}}$  — содержание нелетучих веществ в ванне, % по массе;  $N_{\text{ж}}$  — желаемое содержание нелетучих веществ после разбавления, % по массе.

Обмотки, как правило, пропитывают лаками БТ-980, БТ-987, БТ-988 и др. При скоростных ремонтах и в аварийных случаях обмотки пропитывают и покрывают быстросохнущим лаком воз-



душной сушки, КО-961П, который высыхает при 20°C в течение 4—5 ч и создает пленку, обладающую значительной влагостойкостью и высокой изолирующей способностью.

Покровные и пропиточные лаки выбирают в зависимости от конкретных условий работы демонтируемой электрической машины, окружающей среды, конструкции машины, класса изоляции.

Лаки и растворители токсичны, пожароопасны и поэтому должны храниться в специальных помещениях при температуре не ниже 8° и не выше 25°C. Склад, где хранятся лаки и растворители, должен быть оборудован вентиляцией и оснащен необходимыми средствами пожаротушения. Всю работу с растворителями и лаками рабочий должен выполнять в брезентовых рукавицах, защитных очках и резиновом фартуке. Лаки разводят в количествах, необходимых только для текущих работ. Запасы разбавленных лаков не делают.

Обмотки электрических машин после пропитки сушат в специальных камерах подогретым воздухом. По способу нагрева сушильные камеры делят на камеры с электрическим, газовым или паровым подогревом, а по принципу циркуляции подогретого воздуха — с естественной или искусственной (принудительной) циркуляцией. По режиму работы различают сушильные камеры периодического и непрерывного действия.

В целях многократного использования теплоты подогретого воздуха и улучшения режима сушки в камерах используют способ циркуляции, при котором 50—60% отработавшего горячего воздуха вновь возвращается в сушильную камеру. Для сушки обмоток на большинстве электроремонтных заводов и в электрических цехах промышленных предприятий применяют сушильные камеры с электрическим обогревом.

Сушильная камера с электрическим обогревом представляет собой сварную каркасную конструкцию из стали, установленную на бетонном полу. Стены камеры выложены кирпичом и покрыты слоем шлаковаты. Воздух, подаваемый в камеру, подогревается электрическим калорифером, состоящим из комплекта трубчатых нагревательных элементов. Мощность калорифера 30—35 кВт. Загрузку и выгрузку камеры осуществляют тележкой, движением которой (вперед и назад) можно управлять с пульта управления. Пусковые и включающие аппараты вентилятора и нагревательных элементов камеры сблокированы так, что нагревательные элементы можно включать только после запуска вентилятора. Движение воздуха через калорифер в камеру происходит по замкнутому циклу.

В первый период сушки (1—2 ч после начала), когда содержащаяся в обмотках влага быстро испаряется, отработавший воздух полностью выпускается в атмосферу; в последующие часы сушки часть отработавшего воздуха, содержащего небольшие количества влаги и паров растворителя, возвращается в камеру. Максимальная температура в камере 200°C, а полезный внутренний объем определяется габаритами ремонтируемых электрических машин.

Во время сушки обмоток ведется непрерывный контроль температуры в сушильной камере и температуры выходящего из камеры воздуха. Время сушки зависит от конструкции и материала пропитанных обмоток, габаритов изделия, свойств пропиточного лака и применяемых растворителей, температуры сушки и способа циркуляции воздуха в сушильной камере, тепловой мощности калорифера.

Обмотки устанавливают в сушильную камеру таким образом, чтобы они лучше омывались горячим воздухом. Процесс сушки разделяется на разогрев обмоток для удаления растворителей и запекание лаковой пленки.

При разогреве обмоток для удаления растворителя повышение температуры более 100—110°C нежелательно, так как может произойти частичное удаление лака из пор и капилляров и, главное, частичное запекание лаковой пленки при неполном удалении растворителя. Это обычно приводит к пористости пленки и затрудняет удаление остатков растворителя.

Интенсивный воздухообмен ускоряет процесс удаления растворителей из обмоток. В каждом конкретном случае скорость обмена воздуха выбирают в зависимости от конструкции, состава изоляции обмоток, пропиточных лаков и растворителей. Для сокращения времени сушки допускается на второй стадии сушки обмоток, т. е. во время запекания лаковой пленки, кратковременно (не более чем на 5—6 ч) повысить температуру сушки обмоток с изоляцией класса А до 130—140°C. Если обмотка не поддается сушке (сопротивление изоляции после нескольких часов сушки остается низким), то дают машине возможность остыть до температуры, на 10—15°C превышающей температуру окружающего воздуха, а затем вновь сушат обмотку. При остывании машины следят за тем, чтобы ее температура не понизилась до температуры окружающего воздуха, иначе на ней осядет влага и обмотка отсыреет.

В крупных электроремонтных предприятиях процессы пропитки и сушки совмещены и механизированы. Для этой цели применяют специальную пропиточно-сушильную конвейерную установку.

**Испытание обмоток.** Основными показателями качества изоляции обмотки, определяющими надежность работы электрической машины, являются сопротивление и электрическая прочность ее изоляции. Поэтому в процессе изготовления обмоток ремонтируемых машин производят необходимые испытания при каждом переходе от одной технологической операции к другой. По мере выполнения операций изготовление обмотки и движения к завершающей стадии значения испытательных напряжений снижаются, приближаясь к наименьшим допустимым, предусмотренным соответствующими нормами. Это объясняется тем, что после выполнения нескольких отдельных операций каждый раз сопротивление изоляции может снижаться, и, если на отдельных стадиях ремонта не снижать испытательные напряжения, это может привести к пробое изоляции в такой момент готовности обмотки, когда для устранения дефекта потребуются переделка всей, ранее проделанной работы.

Испытательные напряжения должны быть такими, чтобы в процессе испытаний выявлялись дефектные участки изоляции, но в то же время не повреждалась исправная часть изоляции.

Значения испытательных напряжений в процессе ремонта обмоток приведены в табл. 3.

В перечень испытаний обмоток входит измерение сопротивления изоляции обмоток до пропитки и после пропитки и сушки. Кроме того, испытывают электрическую прочность изоляции обмоток приложением высокого напряжения.

Сопротивление изоляции обмоток электродвигателей напряжением до 500 В, измеренное мегаомметром на 1000 В после пропитки и сушки должно быть не ниже: 3 МОм — для обмотки статора и 2 МОм — для обмотки ротора (после полной перемотки); 1 МОм — для обмотки статора и 0,5 МОм — для обмотки ротора (после частичной перемотки). Указанные значения сопротивлений изоляции обмоток не нормированы, а рекомендованы, исходя из практики ремонта и эксплуатации отремонтированных электрических машин.

Т а б л и ц а 3. Значения напряжений при испытаниях в процессе ремонта обмоток

Процессы ремонта	Испытательное напряжение, В, при номинальном напряжении машины, В		
	до 230	400	660
Изготовление или переизолировка катушки после укладки в пазы и заклиновки:			
до соединения схемы	2000	2300	2600
после соединения, пайки и изолировки схемы	1700	2000	2200
Испытание катушки, не демонтированной из пазов	1300	1600	1800
Испытание всей обмотки после соединения схемы при частичном ремонте обмоток	1100	1300	1600

П р и м е ч а н и е. Продолжительность испытаний 1 мин.

## § 26. Ремонт токособирательной системы электрических машин

К токособирательной системе электрических машин относят коллекторы, контактные кольца, щеткодержатели с траверсами и механизм для подъема щеток и замыкания колец фазных роторов машин старых конструкций. В процессе работы электрической машины отдельные элементы ее токособирательной системы изнашиваются, вследствие чего нарушается ее нормальная работа.

Наиболее распространенными дефектами токособирательной системы являются недопустимый износ коллектора и контактных

колец и появление на их рабочих поверхностях неровностей и кольцевых износов, (дорожек). Причинами возникновения этих дефектов служат главным образом повышенная вибрация машины, неправильная установка и неудовлетворительная притирка щеток, недопустимо большое давление щеток на коллектор и применение более твердых щеток, чем рекомендовано для данной машины. Повышенная вибрация является чаще всего следствием неудовлетворительной балансировки ротора (якоря) машины, нарушения соосности валов машины и агрегата, а также неправильного соединения полумуфта.

Коллекторы. Неровности и дорожки на поверхности коллектора устраняют полировкой, шлифовкой или обточкой. Выбор способа устранения этих дефектов при ремонте зависит от величины выработки в металле коллектора. При выработке глубиной до 0,2 мм применяют полировку, до 0,5 мм — шлифовку, более 0,5 мм — обточку.

Обточку и шлифовку коллектора выполняют на токарных станках или с помощью переносных приспособлений. При обточке коллектора (рис. 65,а) скорость резания не должна превышать 1—1,5 м/с, а подача резца — 0,2—0,3 мм. При изготовлении новых коллекторов оставляют небольшой запас на износ — 6 мм на одну сторону для коллекторов  $\varnothing$  до 100 мм, 8 мм — для коллекторов  $\varnothing$  101—250 мм и 10—15 мм — для коллекторов  $\varnothing$  более 251 мм. Поэтому при каждой очередной обточке снимают с коллектора столько металла, сколько необходимо для устранения имеющегося дефекта.

Шлифовку коллектора с помощью приспособления (рис. 65,б) производят мелкозернистыми карборундовыми кругами СТ-2 или СТ-3 при номинальной частоте вращения ремонтируемой машины.

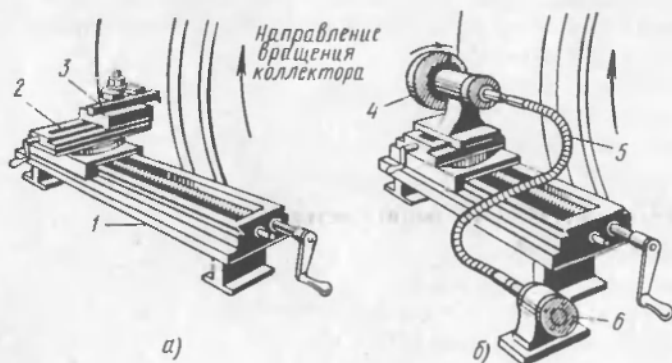


Рис. 65. Переносные приспособления для ремонта коллекторов при вращении электрической машины в собственных подшипниках:

а — для обточки, б — для шлифовки; 1 — станина, 2 — суппорт, 3 — резец, 4 — карборундовый круг, 5 — гибкий вал, 6 — электродвигатель

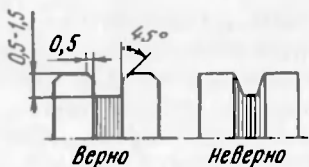


Рис. 66. Размеры обработки пластин и выборки межпластинной изоляции при продороживании коллектора

При шлифовке на токарном станке частота вращения коллектора не должна превышать номинальной частоты вращения машины, которой принадлежит шлифуемый коллектор.

Полировку коллектора выполняют при номинальной частоте вращения машины и применяют мелкую стеклянную шкурку. Наиболее пригодна шкурка с зернистостью № 180—200. Шкурку накладывают на деревянный брусок, пригнанный по поверхности коллектора, а затем, прижимая с некоторым усилием брусок со шкуркой к поверхности вращающегося коллектора, полируют его. Если нет стеклянной шкурки требуемых номеров, коллектор полируют пемзой.

После обточки изоляцию коллектора продороживают на глубину 0,5—1,5 мм. Края пластин коллектора скашивают под углом  $45^\circ$ , как показано на рис. 66. Продороживание изоляции выполняют ручным резакком, изготовленным из куска ножовочного полотна, или специальным переносным устройством (рис. 67). Электродвигатель 1 мощностью 0,25 кВт укомплектован редуктором 3 с передаточным числом 1:3. Управление двигателем осуществляет магнитный пускатель 2, кнопка включения и отключения которого размещена в правой рукоятке 5 рабочей части 6. Рабочая часть снабжена метрической шкалой для установки дисковых фрез на размер и шаг коллекторных пластин, а также концентрическим зажимом, позволяющим регулировать глубину продороживания. Прорезание изоляции осуществляется фрезой левого вращения и соответствующей толщины.

Продороживание выполняют следующим образом. Сначала заземляют электродвигатель, подключают его к сети, с помощью каретки и подвижных опор устанавливают необходимую глубину продороживания и шаг коллекторных пластин. После этого вручную продороживают первую прокладку между пластинами. Затем, взяв в руки рабочую часть приспособления, ставят направляющий нож в продороженную канавку, пускают двигатель и, направляя вращающуюся фрезу вдоль прокладки между пластинами, продороживают ее. Далее нажимают кнопку и останавливают электродвигатель, устанавливают направляющий нож в только что выбранную фрезой дорожку и, повторяя

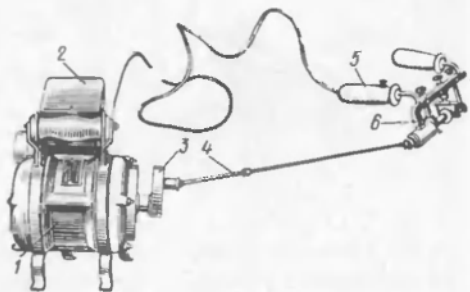


Рис. 67. Переносное устройство для механизированной выборки межпластинной изоляции коллектора:

- 1 — электродвигатель, 2 — магнитный пускатель, 3 — редуктор, 4 — карданный вал, 5 — рукоятка, 6 — рабочая часть

операцию, выбирают фрезой следующую дорожку между пластинами коллектора.

Переносное устройство для продоруживания изоляции коллектора широко используют в ремонтной практике, так как его применение снижает затраты труда на эту операцию в 4 раза по сравнению с выполнением этих работ вручную и намного повышает их качество. Масса рабочей части около 1,5 кг, всего приспособления — 10 кг.

Приступая к работе по продоруживанию, рабочий должен убедиться в правильном направлении вращения фрезы и прочности ее крепления. Правильное направление вращения фрезы указывает стрелка, прикрепленная на корпусе устройства. Работу по продоруживанию рабочие должны выполнять в защитных очках, рукава одежды должны быть завязаны на запястьях рук.

В некоторых случаях, о которых упоминалось выше, коллектор может оказаться в таком состоянии, что для ремонта машины его необходимо заменять новым, лучше всего заводского изготовления. При замене выпрессовывают старый коллектор и напрессовывают на вал новый. Эту операцию выполняют в специальных приспособлениях гидравлическими прессами. Практика показывает, что часто предприятия не имеют запасных коллекторов и при замене дефектного коллектора они вынуждены изготавливать новый собственными силами.

Новый коллектор изготавливают, руководствуясь основными размерами старого, учитывая при этом степень его износа. Перед разборкой дефектного коллектора его поверхность покрывают двумя слоями картона, поверх которых на расстоянии 50—60 мм друг от друга накладывают два бандаж из мягкой проволоки, чтобы предохранить пластины от рассыпания. Вывернув крепежные болты, легкими ударами молотка снимают нажимную шайбу и конус, предварительно отметив взаимное расположение всех деталей.

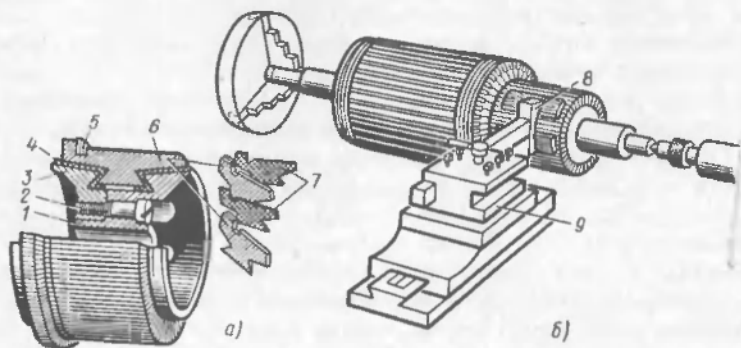


Рис. 68. Устройство коллектора (а) и способ его динамической формовки (б):

1 — втулка, 2 — стяжной винт, 3 — конус, 4 — изоляционная манжета, 5 — петушок, 6 — пластины, 7 — межпластинная изоляция из миканита, 8 — деревянная колодка, 9 — суппорт токарного станка

Пластины коллектора (рис. 68, а) изготавливают из полос холодной тянутой меди трапецеидального сечения с соответствующими размерами клина. Полосу рубят на куски требуемой величины (по ширине коллектора) с припуском 2—4 мм на сторону по длине. В качестве межпластинной изоляции применяют листовой твердый миканит КФ требуемой толщины.

В машинах, где провода обмотки впаивают непосредственно в коллекторные пластины, до начала сборки в пластинах фрезеруют прорези размером, превышающим на 0,25—0,3 мм размер провода обмотки. Эту операцию можно выполнить и после сборки коллектора, но, как правило, этого не делают, опасаясь, что придется разбирать и повторно собирать коллектор, если в процессе фрезерования прорезей в пластинах появится брак. У машин, провода обмотки которых соединяются с пластинами коллектора через петишки, для петишковых фрезеруют прорези.

Заготовленные пластины и миканитовую изоляцию собирают вручную на круглой плите, применяя стальное прессующее кольцо. Пластины устанавливают вертикально на плите и вставляют между ними миканитовую межпластинную изоляцию.

При выполнении основных операций сборки и обработки коллектора соблюдают такую последовательность:

запрессовывают в стальное кольцо весь комплект из пластин и межпластинной изоляции так, чтобы он принял форму правильного цилиндра, и предварительно обрабатывают его на токарном станке;

запекают запрессованный комплект в термостате при 130—140°C в течение 3—4 ч, после чего перепрессовывают комплект в следующее, несколько меньшее по размеру стальное кольцо, нагретое до 80—90°C;

охлаждают запрессованный комплект до температуры окружающего воздуха и растачивают на токарном станке при большой частоте вращения торцы пластин для образования «ласточкина хвоста». При этом следят за тем, чтобы при расточке не образовались заусенцы, замыкающие пластины внутри коллектора;

изготавливают в пресс-форме манжеты из формовочного миканита или слюдинита толщиной 0,35 мм;

надевают на втулку коллектора конусы, а затем манжеты, после чего устанавливают комплект пластин и затягивают гайку;

помещают коллектор в термостат и запекают при 170°C в течение 5—8 ч в зависимости от размеров коллектора, потом дважды прессуют — один раз при 160°, второй — при 25°C, зажав до отказа нажимное кольцо;

снимают с коллектора прессующее устройство и лампой на 220 В проверяют отсутствие замыканий между пластинами, а затем испытывают электрическую прочность изоляции коллектора, приложив в течение 1 мин испытательное напряжение 2,5 кВ при Ø 150 мм и 3 кВ — при Ø 151—140 мм;

производят динамическую формовку коллектора (рис. 68, б), для чего подогревают его до 150—160°C и вращают с частотой, превышающей в 1,2—1,5 раза номинальную;

обтачивают коллектор на токарном станке и насаживают на вал;

впаивают в пластины петушки, проверяют величину биения, повторно обтачивают коллектор, а затем продороживают в шлифуют его поверхность.

**Контактные кольца.** У контактных колец фазных роторов наиболее часто повреждаются рабочая поверхность и изоляция между кольцами или между кольцом и валом.

Неравномерную выработку контактного кольца устраняют обточкой на токарном станке или с помощью приспособления, показанного на рис. 65,а. При легких повреждениях колец (подгаре, царапинах и др.) их шлифуют стеклянной шкуркой.

Нарушенную изоляцию между контактными кольцами восстанавливают, зачищая, промывая синтетическим моющим средством и затем окрашивая поврежденное место изоляционной эмалью ГФ-92-ГС, ГФ-92-ХС, КО-935 и др. При предельном износе колец приходится изготавливать новые и напрессовывать их на вал ротора. Кольца для электрических машин нормального исполнения изготавливают из стали, чугуна или латуни Л68. Существует несколько способов прессовки контактных колец, но для колец асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт чаще других применяют способ холодной прессовки на втулку (рис. 69).

Основные операции сборки и прессовки колец выполняют в такой последовательности:

собирают комплект колец, продев контактные шпильки 1 в имеющиеся в кольцах 4 отверстия;

вставляют в промежутки между кольцами равномерно по окружности по три стальных дистанционных клина 9, чтобы кольца не смещались при прессовке;

устанавливают комплект колец на нижний (подставной) диск 12 и вкладывают в отверстия колец изоляцию 5, состоящую из полосок пропитанного электрокартона толщиной 0,4 мм и миканита или лакоткани, а изоляцию распределяют так, чтобы она равномерно располагалась по внутренней окружности колец;

вставляют внутрь колец разрезную гильзу 3 из стали толщиной 1,5 мм, которая предохраняет изоляцию от смятия при прессовке, затем вставляют в гильзу стальную втулку 6 и покрывают ее верхним (нажимным) диском 8;

устанавливают весь собранный комплект колец на нижний стол 11 пресса и запрессовывают втулку в

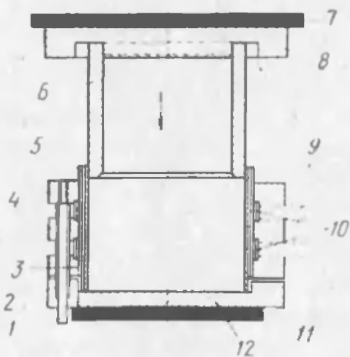


Рис. 69. Посадка контактных колец на втулку холодной прессовкой:

1 — контактная шпилька, 2 — изоляция контактной шпильки, 3 — разрезная гильза, 4 — контактные кольца, 5 — изоляция гильзы, 6 — втулка, 7, 11 — верхний и нижний столы пресса, 8, 12 — верхний и нижний диски, 9 — дистанционные клинья, 10 — электрокартонные прокладки под дистанционными клиньями



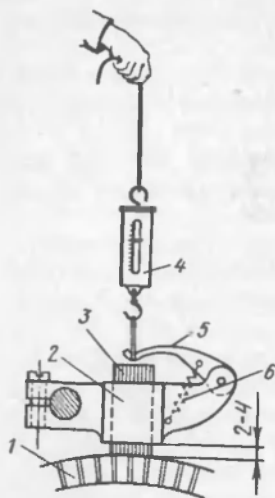


Рис. 70. Проверка величины нажатия пружины щеткодержателя:

1 — коллектор, 2 — щеткодержатель, 3 — щетка, 4 — динамометр, 5 — нажимной палец, 6 — пружина

как результат этого, снижение нажатия на щетку устраняют регулировкой пружин, а при отсутствии такой возможности — заменой дефектной пружины новой заводского изготовления. Величину нажатия пружины щеткодержателя после регулировки или замены проверяют так, как показано на рис. 70. Удельное нажатие щеток зависит от марки и плотности тока щеток, конструкции машины.

Для определения величины нажатия щеток 3 на коллектор 1 под щетку подкладывают полоску тонкой бумаги или фольги, затем одновременно тянут одной рукой за шнурок, привязанный к крючку динамометра, а другой рукой — за полоску бумаги (фольги) и замечают показание динамометра в момент, когда бумагу (фольгу) можно легко вытянуть из-под щетки. Удельное нажатие определяют как частное от деления величины, показанной динамометром в граммах, на поперечное сечение щетки в квадратных сантиметрах.

Отклонения в величине нажатия отдельных щеток одного полюса машины постоянного тока не должны превышать 10%. Все устанавливаемые на отремонтированной машине щетки должны быть одной марки. Марки щеток подбирают в соответствии с указаниями завода-изготовителя, так как каждый тип машины выпускают со строго подобранными марками щеток. При подборе щеток учитывают необходимую плотность тока под щетками, окружную скорость коллектора или контактных колец, род тока и напряжения, мощность электродвигателя и режим его работы. В асинхронных двигателях мощностью до 100 кВт применяют щетки МГ и МГС, а в машинах постоянного тока — Г и ЭГ.

гильзу, после чего выбивают дистанционные клинья из межкольцевых промежутков;

сушат комплект запрессованных колец в печи в течение 6—8 ч при 110—115°C, затем пропитывают в изоляционной эмали и вновь сушат в течение 10—12 ч при 120°C;

охлаждают комплект колец до 80—90°C и, установив втулку на конец вала ротора, насаживают на вал давлением пресса; при насадке колец на вал следят за тем, чтобы контактные шпильки 1 прились против выходных концов обмотки;

протачивают поверхности колец на токарном станке, устраняя неровности и биение, потом полируют их;

проверяют индикатором величину биения колец (она не должна превышать 0,04 мм).

**Щеткодержатели.** При ремонте электрических машин наиболее часто встречаются такие неисправности щеткодержателя, как ослабление пружин, оплавление или механические повреждения.

Ослабление пружин щеткодержателя и,

как результат этого, снижение нажатия на щетку устраняют регулировкой пружин, а при отсутствии такой возможности — заменой дефектной пружины новой заводского изготовления. Величину нажатия пружины щеткодержателя после регулировки или замены проверяют так, как показано на рис. 70. Удельное нажатие щеток зависит от марки и плотности тока щеток, конструкции машины.

Для определения величины нажатия щеток 3 на коллектор 1 под щетку подкладывают полоску тонкой бумаги или фольги, затем одновременно тянут одной рукой за шнурок, привязанный к крючку динамометра, а другой рукой — за полоску бумаги (фольги) и замечают показание динамометра в момент, когда бумагу (фольгу) можно легко вытянуть из-под щетки. Удельное нажатие определяют как частное от деления величины, показанной динамометром в граммах, на поперечное сечение щетки в квадратных сантиметрах.

Отклонения в величине нажатия отдельных щеток одного полюса машины постоянного тока не должны превышать 10%. Все устанавливаемые на отремонтированной машине щетки должны быть одной марки. Марки щеток подбирают в соответствии с указаниями завода-изготовителя, так как каждый тип машины выпускают со строго подобранными марками щеток. При подборе щеток учитывают необходимую плотность тока под щетками, окружную скорость коллектора или контактных колец, род тока и напряжения, мощность электродвигателя и режим его работы. В асинхронных двигателях мощностью до 100 кВт применяют щетки МГ и МГС, а в машинах постоянного тока — Г и ЭГ.

Подбор необходимой величины удельного нажатия и марок щеток способствует улучшению контакта между щетками и коллектором, однако этого недостаточно для того, чтобы создать надежный и хороший контакт. Необходимо, чтобы контактные поверхности щеток были тщательно притерты (пришлифованы) к поверхности коллектора. Для этого устанавливают щетку 3 в держатель 2, а затем, приподняв ее, накладывают полоску стекляннй бумаги на поверхность коллектора 1 (абразивной поверхностью к щетке) и опускают щетку. Для шлифовки щеток применяют только мелкозернистую стекляннй бумагу № 100. Прижимая бумагу к поверхности коллектора и держа ее за концы, протягивают бумагу от одного крайнего положения до другого и до тех пор, пока щетка не притрется.

Обоймы и другие детали щеткодержателя оплавляются из-за сильного искрения и образования кругового огня. При легком оплавлении щеткодержатель очищают от копоти, грязи и нагара, а при сильном — заменяют новым. Механические повреждения щеткодержателя (заусенцы, вмятины, выгибы) устраняют опилкой и правкой. Одним из часто встречающихся в щеткодержателях повреждений является электрическая коррозия внутренней поверхности обоймы в результате нарушения прохождения тока с щетки на обойму. Это нарушение устраняют подтяжкой контактов в цепи тока.

Окончив ремонт щеткодержателей машин постоянного тока, проверяют правильность сборки и расстановку щеткодержателей по отношению к коллектору, а также притирают щетки. Эту работу выполняют очень тщательно, так как малейшее нарушение порядка расстановки щеткодержателей или несоблюдение расстояний от щеткодержателей до коллектора может привести к нарушению нормальной работы машины и повышенному износу коллектора и щеток. Правильной является шахматная расстановка щеток, при которой щетки равномерно покрывают всю поверхность коллектора.

При расстановке щеток учитывают, что износ коллектора под щетками разной полярности неодинаков. Поэтому щеткодержатели располагают так, чтобы щетки двух соседних болтов разной полярности работали по одному щеточному следу, а щетки следующей пары болтов — по другому следу, т. е. в промежутках между щеточными следами первой пары болтов. Устанавливая щеткодержатели, следят за тем, чтобы расстояние от обоймы до поверхности коллектора было 2—4 мм. Для того чтобы щетки свободно передвигались в обойму, между ними должен быть зазор 0,1—0,4 мм в направлении вращения и 0,2—0,5 мм — в направлении оси коллектора.

## § 27. Ремонт сердечников, валов и вентиляторов электрических машин

Сердечники. Важнейшими частями электрических машин являются сердечники. Листы пакетов сердечников изготавливают из специальной электротехнической стали, обладающей благодаря присадке кремния низкими удельными потерями.

Для уменьшения потерь на вихревые токи пакеты сердечников статоров, роторов и якорей набирают из отдельных изолированных листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Сердечники являются магнитопроводами, в их пазах размещают и укрепляют обмотки.

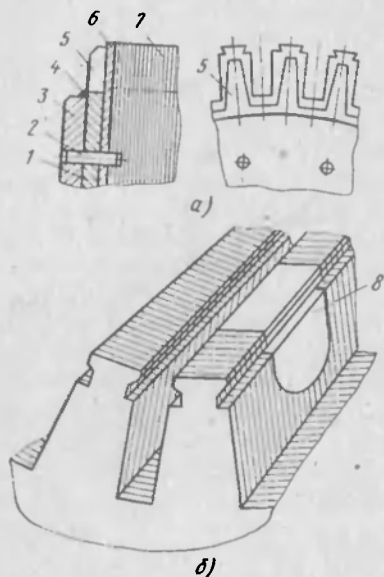


Рис. 71. Ремонт сердечников роторов и статоров:

*а* — установка дополнительной нажимной шайбы с зубцами, *б* — установка заполнителя взамен вырубленного зубца сердечника; 1 — дополнительная нажимная шайба, 2 — стальной штифт, 3 — основная нажимная плита, 4 — сварочный шов, 5 — зубец дополнительной шайбы, 6 — утолщенный лист, 7 — листы сердечника, 8 — заполнитель

мещения одного листа по отношению к другому.

При разборке машины перед ремонтом и осмотре состояния активной стали ослабленная прессовка выявляется наличием ржавых пятен на ее поверхности. Такое ржавление распространяется только на участки с пониженной прессовкой и является результатом так называемой контактной коррозии, которой подвергаются поверхности стальных листов и деталей, перемещающихся одна относительно другой.

Ослабление прессовки вызывает специфический шум, а иногда и вибрацию машины. Вибрация машины и отдельных листов сердечника приводит к разрушению межлистовой изоляции и поломке незажатых стальных листов, смежных с вентиляционными каналами. Отломанные части зубцов могут повредить изоляцию и активную сталь статора. Значительная вибрация стали в зубцовой зоне представляет особую опасность для изоляции обмотки ротора и стато-

ра, поскольку может вызвать истирание ее в местах, прилегающих к вибрирующим участкам.

Чрезмерная прессовка сердечника также нежелательна, так как при этом возрастают механические напряжения в крепежных деталях и устройствах, что может вызвать их деформацию и поломку.

Степень прессовки определяют (приблизительно) с помощью контрольного ножа с лезвием толщиной 0,1—0,2 мм. При удовлетворительной прессовке стали лезвие ножа при сильном нажатии рукой не должно входить между листами более чем на 1—3 мм.

Ослабление прессовки чаще всего наблюдается в зубцовой зоне роторов и статоров, поэтому достаточно в места с ослабленной прессовкой плотно забить текстолитовые или гетинаксовые уплотняющие клинья, размеры которых соответствуют размерам зубца. При забивке клинья заглубляют на 2—3 мм ниже поверхности стали. Во избежание выпадения клинья предварительно покрывают клеящим лаком или клеем БФ-2 и отгибают на них края смежных листов стали. После забивки уплотняющих клиньев соответствующий участок сердечника покрывают масляно-битумным лаком БТ-99 воздушной сушки. В этом случае удаляют нажимную плиту сердечника, удерживаемую сваркой или закладными шпонками, устанавливают в торце сердечника листы текстолита или асбеста, вырезанные по форме листов стали, вновь накладывают нажимную шайбу, прессуют сердечник и закрепляют шайбой.

Ремонт торцевых пакетов роторов и якорей, зубцы которых расходятся, как «веер», производят преимущественно установкой дополнительной шайбы с зубцами (рис. 71,а).

При повреждении обмоток, а также при попадании в расточку посторонних металлических предметов нередко оказываются оплавленными небольшие участки активной стали сердечника. Повреждение устраняют ремонтом, при котором вырубает участок поврежденных оплавлением листов стали так, чтобы не было сплавленных между собой листов, а затем вливают в образовавшуюся щель лак БТ-99, закладывают между листами пластинки из слюды толщиной 0,05 мм и покрывают лаком БТ-99.

Если зона повреждения значительна, вырубленные зубцы заменяют наполнителем из стеклотекстолита (рис. 71,б). Наполнитель промазывают клеящим лаком БФ-2 и тщательно подгоняют по месту, чтобы он плотно лежал между обмоткой и стальной. Специального крепления наполнителя не требуется, поскольку его форма препятствует выпадению из сердечника. Кроме того, пазовые клинья создают дополнительное крепление наполнителя.

При ремонте сердечников роторов (якорей) установка текстолитовых или гетинаксовых наполнителей взамен вырубленных зубцов допустима, если окружная скорость сердечника не превышает 20 м/с. При окружной скорости сердечника более 20 м/с текстолитовый наполнитель может выпасть и повредить обмотку, поэтому наполнитель подгоняют по месту особо тщательно и по его краям делают выступы, заходящие в вентиляционные каналы под соседние пазы. Таким образом, наполнитель дополнительно удерживается обмоткой, расположенной в соседних пазах.

При выплавлении большого объема стали в нескольких пакетах неисправность устраняют полной перешихтовкой активной стали. Полную перешихтовку сердечников производят и при разрушении межлистовой изоляции вследствие ее естественного старения при длительной эксплуатации, сопровождающейся частыми перегревами электрической машины.

Перешихтовка сердечника состоит из расшихтовки, переизолировки листов активной стали, шихтовки, прессовки и испытания сердечника.

На ремонтных предприятиях перешихтовку сердечников производят крайне редко и только в виде исключения, поскольку затраты труда и времени на эти работы, а соответственно, и стоимость, в 3—4 раза превосходят затраты при изготовлении нового сердечника. Если перешихтовку все же выполняют, то перешихтованные сердечники обязательно испытывают на нагрев активной стали и отсутствие замыкания между листами. При этом определяют удельные потери в активной стали от вихревых токов и перемагничивания, что позволяет судить также о состоянии межлистовой изоляции.

Испытание перешихтованных сердечников статоров производят по схеме (рис. 72), состоящей из намагничивающей 1 и контрольной 2 обмоток, включенных в схему измерительных приборов класса 0,5 следующим образом. Накладывают намагничивающую обмотку равномерно по окружности сердечника и пропускают через нее электрический ток частотой 50 Гц. Доводят магнитную индукцию в спинке сердечника от 1 Тл или близкой к ней величине, наблюдая при этом (по приборам, включенным в контрольную обмотку) за параметрами испытания.

Намагничивающую обмотку рекомендуется питать линейным (а не фазным) напряжением, что будет обеспечивать форму кривой напряжения, наиболее близкую к синусоидальной. При включении напряжения для питания намагничивающей обмотки сердечник и схема питания будут находиться под напряжением, поэтому прикасаться к ним нельзя во избежание поражения электрическим током.

До начала испытания должны быть приняты необходимые меры безопасности и, в частности, надежно огорожено место испытания.

**Валы.** Повреждение валов — явление довольно частое в практике эксплуатации электрических машин. Повреждаются преимущественно валы электрических машин, работающих часто при недопустимых перегрузках. Причинами повреждений валов могут быть повышенная вибрация машины, вызванная нарушением соосности ее вала с валом приводимого в движение агрегата, проседание вала вследствие износа слоя баббита в подшипниках скольжения и др.

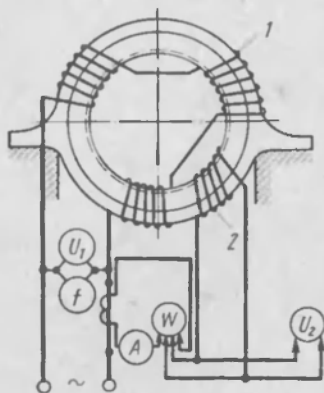


Рис. 72. Схема испытания активной стали перешихтованного сердечника

Для валов электрических машин наиболее характерны следующие виды повреждений: износ посадочных поверхностей шеек валов, искривление и поломка валов.

Повреждения посадочных поверхностей валов под сопряженными деталями (вмятины, забоины, задиры) составляет свыше 50% общего числа повреждений валов ремонтируемых электрических машин. Эти повреждения возникают из-за частых съёмов и посадок различных деталей и делают вал непригодным для нормальной посадки на его посадочной поверхности многих передаточных и соединительных деталей, в первую очередь подшипников и полумуфт.

Дефекты на посадочных поверхностях валов вызывают нарушение concentричности и перпендикулярности посадки насаживаемых деталей, что приводит к появлению биения опасной величины, а также к вибрации электрической машины, быстрому износу посадочных поверхностей под подшипники качения и резкому сокращению срока их службы. Поэтому дефекты валов надо устранять своевременно, при первом же ремонте электрической машины. Для устранения дефектов посадочных поверхностей валов применяют шлифовку, электронаплавку металла и металлизацию.

Если общая площадь вмятин, забоин и задиrow не превышает 20% посадочной поверхности, целесообразно выступающие места сошлифовать на шлифовальном или токарном станке (шлифовальным прибором) или аккуратно сточить острым резцом, а затем зашлифовать шлифовальной шкуркой.

При площади вмятин, забоин или задиrow более 20% посадочной поверхности снятие выступающих мест нецелесообразно из-за сильного уменьшения площади посадки. В этом случае применяют переточку вала на меньший диаметр, электронаплавку слоя металла с последующей обработкой его до требуемого размера на токарном станке или наращивание на дефектной поверхности слоя металла металлизацией с последующей обработкой.

Ремонт поврежденных посадочных поверхностей вала переточкой его на меньший диаметр является наиболее простым. Но этот способ вызывает ряд нежелательных последствий, в том числе уменьшение прочности вала, необходимость изменения размеров посадочных поверхностей у вала и у насаживаемых на него деталей, невозможность подгона диаметра вала под стандартный размер. Последнее важно с точки зрения унификации размеров валов и сопрягаемых с ними деталей. Диаметр цилиндрического конца вала допустимо уменьшать на 4—6% первоначального диаметра с наиболее нагруженной стороны и до 7—10% на малонагруженных участках (со стороны коллектора, контактных колец). Однако при уменьшении диаметра вала на 5% его прочность снижается на 15%, а при уменьшении диаметра на 10% — почти на 30%.

Наиболее эффективными способами ремонта поврежденных посадочных поверхностей валов являются электронаплавка металла и его нанесение металлизацией. Электронаплавку металла производят с соблюдением следующих условий:

каждый наплавляемый шов металла наносят на диаметрально

противоположные стороны вала, что позволяет избежать местных перегревов и деформации вала;

перед наплавкой каждого последующего слоя тщательно оббивают предыдущий наплавленный слой и очищают его стальной щеткой от шлака и окалины;

по окончании электронаплавки металла плавно изменяют структуру основного металла вала и уменьшают внутренние напряжения, для чего швы металла последнего слоя наплавляют на 40—50 мм длиннее общей наплавленной поверхности, чередуя короткие и длинные швы через каждые 20 мм. Удлиненные (выравнивающие) швы срезают при обработке наплавленного слоя на токарном станке. Внутреннее напряжение в основном металле вала может быть снято и термообработкой.

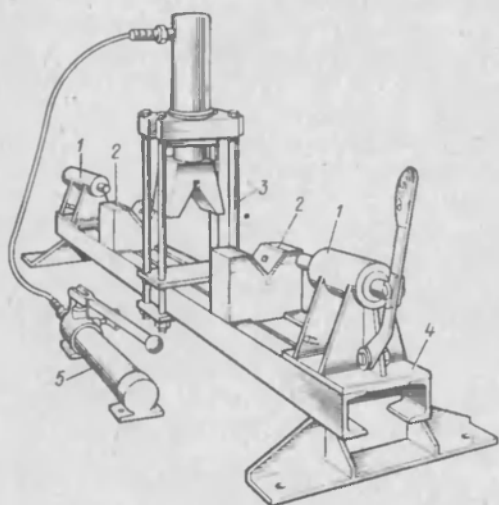


Рис. 73. Валоправочный стенд ВС-450:

1 — центры, 2 — опоры, 3 — гидропресс, 4 — станина, 5 — ручной гидронасос

Процесс ремонта повреждения посадочных поверхностей металлизацией аналогичен описанному выше способу ремонта электронаплавкой металла.

Искривление и поломка валов чаще всего происходят у реверсивных машин и электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Это объясняется большими нагрузками, воспринимаемыми валом в момент резкого изменения направления вращения ротора (якоря) и во время пуска короткозамкнутого электродвигателя при загруженном агрегате, приводимом в движение этим электродвигателем.

Затраты на изготовление нового вала для электрических машин мощностью до 100 кВт сравнительно невелики, сложными и дорогостоящими являются операции выпрессовки поврежденного и запрессовки нового вала.

Искривляются (деформируются) чаще всего валы электрических машин мощностью до 60 кВт с частотой вращения 1500—3000 об/мин. Правку искривленного вала производят в валоправочном стенде ВС-450 (рис. 73), состоящим из двух центров 1, двух опор 2 и гидравлического пресса (гидропресса) 3, установленного на станине 4 и приводимого в действие ручным гидронасосом 5.

При правке вала в валоправочном стенде сначала его укладывают на опоры 2, затем, поворачивая ротор (якорь) вокруг своей оси на 360°, индикатором находят наиболее выпуклую сторону

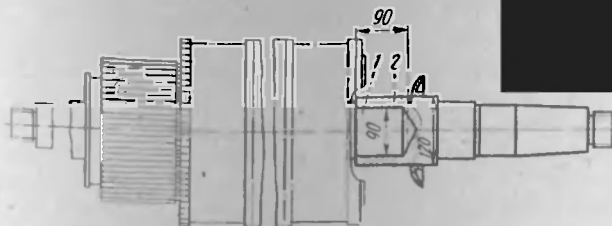


Рис. 74. Ремонт сломанного вала якоря напрессовкой насадки («протеза»):  
1 — вал, 2 — «протез»

сердечника или вала, если он выпрессован из сердечника, и устанавливают его этой стороной против штока пресса. Далее, надавливая штоком на сердечник, выпрямляют вал, периодически измеряя индикатором величину прогиба. Правку осуществляют в несколько приемов. Слабо искривленный вал можно выправить с точностью до 0,05 мм на 1000 мм его длины. Правка вала значительно облегчается при отсутствии насаженных деталей.

У электрических машин старых конструкций валы ломаются довольно часто, поскольку при их расчете, изготовлении и ремонте не всегда учитывали явления усталости металла. Причиной поломки являлись также безрадиусные переходы от одного диаметра вала к другому.

Поломка вала чаще всего происходит на той его ступени, на которую насаживают шкив или муфту. Сломанный вал восстанавливают приваркой надставки или напрессовкой отломившейся части вала. При ремонте вала приваркой надставки сначала изготавливают надставку, соответствующую по своим размерам отломанной части вала, но с небольшим (2—3 мм) припуском на сторону под последующую обработку после сварки. Привариваемые концы вала и надставки предварительно обрабатывают на конус. Приваривать надставку нужно с соблюдением ранее указанных условий электронаплавки на вал. Во избежание коробления участок сварки следует охлаждать предельно медленно (примерно от 30 до 90 мин в зависимости от диаметра вала и температуры окружающей среды).

Ремонт поломанного вала напрессовкой надставки (рис. 74) называют также способом протезирования и применяют из-за его большой сложности только при поломке валов  $\varnothing$  40 мм и более и в случаях, когда другие способы устранения дефекта неприменимы.

Для восстановления вала из конструкционной стали изготавливают надставку («протез») с припуском 2—3 мм на сторону под последующую обработку. Отверстие в надставке растачивают с допуском под горячую посадку. Надставку нагревают до 250—300°C и насаживают ее на вал до упора в заточку.

При ремонте валов  $\varnothing$  60 мм (и более) в целях повышения прочности сопряжения вала и надставки место стыка вала дополнительно приваривают в нескольких точках, равномерно расположенных по окружности стыка, или сплошным швом по его окружности.



По окончании насадки и сварки надставленную часть обрабатывают на токарном станке и одновременно выверяют правильность положения надставки по отношению к основной части вала. Вал является наиболее естественной и точной деталью электрической машины. Большинство его сопрягаемых поверхностей обрабатывают по высокому классу точности.

**Вентиляторы.** Длительная нормальная работа электрической машины в значительной мере зависит от интенсивности отвода теплоты от его нагревающихся частей. Условиями охлаждения определяется и нагрузочная способность машины, поскольку повышение температуры нагрева обмоток и других ее частей сверх нормы является главной причиной, ограничивающей мощность машины при длительных и кратковременных нагрузках. Чрезмерные нагревы и большие перепады температуры между отдельными частями машины — основные причины старения и повреждения изоляции. Электрические машины охлаждают литыми, клепаными или сварными вентиляторами.

Вентиляторы, отлитые из алюминиевых сплавов, надежнее клепаных, поскольку у них переходы от диска к лопастям округлены и поэтому обладают повышенной прочностью. Повреждение литого вентилятора происходит не в работе, а чаще всего из-за небрежного обращения при разборке и сборке машины в процессе ремонта.

У клепаных вентиляторов слабым местом являются участки изгиба лопастей, особенно при наличии диска. При реверсировании машины вследствие инерции диска лопасти вентилятора изгибаются то в одном, то в другом направлении, что обычно служит причиной появления трещин и разрушения вентилятора. Если при ремонте машины эти трещины не будут устранены, лопасти вентилятора могут оторваться от диска и повредить обмотки и сердечники машины.

Наиболее частой причиной выхода из строя клепаных вентиляторов является также нарушение прочности клепочных соединений в результате действия на лопасти вибрационных нагрузок. При ремонте клепаных вентиляторов повреждение устраняют дополнительным привариванием лопастей.

В ряде случаев вентиляторы могут оказаться настолько поврежденными, что ремонтировать их невозможно, поэтому изготавливают новые вентиляторы, по возможности улучшая их конструкцию.

Отремонтированные и вновь изготовленные вентиляторы, прежде чем насадить на вал ротора (якоря), проверяют на отсутствие сверхдопустимого биения в осевом и радиальном направлениях. При ремонте и замене вентилятора его центр тяжести может сместиться с оси вращения, вследствие чего нарушится балансировка ротора и машина при работе будет вибрировать.

Причиной смещения центра тяжести может быть различная толщина стенок литых вентиляторов, неодинаковая толщина стальных листов и лопастей клепаных вентиляторов или различная высота сварных швов в сварных вентиляторах.

Перед установкой вентилятора на ротор его балансируют. Для

статической балансировки вентилятор надевают на оправку, цилиндрические концы которой устанавливают на горизонтальные линейки. Добавляя балансировочные грузы разной массы, добиваются такого снижения дисбаланса, при котором остановленный в любом положении вентилятор не перекатывается на линейках. Балансировочные грузы надежно закрепляют, чтобы они не оторвались при вращении вентилятора в машине. Если вентилятор не ремонтировался, его при сборке устанавливают в то же положение, в каком он был до разборки. В некоторых машинах для этого имеется специальный штифт, ввернутый в нажимную шайбу ротора, а в диске вентилятора для него просверливают отверстие.

Эффективность работы вентилятора в значительной степени зависит от качества обработки его деталей, вдоль которых проходят струи воздуха. Малейшие неровности и даже выступающие головки заклепок затрудняют движение воздуха и создают завихрения в вентиляционных каналах.

Вентиляторы нередко повреждаются при небрежной разборке и сборке машины, а также вследствие неправильного хранения роторов и якорей с установленными на них вентиляторами. Во избежание повреждения вентилятора при разборке необходимо соблюдать следующие правила.

Нельзя захватывать съемником тонкий диск вентилятора. Обычно на втулке вентилятора имеются кольцевые углубления для захвата съемником или в ее торце нарезаны отверстия, в которые ввертывают шпильки винтового съемника. При насадке на вал литых алюминиевых вентиляторов нельзя сильно ударять по ним, иначе вентиляторы могут отделиться от стальной втулки. Кроме того, удары передаются подшипникам машины.

Вентиляторы, установленные внутри машины, при разборке остаются на роторе. Вынув ротор из статора, его кладут на специальные стеллажи так, чтобы вентилятор не опирался на верстак и не погнулся. Вентиляторы, предназначенные для наружного обдува статора, снимают при каждой разборке двигателя, иначе нельзя снять подшипниковый щит со стороны вентилятора. Их насаживают на вал с требуемым натягом. От перемещений по валу вентиляторы предохраняют стопорным винтом или разрезной втулкой, которую после насадки вентилятора на вал стягивают болтом. Благодаря этому посадочная поверхность втулки вентилятора при сборке и разборке не изнашивается.

Отремонтированные и вновь изготовленные вентиляторы защищают от коррозии, предварительно покрывая их очищенную поверхность двумя слоями лака.

## **§ 28. Ремонт станин, подшипниковых щитов и подшипников электрических машин**

Станины и подшипниковые щиты. Ремонт станин и подшипниковых щитов заключается в заварке трещин, приварке отломанных деталей и восстановлении изношенных посадочных поверхностей.

Трещины в чугуне заваривают биметаллическими электродами

преимущественно в горячем состоянии ацетиленокислородным пламенем. Детали разогревают в печи до 700—800°C, заваривают трещину и дают ей медленно остыть вместе с печью в течение 1—3 сут (в зависимости от размеров и массы детали). Если толщина треснувшей стенки больше 5 мм, перед сваркой скашивают ее кромки по всей длине трещины ручным или пневматическим зубилом под углом 45—60°. Начало и конец трещины предварительно зашверливают, чтобы она не увеличивалась.

Трещины в чугуне можно заваривать в холодном состоянии медным или биметаллическим электродом, а также сваркой стальным электродом стальных шпилек, ввернутых в чугун на резьбе.

Отломанные детали приваривают при ремонте. Чаще всего приходится приваривать лапы станин и борты подшипниковых щитов. Лапы станин ломаются из-за чрезмерно сильного крепления их болтами к неровному основанию, борта подшипниковых щитов — при неправильных методах разборки машины, когда щит отделяют от станины не отжимая болтами или ударами молотка по надставке, а вбивая зубило встык между торцом станины и бортом щита.

В связи с внедрением единых серий электрических машин объем ремонта механических деталей сократился. Число разновидностей подшипниковых щитов и крышек подшипников в единых сериях сократилось во много раз, что позволяет электроремонтным заводам заменять большинство поврежденных деталей новыми, полученными с завода-изготовителя электрических машин или выполненными по его чертежам, что упрощает процесс ремонта и повышает его качество.

Изношенные посадочные поверхности подшипниковых щитов чаще всего приходится восстанавливать в местах посадки подшипников качения. Подшипниковый щит растачивают до большого диаметра и запрессовывают в него стальную втулку, которую затем растачивают до требуемого размера. Если невозможно расточить место посадки подшипника в подшипниковом щите до требуемого размера, изношенные посадочные поверхности восстанавливают методом металлизации. В подобных случаях при ремонте иногда прибегают к увеличению диаметра подшипника до размера расточки в подшипниковом щите наплавкой на его наружное кольцо слоя металла необходимой толщины, однако пользоваться этим способом не рекомендуется, поскольку при неумелом его выполнении можно повредить дорогостоящий подшипник.

В станинах ремонтируемых электрических машин нередко бывает повреждена резьба отверстий, в которые ввертывают болты, крепящие подшипниковый щит к станине машины. При срыве резьбы в отверстии станины его рассверливают, увеличивая диаметр, а затем нарезают и ввертывают в него резьбовую пробку с внутренней резьбой требуемого диаметра и шага.

Подшипники. Подшипники — важнейшие детали всякой электрической машины. Работа подшипников протекает в тяжелых условиях вследствие перегревов, значительных нагрузок и трений, а также электрической эрозии и возникновения одностороннего притя-

жения при смещении ротора относительно геометрической оси машины.

Повреждение или выход из строя подшипника требует немедленного останова машины, поскольку может привести к серьезной аварии, потребовавшей ее капитального ремонта.

В электрических машинах применяют подшипники двух видов (конструктивно отличающихся друг от друга) — качения и скольжения. В современных машинах используют главным образом шариковые и роликовые подшипники качения, которые просты в эксплуатации, износостойки и легко заменяются при повреждении. Подшипники скольжения, применявшиеся в машинах старых конструкций, используют сейчас в современных крупных электрических машинах, а также в машинах с низким уровнем производимого шума.

При поступлении в ремонт электрических машин с подшипниками качения (шариковыми или роликовыми) производят только проверку их состояния и степени износа.

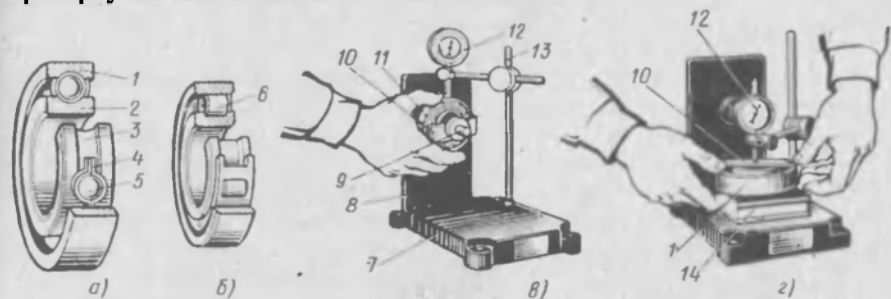


Рис. 75. Устройство однорядного шарикового (а), роликового (б) подшипников качения и приспособлений для проверки в подшипниках радиального (в) и аксиального (г) зазоров:

1, 2 — наружное и внутреннее кольца, 3 — дорожка качения, 4 — сепаратор, 5 — шарик, 6 — ролик, 7, 8 — горизонтальная и вертикальная плиты, 9 — резьбовой стержень с гайкой, 10 — планка, 11 — подшипник, 12 — индикатор, 13 — стойка с держателем индикатора, 14 — брусок

**Подшипники качения.** При ремонте электрической машины с подшипниками качения (рис. 75, а, б) обычно ограничиваются осмотром и промывкой подшипников и закладкой в них новой порции смазки. Подшипники промывают, затем вводят в них консистентную рабочую смазку УТВ (универсальную тугоплавкую водостойкую) или ЦИАТИМ-210, представляющую собой смесь минерального масла и мыла.

Однако нередко у подшипников качения оказываются поврежденными поверхности шариков 5 или роликов 6 и дорожек качения 3. Повреждение выражается в износе или усталостном выкрошивании металла. Износ дорожек качения подшипников вызывается абразивным истиранием вследствие попадания в него мелких твердых частиц. Рабочая поверхность таких подшипников принимает характерный матовый оттенок. Усталостное выкрошивание металла на дорожках качения и поверхностях шариков или роликов происходит также из-за работы в ненормальном режиме нагрузки или в

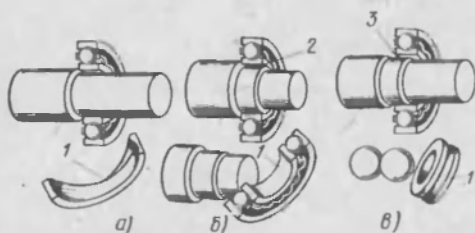
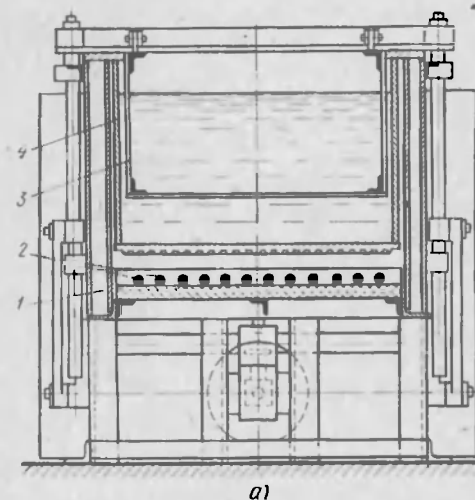
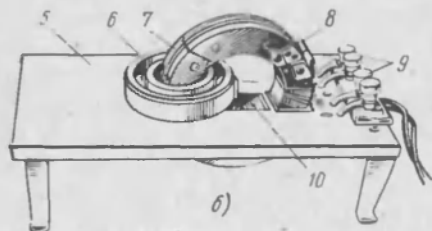


Рис. 76. Виды и участки износов подшипников качения:

*a* — вследствие перекоса, *б* — при проворачивании внутреннего кольца подшипника на валу, *в* — в результате чрезмерного натяга; 1 — участки износа деталей подшипника, 2 — зазор, 3 — натяг



*a*



*б*

Рис. 77. Приспособления для нагрева подшипников качения при посадке на вал:  
*a* — масляная ванна, *б* — аппарат индукционного нагрева

течение недопустимого для данного подшипника длительного времени.

Наиболее характерные виды и участки износов подшипников качения показаны на рис. 76. Степень износа подшипников качения определяют измерением радиальных и аксиальных (осевых) зазоров с помощью приспособлений (см. рис. 75, *в*, *г*). Для замера радиального зазора устанавливают подшипник 11 на вертикальной плите 8 приспособления. Затем, наложив на внутреннее кольцо 2 подшипника стальную планку 10, закрепляют его гайкой, накрученной на стержень 9, приваренный к вертикальной плите, при этом наружное кольцо 1 подшипника должно свободно вращаться.

Величину радиального зазора определяют индикатором 12, укрепленным на держателе стойки 13, по результатам трех измерений, произведенных при повороте наружного кольца подшипника на 120° после первого и второго измерений.

Чтобы измерить осевой зазор, укладывают подшипник на два металлических бруска 14 одинакового размера так, чтобы его внутреннее кольцо свободно провисало (см. рис. 75, *г*), затем, наложив 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 наружное кольцо 1 подшипника и одновременно смещая руками вверх до отказа внутреннее кольцо 2. Осевой 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 подшипника качения (разрушение сепаратора, шариков или роликов, выкрошивание металла на дорожках качения) его заменяют новым.

Подшипники заменяют новыми и при наличии следующих неустраняемых повреждений: сколов или трещин на кольцах, сепараторах или шариках (роликах); забоин или вмятин на поверхностях дорожек качения и сепараторов; признаков шелушения поверхности дорожек качения подшипника; цвета побежалости на поверхности колец, сепараторов, шариков (роликов); царапин или глубоких рисок, расположенных поперек пути качения шариков (роликов); стуков и неустраняемых после промывки повышенных шумов в подшипнике; четких отпечатков шариков (роликов) на дорожках качения.

Подшипники качения повреждаются не только в результате неудовлетворительной эксплуатации, но и вследствие нарушения правил монтажа или неправильного нагрева подшипников для посадки на вал при сборке на заводе или очередном ремонте.

Посадку подшипника качения на вал обычно осуществляют предварительным подогревом его до 80—90°C в масляной ванне.

Масляная ванна (рис. 77,а) имеет внутренний резервуар 4, подъемную корзину 3 с решетчатым дном, нагревательные элементы 2, уложенные в керамическую плиту, воздушное распределительное устройство, служащее для управления подъемом и спуском корзины, карман для установки термометра контроля температуры нагрева масла и сливную трубу для спуска масла из ванны. Корзина сверху прикрыта двумя крышками. Задняя крышка закреплена наглухо, а передняя — откидная. Корзина поднимается с помощью пневмоцилиндра двустороннего действия, подвешенного к каркасу ванны.

Для уменьшения потерь теплоты пространство между стенками кожуха заполнено изоляционной набивкой 1 из асбеста. При подогреве подшипников в ванне тщательно следят за показаниями термометра, так как при температуре более 130°C может вспыхнуть находящееся в ванне трансформаторное масло.

Нагрев подшипников в масляной ванне широко распространен, однако имеет ряд недостатков. Масляные ванны громоздки, требуют постоянного контроля за чистотой находящегося в них масла, чтобы не допустить загрязнения подшипников при нагреве. Подшипник нагревается долго и неравномерно: больше нагревается та его часть, которая обращена к источнику теплоты, подогреваемому маслу в ванне. Неосторожность персонала может привести к воспламенению масла, ожогам или пожару.

Метод индукционного нагрева подшипников качения в специальном аппарате лишен этих недостатков. Аппарат индукционного нагрева (рис. 77,б) состоит из плиты 5 и кольцеобразного разъемного сердечника 7, набранного из листов трансформаторной стали.

Один сектор сердечника укреплен на латунном шарнире 8 и откидывается при установке подшипника 6 для нагрева в аппарате. Для изготовления сердечника аппарата могут быть использованы сердечники поврежденных трансформаторов тока. На нижней части 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, представляющие собой короткозамкнутый виток, надетый на сердечник.

Питание на первичную обмотку подается от стандартного переносного трансформатора напряжением 380—220/36—12 В и мощностью 250 Вт. При прохождении тока в первичной обмотке индуцируется ток в кольцах подшипника и нагревает их до 80—90°С. Температуру подшипника проверяют термометрами, термощупами или термосвечой, используемыми для контроля за нагревом контактных соединений шин в РУ.

Индукционные аппараты применимы для всех размеров подшипников качения, однако каждый из аппаратов используют для нагрева подшипников нескольких размеров, которые зависят от размеров сердечника и мощности трансформатора, питающего первичную обмотку аппарата. Аппарат, показанный на рис. 77,б, имеет массу 4 кг и позволяет нагревать подшипники от № 310 до № 322. Нагрев индукционным методом производится примерно в 3 раза быстрее, чем в масляной ванне.

Аппарат вмонтирован в огнестойкую асбестоцементную плиту, на которую кладут нагреваемый подшипник. Нагретый подшипник насаживают на вал электрической машины вручную с помощью надставки, состоящей из сферической заглушки 4 (рис. 78,а), надетой на отрезок 3 трубы, диаметр которой равен диаметру средней части подшипника 2. Участок вала, на который должен быть насажен подшипник, предварительно обрабатывают, тщательно очищая от заусенцев, а затем промывают и протирают насухо. Насадку подшипника на вал и в расточку подшипникового щита (рис. 78,б) производят с помощью надставки и металлической шайбы 5.

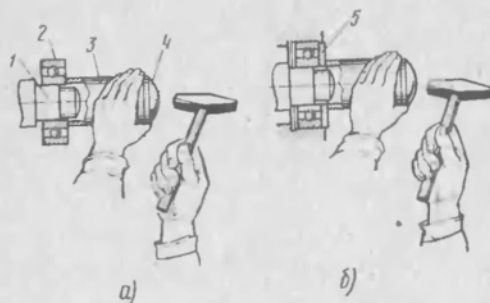


Рис. 78. Насадка подшипников качения:

а — на вал, б — на вал и в расточку подшипникового щита; 1 — вал, 2 — подшипник, 3 — отрезок трубы, 4 — заглушка, 5 — металлическая шайба

Поверхность расточки щита предварительно обрабатывают так же, как место посадки подшипника на валу. Указанные способы посадки подшипников на вал имеют недостатки, в частности возможность перекосов подшипника, повреждение его кольца или случайный удар по обмотке ротора либо коллектору якоря. Кроме того, ручной способ насадки связан с затратами большого физического труда.

Посадку подшипников в подшипниковые щиты выпол-





шток до касания с зонтом 10, ее выступы совмещают с продольными пазами на штоке, а также выступы штока с пазами в гайке. При повороте гайки на  $60^\circ$  происходит ее сочленение со штоком (выступы одной детали заходят в кольцевые пазы другой).

Пресс включается поворотом рукоятки трехходового крана 16, при этом нижняя полость большого пневмоцилиндра с внутренним  $\varnothing$  340 мм соединяется с заводской магистралью сжатого воздуха, а его верхняя полость и полость С малого пневмоцилиндра с атмосферой. Под давлением сжатого воздуха поршень 1 и плунжер 3 перемещаются вверх, при этом плунжер из полости А гидроцилиндра вытесняет жидкость через каналы Е в полость Б, создавая в ней давление. В результате этого поршень 7 со штоком, перемещаясь вниз, передает через зонт 10 усилие на подшипник, запрессовывая его в отверстие подшипникового щита.

Для освобождения подшипникового щита рукоятка трехходового крана поворачивается в другое крайнее положение, при котором сжатый воздух подается в верхнюю полость большого пневмоцилиндра и полость С малого пневмоцилиндра, а нижняя полость большого пневмоцилиндра соединяется с атмосферой. Под давлением сжатого воздуха поршень 7 со штоком поднимается вверх, вытесняя через каналы Е рабочую жидкость из полости Б в полость А.

Одновременно с этим поршень 1 и плунжер 3 опускаются вниз, освобождая место для жидкости в полости А гидроцилиндра. Повернув гайку 11 на  $60^\circ$ , ее и зонт 10 снимают с поршня 7 со штоком, а затем и щит.

При использовании пневмогидравлического прессы повышается качество и почти в 4 раза сокращается время посадки подшипника в щит, а электрослесари освобождаются от тяжелого физического труда.

**Подшипники скольжения.** Подшипники скольжения электрических машин встроены в подшипниковые щиты или вынесены за их пределы и смонтированы в стойках, устанавливаемых на общем фундаменте со станиной машины. Выполняют эти подшипники в виде цельной или составной втулки, последняя состоит из двух половинок (вкладышей), разъем — горизонтальный. Внутренняя поверхность втулки покрыта слоем антифрикционного сплава — баб-

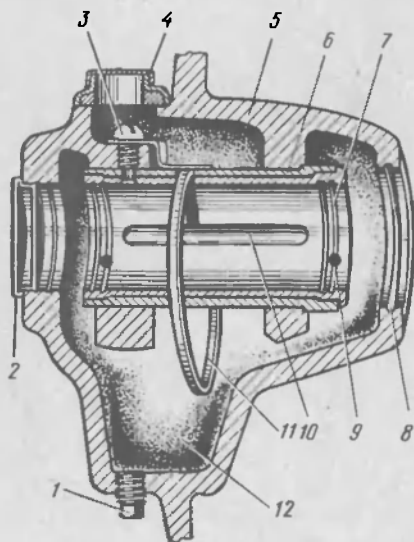


Рис. 80. Подшипник скольжения:

- 1 — маслоспускная пробка, 2 — торцевая крышка корпуса, 3 — винт, 4 — крышки масляной камеры, 5 — корпус подшипника, 6 — втулка, 7 — маслоулавливающие канавки, 8 — канавка в корпусе, 9 — масляное отверстие, 10 — распределительная смазочная канавка, 11 — смазочное кольцо, 12 — масляная камера

бита. В подшипниках скольжения применяют преимущественно кольцевую систему смазки.

Подшипник скольжения (рис. 80) с кольцевой смазкой, встроенный в подшипниковый щит электродвигателя, имеет чугунную втулку 6, состоящую из двух вкладышей, установленную в корпусе 5 и закрепленную в нем винтом 3. Во втулке есть прорезь, в которую вкладывают смазочное кольцо 11, изготовляемое для асинхронных электрических машин из стали, а для машин постоянного тока — из латуни или бронзы, чтобы избежать «прилипания» кольца вследствие намагничивания. «Верхняя» часть кольца лежит на расположенном в прорези участке шейки вала, а «нижняя» погружена в масло, находящееся в масляной камере 12 подшипника.

При вращении вала начинает вращаться смазочное кольцо, при этом масло налипает на кольцо 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, из-за чего шейка вала всплывает и во время работы двигателя вращается на масляной пленке. При этом появляется так называемое жидкостное трение, резко снижающее коэффициент трения, вследствие чего подшипник может работать длительное время, не подвергаясь интенсивному износу. Для предотвращения растекания масла вдоль вала на втулке имеются маслоулавливающие канавки 7, сообщающиеся с камерой 12 через отверстия 9. Распределительная смазочная канавка 10, как это видно из рисунка, не доходит до канавок 7, иначе масло не попало бы в зазор между шейкой вала и втулкой, а циркулировало по канавкам.

Чтобы масло из подшипника не попадало на обмотку и внутренние части электродвигателя, в корпусе подшипника имеется кольцевая канавка 8, в которую вкладывают уплотняющую фетровую шайбу. Отверстие в торце корпуса подшипника закрыто крышкой 2. Смазочное кольцо вкладывают в подшипник через окно, закрытое крышкой 4.

Подшипники скольжения ремонтируют чаще всего вследствие износа, отслоения или крошения слоя баббита, выплавления баббита при нагревах сверх допустимой температуры. Дефекты вкладышей выявляют внешним осмотром и по звуку при простукивании. У подшипников с хорошо сохранившимся слоем баббита звук при простукивании молоточком будет чистым и звонким, а при отслоившемся баббите — дребезжащим и глухим. Чтобы обнаружить трещины в баббите вкладыша, его погружают на 10—15 мин в керосин, затем вытирают насухо и покрывают тонким слоем мела, разведенного в воде. Трещины четко вырисовываются на покрытой мелом поверхности благодаря керосину, задержавшемуся в них.

Обнаруженные дефекты устраняют перезаливкой баббита. Процесс ремонта подшипников перезаливкой включает подготовительные работы, заливку, механическую обработку и пригоночные работы.

В процессе подготовки вкладышей к заливке их очищают от грязи и масла, промывая в 10%-ном растворе каустической соды, и освобождают от старого баббита, который выплавляют подогревом вкладышей пламенем паяльной лампы или нагреванием в электрических печах при 380—400°С. Вкладыши, освобожденные от старого баббита, обезжиривают, погружая на 1—3 мин в 10%-ный раствор каустической соды, нагретой до 70—80°С, а затем промывают в горячей воде и вытирают насухо чистыми обтирочными концами.

Обезжиренные вкладыши готовят к заливке баббитом одним из следующих способов: очисткой внутренней поверхности стальными проволочными щетками до металлического блеска; пескоструйной очисткой внутренней поверхности и последующей металлизацией; очисткой и облуживанием внутренней поверхности.

Каждый из перечисленных способов подготовки вкладышей подшипников под заливку баббитом имеет свои преимущества и недостатки. Например, подготовка под заливку только очисткой весьма проста по исполнению и не требует специального оборудования, но не обеспечивает прочного сцепления баббита с внутренней поверхностью вкладыша. Подготовка пескоструйной очисткой и последующей металлизацией позволяет создать поверхность вкладыша, при которой улучшаются условия ее сцепления с заливаемым баббитом, но для осуществления такой подготовки требуются пескоструйный аппарат, металлизатор и помещение для выполнения пескоструйных операций. Подготовка под заливку внутренней поверхности вкладыша очисткой и последующим облуживанием обеспечивает наиболее высокую прочность сцепления баббита с поверхностью вкладыша. Несмотря на то, что этот способ подготовки требует расхода припоя и большей затраты времени, он наиболее распространен в ремонтной практике.

Облуживание вкладышей перед заливкой баббитом производят вручную или погружением в расплав припоя. При ручном облуживании покрывают очищенную до блеска внутреннюю поверхность вкладышей слоем флюса (хлористого цинка), нагревают вкладыши до 280—300°С, а затем натирают их внутреннюю поверхность прутком припоя ПОС 30, равномерно покрывая тонким слоем полуды. Этот способ облуживания требует большой затраты времени и применяется при перезаливке небольшого количества подшипников скольжения электрических машин мощностью до 50 кВт.

Более совершенным способом облуживания подшипников скольжения электрических машин является погружение в расплав припоя, при котором достигается равномерное покрытие внутренней поверхности вкладышей слоем полуды и прочное его сцепление с основным металлом вкладышей.

Облуживание погружением производят следующим образом. Вкладыши с предварительно очищенной от оксидов внутренней поверхностью протравливают, опуская их на 2—3 мин в 15%-ный раствор серной или соляной кислоты, а затем нейтрализуют в щелочном растворе, промывают в воде, нагретой до 60—70°С, и просуши-

вают. Далее повторно очищают внутреннюю поверхность вкладышей стальной щеткой, а их наружную поверхность покрывают защитной пленкой, состоящей обычно из одной части мела и одной части столярного клея, разведенных в двух-трех частях воды, после чего просушивают. Внутреннюю поверхность вкладышей подшипника покрывают слоем флюса, погружая их в ванну с хлористым цинком, а затем подогревают до  $120^{\circ}\text{C}$  и опускают на 5—7 мин в ванну с расплавом припоя ПОС 30, после чего вкладыши вынимают и, встряхивая, освобождают от излишков припоя.

Подготовленные под заливку вкладыши прочно скрепляют друг с другом хомутами и принимают меры для предотвращения вытекания баббита при заливке.

Подшипники скольжения электрических машин мощностью до 100 кВт общепромышленного назначения заливают баббитом преимущественно марки Б-16 или БН. Небольшое количество баббита плавят в маленьком тигле, а большое — в индукционных печах.

Индукционная печь (рис. 81) состоит из стального цилиндрического тигля 2, изолированного от корпуса печи асбестоцементным кольцом 3 и закрываемого крышкой 1, индукционной катушкой 6, изолированной от стенок тигля тремя слоями листового асбеста 7 и прочно скрепленной стяжными шпильками 5. Кроме того, в печи имеется каркас 4 с цапфами для выливания расплава баббита при заливке подшипников и две стойки 8, снабженные проушинами для укладки в них цапф тигля.

Нагрев тигля осуществляется переменным током частотой 50 Гц через понижающий трансформатор напряжением 660—380/60 В. При плавлении баббита внимательно следят за его температурой, не допуская недогрева или перегрева, так как в обоих случаях снижается способность соединения сплава с поверхностью подшипника, а также ухудшаются механические качества слоя баббита. При нормальной температуре нагрева поверхность баббита имеет серебристо-белый цвет. Наблюдение за температурой нагрева баббита ведут, руководствуясь данными, приведенными в табл. 4.

Заливку вкладышей баббитом производят ручным (статическим) или центробежным (динамическим) способом.

При ручной заливке (рис. 82) устанавливают вкладыши 3 на зажатый в тисках поддон 5 и вставляют в них (строго в центре) стержень 1 из куска стальной трубы соответствующего диаметра. Диаметр стержня выбирают, учитывая усадку баббита (0,5—0,7%)

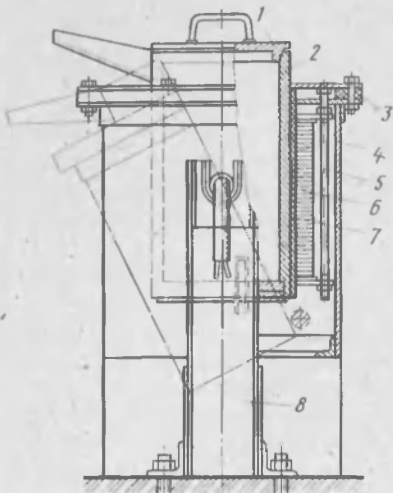


Рис. 81. Индукционная печь для плавки баббита

Т а б л и ц а 4. Температура нагрева баббита

Марка баббита	Температура, °С		
	Начала плавления	конца плавления	заливки
Б-16	240	410	460 ± 10
БН	245	397	450 ± 10

Примечание. Температура нагрева зависит от марки баббита.

и припуск на механическую обработку (3—6 мм). Далее устанавливают в стыки вкладышей дистанционные прокладки 2 из нежелезной полосовой стали, которые центрируют стержень и препятствуют соединению вкладышей при заливке. Вкладыши прочно крепят хомутом 4 из полосовой стали болтом с барашком.

Заливая баббит во вкладыши, следят, чтобы его струя лилась равномерно и не прерывалась. Заливочный ковш с баббитом держат близко к вкладышам во избежание быстрого охлаждения струи баббита. Несоблюдение этих требований может привести к образованию слоистости и пленок оксидов, резко понижающих прочность сцепления в местах соприкосновения застывшего баббита с металлом вкладыша. Этот способ заливки подшипников скольжения баббитом применяют в электрических цехах предприятий при малых количествах заливок.

При ремонте большого числа электрических машин с подшипниками скольжения, находящихся в эксплуатации, приходится пере-заливать значительное количество подшипников. Для этого применяют центробежную заливку, обеспечивающую минимальный расход баббита за счет сокращения припуска на обработку, высокую плотность слоя баббита и прочное сцепление его с внутренней поверхностью вкладышей. Расплавленный баббит вводится внутрь вращающегося вкладыша подшипника и под действием центробежной силы плотно пристает к его внутренней поверхности.

Для осуществления центробежной заливки подшипников используют приспособление, устанавливаемое в патроне токарного станка, или передвижной станок. При заливке в приспособлении (рис. 83, а) нагревают вкладыши 1 до 200—260°С и зажимают между дисками 2, после чего включают станок и при вращении шпинделя вливают в воронку 3 необходимое количество расплавленного баббита.

Это приспособление неудобно тем, что необходимо занимать токарный станок, который может быть использован по своему прямому назначению. Кроме того, плавить баббит и зали-

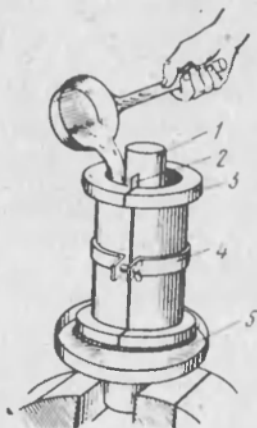


Рис. 82. Ручная заливка баббитом подшипника скольжения

вать его в подшипники приходится в токарном цехе, что не всегда возможно и небезопасно для работающих.

Указанные неудобства устраняют при использовании специального передвижного станка для центробежной заливки подшипников баббитом (рис. 83,б). На сварной станине 5 станка, выполненной из швеллеров, установлены две стойки 17 для корпусов шарикоподшипников. Шпиндель 8 станка изготовлен из толстостенной трубы  $\varnothing$  76 мм. На шпиндель насажены два шарикоподшипника № 1315, заключенные в буксы 9, шкив 7 с двумя ручьями для клиновидных ремней и упорное кольцо 10, приваренное к шпинделю. В конец шпинделя вварена гайка с резьбой М30, в которую ввернут выпрессовочный винт М30 с головкой 6, обработанной под квадрат.

На втором конце шпинделя (со стороны упорного кольца) нарезана резьба, на которую накручена чугунная букса 13 с внутренней поверхностью, проточенной на конус. В буксу закладывают выпрессовочный диск и подлежащий заливке подшипник, предварительно вложенные в переходную чугунную втулку. Втулка имеет продольный разрез по всей длине. Конусность наружной поверхности втулки соответствует конусности внутренней поверхности буксы. Внутренняя поверхность втулки цилиндрическая и соответствует наружному диаметру подшипника.

Букса с заложенным в нее выпрессовочным диском и подшипником в переходной втулке закрывается крышкой 12, закрепляемой болтами. В центре крышки имеется отверстие для прохода трубы от воронки 11, через которую подшипник наполняют расплавленным баббитом. Воронка с вваренной в нее трубой укреплена на поворотной стойке 14, положение которой после установки подшипника, закрепления крышки и ввода трубы от воронки в отверстие крышки фиксируется пружинным устройством.

Под шпинделем станка на станине размещена плита 16, на которой установлен электродвигатель 15 мощностью 1,7 кВт, частотой вращения 1420 об/мин. На станине имеется болт для присоединения станка к сети заземления. На валу двигателя насажен шкив 4. Передача (1:2) от шкива электродвигателя к шкиву на шпинделе осуществляется клиновидными ремнями. Все вращающиеся части, кроме буксы 13, закрываются съемным кожухом. Для заливки подшипников разных габаритных размеров станок имеет несколько переходных втулок, внутренние диаметры которых соответствуют наружным диаметрам подшипников. Расточка внутренней поверхности буксы рассчитана на установку переходной втулки для подшипников наибольшего диаметра. Заливку подшипника производит один рабочий.

Подшипник, подготовленный к заливке и подогретый, вставляют в переходную втулку и вместе с ней закладывают в буксу, куда предварительно помещают выпрессовочный диск. Буксу закрывают крышкой, укрепляемой четырьмя болтами. После этого трубу воронки вводят внутрь буксы; положение воронки фиксируют стопорным винтом. Воронку и трубу подогревают пламенем газовой горелки, включают двигатель станка и букса вместе с втулкой и подшипни-

ком начинает вращаться. Спускной штуцер электротигля открывают и в воронку наливают необходимое количество расплавленного баббита. Станок оставляют включенным в течение 15 мин, затем отключают. По истечении 30—40 мин после останова станка фиксируют положение буксы стопорным винтом, отводят воронку и открывают крышку буксы.

С противоположной стороны в шпиндель вводят специальный ключ, которым поворачивают винт и нажимают на выпрессовочный диск. Под воздействием диска вкладыши вместе с переходной втулкой выходят из буксы. Подшипник легко освобождают от переходной втулки, нажав лезвием отвертки на ее продольный разрез. Подшипник охлаждают, на станок устанавливают следующий подшипник, который готовят за время вращения в станке первого подшипника. Заливку подшипников производят в брезентовых рукавицах и защитных очках.

После охлаждения подшипника проверяют качество заливки. Поверхность баббита должна иметь тускло-серебристый цвет. Желтизна указывает на перегрев подшипника и его надо перезаливать. При простукивании молотком подшипник должен издавать чистый (без дребезжания) металлический звук. При использовании центробежного метода заливки вкладышей расход баббита сокращается на 8—10%, затраты труда — на 30%, кроме того, значительно повышается качество заливки по сравнению с заливкой баббита вручную. Частота вращения подшипников при заливке их баббитом центробежным способом приведена в табл. 5.

Таблица 5. Частота вращения подшипников при заливке их баббитом центробежным способом

Внутренний (номинальный) диаметр подшипника, мм	Частота вращения подшипника, об/мин	Внутренний (номинальный) диаметр подшипника, мм	Частота вращения подшипника, об/мин
30	1500	90	850
40	1250	100	810
50	1150	110	770
60	1050	120	740
70	950	130	710
80	900	140	680

Примечание. Частота вращения подшипников приведена для случаев заливки их баббитом марок Б-16 и БН. При заливке подшипников баббитом марки Б-83 частота их вращения должна быть увеличена на 15%..

На специализированных электроремонтных предприятиях, ремонтирующих ежегодно несколько тысяч электрических машин, заливку подшипников скольжения баббитом производят на стационарных заливочных станках, устройство которых показано на рис. 84.

На постаменте 2 установлены подшипники 6 и 8, в которых вращается шпиндель 7. На передний конец шпинделя накручен патрон, служащий для закрепления заливаемого подшипника и

состоящий из трех планшайб: задней 9, навернутой на шпиндель 7, передней 13, жестко скрепленной с задней тремя распорными шпильками 11, и средней 10, надетой на шпильки 11. Средняя планшайба может перемещаться вдоль шпильки под действием маховичком 3. Задний конец шпинделя имеет внутреннюю резьбу. Передний конец патрона поддерживается тремя роликовыми опорами 17 (могут быть использованы шариковые подшипники), смонтированными на разъемной раме 14. Шпиндель станка приводится во вращение от шунтового электродвигателя (с регулируемой частотой вращения 600—1400 об/мин) реостатом 1.

Заливочный станок работает следующим образом. Подшипник, подготовленный к заливке, устанавливают между планшайбами 13 и 10 с помощью сменных шайб 12 и 16 и закрепляют по торцам завинчиванием штока 4. Контргайка 5 предупреждает самоотвинчивание штока во время работы станка. После установки и закрепления подшипника в патроне включают станок и сообщают патрону минимальную скорость. Затем зажигают газовую горелку 18, служащую для подогрева подшипника перед заливкой до температуры, указанной в табл. 4. Эту же горелку используют для подогрева сжатого воздуха при охлаждении подшипника после заливки. Одновременно с подогревом осуществляют очистку (во время вращения) внутренней поверхности подшипника длинной стальной щеткой.

После очистки и подогрева подшипника выключают горелку, продувают полость подшипника сжатым воздухом и приступают к его заливке. Для этого устанавливают заливочную воронку 15 в рабочее положение (обычно воронка отведена в сторону) и реостатом настраивают электродвигатель на требуемую частоту вращения. Частоту вращения патрона устанавливают в зависимости от размера подшипника. Недопустимо заливать холодные и недостаточно подо-

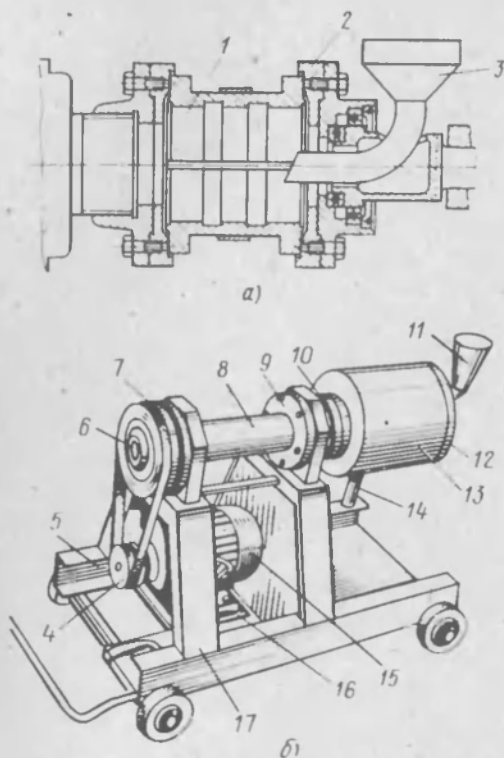


Рис. 83. Центробежная заливка подшипников скольжения в приспособлении к токарному станку (а) и переносном станке (б)



гретые подшипники во избежание отставания баббита от стенок.

Заливку осуществляют непрерывной струей специальным заливочным ковшем с делениями, указывающими объем металла в нем. Перерыв струи приводит к расслаиванию заливки.

Перед наполнением ковша баббит, находящийся в тигле, пере­мешивают деревянной лопаточкой и снимают с поверхности шлак. После заливки подшипник должен продолжать вращаться до полного затвердевания сплава, но не менее 5 мин. Для ускорения остывания и получения лучшей структуры баббита подшипник охлаждают струей сжатого воздуха, выпускаемого в горелку 18. После полного охлаждения подшипник снимают со станка, освобождают от крепежных деталей и хомутов, очищают от асбестового уплотнения и проверяют качество заливки, как указывалось ранее. При отсутствии каких-либо дефектов подшипник подвергают токарной, а затем слесарной обработке.

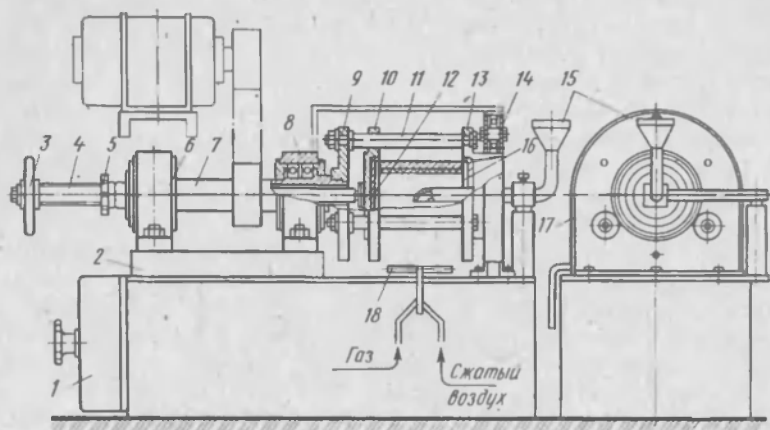


Рис. 84. Стационарный станок для центробежной заливки баббитом подшипников скольжения

Разъемные вкладыши подшипников после заливки отделяют друг от друга, места разъема очищают, между половинами вкладыша устанавливают регулировочные медные прокладки толщиной 0,8—1,2 мм. Прокладки позволяют уменьшать (в результате их удаления) зазор между валом и вкладышем по мере износа слоя баббита подшипника. Обе половины вместе с прокладками скрепляют хомутом, после чего подшипник растачивают.

Затем прорезают смазочные (маслораспределительные) канавки. У хорошо работающего подшипника скольжения вал «всплывает» на смазку, в результате между валом и вкладышем образуется тонкий слой масла. Это составляет основу работы подшипника, так как при наличии масла трение вала о вкладыш прекращается и происходит лишь взаимное скольжение частиц масла внутри слоя смазки. Поскольку вал «всплывает» на смазку, давление на слой

смазки может быть очень большим, поэтому подшипник должен быть таким, чтобы масло не могло выдавливаться из-под шейки вала. С этой точки зрения крестообразные маслораспределительные канавки нецелесообразны, так как по ним масло будет уходить из-под вала.

Наиболее эффективны продольные маслораспределительные канавки, проходящие лишь в тех местах (обычно сбоку), где давление вала на вкладыш наименьшее. Они не должны доходить до края вкладыша или сообщаться с маслоулавливающими канавками. Такие канавки вырубают крейцмейселем или прорезают на токарном станке, подавая резец с суппортом вдоль станины станка при неподвижном шпинделе. На токарном станке можно прорезать канавки под смазочное кольцо при изготовлении нового вкладыша. Вкладыш ставят эксцентрично к оси патрона, после чего резцом прорезают канавку. Резцом (при нормальной установке вкладыша) протачивают маслоуловительные канавки по краям вкладыша.

Ширину маслораспределительных и маслоулавливающих канавок для подшипников с диаметром шейки вала 20—150 мм делают 3—6 мм, а глубину 1,5—3 мм.

После расточки подшипника и прорезания маслораспределительных и маслоулавливающих канавок подшипник пришабривают по валу. У разъемных подшипников скольжения сначала шабруют отдельно верхний и нижний вкладыши, после их соединения друг с другом еще раз оба вместе.

По окончании операций шабрения и установки подшипника на место щупом проверяют наличие требуемого зазора 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 быть в пределах: 0,12—0,17 при диаметре валов 80—120 мм; 0,15—0,21 мм при диаметре 120—160 мм.

## **§ 29. Балансировка роторов, якорей и испытание электрических машин**

После ремонта роторы электрических машин в сборе с вентиляторами и другими вращающимися частями подвергают статической или динамической балансировке на специальных балансировочных станках. Эти станки служат для выявления неуравновешенности массы ротора, являющейся основной причиной возникновения вибрации при работе машины. Вибрация, вызванная центробежными силами, достигающими при большой частоте вращения несбалансированного ротора значительных величин, может стать причиной разрушения фундамента и аварийного выхода машины из строя.

Для статической балансировки роторов и якорей служит станок (рис. 85, а), представляющий собой опорную конструкцию из профильной стали и установленными на ней призмами трапециевидной формы. Длина призм должна быть такой, чтобы ротор мог сделать на них не менее двух оборотов.

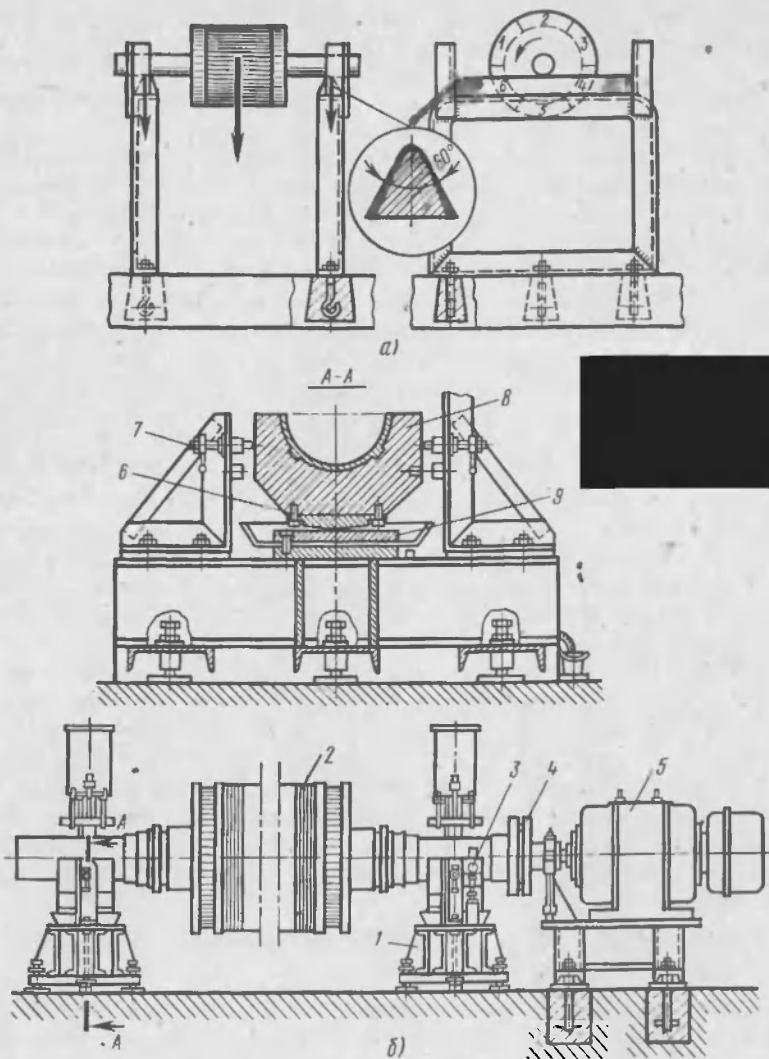


Рис. 85. Станки для статической (а) и динамической (б) балансировки роторов и якорей электрических машин

Ширину рабочей поверхности призм станков для балансировки роторов массой до 1 т принимают равной 3—5 мм. Рабочая поверхность призм должна быть хорошо отшлифована и способна, не деформируясь, выдерживать массу балансируемого ротора.

Статическую балансировку ротора на станке производят в такой последовательности. Ротор укладывают шейками вала на рабочие поверхности призм. При этом ротор, перекатываясь на призмах, займет такое положение, при котором его наиболее тяжелая часть

окажется внизу. Для определения точки окружности, в которой должен быть установлен балансирующий груз, ротор 5—6 раз перекачивают и после каждого останова отмечают мелом нижнюю «тяжелую» точку. После этого на небольшой части окружности ротора окажется пять меловых черточек.

Отметив середину расстояния между крайними меловыми отметками, определяют точку установки уравнивающего груза: она находится в месте, диаметрально противоположном средней «тяжелой» точке. В этой точке устанавливают уравнивающий груз, массу которого подбирают опытным путем до тех пор, пока ротор не перестанет перекачиваться, будучи оставлен в любом произвольном положении. Правильно сбалансированный ротор после перекачивания в одном и другом направлениях должен во всех положениях находиться в состоянии безразличного равновесия.

При необходимости более полного обнаружения и устранения оставшегося небаланса, окружность ротора делят на шесть равных частей. Затем, укладывая ротор на призмах так, чтобы каждая из отметок поочередно находилась на горизонтальном диаметре, в каждую из шести точек поочередно навешивают небольшие грузы до тех пор, пока ротор не выйдет из состояния покоя. Массы грузов для каждой из шести точек будут различными. Наименьшая масса будет в «тяжелой» точке, наибольшая — в диаметрально противоположной точке ротора.

При статическом методе балансировки уравнивающий груз устанавливают только на одном торце ротора и таким образом устраняют статический небаланс. Однако этот способ балансировки применим только для коротких роторов и якорей мелких и тихоходных машин. Для уравнивания масс роторов и якорей крупных электрических машин с большей частотой вращения (более 1000 об/мин) применяют динамическую балансировку, при которой уравнивающий груз устанавливают на обоих торцах ротора. Это объясняется тем, что при вращении ротора с большой частотой каждый его торец имеет самостоятельное биение, вызванное несбалансированными массами.

✓ Для динамической балансировки наиболее удобен станок резонансного типа (рис. 85, б), состоящий из двух сварных стоек 1, опорных плит 9 и балансировочных головок. Головки состоят из подшипников 8, сегментов 6 и могут быть закреплены неподвижно болтами 7 либо свободно качаться на сегментах. Балансируемый ротор 2 приводится во вращательное движение электродвигателем 5. Муфта расцепления 4 служит для отсоединения вращающегося ротора от привода в момент балансировки.

Динамическая балансировка роторов состоит из двух операций: измерения первоначальной величины вибрации, дающей представление о размерах неуравновешенности масс ротора: нахождения точки размещения и определения массы уравнивающего груза для одного из торцов ротора.

При первой операции головки станка закрепляют болтами 7. Ротор электродвигателем приводится во вращение, после чего привод

отключают, расцепляя муфту, и освобождают одну из головок станка. Освобожденная головка под действием радиально направленной центробежной силы небаланса раскачивается, что позволяет стрелочным индикатором 3 измерить амплитуду колебания головки. Такое же измерение производят для второй головки.

Вторую операцию выполняют методом «обхода грузом». Разделив обе стороны ротора на шесть равных частей, в каждой точке поочередно закрепляют пробный груз, который должен быть меньше предполагаемого небаланса. Затем описанным выше способом измеряют колебания головки для каждого положения груза. Самым удобным местом размещения груза будет точка, в которой амплитуда колебаний была минимальной.

Массу уравнивающего груза  $Q$  (кг) определяют по формуле

$Q = P \frac{K_0}{K_0 - K_{\min}}$ , где  $P$  — масса пробного круга,  $K_0$  — первоначальная амплитуда колебаний до обхода пробным грузом,  $K_{\min}$  — минимальная амплитуда колебаний при обходе пробным грузом.

Закончив балансировку одной стороны ротора, таким же способом балансируют вторую сторону. Балансировка считается удовлетворительной, если центробежная сила оставшейся неуравновешенности не превышает 3% массы ротора. Это условие можно считать выполненным, если амплитуда оставшихся колебаний головки балансировочного станка находится в пределах, определяемых выражением

$K = (1 \div 1,25) \frac{B_p}{900}$ , где  $B_p$  — масса балансируемого ротора, т.

После окончания балансировки временно установленный на роторе груз закрепляют. В качестве балансировочного груза используют куски полосовой или квадратной стали. Груз крепят к ротору сваркой или винтами. Крепление груза должно быть надежным, так как недостаточно прочно закрепленный груз может в процессе работы машины оторваться от ротора и стать причиной аварии или несчастного случая. Закрепив груз постоянно, ротор подвергают проверочной балансировке, затем передают в сборочное отделение для сборки машины.

Отремонтированные электрические машины подвергают после-ремонтным испытаниям по установленной программе: они должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к ней стандартами или ТУ.

На ремонтных предприятиях проводят следующие виды испытаний: контрольные — для определения качества электрооборудования; приемо-сдаточные — при сдаче отремонтированного электрооборудования ремонтным предприятием и приеме заказчиком; типовые, после внесения изменения в конструкцию электрооборудования или технологию его ремонта для оценки целесообразности внесенных изменений. В ремонтной практике чаще всего применяют контрольные и приемо-сдаточные испытания.

Каждую электрическую машину после ремонта вне зависимости от его объема подвергают приемо-сдаточным испытаниям. При

испытаниях, выборе измерительных приборов, сборке схемы измерений, подготовке испытуемой электрической машины, установлении методики и норм испытаний, а также для оценки результатов испытаний используют соответствующие стандарты и инструкции.

Если при ремонте машины не изменена ее мощность или частота вращения, после капитального ремонта машину подвергают контрольным испытаниям, а при изменении мощности или частоты вращения — типовым испытаниям.

Контрольные вопросы. 1. Каковы устройство и принцип действия асинхронного электродвигателя? 2. Назовите наиболее характерные неисправности асинхронных электродвигателей и укажите способы выявления этих неисправностей. 3. Какие типы обмоток вы знаете и чем они отличаются друг от друга? 4. Опишите способы намотки статорных обмоток. 5. Для чего и как производят сушку и пропитку обмоток? 6. Расскажите о способах и приемах балансировки роторов и якорей электрических машин. 7. Укажите основные операции сборки асинхронного электродвигателя. 8. Какие операции испытаний, производимых в процессе ремонта электродвигателя и после него, вы знаете?

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Бокман Г. А., Пузевский И. С. Конструкция и технология производства электрических машин. — М.: Высшая школа, 1977.

Вернер В. В., Вартанов Г. Л. Электромонтер-ремонтник. — М.: Высшая школа, 1982.

Кокорев А. С., Дымков А. М. Производственное обучение электрослесарей по ремонту трансформаторов (электрослесарей по ремонту электрических машин). — М.: Высшая школа, 1982.

Коротков Г. С., Членов М. Я. Ремонт оборудования и аппаратуры распределительных устройств. — М.: Высшая школа, 1984.

Никулин Н. В. Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям. — М.: Высшая школа, 1982.

Осьмаков А. А. Технология и оборудование производства электрических машин. — М.: Высшая школа, 1980.

Перельмутер Н. М. Электромонтер-обмотчик и изолировщик по ремонту электрических машин. — М.: Высшая школа, 1980.

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
<b>Глава I. Организация, планирование и структурно-технологические схемы ремонта электрооборудования . . . . .</b>	<b>5</b>
§ 1. Виды и причины износов . . . . .	5
§ 2. Система и классификация ремонтов . . . . .	6
§ 3. Планирование и методы выполнения ремонтных работ . . . . .	8
§ 4. Структура электроремонтного цеха в состав его оборудования . . . . .	11
<b>Глава II. Устройство и ремонт электрических аппаратов напряжением до 1000 В . . . . .</b>	<b>16</b>
§ 5. Общие сведения . . . . .	16
§ 6. Ремонт автоматических выключателей, контакторов и магнитных пускателей . . . . .	19
§ 7. Ремонт взрывозащищенных электрических аппаратов . . . . .	38
§ 8. Ремонт тормозных электромагнитов и электромагнитных муфт скольжения . . . . .	44
§ 9. Ремонт реостатов . . . . .	47
§ 10. Ремонт предохранителей . . . . .	50
<b>Глава III. Устройство и ремонт грузоподъемных электромагнитов . . . . .</b>	<b>57</b>
§ 11. Общие сведения о грузоподъемных электромагнитах . . . . .	57
§ 12. Устройство грузоподъемных электромагнитов . . . . .	58
§ 13. Организация производственной базы ремонта грузоподъемных электромагнитов . . . . .	61
§ 14. Технология ремонта грузоподъемных электромагнитов . . . . .	64
<b>Глава IV. Устройство и ремонт электрических машин . . . . .</b>	<b>78</b>
§ 15. Общие сведения . . . . .	78
§ 16. Основные конструктивные исполнения электрических машин . . . . .	81
§ 17. Асинхронные электродвигатели трехфазного переменного тока . . . . .	84
§ 18. Электрические машины постоянного тока . . . . .	86
§ 19. Неисправности электрических машин . . . . .	89
§ 20. Разборка электрических машин . . . . .	92
§ 21. Основные сведения об обмотках . . . . .	97
§ 22. Схемы и конструкции обмоток электрических машин . . . . .	100
§ 23. Материалы, применяемые при изготовлении обмоток электрических машин . . . . .	105
§ 24. Конструктивные исполнения изоляции обмоток электрических машин . . . . .	109
§ 25. Технология ремонта обмоток электрических машин . . . . .	112
§ 26. Ремонт токосборительной системы электрических машин . . . . .	138
§ 27. Ремонт сердечников, валов и вентиляторов электрических машин . . . . .	145
§ 28. Ремонт станин, подшипниковых щитов и подшипников электрических машин . . . . .	153
§ 29. Балансировка роторов, якорей и испытание электрических машин . . . . .	169
Рекомендуемая литература . . . . .	174



Вильям Борисович Атабеков

**РЕМОНТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Зав. редакцией Э. М. Концевая. Редактор Е. А. Варшавская. Мл. редакторы В. А. Короткина, М. Б. Кочерова. Художник В. М. Боровков. Художественный редактор Л. К. Громова. Технический редактор З. В. Нуждина. Корректор Л. А. Исаева.

ИБ 5357

Изд. № ЭГ-77. Сдано в набор 20.07.84. Подп. в печать 18.10.84. Т—18959. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. тип. № 3. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Объем 11 усл.печ.л. 22,25 усл.кр.-от 12,40 уч.изд.л. Тираж 130000 экз. Зак. № 621. Цена 30 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ТСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.  
Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014. Ярославль, ул. Свободы, 97.