Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электрических станций и электро - энергетических систем

МОНТАЖ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Конспект лекций
для студентов специальности 5В071800 - Электроэнергетика

Алматы 2018

СОСТАВИТЕЛИ: У.М. Матаев, А.А. Абдурахманов, Д.М. Тойбазар Монтаж и ремонт электрооборудования электрических станций и подстанций. Конспект лекций для студентов специальности 5В071800 - Электроэнергетика. - Алматы: АУЭС, 2018. – 80 с.

Рассмотрены вопросы организации и проведения монтажных работ, а также технологии проведения ремонтных работ. Описаны методы проведения монтажных работ электрических машин и трансформаторов. Рассмотрены вопросы ремонта основных элементов электрических машин и трансформаторов.

Ил. 54, табл. 3, библиогр.- 10 назв.

Рецензент: канд. техн. наук, проф. кафедры ТОЭ Аршидинов М.М.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2018 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2018 г.

Введение

Дисциплина «Монтаж и ремонт электрооборудования электрических станций и подстанций» знакомит студентов с технологией проведения электромонтажных работ на электрических машинах и трансформаторах, повреждениями и ремонтом основных их элементов. Современные методы монтажа электрооборудования и качественный ремонт позволяют обеспечить бесперебойную работу электрооборудования, уменьшить расходы на их эксплуатацию и продлить срок службы. Изучение этой дисциплины может оказать помощь студентам в их дальнейшей практической деятельности.

Конспект лекций состоит из 15 лекций, снабженных многочисленными иллюстрациями.

В лекциях даны основные термины и определения электрооборудования электрических станций и подстанций, показаны технологии монтажа и ремонта электрического и электромеханического оборудования.

В конспекте лекций рассмотрены входящие в состав эксплуатации электрооборудования электрических станций и подстанций транспортировка, хранение, монтаж, испытание, пуск и ввод в эксплуатацию, техническое обслуживание электрооборудования.

В работе даны процессы монтажа и ремонта электрических машин и силовых трансформаторов, являющихся основным оборудованием электрических станций и подстанций.

1 Лекция №1. Общие вопросы эксплуатации и ремонта

Эксплуатация оборудования начинается с момента его выхода с территории завода – изготовителя и заканчивается сдачей его в переработку на вторичные материалы на предприятие по утилизации промышленных отходов. Процесс эксплуатации состоит из следующих этапов: транспортировка оборудования; хранение оборудования; монтаж оборудования; пробный пуск и сдача в эксплуатацию; техническое обслуживание (ТО) оборудования; ремонты в процессе ТО. После очередного ремонта оборудование вновь поступает на монтаж или на склад с целью последующей замены выводимого в ремонт оборудования.

1.1 Транспортировка и хранение оборудования

С завода – изготовителя оборудование, как правило, поступает заказчику в упаковке, предохраняющей его от воздействия окружающей среды в процессе транспортировки и хранения. Существуют четыре основных типа помещений (складов) для его хранения. Первую группу составляют склады группы Л (легкие условия), в которых обеспечиваются достаточно комфортные условия хранения оборудования, на складах второй группы обеспечиваются хорошие условия хранения (группа С), на складах третьей и четвертой групп существуют достаточно жесткие (группа Ж) и особо жесткие (группа ОЖ) условия хранения оборудования. При этом группа Л имеет три подгруппы хранения (1, 1.1 и 1.2), группа Ж – три подгруппы (Ж1, Ж2 и ЖЗ), группа ОЖ - четыре (ОЖ1, ОЖ2, ОЖЗ и ОЖ4).

В инструкциях завода – изготовителя указываются допустимые условия и предельный срок хранения оборудования, при которых не нарушается его работоспособность. Поэтому перед приемкой на хранение следует убедиться в сохранности упаковки (консервации) и в случае необходимости восстановить ее, а также проверить комплектность поступившего оборудования и соответствие условий его хранения требованиям завода-изготовителя. Нарушение условий хранения может привести к повреждению отдельных элементов оборудования, связанному с коррозией металлических деталей, окислением контактных поверхностей и др. Естественно, допускается изменение условий хранения на более легкие по сравнению с предусмотренными заводом – изготовителем.

С позиций транспортировки и хранения электрические машины можно условно разбить на два конструктивных типа: машины со щитовыми (рисунок 1.1) и со стояковыми (рисунок 1.2) подшипниками. У машин первого типа подшипниковый узел встроен в корпус машины, и она может транспортироваться в собранном виде; в большинстве случаев здесь используются подшипники качения. У машин второго типа подшипники расположены вне корпуса машины в своих собственных корпусах; в большинстве случаев здесь используются подшипники скольжения. Машины первого типа, как правило, транспортируются и хранятся в собранном виде,

машины второго типа – разобранными на отдельные узлы. Особое внимание должно быть уделено сохранности подшипников качения, поскольку при длительной транспортировке из – за вибрации и ударов может происходить их бринеллирование (появление лунок на дорожках качения) и наклеп. Поэтому при транспортировке по железной дороге машины устанавливаются поперек движения состава.

Масляные трансформаторы и маслонаполненные электрические аппараты отправляются заводом – изготовителем полностью собранными и залитыми маслом. Крупные высоковольтные трансформаторы отправляются частично демонтированными (без расширителя и высоковольтных вводов), залитыми маслом ниже крышки. Надмасляное пространство внутри бака заполняется инертным газом или сухим воздухом.

Масляные трансформаторы, а также демонтированные на время транспортировки крупные узлы и детали (расширитель, выхлопная труба, маслоочистительные и термосифонные фильтры и т. п.) транспортируются без упаковки на открытых железнодорожных платформах. Они должны быть надежно защищены от попадания влаги на всех этапах вплоть до монтажа на месте установки. Вводы напряжением до 35 кВ, комплектующая аппаратура и приборы, система охлаждения, крепежные изделия и запасные части отправляются упакованными вместе с трансформатором. Маслонаполненные вводы класса напряжения 66 — 750 кВ транспортируют на место установки трансформатора в упаковке завода-изготовителя вводов.

Сухие трансформаторы и электрические аппараты транспортируются в собственной упаковке, гарантирующей их сохранность от механических повреждений и непосредственного воздействия влаги при транспортировке и хранении.

Уровень масла в расширителе трансформаторов, транспортируемых полностью залитыми маслом, должен находиться в пределах контролируемого уровня по маслоуказателю. Пробивное напряжение масла марки ТК в баке трансформатора должно быть не ниже 50 кВ/мм, тангенс угла потерь (tg δ) – не более 0,02 при 70 °С. Пробивное напряжение масла в баке контактора устройства регулирования напряжения под нагрузкой должно быть не менее 45 кВ/мм, влагосодержание – не более 0,0025 %. При удовлетворительных результатах проверки свойств масла трансформатор разрешается хранить до начала монтажа без ограничения срока.

Силовые трансформаторы, а также трансформаторы тока должны храниться под навесом (группа ОЖ4) в собственных кожухах, герметически закрытых и залитых маслом. Комплектующую аппаратуру, крепеж, специальный инструмент, сухие вводы напряжением 6 — 35 кВ хранят в заводской упаковке в закрытом сухом помещении (группа ЖЗ). Маслонаполненные вводы хранят в вертикальном положении и следят за отсутствием течи и нормальным уровнем масла по маслоуказателю.

Сроки хранения оборудования должны быть сведены к минимуму, поскольку время хранения входит в гарантийный срок и увеличивает стоимость оборудования. Идеальным вариантом является монтаж «с колес», при котором

оборудование поступает с завода-изготовителя прямо на монтажную площадку, минуя стадию хранения.

1.2 Конструктивное исполнение оборудования

Конструктивное исполнение оборудования определяется тремя факторами: способом защиты от воздействия окружающей среды, способом охлаждения и способом монтажа.

Выбор способа защиты от воздействия окружающей среды зависит от места установки оборудования и свойств окружающей среды. Стандартом установлено 10 вариантов климатических исполнений и 5 категорий размещения оборудования.

1.3 Виды технического обслуживания

Техническое обслуживание включает регулярные осмотры электрического и электромеханического оборудования и технические мероприятия в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя, проводимые по специальному графику и программе. В состав ТО входят также ремонты оборудования, различающиеся по своему объему. Поскольку ТО за исключением внешних осмотров проводится на неработающем оборудовании при снятом напряжении, то графики ТО должны быть согласованы с графиками работы основного технологического оборудования.

Электрическое и электромеханическое оборудование по своему функциональному назначению делится на *основное* и *вспомогательное*. К *основному относится оборудование, без которого невозможно проведение нормального технологического процесса по выпуску продукции***.** К *вспомогательному относится электрическое и электромеханическое оборудование, служащее для улучшения условий труда и повышения его производительности, а также для соблюдения экологических или иных нормативов производства***.** Его отказ не приводит к перерывам в основном технологическом процессе.

На сегодняшний день существуют три системы ТО:

– практически без обслуживания («не трогай, пока не сломается»);

– планово-предупредительная система обслуживания и ремонтов (ППР);

– обслуживание с ремонтами по мере необходимости.

1.4 Виды и причины износов электрического и электромеханического оборудования

В процессе эксплуатации происходит износ электрического и электромеханического оборудования. Условно по характеру физических процессов, лежащих в его основе, можно выделить три вида износа: механический, электрический и моральный**.**

1.5 Классификация ремонтов электрического и электромеханического оборудования

По объему ремонты делятся на текущие, средние и капитальные. К *текущим* относятся ремонты, проводимые во время эксплуатации оборудования для гарантированного обеспечения его работоспособности и состоящие в замене и восстановлении его отдельных частей и в их регулировке. Текущий ремонт проводится на месте установки оборудования с его остановкой и отключением. При *среднем* ремонте проводится полная или частичная разборка оборудования, ремонт и замена изношенных деталей и узлов, восстановление качества изоляции. В этом случае достигается восстановление основных технических показателей работы оборудования. При *капитальном* ремонте проводится полная разборка оборудования с заменой или восстановлением любых его частей, включая обмотки, при этом достигается полное (или близкое к нему) восстановление ресурса оборудования. В настоящее время в основном используют два вида ремонта: текущий и капитальный, хотя для отдельных видов оборудования предусмотрен и средний ремонт.

По назначению ремонты делятся на восстановительный, реконструкцию и модернизацию. *Восстановительный ремонт* осуществляется без изменения конструкции отдельных узлов и всего устройства в целом. Технические характеристики оборудования остаются неизменными. При *реконструкции* возможны изменение конструкции отдельных узлов и замена отдельных материалов, из которых они изготовлены, при практически неизменных технических характеристиках оборудования. При модернизации – благодаря замене и усовершенствованию существующих узлов и применяемых материалов предполагается существенно улучшить технические характеристики оборудования, приблизив их к характеристикам нового современного оборудования.

По методу проведения ремонты делятся на принудительный и послеосмотровый. *Принудительный метод* применяется в основном для ответственного оборудования. Суть его состоит в том, что через определенные промежутки времени электрическое и электромеханическое оборудование в обязательном порядке подвергают капитальному ремонту, также через определенные промежутки времени проводят текущие и средние ремонты в соответствии с длительностью ремонтного цикла и его структурой. При этом ресурс оборудования между ремонтами полностью не используется, и в ремонт может попасть исправное оборудование. Поэтому данный вид ремонта является наиболее дорогим.

При *послеосмотровом методе* ремонта электрическое и электромеханическое оборудование подлежит капитальному ремонту только после осмотра и профилактических испытаний во время очередной ревизии или текущего ремонта. Ресурс оборудования используется при этом методе ремонта полностью, поэтому стоимость ремонтов меньше. Однако из-за возможности внеочередного незапланированного ремонта усложняется процесс его про-

ведения и может увеличиться его длительность. С принудительного на послеосмотровый метод ремонта можно переводить оборудование массового применения, не отнесенное к основному и имеющее достаточный обменный парк.

По форме организации ремонты разделяются на централизованную, децентрализованную и смешанную формы. *При централизованной форме* ремонт, испытания и наладка электрического и электромеханического оборудования осуществляются специализированными ремонтно-наладочными предприятиями без использования местных ремонтно-эксплуатационных служб. К этой форме ремонта относится и фирменное ТО (в настоящее время проводится в отношении ответственного импортного оборудования). Усовершенствование этой формы ремонта предполагает создание центрального обменного фонда оборудования и расширение его номенклатуры, а также распространения сферы услуг ремонтных предприятий на проведение текущих ремонтов и профилактического обслуживания. Централизованная форма ремонта обеспечивает наиболее высокое качество работ.

При *децентрализованной форме* ремонт, испытания и наладка оборудования осуществляются ремонтными службами предприятия, на котором установлено это оборудование. При *смешанной форме* ремонта часть работ выполняется централизованно (сторонними организациями), а часть — децентрализованно (собственными ремонтными службами). Степень централизации зависит от характера предприятия, типа и мощности оборудования.

При планировании ремонтного производства вводится понятие ремонтного цикла, определяемого календарным временем между двумя плановыми капитальными ремонтами. Для вновь вводимого в эксплуатацию оборудования под ремонтным циклом понимается календарное время от ввода в эксплуатацию до первого планового капитального ремонта.

При определении длительности ремонтного цикла используют график распределения частоты отказов λ технических изделий от времени t, так называемую «кривую жизни» (рисунок 1.1). На этом графике можно выделить три области: область 1 – время послеремонтной приработки, когда вероятность появления отказов повышается из-за возможного применения при ремонте некачественных материалов, несоблюдения технологии ремонта и т.п.; область *2* – нормальный этап работы оборудования с практически неизменной частотой отказов во времени, область 3 – время старения отдельных узлов и оборудования в целом.

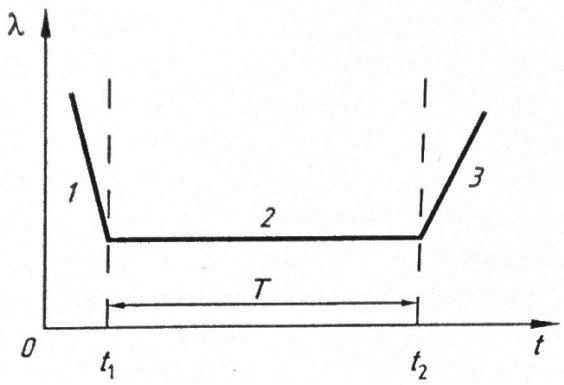


Рисунок 1.1 - «Кривая жизни» технического изделия

2 Лекция №2. Монтаж распределительных электрических сетей

Монтаж распределительных электрических сетей и осветительных установок выполняется в соответствии с требованиями Строительных норм и правил (СНиП), Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и монтажных инструкций заводов-изготовителей. Перед монтажом следует убедиться в соответствии конструктивного исполнения оборудования и категории его размещения условиям его эксплуатации.

Серьезно различаются правила, порядок, способы и организация монтажа электрооборудования и сетей, предназначенных для работы при напряжениях до 1000 В и более 1000 В. Монтировать высоковольтное оборудование намного труднее, чем низковольтное, так как оно характеризуется большей сложностью, значительными объемами и массой.

Требования к его установке также значительно ужесточены.

Технологический процесс монтажа составляется по обобщенной схеме.

Предварительные работы	Производство монтажа
1 Приемка поступающего оборудования	1 Подготовка мест установки оборудования
2 Ознакомление с местами установки оборудования	2 Установка оборудования
3 Заготовка материалов, инструмента и приспособлений	3 Электромонтажные работы
	4 Пусконаладочные работы и сдача заказчику

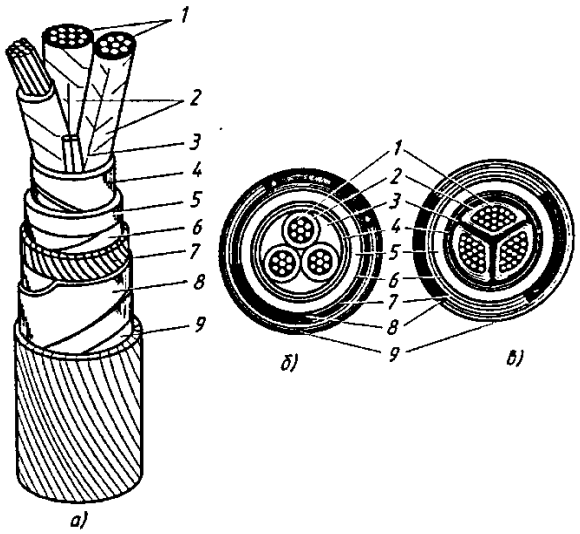
2.1 Монтаж кабельных линий

Монтаж кабельных линий выполняют в соответствии с проектно-технической документацией, в которой указаны трасса линии и ее геодезические отметки, позволяющие судить о разности уровней отдельных участков трассы. При монтаже необходимо учитывать назначение кабелей, которые могут быть силовыми или контрольными.

Силовые кабели служат для передачи распределения электрической энергии в осветительных и силовых электроустановках. Линии электропередачи 6... 10 кВ и выше выполняют специальным силовым кабелем. Конструкции силовых кабелей зависят от класса напряжения. Наиболее распространены трех и четырехжильные силовые кабели с бумажной изоляцией. Для напряжения 10 кВ их выполняют с поясной изоляцией в общей свинцовой оболочке для всех жил, а для напряжений 20 и 35 кВ – с отдельно освинцованными жилами.

Жилы кабеля состоят из большого числа обычно медных проводников малого сечения. Кабели напряжением до 6 кВ и сечением до 16 мм^2 изготовляют с круглыми жилами, напряжением выше 6 кВ и сечением более 16 мм^2 – с секторными жилами (в поперечном разрезе жила имеет форму сектора окружности).

На рисунке 2.1 в показан трехжильный кабель с секторными жилами на напряжение 10 кВ. Каждая жила изолирована от другой специальной кабельной бумагой 2, пропитанной специальной массой, в состав которой входят масло и канифоль. Все жилы от земли изолированы поясной изоляцией *4* также из пропитанной бумаги. Для обеспечения герметичности кабеля на поясную изоляцию накладывают свинцовую оболочку без швов. От механических повреждений кабель защищен броней *8* из стальной ленты, а от химических воздействий — асфальтированным джутом. В последнее время выпускают кабели, у которых свинцовое покрытие заменено алюминиевым либо пластмассовым (сопрен, винилит).



I — жилы; *2* — изоляция жил; *3* — заполнитель; *4* — поясная изоляция; *5* — защитная оболочка; *6* — бумага, пропитанная компаундом; 7 — защитный покров из пропитанной кабельной пряжи; *8* — ленточная броня; *9* — пропитанная кабельная пряжа.

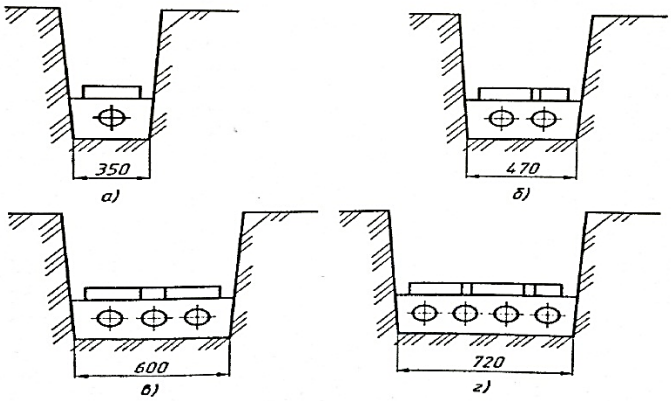
Рисунок 2.1 - Трехжильный кабель с поясной изоляцией из пропитанной бумаги *(а)* и его разрезы *(б* — с круглыми жилами; *в* — с секторными жилами)

Контрольные кабели служат для создания цепей контроля, сигнализации, дистанционного управления и автоматики. Они могут иметь от 4 до 37 жил сечением 0,75... 10 мм^2 и изоляцию из пропитанной кабельной бумаги или резины. Для их герметичности используют оболочку из свинца, алюминия или поливинилхлорида, которая защищена от механических повреждений броней из стальных лент или стальных оцинкованных проволок круглого или прямоугольного сечения. Стальная броня покрыта джутовой пряжей. Контрольные кабели можно прокладывать в земле, тоннелях, помещениях с агрессивной средой, в шахтах и под водой.

Контрольные кабели в отличие от силовых имеют в обозначении марки кабеля букву – К, размещаемую после обозначения материала жилы. Цифры после букв обозначают рабочее напряжение (кВ), на которое рассчитан кабель, число жил и площадь поперечного сечения каждой жилы (мм^2).

Монтаж кабелей в траншеях — наиболее распространенный и легко выполняемый способ их прокладки.

При прокладке кабелей в траншеях выполняют следующие работы: подготовительные, устройство траншей, доставку барабанов с кабелем к месту монтажа, раскатку кабеля и его укладку в траншею, защиту кабеля от механических повреждений, засыпку траншеи.



а — одного; *б* — двух; *в* — трех; *г* — четырех.

Рисунок 2.2 - Размеры кабельных траншей (мм) и размещение в них кабелей

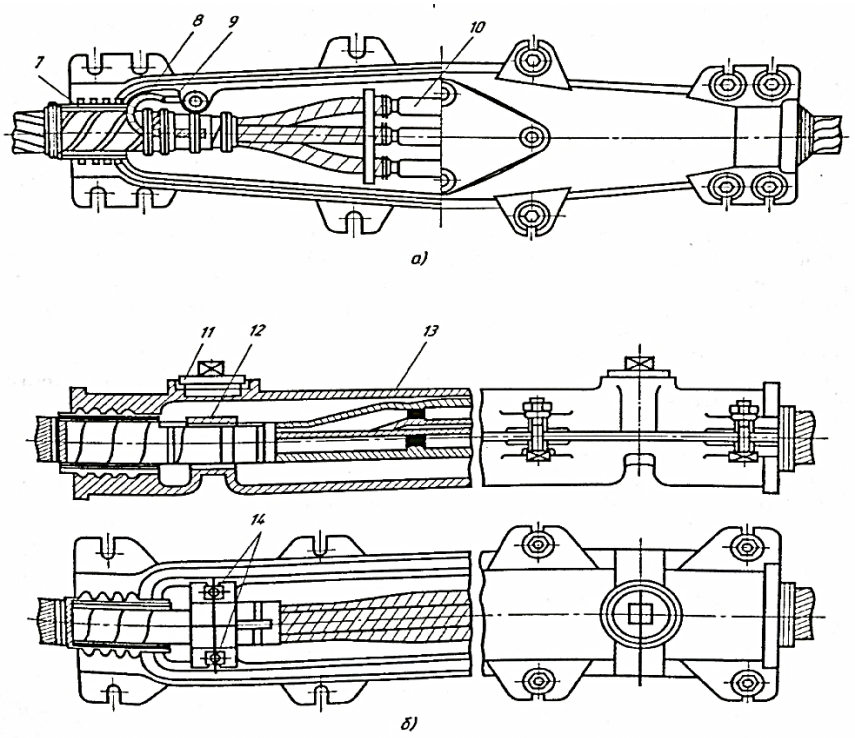
Кабельные муфты разделяют по напряжению (до 1, 6, 10, 35 кВ), назначению (соединительная, ответвительная, концевая), габаритным размерам (нормальная, малогабаритная), материалу (чугунная, свинцовая, эпоксидная), форме (У - образная, Т - образная, Х - образная), месту установки (внутренняя, наружная), числу фаз (концевая трехфазная или четырехфазная).

Чугунные муфты (рисунок 2.3) применяют для соединения кабелей напряжением до 1 кВ. После монтажа их заливают нагретой кабельной мастикой МБ-70 или МБ-90.

Свинцовые муфты (рисунок 2.4) применяют для соединения высоковольтных кабелей напряжением 6, 10 кВ и выше и изготовляют из свинцовых труб соответствующего диаметра, обрабатывая в процессе монтажа. После монтажа свинцовые муфты заливают нагретой кабельной мастикой МБ. Свинцовые муфты для защиты от механических повреждений часто помещают в чугунный или стеклопластиковый кожух. Свинцовые муфты выпускаются шести типоразмеров в соответствии с сечением жил соединяемых кабелей и классом напряжения.

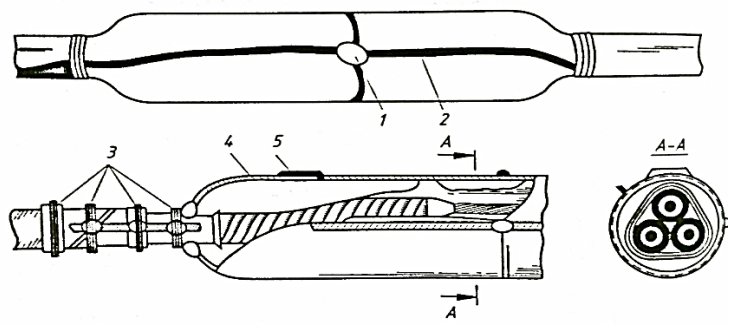
Муфты имеют буквенно-цифровую маркировку. Буквой Ч обозначают чугунную муфту, С — свинцовую, СС — свинцовую соединительную. Цифры 60, 70, 80, 90, 100, 110 обозначают диаметр кабеля в мм.

Эпоксидные муфты применяют для соединения кабелей напряжением 1, 6 и 10 кВ и ответвлений кабелей до 1 кВ.



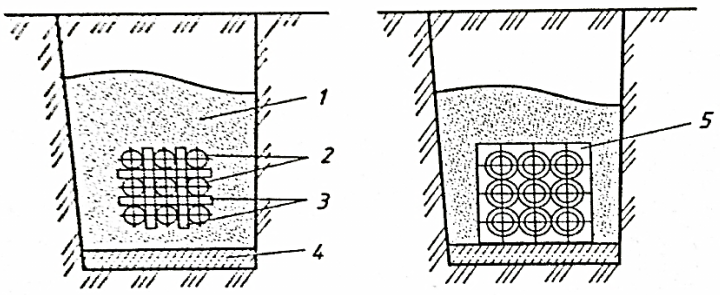
1— верхняя половина корпуса; *2* — лабиринтное уплотнение; *3* — кабель; *4* — фарфоровая распорная пластина; *5* — крышка заливочного отверстия; 6 — стяжные болты; 7, *13* — подмотки; 8 — герметизирующая прокладка в пазу нижней половины корпуса; *9* — заземляющий проводник; *10* — соединительная гильза; 11— пробка заливочного отверстия; *12* — хомутик; *14* — болты крепления хомутика.

Рисунок 2.3 - Чугунные соединительные муфты для кабелей до 1 кВ (а - СЧо; б — СЧм)



1 – участок присоединения заземляющего провода к корпусу муфты;
2— заземляющий провод; 3 — проволочные бандажи; 4— корпус;
5— заливочное отверстие, закрытое свинцовой пластиной колодец влаги.
Рисунок 2.4 - Свинцовая соединительная муфта кабелей напряжением 6 и 10 кВ

Прокладка кабелей в блоках применяется для их защиты от механических повреждений. Блок (рисунок 2.5) представляет собой подземное сооружение, выполненное из нескольких труб (асбоцементных, керамических и др.) или железобетонных панелей с относящимися к ним колодцами. Глубина заложения в земле кабельных блоков зависит от местных условий, но не должна быть меньше расстояний, допустимых при прокладке кабелей в траншеях. В местах изменения направления трассы сооружают кабельные колодцы, которые обеспечивают удобные условия для протягивания кабелей, а также их замены в процессе эксплуатации. Для обеспечения стока воды блоки укладывают с уклоном в сторону колодцев не менее чем на 100 мм на каждые 100 м. Кабельные колодцы сооружают также на прямолинейных участках трассы, соблюдая установленные расстояния друг от друга. На дне колодца устраивают водосборник, представляющий собой закрытое металлической решеткой углубление, которое служит для сбора просачивающейся в

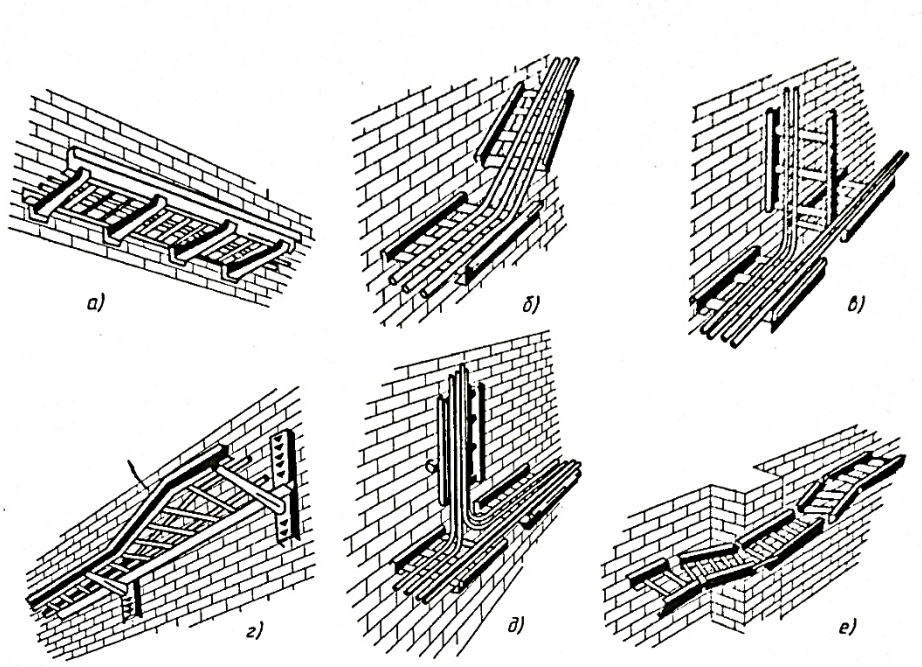


1 — песок или просеянный грунт; *2* — трубы; 3 — деревянные прокладки;
4 — бетонная подушка; 5 — гидроизоляция.
Рисунок 2.5 - Кабельный блок из асбоцементных труб в сухих (а) и влажных (б) грунтах

Прокладка кабелей на опорных конструкциях и в лотках выполняется в цехах производственных предприятий, по стенам зданий, в туннелях. Опорные кабельные конструкции изготавливают из листовой стали в виде стоек с полками, стоек со скобой, настенных полок. Специальные перфорированные и сварные лотки используют для прокладки проводов и небронированных кабелей по кирпичным и бетонным стенам на высоте не менее 2 м. Их обязательно заземляют не менее чем в двух местах и электрически соединяют между собой.

Пайку применяют для соединения жил кабелей классов напряжения 1, 6 и 10 кВ. Пайку производят либо хорошо разогретым паяльником, либо путем помещения концов жил в специальные ванночки с расплавленным припоем. Для пайки кабелей используют обычно полужесткие (ПФ) и жесткие (ПСр) припои.

Опрессовку применяют в основном для соединения алюминиевых жил кабелей до 1 кВ и выполняют с помощью гильз и опрессовочных механизмов – клещей и прессов. В гильзу с двух сторон помещают соединяемые жилы кабелей и гильзу сжимают. Под действием создаваемого прессующим механизмом давления металл гильз и жил спрессовывается, образуя монолитное соединение.



а – горизонтально; б – с переходом трассы кабелей с одной горизонтальной отметки на другую; *в* – с ответвлением вверх на ребро; *г* – с переходом на лоток меньшего размера; *д* – переходом вверх плашмя; *е* – при обходе выступающей колонны.

Рисунок 2.6 – Установка кабельных лотков

Газовая и электрическая сварка служит для соединения алюминиевых жил кабеля сечением 16...240 мм^2. При газовой сварке используется теплота сжигаемого газа (например, смеси пропан-бутана), температура которого достигала 2300°С и выше, а при электрической – теплота электрической дуги.

Термитная сварка – один из наиболее совершенных способов соединения алюминиевых жил кабелей, который выполняется с помощью специальных патронов типа А. Провода в патроне устанавливаются встык и его поджигают специальной спичкой. Внутри патрона находится термитный состав, при горении которого температура достигает нескольких тысяч градусов.

3 Лекция №3. Монтаж электрических машин и трансформаторов

Монтаж электрических машин, электроприводов, трансформаторов и трансформаторных подстанций выполняется в соответствии с требованиями СНиП, ПУЭ и монтажных инструкций заводов- изготовителей. Перед монтажом следует убедиться в соответствии исполнения оборудования условиям его эксплуатации.

Перед началом монтажа следует иметь ясное представление о монтируемом оборудовании, объемах, характере и условиях монтажа. Необходимо подробно ознакомиться с проектом оборудования, данными машин и аппаратов (по каталогу или с натуры), техническими условиями для монтируемой аппаратуры, чертежами и нормами завода-изготовителя, требованиями заказчика, а также с соответствующими стандартами и нормами.

3.1 Инженерная подготовка монтажа электрического и электромеханического оборудования

Способы монтажа чрезвычайно разнообразны ввиду очень большого диапазона мощностей, конструктивных решений, типов и форм исполнения оборудования. Кроме того, поскольку монтаж обычно производится у потребителя, а не в сборочных цехах завода, то организация и приемы монтажа отличаются своей спецификой. В частности, это проявляется в том, что работы по монтажу стремятся выполнять наиболее простыми средствами.

Для качественного выполнения электромонтажных работ при минимальных затратах труда и материальных ресурсов необходимо провести инженерную подготовку, включающую разработку:

– технического проекта на базе изучения проектно-сметной документации электрической части соответствующего энергетического объекта;

– экономического обоснования; проекта организации работ;

– проекта производства работ (ППР);

– необходимых чертежей, монтажных схем и технологических карт на проведение работ;

– сетевых графиков на проведение монтажных и пусконаладочных работ.

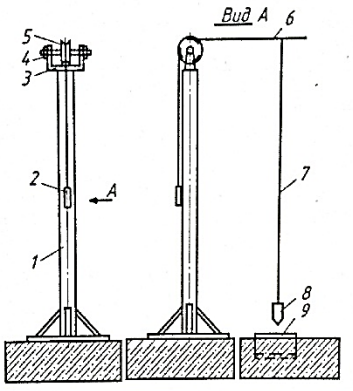
Технологические карты содержат как технологическую последовательность выполнения работ, так и описание приемов и методов труда, перечень механизмов, приспособлений и инструмента, график трудового процесса, калькуляцию затрат труда, схемы организации рабочих мест, число необходимых работников определенной квалификации, нормы времени и расценки на выполнение работ.

3.2 Проверка фундаментов под монтаж

Электрические машины и электроприводы малой мощности обычно устанавливаются на металлических рамах или на технологическом оборудовании (станках, конвейерах и др.), а средней и большой мощности — на бетонных или железобетонных фундаментах. Фундамент должен быть достаточно массивным, чтобы воспринимать статические и динамические нагрузки от работающего оборудования, не допуская сдвигов и вибраций при его работе. Строители должны нанести на фундаменты их главные (продольную и поперечную) оси и отметку верхней поверхности фундамента относительно нулевого репера.

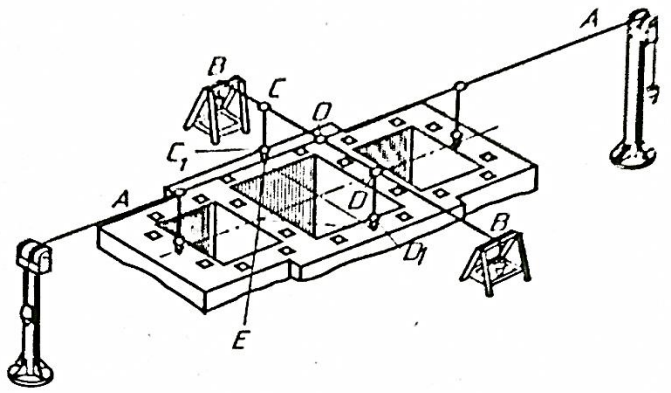
Перед монтажом следует проверить готовые фундаменты на их соответствие проектной документации: правильность положения фундамента по отношению к отдельным элементам конструкции здания и другим фундаментам, а также точность размеров фундамента по основным осям.

Затем приступают к разметке главных осей фундамента. Для этого используются оседержатели (рисунок 3.1), состоящие из стойки 1, закрепленной на ней скобы 3, в которой на оси крепится несущий ролик 5. Через ролик перебрасывается стальная струна *6* с грузом 2, по которой можно перемещать нить 7 с отвесом *8.* Схема разметки главных осей показана на рисунок 3.2. После разметки главные оси наносят на фундамент, используя для отметок нити с отвесами.



1 — стойка; *2* — груз; *3* — скоба; *4* — гайка; 5— несущий ролик; 6— струна; 7— нитка; 8— отвес; 9— осевая плашка.

Рисунок 3.1 – Оседержатель



А—А — главная продольная ось; *В—В*— главная поперечная ось.
Рисунок 3.2 - Схема разметки главных осей фундамента

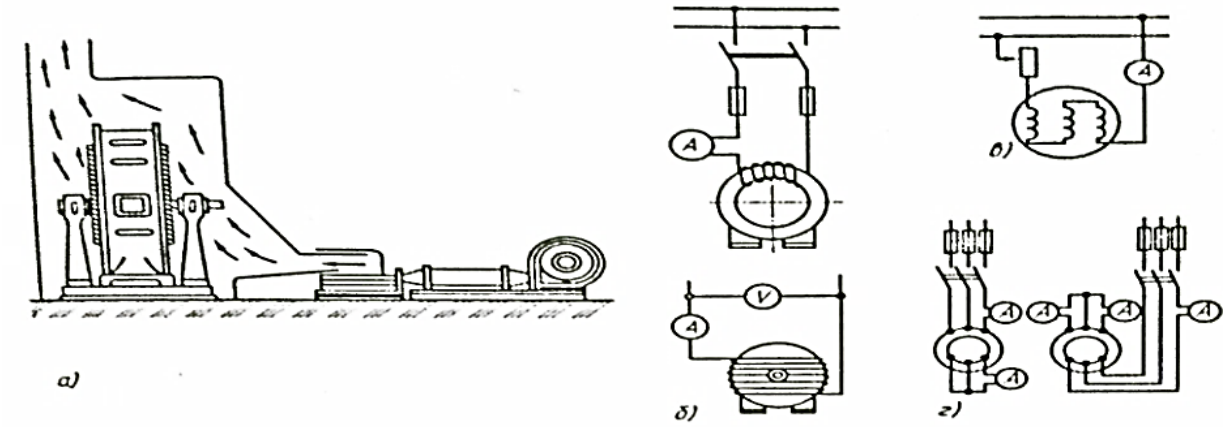
3.3 Сушка обмоток электрических машин и трансформаторов

Для сушки обмоток применяются следующие методы: индукционный, токовый и внешнего нагрева. В процессе сушки не должна резко изменяться температура изоляции и обмотки, иначе в изоляции могут возникнуть большие термомеханические напряжения, приводящие к ее повреждению. Поэтому режим нагрева выбирают таким образом, чтобы скорость нарастания температуры обмоток не превышала 5...7°С в час.

При использовании индукционного метода сушки вокруг сердечника статора при вынутом роторе или вокруг сердечника вынутого ротора, или вокруг корпуса машины наматывается кольцевая намагничивающая обмотка, подключаемая к источнику переменного тока (рисунки 3.8, 3.9, б). Создаваемое с помощью этой обмотки переменное магнитное поле вызывает нагрев сердечника статора, или ротора, или корпуса и соответственно нагрев обмоток, за счет чего и происходит их сушка.

При использовании метода токовой сушки по обмоткам пропускается постоянный или переменный ток от постороннего источника. В связи с резким ухудшением охлаждения электрической машины ограничивается сила тока – не более 40 — 60% от ее номинального значения. К разновидностям токовой сушки относится нагрев обмоток токами короткого замыкания, как показано на рис. 3.3, *г*. В последнем случае ротор машины вращают с номинальной скоростью от постороннего двигателя.

При использовании метода внешнего нагрева горячий сухой воздух направляется на металлические элементы конструкции (рисунок 3.3, а), а не на обмотки во избежание неравномерного нагрева последних. Для улучшения условий сушки у электрических машин защищенного исполнения снимают жалюзи.

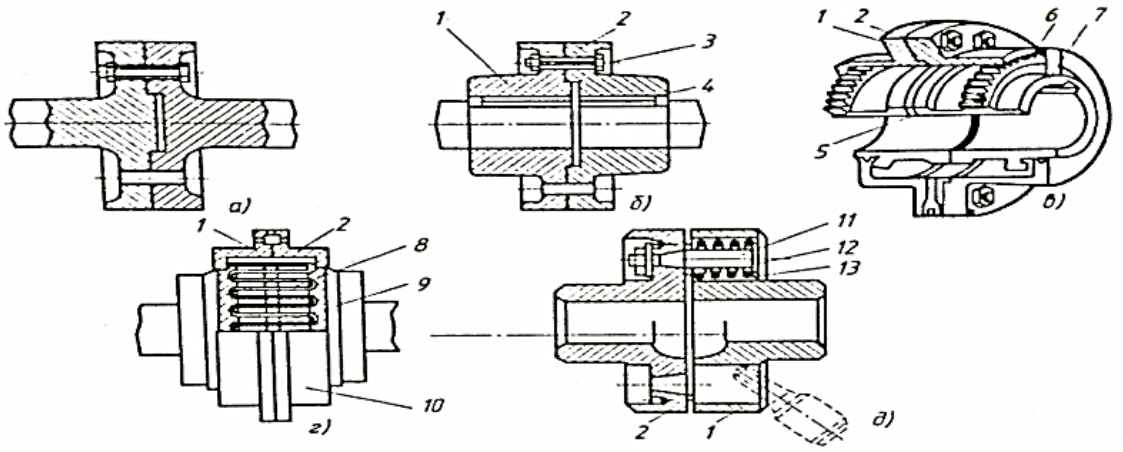


а — непосредственным нагревом теплым воздухом; б — методом индукционных потерь; *в* — методом потерь в обмотках; *г* — токами короткого замыкания.

Рисунок 3.3 - Способы сушки электрических машин

3.4 Монтаж электрических машин

Машины небольшой мощности соединяются с приводным механизмом с помощью муфт различного типа и зубчатых, ременных или фрикционных передач. На рисунке 3.4 показаны наиболее часто встречающиеся типы муфт. Особенность монтажа крупных электрических машин, поступающих в собранном состоянии, состоит в том, что он начинается с установки отдельной фундаментной плиты, на которую устанавливают машину, после чего проводят центровку валов. Ряд машин имеет на конце вала фланец, через который она соединяется с механизмом. Кроме того, при большой длине L ротора под действием его веса P происходит прогиб вала в вертикальной плоскости (рисунок 3.5). Поэтому при горизонтальном положении соединяемых машин плоскости полумуфт (или фланцев) оказываются расположены под углом друг к другу, как показано на рисунке. 3.6, *а.*



1, *2* — полумуфты; *3* — точеный болт; *4* — шпонка; *5, 7* — ступицы; *6* — зубчатый ненец; *8* — ленточная пружина; *9* — зубья; *10* — кожух; *11* — палец-болт; *12* — кожаная шайба; *13* — разрезное кольцо.

Рисунок 3.4 - Соединение валов *(а)* и муфт *(б* — жесткой поперечно-свертной; *в* — зубчатой; г — полужесткой зубчато-пружинной; *д* — упругой втулочно-пальцевой)

Центровка валов в этом случае заключается в такой установке соединяемых валов, при которой их общая линия представляет в вертикальной плоскости плавную кривую (рисунок. 3.6, б), а в горизонтальной – прямую линию. При центровке торцы сопрягаемых полумуфт (или фланцев) устанавливаются параллельно, а осевые линии валов должны быть продолжением одна другой и совпадать у сопрягаемых полумуфт (фланцев). Для этого путем установки прокладок под лапы корпуса добиваются равенства углов наклона шеек вала к горизонтальной линии. Угол наклона проверяется по уровню, установленному горизонтально на выходном конце вала.

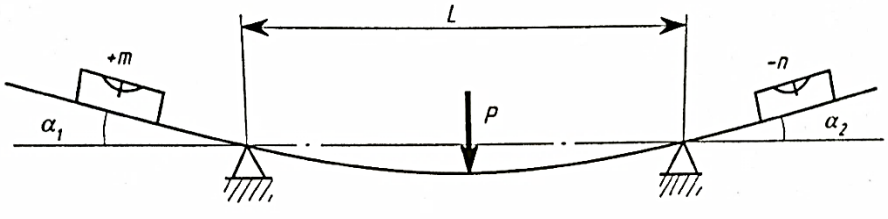
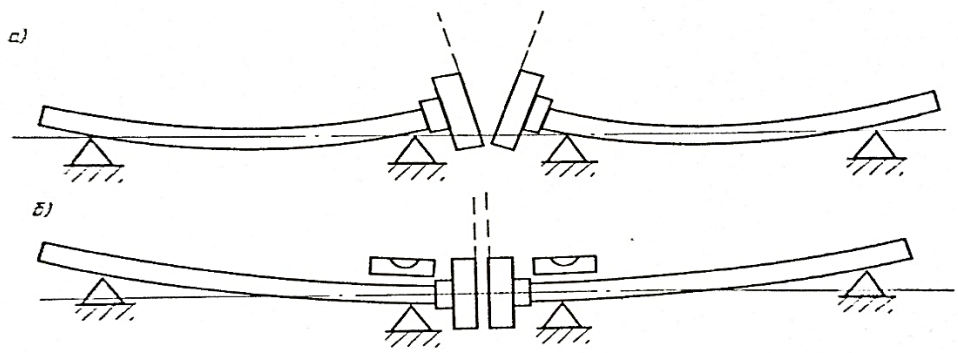


Рисунок 3.5 - Схема измерения уклонов шеек вала



а – до выверки; б – после выверки линии вала.

Рисунок 3.6 – Положение валов, соединяемых с помощью полумуфт

3.5 Монтаж трансформаторов

Монтаж трансформаторов, особенно мощных силовых и специального назначения, является сложной трудоемкой работой, которая требует предварительной подготовки и организации работ. Трансформаторы мощностью до 1600 кВА отправляются с заводов изготовителей полностью собранными и залитыми маслом; при мощности 2500 кВА и выше в зависимости от габаритных размеров и массы трансформаторы транспортируются с демонтированными узлами и деталями, а наиболее мощные — без масла.

До начала работ по монтажу необходимо подготовить фундамент под трансформатор, помещение трансформаторно-масляного хозяйства, баки для хранения масла со всеми коммуникациями маслопроводов, монтажные механизмы, аппараты, приспособления и инвентарь; трансформаторное масло в количестве, необходимом для заливки и доливки трансформатора и для технологических нужд в процессе монтажа (масло должно быть вы сушено и залито в баки, оборудованные масломерным устройством и системой «дыхания»); средства пожаротушения и противопожарный пост на время прогрева и сушки трансформатора.

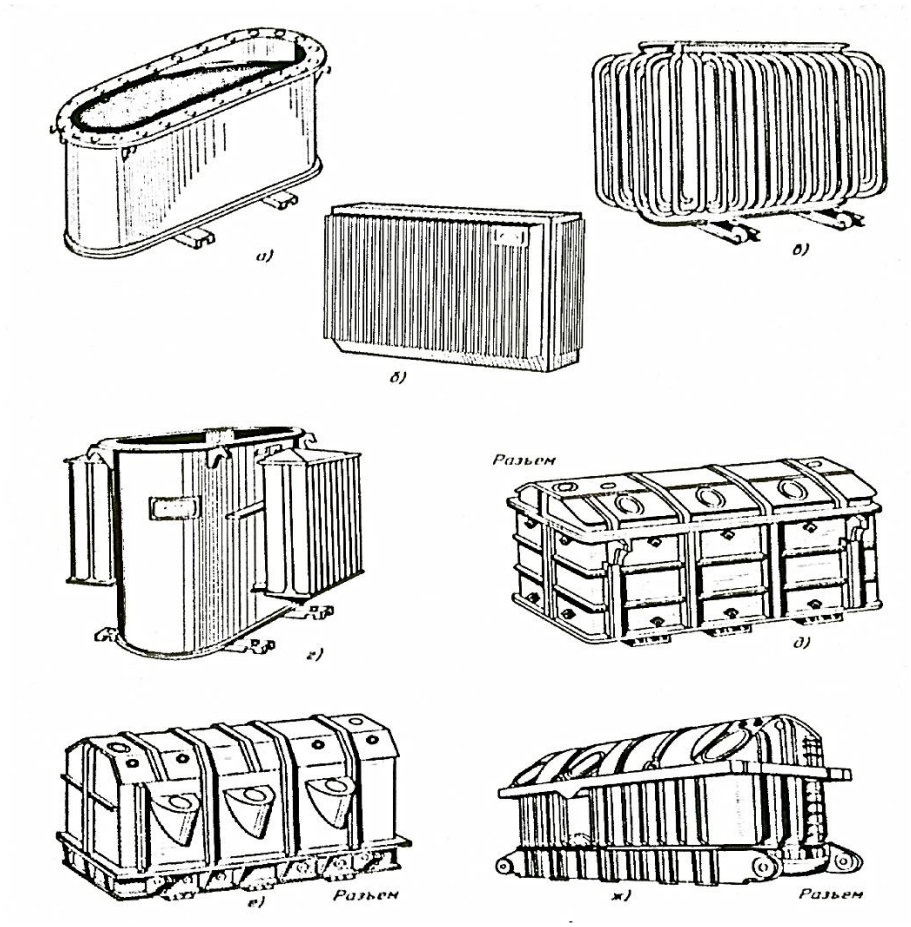
Трансформаторы массой до 2 т могут устанавливаться непосредственно на фундамент, в остальных случаях фундамент оснащается направляющими для катков трансформатора с упорами, устанавливаемыми по обе стороны трансформатора после его закатывания на фундамент.

Трансформатор устанавливается на фундамент таким образом, чтобы его крышка имела уклон I... 1,5%, обеспечивающий беспрепятственное поступление газа из трансформатора в маслопровод, идущий к газовому реле. Уклон создается обычно установкой подкладок под катки или непосредственно под дно бака (при отсутствии катков).

Для закрытой установки трансформаторов используется либо отдельное здание, предназначенное для размещения только трансформаторов и их

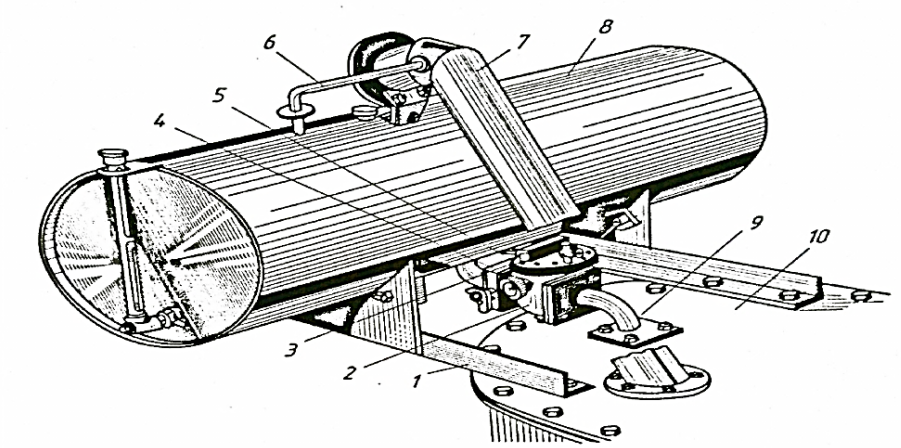
вспомогательного оборудования (систем охлаждения, вентиляции, пожаротушения), либо трансформаторные камеры — помещения в общем здании энергетического объекта. Каждая трансформаторная камера снабжается индивидуальной вентиляционной системой, не связанной с другими вентиляционными системами здания. Система рассчитывается на отвод тепла, выделяемого при работе трансформатора с номинальной нагрузкой, и проектируется таким образом, чтобы разность температур на входе и выходе из помещения не превышала 15 °С. Конструкция вентиляционных шахт должна предотвращать попадание через них влаги на трансформатор.

Монтаж составных частей трансформатора производится без ревизии активной части и без подъема съемной части («колокола»), если не нарушались условия выгрузки, транспортировки и хранения или другие, которые могли бы привести к повреждениям внутри бака трансформатора. При наличии таких повреждений перед установкой комплектующих изделий необходимо произвести ревизию трансформатора.



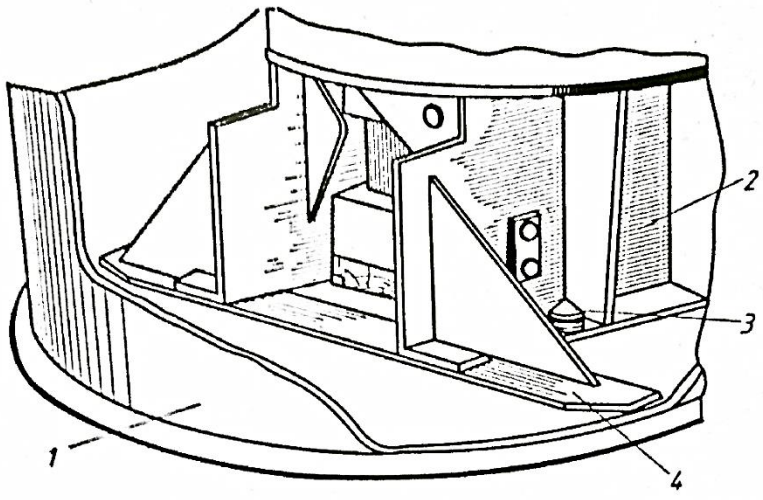
гладкий; *б* — гофрированный; *в* — трубчатый; *г* — с радиаторами; *д* — с верхним разъемом; *е* — колокольного типа (с нижним разъемом); *ж* — усиленный с несущей балкой.

Рисунок 3.7 - Баки силовых трансформаторов



1 - кронштейн; *2* — газовое реле; *3,9* — патрубки; *4* — кран; 5 — фланец газового реле; *6*— трубка; 7— предохранительная труба; *8* — расширитель; *10* — крышка бака.

Рисунок 3.8 - Установка на трансформаторе расширителя, газового реле и предохранительной трубы



1 – бак; *2* – активная часть; 3 – конусный шип; *4* – нижний раскос.

Рисунок 3.9 – Установка активной части на конусные шипы

Вскрытие трансформатора для установки составных частей (вводов, встроенных трансформаторов тока и т.д.) следует производить в ясную сухую погоду. После вскрытия трансформатора изоляция обмоток предохраняется от увлажнения за счет продувки бака в течение всего времени разгерметизации сухим воздухом.

3.6 Содержание электромонтажных и пусконаладочных работ

Для ускорения ввода объектов в эксплуатацию электромонтажные работы выполняются в два этапа. На первом решаются вопросы, связанные с организацией труда, и осуществляется инженерная подготовка монтажа. На строительной площадке проверяют проходы и технологические каналы, необходимые для установки оборудования, и установку закладных деталей. Второй этап начинается после полного окончания строительных, отделочных и специальных работ в электромашинных помещениях, в том числе после завершения монтажа внутренних электрических сетей и коммутационной аппаратуры. Заканчивается второй этап пусконаладочными работами, которые осуществляются либо самими электромонтажниками (в случае простых объектов), либо специализированными организациями (наладка сложного оборудования).

Наладочные работы выполняются в такой последовательности:

– работы без подачи напряжения, в процессе которых производится осмотр оборудования, выявляются и устраняются недоделки, измеряется сопротивление изоляции, осуществляются проверка пускорегулирующей аппаратуры и фазировка линий;

– работы с подачей напряжения в оперативные цепи управления для проверки действия всех элементов схемы при нормированных отклонениях напряжения с регистрацией выявленных неисправностей;

– работы по проверке силовых цепей с подачей напряжения как **в** оперативные, так и в силовые цепи с ручным управлением электроприводами для проверки их работы в различных режимах. На этом этапе оборудование передается обслуживающему персоналу;

– комплексные испытания и режимная наладка, осуществляемые эксплуатационным персоналом под наблюдением наладчиков, которые участвуют также в настройке оборудования на заданные режимы работы.

4 Лекция №4. Эксплуатация электрических сетей, пускорегулирующей аппаратуры, аппаратуры защиты, управления и контроля

Используемая в сетях и на предприятиях электрическая аппаратура отличается большим многообразием. К ней можно отнести нее виды выключателей, рубильников, контакторов, реле, магнитных пускателей, контроллеров, командоаппаратов, реостатов, предохранителей, а также комплектные устройства из аппаратов, измерительных приборов и др.

4.1 Техническое обслуживание и ремонт кабельных ЛЭП

В техническое обслуживание кабельных линий (КЛ) входят ревизии, осмотры и ремонты оборудования, а также осмотры вспомогательных сооружений. Осмотры (обходы) бывают *плановыми* и *внеочередными* (или

специальными). Внеочередные осмотры производятся при появлении условий, которые могут вызвать повреждения линий, а также после их автоматических отключений, даже если их работа не нарушена. Техническое обслуживание и ремонт осуществляются на основе перспективных, годовых и месячных планов работ. Во время ревизий и осмотров проводят профилактические измерения и устраняют мелкие повреждения и неисправности.

Для определения места повреждения кабельной линии сначала весьма приблизительно выделяется зона повреждения, а затем в ней уточняется место для вскрытия линии. Для обнаружения зоны повреждения используют относительные методы, а точное место повреждения определяют абсолютными методами. К относительным методам относятся методы: импульсный, колебательного разряда, петли и емкостной. К абсолютным — индукционный и акустический.

Импульсный метод основан на посылке в поврежденную линию зондирующего электрического сигнала и измерении интервала времени между моментами его подачи в линию и возвратом отраженного импульса. Импульс отражается от места обрыва линии и по времени возврата импульса можно судить об удаленности места аварии от места приложения сигнала.

Метод колебательного разряда основан на измерении периода (или полупериода) собственных электрических колебаний в кабеле, возникающих в момент пробоя поврежденного кабеля при приложении к нему испытательного напряжения. Период колебаний пропорционален расстоянию до места повреждения.

Метод петли основан на измерениях сопротивлений жил кабеля с двух сторон с помощью моста постоянного тока. Разница в показаниях позволяет определить место повреждения.

Емкостной метод основан на измерении емкости частей оборванной жилы (между каждой частью жилы и оболочкой) с помощью моста переменного тока на частоте 1 кГц.

Индукционный метод основан на улавливании магнитного поля над кабелем, по которому пропускается ток звуковой частоты (800... 1000 Гц). Передвигая вдоль кабеля приемную рамку со стальным сердечником, в цепь которой через усилитель включены наушники, электромонтер находит место повреждения по максимальному уровню звукового сигнала.

Акустический метод основан на прослушивании с поверхности земли звуковых колебаний, вызываемых искровым разрядом в месте повреждения.

4.2 Анализ аварийных режимов и отказов оборудования. Выбор аппаратуры защиты

Анализ отказов и неноминальных режимов работы электрических машин позволяет выделить следующие типы аварий, часто встречающиеся на практике:

– короткое замыкание (КЗ) на зажимах машины либо в обмотке статора;

– заторможенный ротор при пуске двигателя (режим КЗ двигателя, особенно часто встречается при его прямом пуске);

– обрыв фазы обмотки статора (часто встречается при защите обмоток плавкими предохранителями);

– технологические перегрузки, возникающие при набросе нагрузки в процессе работы двигателя;

– нарушение охлаждения, вызванное неисправностью системы принудительной вентиляции двигателя;

– уменьшение сопротивления изоляции, происходящее в результате старения изоляции из-за циклических температурных перегрузок.

Аварийные режимы в цепи асинхронного двигателя могут вызвать либо кратковременное увеличение тока в 12... 17 раз по сравнению с номинальным, либо длительное протекание тока, в 5... 7 раз превышающего его номинальное значение.

Для защиты электрических цепей от режима КЗ широко применяются автоматические выключатели, токовые реле и предохранители. При перегрузке по току требуется другое защитное оборудование. Так, при обрыве одной из фаз асинхронного двигателя наиболее эффективными являются минимальная токовая и температурная защиты; менее эффективной, но работоспособной — тепловая защита (тепловые реле). При заторможенном роторе весьма эффективны максимальные токовые реле и температурная защита, менее эффективна — тепловая защита. При перегрузке лучшие результаты дает температурная защита. Эффективны также тепловые реле. При нарушении охлаждения двигателя только температурная защита может предотвратить аварию.

Уменьшение сопротивления изоляции статорной обмотки двигателя может спровоцировать как перегрузку в цепи, так и КЗ.

Защита при такой аварии осуществляется специальными устройствами контроля сопротивления изоляции обмотки двигателя.

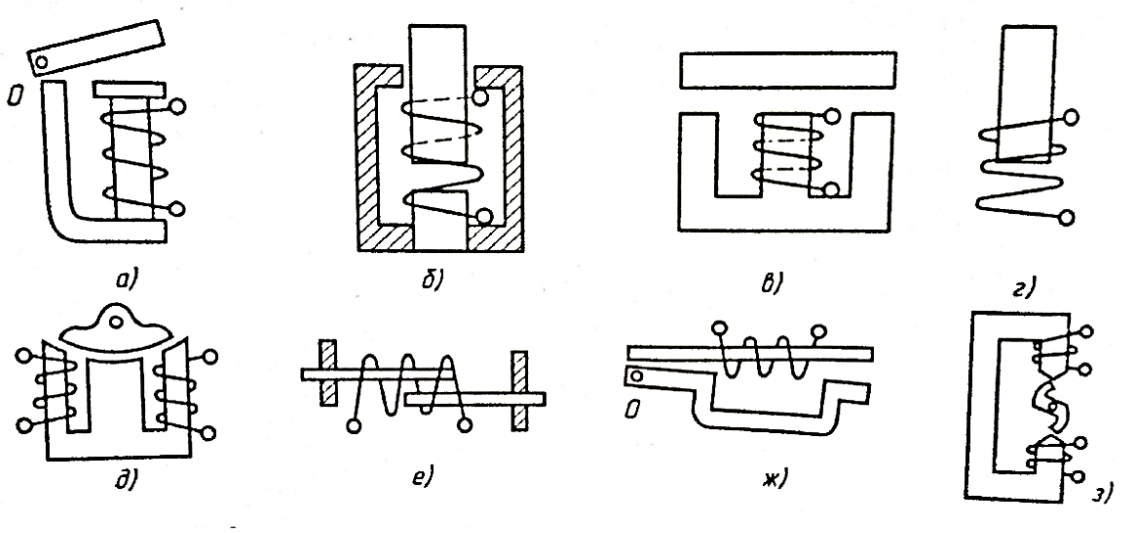
4.3 Техническое обслуживание электрических аппаратов

Основными элементами коммутационных аппаратов являются электромагнит, дугогасительное устройство и контактная система.

Электромагниты преобразуют электрическую энергию протекающего по обмотке тока сначала в магнитную энергию, создающую магнитное поле, а затем в механическую, вызывающую появление электромагнитной тяговой силы или вращающего момента. Линейные перемещения или углы поворота элементов магнитных систем электрических аппаратов обычно невелики и измеряются в сантиметрах или градусах соответственно. Электромагнитные системы, наиболее распространенные для низковольтных аппаратов, показаны на рисунке 4.1.

Для дугогасительных систем используют дугогасительные камеры (рисунок 4.2), в которых применяют следующие способы гашения дуги:

– удлинение (чем длиннее дуга, тем большее напряжение необходимо для ее поддержания);



а — клапанная; *б* — броневая; *в* — Ш-образная; *г* — открытый соленоидный электромагнит; *д* — *с* поворотным якорем; *е* — открытая с ферромагнитными токоведущими пластинами; *ж* — плоская для многоконтактных реле; *з* — с Z-образным якорем для реле защиты.

Рисунок 4.1 - Электромагнитные системы электрических аппаратов

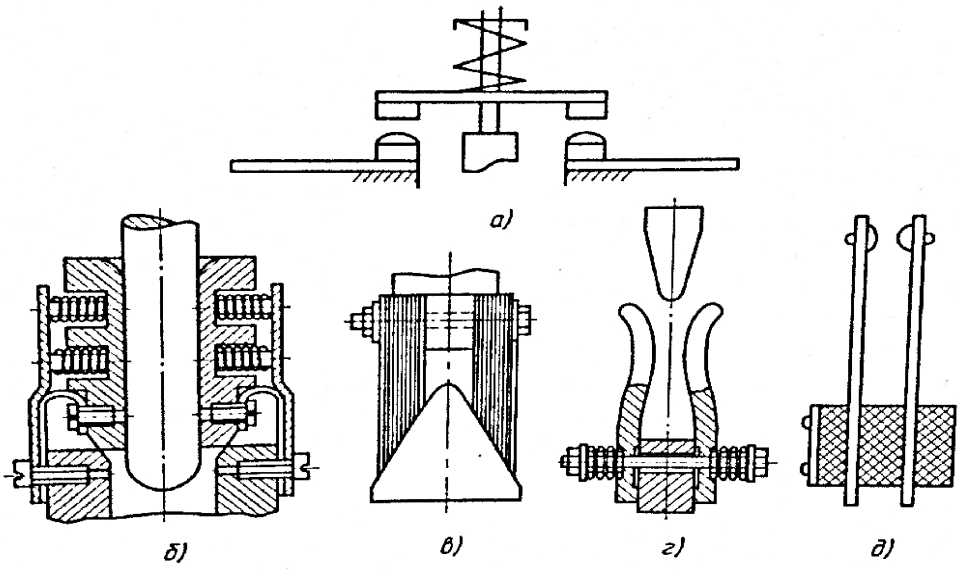
– деление на ряд коротких дуг в металлических решетках;

– гашение в узких щелях из дугостойких материалов;

– движение в магнитном поле, созданном током i, а также быстрое вращение и перемещение.

Контактные группы (рисунок 4.2) наиболее подвержены износу и поэтому требуют постоянного и регулярного технического обслуживания. При техническом обслуживании электрических аппаратов выполняются следующие виды работ:

– внешний осмотр аппаратов (наличие внешних повреждений корпуса и навесного оборудования);



а - мостиковые; *б* — розеточные; *в* — щеточные; *г* — пальцевые; *д* — с плоскими пружинами.

Рисунок 4.2 - Размыкающие контакты

– удаление пыли, грязи, масляных пятен с поверхности аппарата;

– частичная разборка отключенных аппаратов (для проверки и обслуживания внутренних механизмов, контактных групп, дуго- гасительных устройств);

– контроль состояния контактных групп (осмотр, зачистка контактов, в необходимых случаях замена или ремонт);

–контроль состояния дугогасительных устройств (очистка дуго-гасительных камер, в необходимых случаях их замена или ремонт);

– контроль работы механических частей привода подвижных элементов (очистка, смазка трущихся и подвижных частей, замена пружин в необходимых случаях);

– контроль номинальных параметров аппаратов (если возможно).

5 Лекция №5. Эксплуатация электрических машин

В процессе эксплуатации электротехническое оборудование подвержено износу, что приводит к отказам в его работе. Для их устранения периодически проводят ремонты, позволяющие поддерживать работоспособность оборудования на высоком уровне. Важную роль при эксплуатации играет правильный выбор оборудования и его защита в аварийных и неноминальных режимах работы.

5.1 Техническое обслуживание электрических машин

В процессе эксплуатации важное место занимает техническое обслуживание машин перед вводом в эксплуатацию, в процессе работы и после остановки, плановое проведение ремонтов и профилактические (межремонтные) испытания.

Профилактические испытания позволяют обнаружить неисправности, которые не всегда можно выявить во время осмотра, поскольку они не имеют внешних проявлений. При этих испытаниях проверяют сопротивление изоляции обмоток электрических машин и пускорегулирующей аппаратуры, правильность срабатывания защиты машин напряжением до 1000 В в сетях с заземленной нейтралью и устройств защитного отключения.

При проверке сопротивления изоляции электрических машин н ПУЭ установлены следующие нормы: для измерения сопротивления изоляции обмоток машин постоянного тока следует использовать мегаомметры класса напряжения 1000 В; для измерения сопротивления изоляции обмоток статора машин переменного тока напряжением до 1 кВ также следует использовать мегаомметры класса напряжения 1000 В, а для обмоток ротора — мегаомметры класса напряжения 500 В. Для измерения сопротивления изоляции обмоток машин переменного тока, имеющих напряжение свыше 1 кВ, следует использовать мегаомметры класса напряжения 2500 В.

В связи с большим разнообразием работ по техническому обслуживанию перечислим лишь типовой объем этих работ:

– ежедневный контроль за выполнением правил эксплуатации и инструкций завода-изготовителя (контроль за нагрузкой, температурой отдельных узлов электрической машины, температурой охлаждающей среды при замкнутом цикле охлаждения, за наличием и состоянием смазки в подшипниках, уровнем шумов и вибраций, степенью искрения под щетками и т.д.);

– ежедневный контроль за исправностью заземления;

– обтирка, чистка и продувка машины, выявление мелких неисправностей и их устранение, не требующее специальной остановки и проводимое во время перерывов в работе основного технологического оборудования (подтяжка контактов и креплений, замена щеток, регулирование траверс и т. п.);

– проверка состояния электрических машин с использованием средств технической диагностики, проводимая с целью выявления предельной выработки ресурса их узлов и деталей и предупреждения аварийных ситуаций;

– восстановление отключившегося (в результате срабатывания защиты) оборудования;

– приемо-сдаточные испытания после монтажа, ремонта и наладки электрических машин и систем их защиты и управления;

– плановые осмотры эксплуатируемых машин по утвержденному главным электриком (или главным энергетиком) графику с заполнением карты осмотра.

Для большинства электрических машин основным фактором, влияющим на их работоспособность, является рабочая температура отдельных частей машин (обмоток, подшипников, коллектора и контактных колец). Поэтому в процессе эксплуатации контролю за температурой уделяется особое внимание. На практике применяются два способа контроля за нагревом: непосредственный и косвенный.

При *непосредственном методе контроля* электрическая машина имеет встроенные в обмотки, подшипники, магнитопровод, датчики температуры — термометры сопротивления, терморезисторы, термопары. С помощью этих датчиков и производятся измерения температуры или превышения температуры соответствующих узлов машины над температурой окружающей среды. Измерения могут осуществляться либо дистанционно, либо непосредственно на машине при каждом ее осмотре, соответственно температура может контролироваться либо постоянно, либо периодически. Важным преимуществом непосредственного метода является возможность контроля температуры без отключения машины.

Если непосредственный метод контроля невозможен (отсутствуют встроенные датчики температуры), то применяется *косвенный метод контроля* за нагревом машины. При использовании этого метода следят не за самой температурой или ее превышением, а за нагрузкой машины и температурой охлаждающей среды. Обычно, если нагрузка не превышает номинальную, а температура охлаждающей среды не превышает допустимую, не следует опасаться недопустимых перегревов. Косвенный метод контроля широко используется при эксплуатации электрических машин малой и средней мощности, для которых, как правило, не предусмотрена установка встроенных датчиков температуры.

5.2 Неисправности электрических машин и их проявление

Рассмотрим характерные неисправности электрических машин, приводящие к отказу или выходу машины из строя, которые могут наблюдаться при проведении работ по их техническому обслуживанию.

Витковое короткое замыкание вследствие пробоя изоляции между смежными витками обмотки статора или ротора приводит к повышенному перегреву электрической машины даже при нагрузке, не превышающей номинальную. Короткое замыкание между фазами обмотки статора вследствие пробоя межфазной изоляции или пробоя изоляции двух фаз на корпус приводит к сильным вибрациям машины переменного тока, которые прекращаются при отключении машины от сети. Кроме того, наблюдается асимметрия токов в фазах и быстрый нагрев отдельных участков обмотки. При коротком замыкании обмотки фазного ротора (или при пробое изоляции между контактными кольцами и валом) асинхронный двигатель пускается в ход при разомкнутой обмотке ротора, под нагрузкой пуск двигателя происходит медленно, а ротор сильно нагревается даже при небольшой нагрузке.

Обрыв проводников обмотки статора двигателей переменного тока вызывает асимметрию токов и быстрый нагрев одной из фаз при работающей машине. При обрыве фазы (крайний случай обрыва проводников) двигатель не запускается при подаче напряжения, наблюдается сильный шум и быстрый нагрев двигателя. При обрыве фазы работающего двигателя наблюдается резкая асимметрия токов статора, сильный шум и быстрый нагрев сверх допустимых пределов. Обрыв стержня короткозамкнутой обмотки ротора асинхронного двигателя приводит к повышенным вибрациям, уменьшению частоты вращения под нагрузкой, периодическим пульсациям тока статора во всех фазах.

Недопустимое снижение сопротивления изоляции обмоток может произойти вследствие ее сильного загрязнения, увлажнения или частичного разрушения вследствие износа.

Нарушение электрических контактов, паяных или сварных соединений приводит в асинхронных двигателях к тем же эффектам, что и обрыв витков, стержней обмотки ротора или фазы обмотки в зависимости от нахождения данного электрического соединения. Нарушение контакта в цепи щеток приводит к повышенному искрению последних. Нарушение межлистовой изоляции сердечников магнитопроводов статора машин переменного тока или ротора машин постоянного тока приводит к недопустимому повышению температуры магнитопровода в целом и его отдельных участков. Это, в свою очередь приводит к повышенному нагреву обмоток и может вызвать выгорание части магнитопровода.

Ослабление прессовки листов магнитопровода вызывает шум и повышенные вибрации электрических машин, исчезающие после отключения машины от сети. Ослабление крепления полюсов и сердечников статоров приводит к повышенным вибрациям, исчезающим после отключения машины от сети.

Выработка коллектора и контактных колец и ослабление нажатия щеток приводят к повышенным искрению и нагреву контактных колец и коллектора. Износ щеток ускоряется.

Деформация вала приводит к появлению эксцентриситета ротора, больших сил одностороннего тяжения, в результате чего асинхронный двигатель не развивает номинальной скорости, а его работа сопровождается низкочастотным шумом (на оборотной частоте).

Засорение охлаждающих (вентиляционных) каналов и загрязнение корпуса приводят к повышенному нагреву машины или ее отдельных частей при нагрузках, не превышающих расчетных значений.

Выплавка баббита в подшипниках скольжения или чрезмерный износ подшипников качения приводят к нарушению соосности электрической машины и приводного механизма, к появлению эксцентриситета ротора. Первая из этих причин вызывает повышение вибраций, которые не исчезают после отключения машины от сети, проявления второй причины такие же, как и при деформации вала.

Нарушение уравновешенности (балансировки) таких вращающихся частей, как муфты, шкивы и роторы, приводит к появлению повышенных вибраций.

Как видно из анализа проявлений возможных неисправностей и их влияния на рабочие свойства электрических машин, одни и те же физические эффекты могут быть вызваны различными причинами. Это часто не позволяет однозначно определить неисправность машины, можно ограничиться лишь их возможным перечнем. Истинная причина может быть определена в процессе дефектации с целью ее устранения. Если говорить о неисправностях конкретных видов электрических машин, то, как правило, эксплуатационный персонал при работе ориентируется на перечень типовых неисправностей и способов их устранения, который содержится в паспорте каждой электрической машины (или группы однотипных машин).

5.3 Планирование ремонтов электрических машин

При планировании структуры ремонтного цикла, под которой понимаются виды и последовательность чередования плановых ремонтов, исходят из длительности ремонтного цикла в соответствии с кривой жизни технического изделия. Период времени между двумя плановыми капитальными ремонтами $T_{табл}$ определяется продолжительностью ремонтного цикла $T_{табл}$. В свою очередь $T_{табл}$ определяется при нормальных условиях эксплуатации при двухсменной работе электрических машин.

В промежутке времени между двумя капитальными ремонтами проводят несколько текущих. Период времени между двумя плановыми текущими ремонтами $t_{пл}$ определяется продолжительностью межремонтного периода $t_{табл}$.

Плановая продолжительность работы между двумя капитальными и текущими ремонтами определяется по следующим формулам:

$$T_{пл} = T_{табл}\, \beta_к\, \beta_р\, \beta_и\, \beta_0\, \beta_с; \qquad (5.1)$$

$$t_{пл} = U, \beta_к\, \beta_р\, \beta_и\, \beta_0'\, \beta_с, \qquad (5.2)$$

где β_i — коэффициенты, косвенно учитывающие реальный характер нагрузки электрической машины;

$\beta_к = 0{,}75$ для коллекторных машин и 1,0 для остальных машин;

$\beta_р$ — коэффициент, учитывающий сменность работы машины, он определяется числом смен $К_{см}$;

$\beta_0 = \beta_0' = 1{,}0$ для электрических машин, отнесенных к вспомогательному оборудованию, для машин основного оборудования $\beta_0 = 0{,}85$;

$\beta_0' = 0{,}7$;

$\beta_и$ — коэффициент использования, определяемый в зависимости от отношения коэффициента $Кф._с$ фактического спроса к нормируемому $К_с$;

$\beta_с = 1{,}0$ для электрических машин, установленных на стационарных установках, а для машин передвижных электрических установок $\beta_с = 0{,}6$.

Ниже приведены значения коэффициентов $\beta_и$ и $\beta_р$:

$К_{фс}/К_с$	0,5	0,75	1,0	1,1	1,2	1,3
$\beta_и$	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
$К_{см}$	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3
$\beta_р$	2	1,6	1,35	1,13	1	0,8	0,67

Под коэффициентом спроса K_c понимается отношение максимальной нагрузки предприятия (цеха, отдельного производства) $Р_{max}$ к суммарной установленной на нем мощности электроприемников P_y (электродвигатели, электротехнологические процессы, освещение и др.). Под $Р_{max}$ понимается получасовой максимум нагрузки предприятия, заложенный в его технический проект и заявляемый предприятием при составлении договора с энергоснабжающей организацией. По значению P_{max} определяется, в частности, необходимая суммарная мощность связывающих его с электрической системой трансформаторов. Таким образом,

$$K_c = P_{max}/P_y. \qquad (5.3)$$

Реальная нагрузка предприятия может отличаться от расчетной так же, как и суммарная мощность установленных на нем приемников электрической энергии. Поэтому наряду с коэффициентом $К_с$ (его значения приведены в Приложении 7) вводится коэффициент фактического спроса $К_{ф.с}$, который определяется опытным путем по фактическому среднечасовому максимуму нагрузки $Р_{фmax}$ и фактической установленной мощности электроприемников $Р_{ф.у}$:

$$К_{ф.с} = P_{ф.max}/P_{ф.y}. \qquad (5.4)$$

Коэффициент фактического спроса может существенно отличаться от первоначально принятого. Чем больше $К_{ф.с}$, тем больше средняя нагрузка электрических машин, установленных на предприятии.

По указанной методике для каждой электрической машины, установленной на предприятии, можно рассчитать промежуток времени между капитальными и текущими ремонтами и составить календарный график проведения этих ремонтов, согласовав его с графиком ремонтов основного технологического оборудования. На базе графиков ремонта по отдельным участкам и цехам составляется сводный график ремонта электрических машин по предприятию в целом.

Пример расчета. *Определить продолжительность ремонтного цикла и межремонтного периода для асинхронного рольгангового двигателя с короткозамкнутым ротором типа АР, который установлен на прокатном стане металлургического завода, имеет трехсменный график работы (непрерывное производство) и коэффициент фактического спроса, равный 0,6.*

Из приложения 7 находим, что для горячих цехов $Т_{табл} = 4$ *года,* $t_{табл} = 6$ *месяцев при* $K_c = 0,45$. *Далее определяем значение соответствующих коэффициентов:* $\beta_к = 1$ *(у двигателя отсутствует коллектор);* $\beta_р = 0,67$ *при*

$K_{см}$ = 3; $\beta_и$ = 0,7 (для $K_{фс}/K_с$ = 0,6/0,45 =1,33); $\beta_о$ = 0,85; $\beta_о'$ = 0,7 (двигатель относится к основному оборудованию); $\beta_с$ = 1 (установка стационарная). Тогда в соответствии с формулами (5.1), (5.2) рассчитываем время между двумя капитальными $T_{пл}$ и текущими $t_{пл}$ ремонтами:

$T_{пл}$ = 4,0·1,0·0,67·0,7·0,85·1,0 = 1,6 (года);

$t_{пл}$ = 6,0·1,0·0,67·0,7·0,7·1,0 = 2 (месяца).

Срок 2 месяца соответствует 0,167года, поэтому между двумя капитальными ремонтами двигатель должен пройти 8 текущих ($T_{пл}/t_{пл}$ = =1,6/0,167=9, но поскольку очередной капитальный ремонт совпадает с текущим, то последний текущий ремонт заменяется на очередной капитальный).

6 Лекция №6. Эксплуатация трансформаторов

В процессе эксплуатации трансформаторов осуществляют их оперативное и техническое обслуживание, а также планово-предупредительные ремонты. Координацию действий всех категорий эксплуатационного персонала по обслуживанию трансформаторов осуществляет руководство электроцеха или соответствующих служб, а на электросетевых предприятиях — руководство электросети или производственных служб предприятия электросети.

6.1 Организация обслуживания трансформаторов

Техническое обслуживание трансформаторов включает: профилактический контроль состояния изоляции и контактной системы, а также устройств охлаждения, регулирования и пожаротушения, выполняемый вне комплекса планово-предупредительного ремонта; работы по поддержанию надлежащего состояния изоляционного масла в трансформаторе, в баке устройства переключения под нагрузкой и во вводах, в том числе работы по восстановлению качества масла (сушка, регенерация) и его доливке; смазка и уход за доступными вращающимися и трущимися узлами, подшипниками устройств регулирования напряжения и охлаждения; периодическое опробование резервного вспомогательного оборудования, настройка, проверки и ремонты вторичных цепей и устройств защиты, автоматики, сигнализации и управления.

Планово-предупредительные ремонты трансформаторов включают текущий и капитальный ремонты, а также связанные с ними испытания и измерения. Периодичность (в годах) основных работ по этому виду обслуживания приведена в Приложении 8.

Работы по обслуживанию трансформаторов могут быть как плановыми, так и внеочередными. Плановые работы выполняются в соответствии с заранее определенными объемом и сроками проведения; внеплановые — вследствие отказов трансформатора или его элементов, в связи с выявлением дефекта и т.д. Обслуживание силовых трансформаторов в энергосистемах проводится предприятиями электрических станций или электрических сетей.

Все повышающие и часть понижающих подстанций эксплуатируются с постоянным дежурным персоналом. Трансформаторные пункты в городских сетях и понизительные подстанции 110 кВ, а также распределительные подстанции 20... 35 кВ эксплуатируются без постоянного персонала и обслуживаются разъездными бригадами. Функции по обслуживанию силовых трансформаторов распределяются между ремонтным и оперативным персоналом, персоналом, обслуживающим системы релейной защиты, и испытателями.

Ремонтный персонал (в основном электрослесари по ремонту оборудования) под руководством инженерно-технических работников (мастеров, начальников групп подстанций, инженеров служб) проводит капитальные и текущие ремонты трансформаторов, а также ряд эксплуатационных работ (отбор пробы масла, обтирку изоляции, техническое обслуживание устройств охлаждения и др.) и некоторые виды испытаний (проверку изоляции обмоток трансформатора, цепей питания электродвигателей систем охлаждения и пожаротушения, измерение сопротивлений контактной системы и ряд других).

6.2 Текущий ремонт трансформаторов

Текущие ремонты предназначены для проверки состояния ограниченного числа быстроизнашивающихся и относительно несложных в ремонте узлов и деталей с устранением обнаруженных дефекта, чтобы обеспечить безотказную работу трансформатора до следующего планового (текущего или капитального) ремонта. При текущем ремонте производятся осмотр и чистка узлов и деталей (как правило, относительно легкодоступных), в том числе загрязненной внешней изоляции, ликвидация небольших дефектов, замена неосновных узлов и деталей, а также измерения, испытания и осмотры с целью выявления и уточнения работ, подлежащих выполнению в ходе капитального ремонта.

Проводится комплекс работ по уходу за трансформаторным маслом, в который входит: спуск грязи и конденсата из расширителя; проверка маслоуказателя и доливка при необходимости масла в расширитель; проверка и смена сорбента в термосифонном (адсорбционном) фильтре и воздухоосушителях. Аналогичные работы выполняются на маслонаполненных вводах.

Производят очистку наружных поверхностей бака и крышки, проверку спускных кранов и уплотнений, целостность мембраны выхлопной трубы, предохранительного клапана. Осматриваются охлаждающие устройства, выполняется очистка их наружных поверхностей. Проверяют и смазывают подшипники вентиляторов, электродвигателей, насосов. Осматривают и проверяют устройства регулирования под нагрузкой (привод, контактор), а также переключатель регулирования без возбуждения. Проверяют устройства релейной защиты, приборы контроля температуры и давления масла, систему азотной защиты, соответствующие вторичные цепи.

Одновременно с текущим ремонтом трансформатора проводят проверки и опробование устройств его защиты и автоматики, в том числе автоматики и сигнализации систем охлаждения и пожаротушения. В ходе текущего ремонта выполняются испытания изоляции и контактных соединений, в том числе сопротивления контактов переключателей ответвлений (на всех положениях).

Оценка состояния изоляции при текущем ремонте трансформатора производится в таком же объеме, как при вводе его в эксплуатацию. Обычно совмещают измерение характеристик изоляции трансформатора и его вводов.

7 Лекция №7. Организация и структура электроремонтного производства

При организации электроремонтного производства следует учитывать размеры обслуживаемого района, расположение обслуживаемых объектов и масштабы их ремонтного фонда, а также возможность обеспечения электроремонтного предприятия электрической и тепловой энергией, водой, транспортом, квалифицированной ранимей силой и т.д. Помещения электроремонтных предприятий должны быть защищены от осадков и проникновения пыли.

7.1 Определение трудоемкости ремонта и численности ремонтного персонала

Для планирования производства и определения годовой программы ремонтного предприятия необходимо иметь сведения о количестве, мощности, режимах и условиях работы электрического и электромеханического оборудования, которое установлено на обслуживаемых этим предприятием производствах. Следует учитывать также возможное развитие (расширение) обслуживаваемых производств на срок 5...7 лет.

Все электрические машины, находящиеся в эксплуатации, разделяются на группы в зависимости от типа (асинхронные, синхронные, постоянного тока), мощности (малой — до 1,1 кВт, средней — до 100...400 кВт, большой — свыше 400 кВт), уровня напряжения (низковольтные — до 1 кВ, высоковольтные — свыше 1 кВ), конструктивного исполнения и длительности межремонтного периода. При наличии указанных сведений по номенклатуре электрических машин, подлежащих ремонту, годовая производительность электроремонтного предприятия в единицах продукции определяется по формуле:

$$P_t = K_p\,[(A_1/T_1 + A_2/T_2 + \ldots + A_n/T_n) + (A_1/t_1 + A_2/t_2 + \ldots + A_n/t_n)], \qquad (7.1)$$

где A_1, A_2, A_n — количество электрических машин в каждой группе;

T_1, T_2, T_n — средняя длительность ремонтного цикла для каждой группы машин, лет t_1, t_2, ..., t_n — средняя длительность межремонтного периода для этих групп, лет;

K_p = 1,3... 1,6 — коэффициент, учитывающий развитие обслуживаемых производств и возможные случайные отказы.

Если текущие ремонты проводятся силами предприятия и в котором эксплуатируются электрические машины, то из формулы (7.1) следует исключить вторую составляющую в круглых скобках, определяя годовую производительность только по капитальным ремонтам.

Таким образом, число проходящих ежегодно ремонт в каждой группе электрических машин можно найти соответственно по формулам:

$$a_1 = A_1/T_1 + A_1/t_1 \; ; \; a_2 = A_2/T_2 + A_2/t_2 \; ; \; ...; \; a_n = A_n/T_n + A_n/t_n. \qquad (7.2)$$

Нормативное время ремонта зависит от типа электрической машины, частоты вращения, напряжения и вида ремонта.

Пример. *Определить трудоемкость капитального и текущего ремонтов синхронного двигателя мощностью 500 кВт, напряжением 3,3 кВ, имеющего номинальную скорость 600 об/мин.*

$$M_{300} = M_{jбаз} K_n K, K_u = 225\ 1{,}4\ 1{,}2\ 1{,}7 = 643 \text{ чел.ч},$$

$$T_{300} = m_{jбаз} K_n K_i K_u = 44\ 1{,}4\ 1{,}2\ 1{,}7 = 126 \text{ чел.ч}.$$

Поскольку время ремонта зависит от других факторов нежели длительность ремонтного цикла, то каждую группу A_i, необходимо предварительно разбить на подгруппы B_{ij} в соответствии с их типом, напряжением и частотой вращения. Тогда годовую трудоемкость работ по ремонту обслуживаемого парка электрических машин, чел. час, можно определить по формуле:

$$T_p = (\sum B_{1j}M_{1j}/T_1 + (\sum B_{1j}m_{1j}/t_1 + (\sum B_{2j}M_{2j}/T_2 + (\sum B_{2j}m_{2j}/t_2 + ... + (\sum B_{nj}M_{nj}/T_n + (\sum B_{nj}m_{nj}/t_n \ , \qquad (7.3)$$

где M_i ,mi — среднее нормативное время капитального и текущего ремонтов для каждой группы A_i электрических машин.

Рассчитав по формулам (7.3) трудоемкость ремонта всего парка обслуживаемых двигателей, определяют число производственных рабочих N, необходимых для выполнения годовой программы T_p:

$$N = T_P/Ф, \qquad (7.4)$$

где Ф — годовой фонд времени одного рабочего, равный при 41-часовой рабочей неделе 1860 ч (отпуск 15 дней), 1840 ч (отпуск 18 дней), 1820 ч (отпуск 24 дня).

Рассмотренная методика легко формализуется и при использовании вычислительной техники и налаженном учете оборудования дает хорошие

результаты. На практике нашла применение и укрупненная методика расчета, суть которой состоит в следующем.

Вводится понятие условной единицы ремонта, за которую принимают трудоемкость ремонта одного асинхронного двигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора мощностью 5 кВт, напряжением 220/380 В, со скоростью 1500 об/мин, имеющем степей защиты IP23. При отсутствии точных данных по структуре электродвигателей их количество определяется по числу установленных на предприятии станков. Для перехода к условным ремонтным единицам R (к условным двигателям мощностью 5 кВт) количество станков n умножают на коэффициент $K_{тип}$:

$$R = n\,K_{тип}, \qquad (7.5)$$

где $K_{тип}$ = 2,8... 3,2 (для автомобильных заводов);

3,5...4,5 (для заводов тяжелого машиностроения);

3,0... 3,2 (для подшипниковых заводов и заводов электротехнической промышленности);

3,0... 3,5 (для станкоинструментальных заводов);

3,3...4,3 (для заводов строительного, дорожного и коммунального машиностроения).

Суммируя число условных ремонтных единиц на обслуживаемых предприятиях, получают ∑R. Далее по методике, изложенной в 5.3, определяют продолжительность ремонтного цикла и межремонтного периода в зависимости от характера производства и по формулам (7.4)— годовую трудоемкость и число производственных рабочих ремонтного предприятия.

Если известна средняя мощность установленных двигателей и она отличается от 5 кВт, то приведение к условным ремонтным единицам осуществляют с помощью коэффициентов приведения:

Средняя мощность, кВт...	1	3	5	7	10	15	20	30	40	55	75	100
Коэффициент приведения ...	0,69	0,78	1	1,19	1,25	1,5	1,8	2,1	2,2	2,3	3,7	4,6

Рассчитанную по такой укрупненной методике трудоемкость ремонта обычно увеличивают на 30% для учета имеющихся на предприятии электрических двигателей, установленных на вспомогательном оборудовании.

По известному количеству основных рабочих N определяют число вспомогательных рабочих $N_{всп}$, инженерно-технических работников $N_{итр}$, служащих и младшего обслуживающего персонала $N_{сл}$:

$$N_{всп} = aN;$$

$$N_{итр} = b(N + N_{всп});$$

$$N_{сл} = c(N + N_{всп}), \qquad (7.6)$$

где a = 0,15...0,18; b = 0,08...0,12; c = 0,025...0,04.

7.2 Структура цеха по ремонту электрических машин и пускорегулирующей аппаратуры

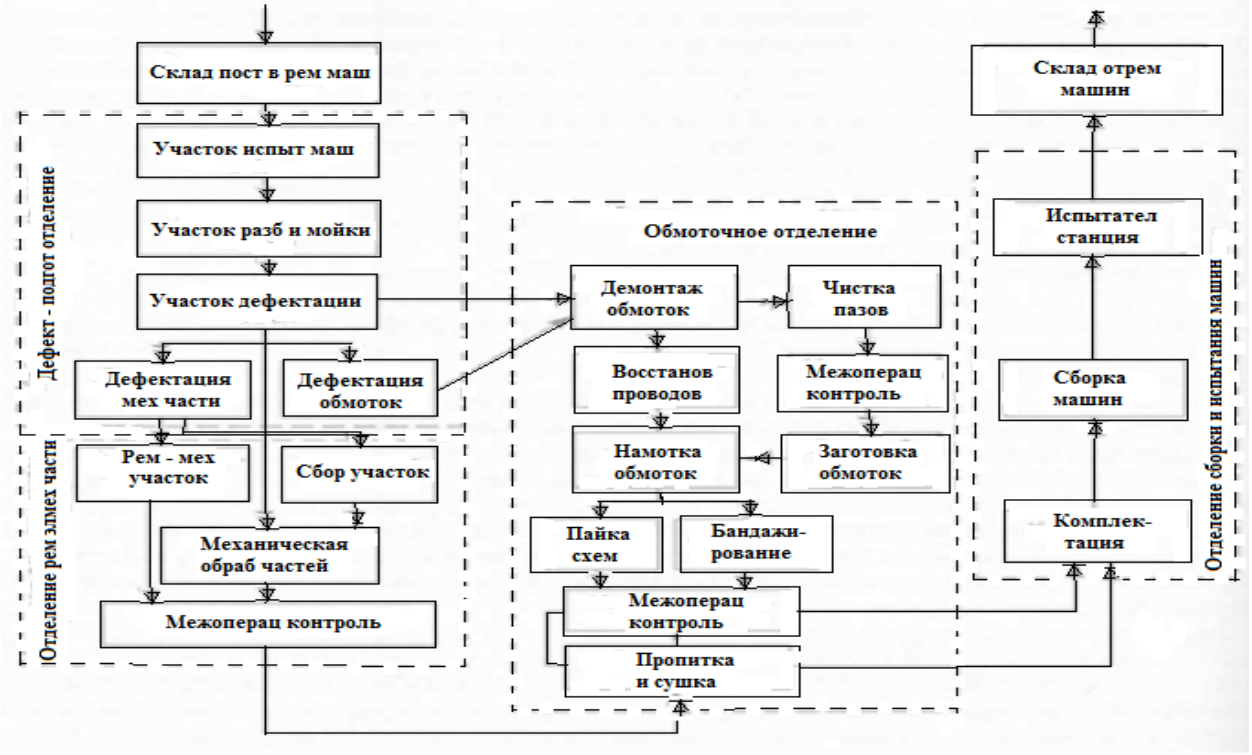


Рисунок 7.1 - Типовая структурно-технологическая схема ремонта электрических машин

7.3 Структура цеха по ремонту трансформаторов

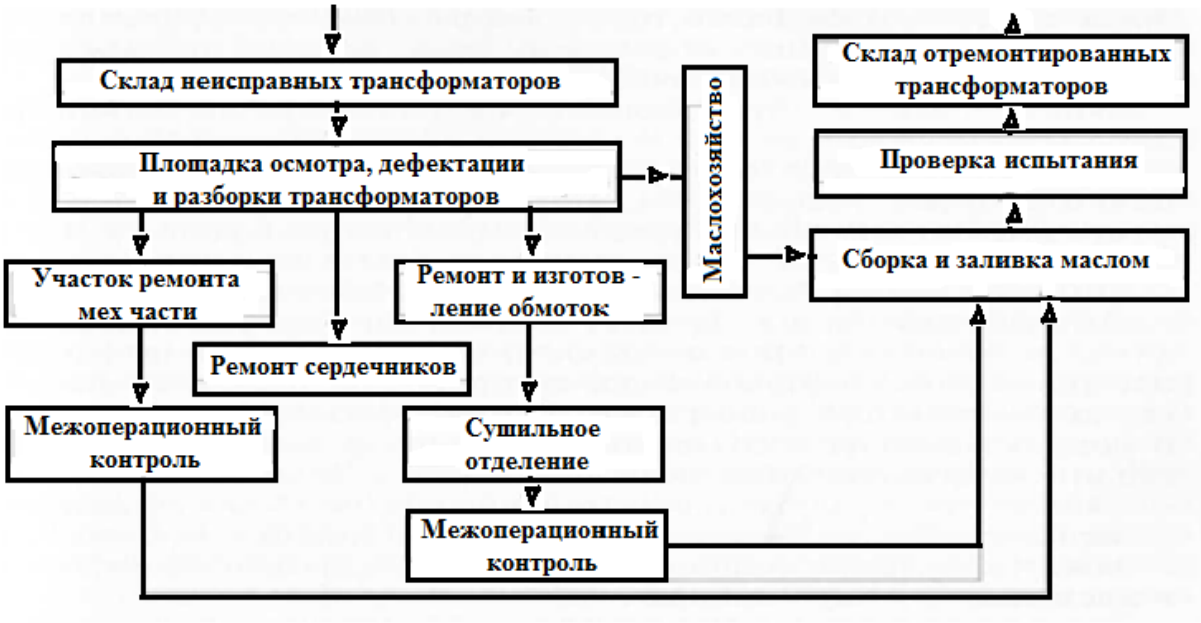


Рисунок 7.2 - Типовая структурно-технологическая схема ремонта трансформаторов

8 Лекция №8. Содержание ремонтов. Разборка электрических машин

В зависимости от массы и размеров, а также от характера ремонта электрические машины либо ремонтируются на месте, либо направляются на ремонтное предприятие. Взаимные обязательства заказчика и ремонтного предприятия регламентируются в технических условиях ремонта.

Приемка в ремонт производится по акту, в котором кроме паспортных данных машины и предполагаемого объема ремонта указываются технические требования, которым должна удовлетворять машина после осуществления ремонта: мощность, напряжение, частота вращения, энергетические показатели и др. В ремонт принимаются только комплектные электрические машины, имеющие все основные узлы и детали, включая старые обмотки. Все соединительные и установочные детали должны быть демонтированы заказчиком. Как правило, не ремонтируются машины с разбитыми корпусами и подшипниковыми щитами и со значительным (более 25%) повреждением магнитопроводов.

8.1 Содержание ремонтов

Технические условия ремонта. Ремонт должен выполняться качественно, чтобы после него был обеспечен необходимый уровень эксплуатационной надежности, а технические показатели соответствовали стандартам и нормам. Отремонтированная машина снабжается всеми необходимыми деталями, включая при необходимости соединительные и установочные, камеры

подшипников качения заполняются смазкой. Поверхности корпуса и подшипниковых щитов окрашиваются, концы валов покрываются консервационной смазкой.

После проведения послеремонтных испытаний ремонтное предприятие должно гарантировать безотказную работу машины в течение одного года при соблюдении условий транспортировки, хранения и эксплуатации.

Выходные концы обмоток маркируются в соответствии со стандартом, а к корпусу машины крепится новый щиток с указанием предприятия, проводившего ремонт, даты выпуска из ремонта и технических данных машины в соответствии со стандартами.

На ремонтных предприятиях существуют технологические карты ремонта электрических машин, составленные в виде таблиц, с перечислением номеров и содержанием всех технологических операций, технических условий и указаний по содержанию ремонта. Там же приводятся данные об оснастке и оборудовании, необходимом для ремонта, и нормы времени на проведение отдельных операций.

Текущий ремонт. Этот вид ремонта применяется для машин, находящихся в эксплуатации или резерве, в сроки, обусловленные графиком ППР. Текущий ремонт проводится на месте установки электрической машины с ее остановкой и отключением силами обслуживающего электротехнического персонала. Если для проведения текущего ремонта требуются специальные сложные приспособления и значительное время, то он проводится силами персонала электроремонтного или специализированного предприятия. В процессе ремонта выполняются следующие работы: чистка наружных поверхностей машины; проверка состояния подшипников качения, их промывка и замена (в случае увеличенных радиальных зазоров); проверка работы смазочных колец и системы принудительной смазки в подшипниках скольжения; осмотр и чистка вентиляционных каналов, обмоток статора и ротора, коллекторов и контактных колец; проверка состояния крепления лобовых частей обмоток и бандажей; устранение местных повреждений изоляции и выявленных при осмотре дефектов; сушка обмоток и покрытие их при необходимости покровными эмалями; шлифовка контактных колец и коллекторов (при необходимости их продораживание); проверка и регулировка щеточного механизма и систем защиты; сборка машины и проверка ее работы на холостом ходу и под нагрузкой; проведение приемо-сдаточных испытаний и сдача в эксплуатацию с соответствующей отметкой в технической документации.

Капитальный ремонт. Этот вид ремонта применяется для машин, находящихся в эксплуатации, в сроки, обусловленные графиком ППР или по результатам профилактических (послеосмотровых) испытаний. Капитальный ремонт проводится для восстановления работоспособности и полного восстановления ресурса электрической машины с восстановлением или заменой всех изношенных или поврежденных узлов и заменой обмоток. Ремонт машины нецелесообразен, если имеются значительные повреждения механических узлов, которые невозможно устранить силами ремонтного предприятия.

В процессе капитального ремонта, как правило, выполняются следующие работы:

– текущий ремонт; проверка воздушного зазора между статором И ротором (если конструкция машины позволяет это осуществить); проверка осевого разбега ротора и зазоров между шейкой вала и вкладышем подшипника скольжения (при необходимости проводится перезаливка вкладыша);

– полная разборка машины и мойка всех механических узлов и деталей; продувка и чистка коллектора, контактных колец, щеточного механизма и неповрежденных изоляционных деталей; дефектация узлов и деталей;

– ремонт корпуса, подшипниковых щитов, магнитопроводов (затирка трещин, восстановление резьбовых отверстий, восстановимте посадочных мест в корпусе и щитах), удаление замыканий между отдельными листами сердечников статора и ротора, устранение распушения листов, восстановление прессовки, ремонт выгоревших участков с установлением протезов); ремонт вала (исправление торцовых отверстий, устранение прогиба, восстановление посадочных отверстий и шпоночных канавок);

– извлечение старых обмоток; изготовление и укладка новых обмоток из круглого провода; ремонт или изготовление новых обмоток из прямоугольного провода и их укладка; сборка и пайка (сварка) электрических схем; пропитка и сушка обмоток; нанесение на лобовые части покровных эмалей;

– сборка и отделка машины, проведение приемо-сдаточных испытаний.

При капитальном ремонте производят замену подшипников качения, выработавших свой ресурс (вне зависимости от их состояния). Вопрос применения подшипников, свой ресурс не выработавших, решается после их дефектации. При этом следует помнить, что ущерб от возможного отказа подшипника и связанного с этим отказа (остановки) двигателя существенно больше стоимости самого подшипника.

Обмотки из круглого провода и низковольтные обмотки из прямоугольного провода при ремонте, как правило, повторно не используются, поскольку извлечь такой провод без повреждений практически невозможно. После извлечения они передаются на переплавку. Высоковольтные обмотки из прямоугольного провода могут использоваться повторно после замены витковой и корпусной изоляции.

8.2 Предремонтные испытания

Эти испытания проводятся с целью определения характера дефектов поступивших во внеплановый ремонт электрических машин. Кроме того, на практике встречаются случаи, когда исправная машина по ошибке обслуживающего персонала отправляется в капитальный ремонт. Для машин малой мощности можно принять следующую последовательность испытаний:

– определение состояния машины путем внешнего осмотра;

– определение (измерение) сопротивления изоляции обмоток;

– определение сопротивления обмоток постоянному току;

– проверка легкости вращения вала машины от руки;

– проверка работы на холостом ходу.

При положительных результатах этих проверок машину подвергают приемо-сдаточным испытаниям и, если она их выдерживает, отправляют обратно в эксплуатацию.

Крупные электрические машины перед плановым капитальным ремонтом испытывают на месте установки. Объем испытаний устанавливается в зависимости от конструкции машины, также требований и условий ее эксплуатации. В процессе испытаний измеряются вибрации на холостом ходу и при различных нагрузках; определяют температуру отдельных узлов машины (обмотки, магнитопровода, подшипников); определяют температуру воздуха и воды на входе и выходе из воздухоохладителя, определяют подшипниковые токи и др. После остановки машины измеряют сопротивление изоляции, величину воздушного зазора, биение контактных колец и коллектора. Особое внимание при этом уделяют неразбираемым при ремонте узлам. Полученные данные сравнивают с данными испытаний, полученными при предыдущем ремонте.

До вывода в ремонт крупных электрических машин в соответствии с нормами ПТЭ необходимо: составить ведомость объема работ и смету, которые уточняются после вскрытия и осмотра машины; составить график ремонтных работ; заготовить необходимые материалы и запасные части; составить и утвердить техническую документацию на реконструкцию или модернизацию и подготовить необходимые для этого материалы; укомплектовать и привести в исправное состояние необходимый инструмент и подъемно-транспортные механизмы; подготовить рабочие места и спланировать ремонтные площадки для производства ремонтных работ; укомплектовать и проинструктировать ремонтные бригады.

Ремонтные площадки предназначены для перегрузки и размещения сборочных деталей, ремонтных приспособлений и оснастки, а также для выполнения ремонтных операций. Они должны быть электрифицированы и находиться в зоне действия грузоподъемного механизма.

Если при ремонте необходимо снимать машину с фундамента п отсоединять ее от приводного механизма, то такой ремонт целесообразно выполнять в условиях специальной ремонтной мастерской (ремонтного предприятия).

8.3 Разборка электрических машин

Перед снятием шкивов, полумуфт, шестерен и других соединительных деталей с вала машины следует вывернуть стопорный винт или выбить шпонку, фиксирующие соединительную деталь с валом. Место посадки заливают керосином или антикоррозионной жидкостью для устранения коррозии в месте контакта. При снятии этих деталей используют двух- или трехлапчатые съемники (переносные ручные или гидравлические).

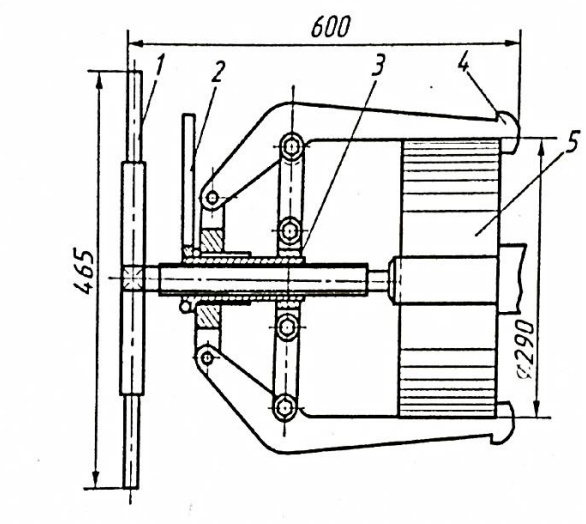


Рисунок 8.1 - Эскиз лапчатого съемника

На рисунке 8.1 показан эскиз, поясняющий процесс снятия шкива *5*. Лапы *4* съемника накладывают на наружную поверхность шкива и, вращая рукоятку *2,* передвигают гайку *3* влево, обеспечивая плотный захват детали с упором в выходной конец вала. Затем, вращая рукоятку 1, стягивают шкив с вала. Лапы *4* съемника позволяют захватывать детали как за наружную, так и за внутреннюю поверхности, а путем перемещения гайки *3* можно фиксировать их положение. Работа с таким съемником обычно производится двумя рабочими, один из которых придерживает съемник за лапы *4,* а другой вращает рукоятку 1.

Для снятия соединительных деталей, имеющих аксиальные отверстия, можно использовать съемник, показанный на рисунке 8.2, с которым может работать один рабочий. Траверса 1 соединяется с демонтируемой деталью *2* с помощью болтов *4.* Затягивая винт 5, стягивают деталь с вала. Для предотвращения проворачивания вала при затяжке винта 5 одно плечо траверсы упирают в подставку из раздвижных труб *3.* При снятии крупных деталей, требующих больших усилий, применяют гидравлические съемники, усилие в которых создается с помощью гидравлического пресса.

В ряде случаев для уменьшения требуемых для съема детали усилий производят нагрев детали. Для уменьшения нагрева вала его обертывают смоченным в воде асбестовым картоном, а нагрев проводят интенсивно одной или двумя горелками, начиная от края детали по направлению к ступице. Температуру детали можно контролировать периодическим прикосновением прутка из олова, температура плавления которого около 250 °С. В процессе нагрев внимательно следят за началом трогания детали, поскольку на нее действует большое усилие с съемника. Можно использовать нагрев детали токами высокой частоты, при котором вал практически не нагревается.

В качестве примера рассмотрим процесс разборки асинхронного двигателя закрытого исполнения (IP44), показанного на рисунке 8.3.

Разборка происходит в следующем порядке:

– отсоединяют двигатель от электрической сети и от заземляющего провода;

– отсоединяют двигатель от приводного механизма и снимают его с фундамента;

– снимают шкив или полумуфту с помощью съемника; снимают шпонку;

– снимают кожух *5* вентилятора 7;

– снимают вентилятор 7, предварительно ослабив его винт (вручную или с помощью съемника);

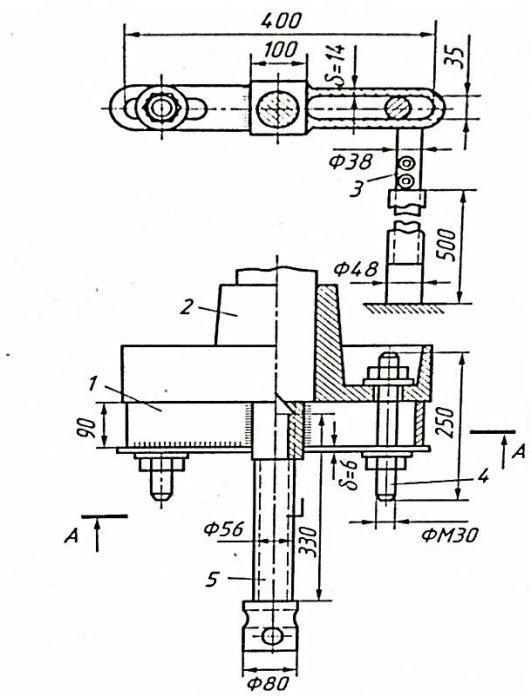
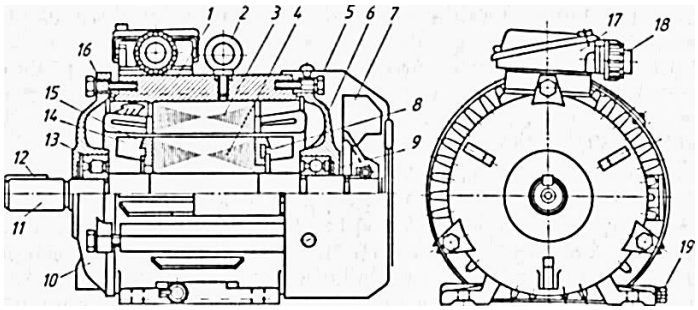


Рисунок 8.2 - Эскиз съемника с траверсой



1 — станина; *2* — рым - болт; *3* — сердечник статора; *4* — сердечник ротора; *5* — кожух; *6, 10* — подшипниковые щиты; 7 — вентилятор; *8* — балансировочный грузик; *9, 13* — подшипники; *11* — вал ротора; *12*— шпонка; *14*— вентиляционная лопатка; *15* — короткозамыкающее кольцо; *16* — лобовая часть обмотки статора; *17*— коробка выводов; *18*— сальник; *19* — болт.

Рисунок 8.3 - Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (степень защиты IP 44, способ охлаждения 1С 0141, способ монтажа 1М 1001)

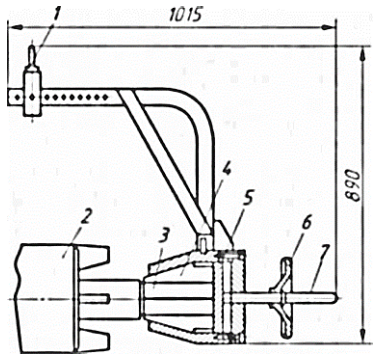
– отворачивают болты, крепящие подшипниковые щиты *6, 10* к корпусу, и снимают задний подшипниковый щит *6,* легко ударяя по нему молотком из мягкого материала (дерева, пластмассы, меди);

– вынимают ротор *4* из статора *3,* для чего легкими толчками сдвигают ротор в сторону переднего подшипникового щита *10* и выводят щит из замка. Затем, поддерживая ротор за вал, выводят его из статора, не допуская повреждения лобовых частей обмотки статора и крыльчатки ротора;

– снимают передний подшипниковый щит *10,* легко ударяя по нему молотком из мягкого материала;

– снимают с помощью съемника подшипники *9* и (или) *13,* если необходима их замена.

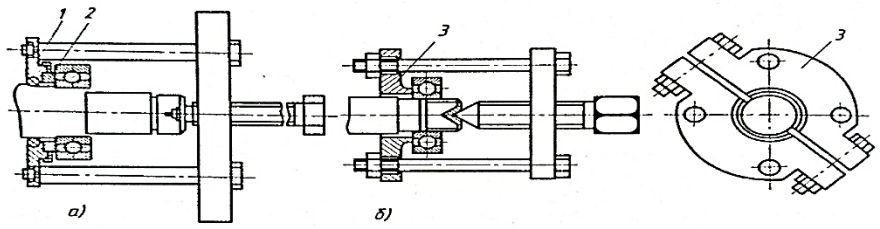
Снятие подшипниковых щитов можно производить отжимными болтами, если они предусмотрены в конструкции. В этом случае отжимные болты завертывают равномерно в отжимные отверстия, не допуская перекоса подшипниковых щитов. Ротор небольшой массы выводят из статора руками, поддерживая его с двух сторон, как описано выше. Более крупные ротора выводят из статора с помощью приспособления, показанного на рисунке 8.4. Серьгу 1 устанавливают так, чтобы она располагалась над центром тяжести ротора *2,* после чего заводят цанговый патрон на вал *3.* Вращая рукоятку *6,* передвигают пластину *5* вперед, пока кулачки *4* не захватят вал *3* ротора *2.* Затем вывешивают ротор, приподнимая приспособление за серьгу 1 с помощью крана, и извлекают его из статора. Небольшую регулировку при извлечении ротора можно осуществить, поддерживая его за ось 7. Описанное приспособление позволяет захватывать валы диаметром до 100 мм.



1 – серьга; 2 – ротор; 3 – вал; 4 - кулачки; 5 – пластина;
6 – рукоятка; 7 – ось.

Рисунок 8.4 – Приспособление для выема и ввода ротора

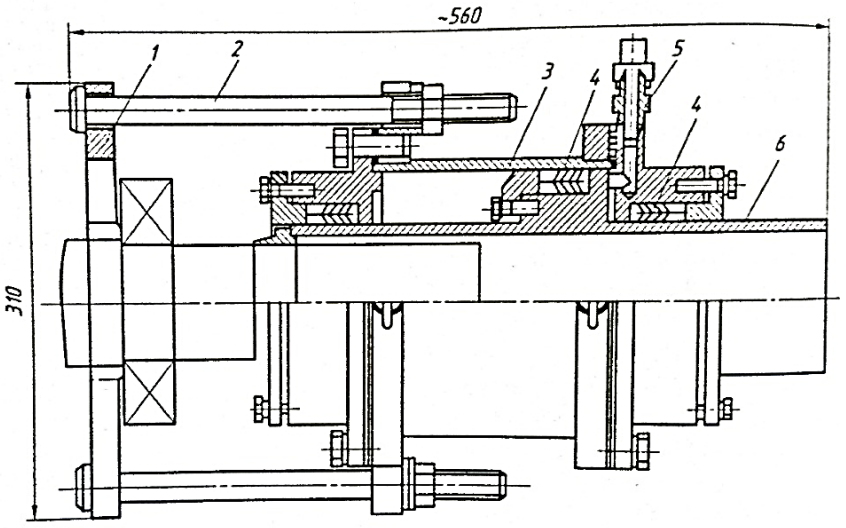
При снятии подшипников во избежание их повреждения усилия следует прикладывать к внутренней обойме. Для этого применяют лапчатые съемники, имеющие глубокие губки, или используют крышки подшипников. В последнем случае (рисунок 8.5) между крышкой 1 и подшипником устанавливают специальные прокладки *2.* Если имеется место, то для съема подшипников можно использовать разъем-



I — внутренняя крышка подшипника; *2* — прокладки; *3* — хомут.
Рисунок 8.5 - Снятие подшипников с использованием вставок (а) и хомута *(б)*

При разборке электрических машин часто используют гидравлические съемники, один из которых показан на рис. 8.6. Этот съемник имеет рабочее давление 6,4 МПа и позволяет развивать усилия до 100 кН при ходе цилиндра до 75 мм.

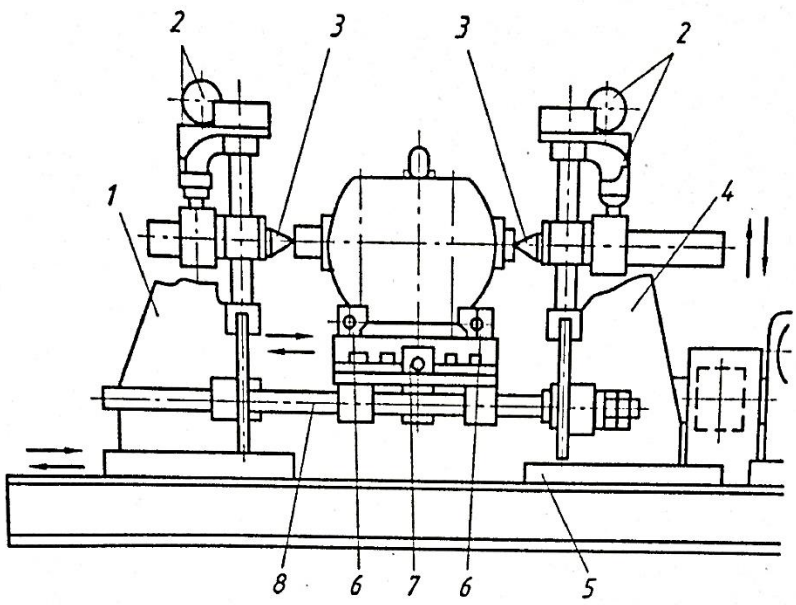
На электроремонтных предприятиях для разборки двигателей с высотой оси вращения 112...280 мм (3...9 габаритов) используют специальный стенд для разборки двигателей (рисунок 8.7). Перед установкой на стенд с двигателя снимают кожух вентилятора, вентилятор и болты, крепящие крышки подшипников и подшипниковые щиты. Двигатель (рисунок 8.3) устанавливают на стенде рабочим концом вала к подвижной стойке 1 и закрепляют с помощью зажимного устройства *6.*



1 – скоба; *2* – тяга; *3* – цилиндр; *4* – уплотнение; *5* – штуцер; *6* – поршень.
Рисунок 8.6 - Гидравлический подвесной съемник для снятия подшипников с валов двигателей с высотой оси вращения 180 — 280 мм (6 – 9 габаритов)

С помощью электропривода *2* устанавливают пиноли *3* по высоте оси вращения двигателя и, перемещая стойку 1 вправо, фиксируют двигатель в пинолях (правая стойка *4* неподвижна).

Включают движение стола 7 влево по направляющим *8,* при котором левый подшипниковый щит выпрессовывается с наружного кольца подшипника, а правый — из замка на корпусе. Между правым подшипником и корпусом двигателя устанавливают опорную вилку (не показана) и включают движение стола вправо. При этом левый подшипниковый щит выпрессовывается из замка на корпусе, а правый подшипник — с вала.



1 — подвижная стойка; *2*— электропривод; *3*— пиноли; *4*— неподвижная стойка; 5 — поворотный стол; *6*— зажимное устройство; 7— стол; *8* — направляющие.

Рисунок 8.7 - Стенд для разборки электродвигателя

Устанавливают опорную вилку между левым подшипником и корпусом двигателя и включают движение стола 7 влево, производя выпрессовку левого подшипника с вала. Затем выводят пиноли J из центров вала, поворачивают стол 5 с двигателем на угол 60...90° и снимают с вала крышки подшипников, подшипниковые щиты и подшипники. Одним из описанных способов выводят ротор из статора, ослабляют зажимы *6* и снимают корпус (статор) двигателя со стенда.

На все детали и уравновешивают бирки с одним ремонтным номером двигателя, направляют статор на участок удаления (извлечения) обмотки, а остальные узлы и детали — на мойку. Если ротор имеет фазную (не короткозамкнутую) обмотку, то его направляют вместе со статором на участок удаления обмотки.

Технология разборки любой крупной электрической машины с подшипниками скольжения имеет свои специфические особенности, связанные с ее конструкцией, местом установки, наличием грузоподъемных механизмов и др. Поэтому приведем только общие операции по разборке крупных машин. При разборке измеряют:

– воздушный зазор между ротором статором в четырех точках (через 90^e с обеих сторон);

– радиальные зазоры в подшипниках и натяги крышек подшипников на вкладыши, радиальные зазоры между радиатором и диффузором;

– зазоры по уплотнениям вала и по маслоуловителям;

– осевой разбег ротора и уклон вала ротора.

Кроме того, проверяют совпадение или несовпадение магнитных осей статора и ротора.

Результаты измерений заносят формуляр, проводят предремонтные испытания и приступают к разборке машины. Снимают наружные и внутренние щиты и диффузоры, в воздушный зазор под ротор! заводят лист электрокартона и после разборки опорных подшипников опускают ротор на статор. Снимают полумуфты или шестерни, подогревая их при необходимости, зачищают посадочные поверхности и определяют натяг.

Чтобы не повредить обмотки при выводе ротора из статора, их закрывают листами из электрокартона или резины. Ротор извлекают с помощью грузоподъемных механизмов и специальных скоб (для роторов массой до 500 кг), пригодных для роторов машин до 19-го габарита включительно. Для выведения ротора на кран подвешивают траверсу *4* (рисунок 8.7) с двумя регулировочными болтами. На вал одевают удлинитель *2.* Вывесив ротор с помощью крана регулировочных болтов *3,* выводят его из статора (вправо) и опускают на предварительно установленную рядом со статором подставку (не показана). Затем снимают удлинитель, переносят левый строп на левый конец вала, вывешивают ротор и перемещают его на место ремонта или дальнейшей транспортировки. Статор остается на своей фундаментной плите 1.

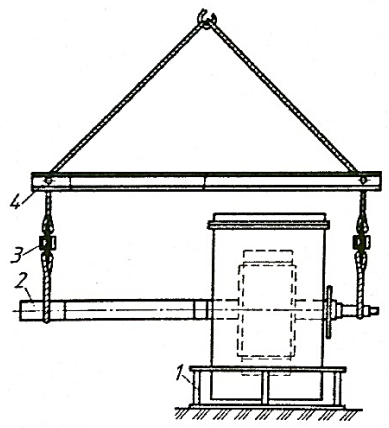


Рисунок 8.8 – Приспособление для вывода ротора электрических машин 15…19 габарита

Если расточка статора расположена ниже поверхности фундаментной плиты, статор сначала поднимают подкладывают под его лапы шпалы, чтобы расточка статора была выше верхней отметки плиты. Далее выводят ротор из статора. Разработаны приспособления для выведения ротора статора без применения грузоподъемных механизмов.

9 Лекция №9. Разборка электрических машин и их дефектация

9.1 Разборка обмоток из круглого провода

Разборка начинается с обрезки лобовой части. При этом обмотка извлекается из пазов наиболее экономичным способом при сохранении сердечника. Обрезку одной лобовой части производят на токарных станках или на специальных станках: модели СО-3М используются для машин с высотой оси вращения 50... 100 мм, мокли СЦО-2 — для машин с высотой оси вращения 100...280 мм. Применение станков повышает производительность труда по сравнению с методом ручной обрезки. Чтобы избежать при обрезке затяжки провода и образования медной стружки, желательно использовать фрезы или ножевые резцы.

Принципиальная схема станка СО-3М приведена на рисунке 9.1. Для обрезки лобовой части корпус (статор) машины устанавливается на стол 5, задняя бабка *2* по направляющим *4* подается вперед электроприводом 1, а кулачки патрона *3* входят в расточку статора и разжимаются. Длина кулачков должна перекрывать не менее 75% длины сердечника статора. После этого стол 5 отводится вниз, а передняя бабка б с помощью электропривода 7 подводится к лобовой части обмотки статора.

Ось вращения установленного на передней бабке отрезного устройства, показанного на рисунке 9.2, совпадает с осью установленного на станке статора, а режущий диск *3,* вращающийся в подшипниках *2,* не касается обрабатываемой поверхности лобовых частей. При вращении шкива 7 с оправкой 1 винт *9* под действием механизма подачи перемещается поступательно в сторону режущего диска *3* и через ролики *10* и гайку-шестерню *8* поворачивает суппорт *6.* Поворачиваясь вокруг своей оси, суппорт *6* перемещает державку 5, а вместе с ней вал *4* и режущий диск *3* к поверхности отрезаемой лобовой части обмотки статора.

При касании поверхности лобовой части диск *3* за счет сил трения начинает вращаться и, обкатываясь по обмотке, отрезает ее. После этого винт *9* и режущий диск *3* возвращаются в исходное положение. Применение способа резания обкаткой позволяет избежать образования стружки и в несколько раз повышает стойкость режущего инструмента. Стол 5 станка (рисунок 9.1) возвращается в исходное положение, сжимаются и возвращаются в исходное положение кулачки *3,* а статор перемещается на следующую операцию.

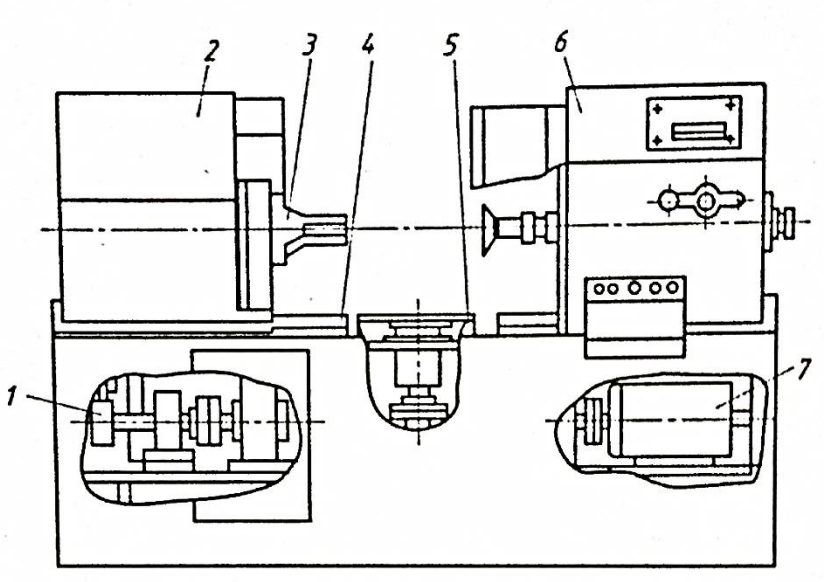


Рисунок 9.1 – Принципиальная схема станка СО 3М

Чтобы извлечь обмотку из пазов, не повредив сердечника, необходимо ослабить сцепление обмотки с последним путем ослабления пазовой изоляции. Это можно осуществить выжигом или размягчением изоляции.

Выжиг используется для машин с чугунными или стальными корпусами. Машины с алюминиевыми корпусами выжигу не подвергают, так как при этом у них изменяются размеры корпуса и ослабевает посадка сердечника.

На рисунке 9.3 показана высокочастотная установка типа ВЧИ-63/0,44, работающая в диапазоне частот 420... 451 кГц. Электрическая мощность установки равна 63 кВт, средняя производительность — 160 статоров в смену. Установка может работать в ручном и автоматическом режимах. Перед началом работы установку настраивают на партию однотипных статоров с равными или близкими внутренними диаметрами и длинами сердечников, в соответствии с которыми выбирают индукторы нужного размера. Воздушный зазор между индуктором и сердечником должен быть минимальным.

Последовательность высокочастотного нагрева следующая. Выбранный индуктор *10* устанавливают в зажим *3* и подключают к нему контур водяного охлаждения (температура воды равна 5...30°С, избыточное давление 0,2...0,05 МПа, жесткость — не более 8,5 мг на 1 л, удельное электрическое сопротивление не менее $4\text{-}10^5$ Ом-м). Если имеющаяся вода не удовлетворяет этим требованиям, необходимо создать замкнутую систему охлаждения дистиллированной водой. После настройки подают охлаждающую воду и убеждаются в правильной работе системы охлаждения (циркуляции воды). Включают напряжение и прогревают установку в течение 30 мин.

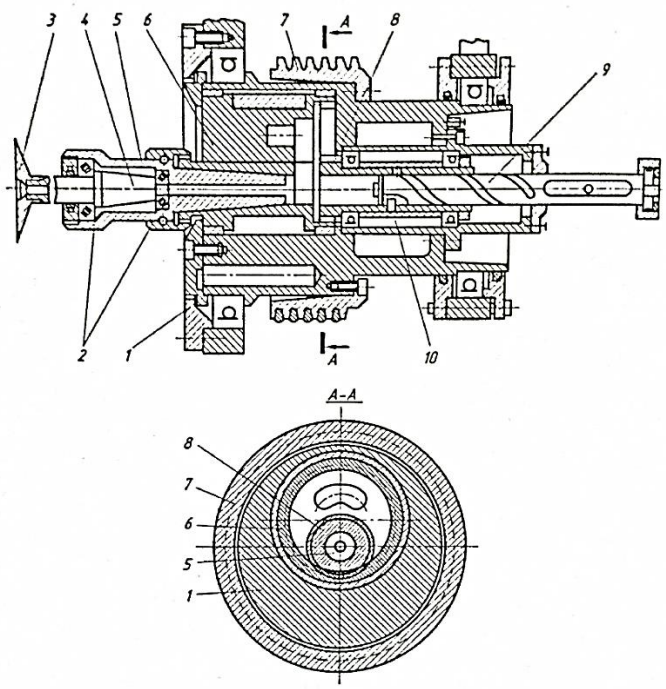
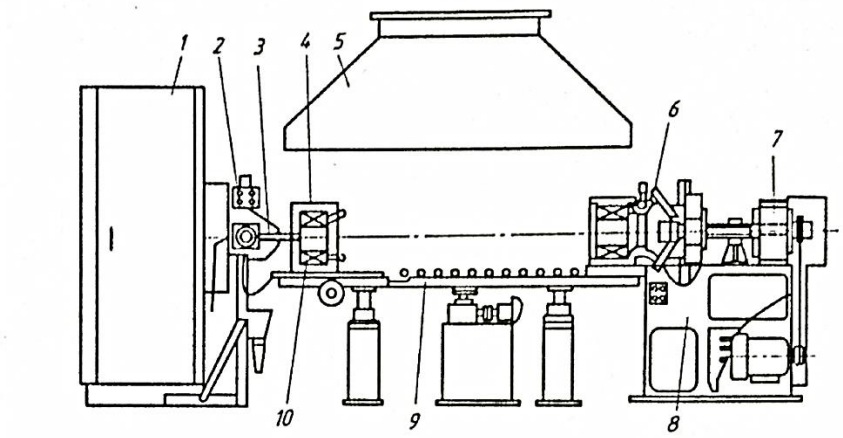


Рисунок 9.2 – Режущее устройство станка СО 3М



1 — генератор; *2* — пульт управления; *3* — зажим; *4* — статор; 5 — вытяжной зонт; *6*— крючки; 7— пневмоцилиндр; *8* — механизм выдергивания; 9— рольганг; *10* — индуктор.

Рисунок 9.3 - Схема высокочастотной установки для разогрева и извлечения обмотки статора

На стол устанавливают статор *4* и вводят в него индуктор *10* так, чтобы он не касался сердечника. На пульте *2* включают кнопку «нагрев», нагрев сердечника до требуемой температуры происходит за несколько секунд. Нагретый статор перемещается по рольгангу *9* на позицию *8,* где извлекается обмотка. Удаление обмотки производится с помощью крючков *6,* приводимых в движение пневмоцилиндром 7. Питание установки осуществляется от высо-

кочастотного генератора 1, а для удаления пыли и газов установка снабжена вытяжной вентиляцией с зонтом 5.

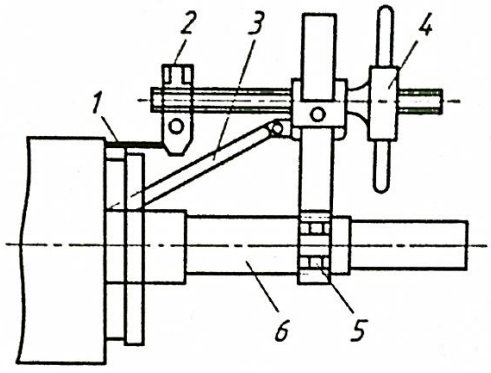
9.2 Разборка обмоток из прямоугольного провода

К указанным обмоткам относятся обмотки фазных ротором I асинхронных двигателей, статорные обмотки крупных синхронных и асинхронных машин, якорные обмотки и обмотки возбуждения машин постоянного тока, обмотки возбуждения синхронных машин.

Извлечение стержневой обмотки фазных роторов асинхронных машин. При удалении стержней у роторов, на которые отсутствует техническая документация (обмоточные данные, геометрические размеры), производят их осмотр, необходимые замеры, составляют дефектную ведомость и определяют обмоточные данные параметры бандажей, расположение начал и концов фаз, данные по изолинии и др. В процессе разборки на роторе маркируют пазы (номера), в которых расположены начала и концы фаз.

Разборку начинают со срезания бандажей из стеклоленты или I распайки бандажей из стальной проволоки. Распайку производят электродуговым паяльником, а бандажную проволоку наматывают на барабан. Затем распаивают хомутики, соединяющие концы стержней в лобовых частях, снимают и зачищают их от припоя. Одновременно зачищают от припоя и концы стержней. Затем с помощью специальных ключей разгибают стержень в двух местах, иначе его невозможно будет вынуть из паза. Одним ключом удерживают стержень, а другим производят разгиб.

Извлечение стержней из пазов требует значительных усилий, поэтому для извлечения используют специальное приспособление, показанное на рисунке 9.4. Его закрепляют на валу о хомутом *5,* затем закрепляют в зажиме *2* конец 1 стержня. Вращая винт *4,* вытягивают верхний стержень из паза, предохраняя приспособление от смещения распоркой *3.* После удаления всех верхних стержней удаляют нижние стержни.



1 – лобовая часть стержня; 2 – зажим; 3 – распорка; 4 – винт; 5 – хомут; 6 – вал.

Рисунок 9.4 – Приспособление для извлечения стержней из пазов ротора

9.3 Дефектации деталей и узлов электрических машин

При дефектации производят визуальный осмотр узлов и деталей машины, а также проводят необходимые измерения и испытания. Здесь рассматриваются общие правила дефектации электрических машин мощностью до 100 кВт.

Дефектации необмотанного статора. Визуально проверяют наличие трещин, сколов и деформаций корпуса, состояние резьбовых отверстий, крепление сердечника в корпусе, наличие распушения крайних листов и выгорания отдельных листов сердечника, наличие коррозии. Плотность сборки сердечника проверяют щупом толщиной 0,2 мм, который под давлением руки должен входить между листами сердечника не более чем на 2...3 мм. Распушение листов проверяют, измеряя штангенциркулем длину сердечника по дну пазов и по верхней части зубцов. В сердечника длиной до 100 мм допускается распушение до 2 мм, а при длине 101... 150 мм — до 3 мм. В двух взаимно перпендикулярных плоскостях производят измерение диаметров внутренней поверхности сердечника и замков корпуса, служащих для посадки подшипниковых щитов. В машинах общепромышленного исполнения точность обработки замков должна находиться в пределах 7...9 квалитетов.

Необмотанный статор бракуется и не подлежит ремонту при наличии откола более двух лап, наличии сквозных трещин в корпусе, выгорании одного или нескольких зубцов на длину более 50 мм или 1/3 длины сердечника, увеличении воздушного зазора более чем на 15% (25% — для двухполюсных машин) и при значительном повреждении сердечника.

Дефектация необмотанного якоря (ротора). Перед дефектацией должны быть отремонтированы центральные отверстия вала. Якорь (ротор) устанавливают шейками вала на призмы и производят его внешний осмотр, а также измеряют диаметр сердечника для дальнейшего расчета воздушного зазора, посадочные места шеек вала под подшипники и вентилятор, измеряют биение шеек вала и сердечника, проверяют состояние шпоночных пазов и выходного конца вала. Осматривают коллектор и контактные кольца для выявлении подгаров, поджогов, оплавлений и неравномерной выработки, измеряют их биение относительно шеек вала. Измеряют сопротивление изоляции коллектора и контактных колец.

Поверхности под посадку подшипников должны иметь допуск k4...k6, под посадку вентилятора — h6... h 10, под посадку коллектора — к6... к8. Дефектация сердечника ротора проводится так же, как сердечника статора.

Якорь бракуется и не подлежит ремонту, если имеется излом вала в любом сечении или значительный износ сердечника (в результате коррозии, абразивного износа и пр.). Для короткозамкнутых роторов асинхронных машин признаком брака является также обрыв литого стержня обмотки.

Дефектация подшипниковых щитов. Визуально проверяют наличие трещин и изломов, состояние резьбовых отверстий и приливов. Измеряют посадочные места под подшипник и замок для посадки в корпус. Поверхности под посадку подшипников должны иметь допуск Н6...Н7, под посадку щита на

корпус — h6...h9. Признаками брака являются трещины и отколы в щите и на посадочных поверхностях, а также откол крепежных приливов.

Дефектация щеточного узла. Визуально проверяют состояние щеткодержателей, пружин, выводных проводов (кабелей) и канатиков щеток. Зазор между щеткой и щеткодержателем не должен превышать 0,3 ...0,5 мм. Проверяется давление пружин на щетки, которое должно быть одинаковым у всех щеток и соответствовать заданному. Измеряют сопротивление изоляции между щеткодержателем и корпусом.

Дефектация вентилятора и его кожуха. Визуально проверяют целостность поверхностей, отсутствие изломов и вмятин и других механических повреждений. У вентиляторов проверяют размер посадочной поверхности под вал, который должен иметь допуск по H6... H9.

Дефектация крепежных деталей. Путем осмотра крепежных деталей (болты, шпильки, гайки) проверяют наличие трещин, надрывов возле головок болтов, деформации шпилек, состояние резьбы и наличие защитных покрытий. Качество резьбы проверяют резьбовыми кольцами. Признаками брака являются повреждение более 20% ниток резьбы, трещины и надрывы у головок болтов, уменьшение диаметра шпилек и болтов из-за коррозии более чем на 10%.

10 Лекция №10. Ремонт магнитопроводов и механических деталей

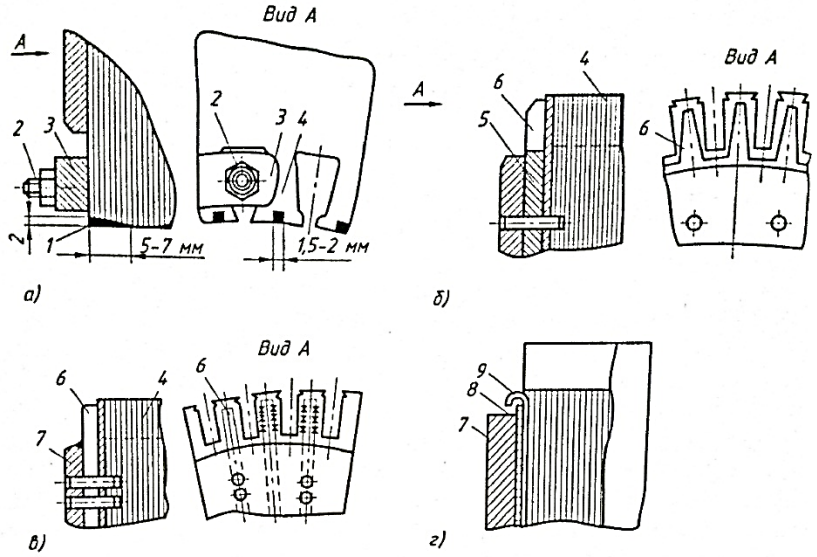
10.1 Ремонт сердечников (магнитопроводов)

Характерными повреждениями сердечников статоров (роторов являются: ослабление посадки сердечников в корпусе (на валу), их сдвиг в осевом направлении, распушение крайних листов, ослабление прессовки, нарушение изоляции между листами, выгорание или оплавление отдельных участков и износ внутренней (наружной) поверхности.

Ремонт при ослаблении посадки сердечника. Сначала осматривают сердечник статора и проверяют состояние стопоров и кольцевых шпоночных канавок, в которых они установлены. Устанавливают сердечник на место по заводскому исполнению и закрепляют его новыми стопорами или кольцевыми шпонками, причем отверстия для стопоров сверлят в новом месте. При ослаблении и посадке сердечника ротора его выпрессовывают с вала, вал ремонтируют или заменяют на новый и вновь устанавливают сердечник ротора.

Ремонт при распушении крайних листов сердечника. Для устранения этого дефекта *в машинах малой мощности* пропиливают ножовочным полотном наклонные пазы в зубцах (их размер показаны на рис. 10.1, а) и проваривают эти пазы электродуговой сваркой (электрод ОММ5 диаметром 2 мм). При сварке распушенные зубцы *4* сжимают сегментом или кольцом *3* с помощью шпилек *2,* пропущенных через пазы. Сварные швы 1 опиливают совместно с сердечником до требуемого размера. Распушенные зубцы можно также склеить, промазав лаком и стянув кольцо и шпильками до полного высыхания лака. *Для машин большей мощности,* имеющих относительно высокие зубцы, указанные способы ремонта не применяют, поскольку они не

обеспечивают прочного и надежного скрепления зубцов и создают замкнутые контуры для протекания вихревых токов. В этом случае можно рекомендовать установку дополнительной шайбы 5 с зубцам (пальцами) *6,* как показано на рис. 10.1, *б,* или установку отдельных нажимных пальцев *6* между сердечником *4* и нажимной шайбой 7, как показано на рисунке 10.1, *в.*



1 – сварной шов; *2* — шпилька; *3* — кольцо; *4* — зубцы; *5* — шайба; *6* — нажимные шлицы; 7— нажимная шайба; *8* — текстолитовый клин; *9* — крайний лист сердечника.

Рисунок 10.1 - Эскизы отремонтированных сердечников с использованием сварки (а), дополнительных нажимных шайб с зубцами *(б),* отдельных нажимных пальцев *(в)* и клиньев (г)

Такой ремонт возможен при распрессовке сердечника и его частичной или полной перешихтовке.

Ремонт при ослаблении прессовки сердечника. При общем ослаблении прессовки *сердечников небольшого диаметра* между нажимной шайбой 7 и крайними листами сердечника через каждые 2...4 зубца сбивают текстолитовые клинья *8* (рисунок 10.1, *г),* обеспечивающие нормальную прессовку сердечника. Чтобы определить необходимую толщину клина, можно предварительно опрессовать сердечник при давлении 1 МПа. Ширина клина не должна превышать ширины зубца. Дня предохранения клина от выпадения его перед установкой промывают клеящим лаком и загибают крайний лист *9* сердечника. При местном ослаблении прессовки сердечника статора (дефект или нападение вентиляционной распорки) поврежденную распорку исправляют, а вместо выпавшей забивают текстолитовый клин, загибая на него с двух сторон крайние листы сердечника.

Ремонт при выгорании участка зубца сердечника. При выгорании или оплавлении участка зубца сердечника удаляют дефектную часть и устанавливают на ее место «протез» 1 из стеклотекстолита для предотвращения

выпучивания обмотки, как показано на рисунке 10.2. Удаление поврежденной области производят с помощью острого зубила с его возможным предварительным высверливанием, после чего устраняют замыкания листов. «Протез» изготавливается по месту и устанавливается на клее ЭЛ-4.

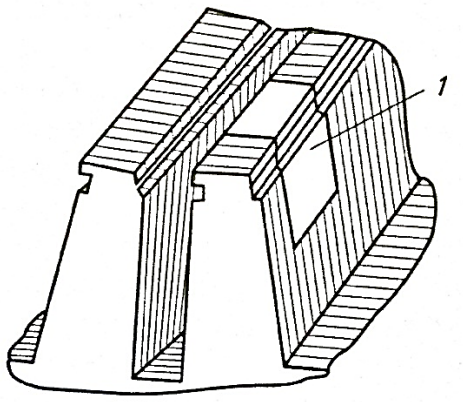


Рисунок 10.2 - Эскиз зубца сердечника со вставкой

10.2 Ремонт корпусов и подшипниковых щитов

Наиболее часто корпуса электрических машин имеют следующие повреждения: отлом лапы у чугунной станины, износ или срыв резьбовых отверстий, износ посадочных мест под щиты, появление трещин. Для подшипниковых щитов характерен износ посадочных поверхностей и трещины.

Ремонт посадочных поверхностей в чугунных корпусах и подшипниковых щитах. Задиры и вмятины исправляют зашлифовкой, если общая площадь повреждений не превышает 4% от посадочной поверхности под подшипник и 15% от посадочной поверхности замков. Зашлифовку производят бархатным напильником или шлифовальной шкуркой, слегка смоченной в машинном масле. При сильных повреждениях ремонт производят наплавкой металла, запрессовкой втулки, нанесением герметика и другими методами.

В щите посадочную поверхность под подшипник восстанавливают запрессовыванием втулки. Предварительно протачивают гнездо под подшипник и используют втулку толщиной 6... 10 мм. При этом толщина стенки на щите должна быть не менее 10 мм. Проточку щита и изготовление втулки производят по размерам и допускам, обеспечивающим посадку с натягом. Прессование производят с подогревом. Втулку 1 (рисунок 10.3) закрепляют в щите двумя диаметрально расположенными стопорами *2*. Глубина сверления под стопор должна быть не менее двух диаметров стопора.

Восстановление отломанных лап корпуса. Кромки сопрягаемых деталей разделывают под углом 30° с обеих сторон на глубину не менее 1/4 толщины. Изготовляют 2 — 3 ввертыша *2* из стального прутка диаметром не менее 1/2 толщины детали. Размечают и засверливают отломанную 1 и основную *3* детали (рисунке 10.4) и нарезают резьбу в основной детали. Завертывают ввертыши *2* в основную деталь *3* и надевают на них отломанную часть.

Проваривают газовой сваркой отломанную часть *1* по разделке, придерживаясь технологии, рассмотренной в начале этого параграфа. Швы зачищают стальной щеткой. Размечают и просверливают отверстия в лапе.

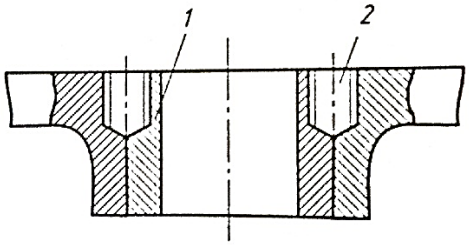


Рисунок 10.3 - Эскиз отремонтированной посадочной поверхности подшипникового щита

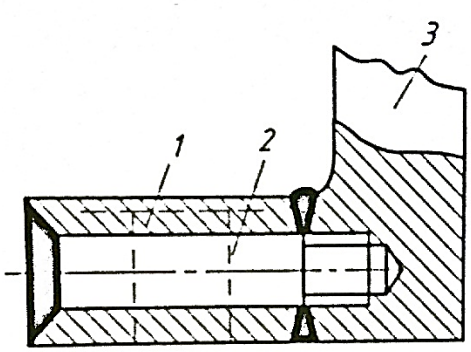


Рисунок 10.4 - Эскиз восстановленной лапы корпуса

10.3 Ремонт валов

К основным повреждениям вала относятся риски и задиры на посадочных поверхностях, задиры в шпоночных пазах, изменение их формы и размеров, уменьшение диаметров посадочных поверхностей под подшипник и сердечник, овальность и конусность посадочных поверхностей, поломка, забитые центральные отверстия. Валы ремонтируются одним из следующих методов электродуговой или вибродуговой наплавкой, газоплазменным напылением, электромеханическим методом. Здесь рассматривается первый метод.

Ремонт с использованием электродуговой наплавки. Перед наплавкой уступы высотой 4 мм и более протачивают на конус под углом 15... 20°. Вал или ротор устанавливают сердечником на вращающиеся ролики и производят наплавку, накладывая швы очередности, обозначенной цифрами на торце вала (рисунке 10.5, *а*), которая обеспечивает минимальные деформации. При этом шов предыдущего слоя обстукивают молотком и зачищают проволочной щеткой. Полосы наплавленного металла должны выходить за пределы восстанавливаемой поверхности на 0,5...0,7 и 1,0... 1, диаметра вала *d*, чередуясь через один. При наличии шпоночного паза на восстанавливаемой

поверхности наплавку следует начинать с него. После наплавки проводят механическую обработку поверхности. Наплавку обычно производят электродами Э42 или ОММ-5.

Центральные отверстия на торце вала восстанавливают следующим образом. Наплавку торца вала ведут от центра к периферии по спирали (рисунок 10.5, *б).* Затем на токарном станке обрабатывают торец, выдерживая общую длину вала, и засверливают центральные отверстия. При восстановлении центральных отверстий базой служит наружная поверхность сердечника ротора.

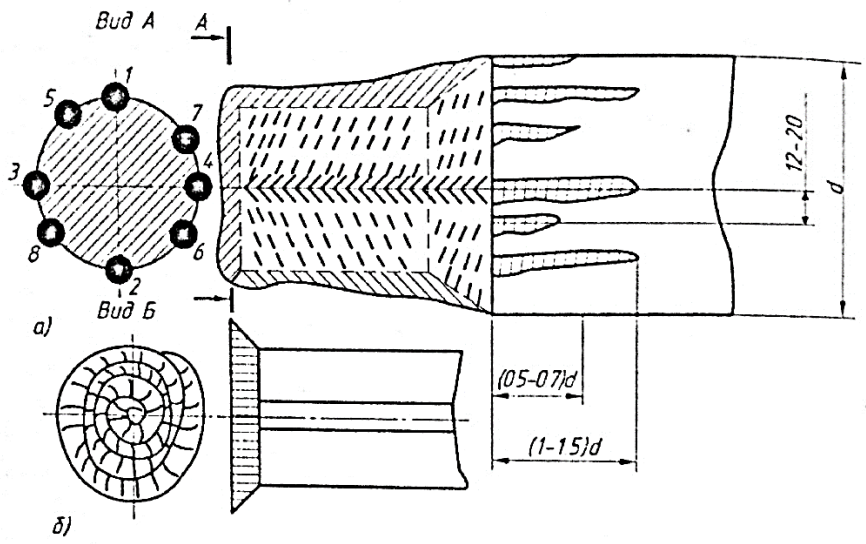
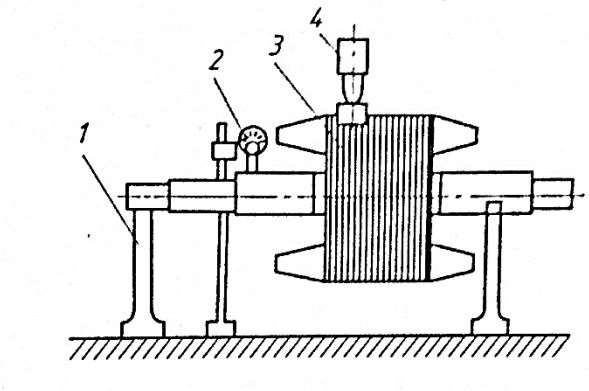


Рисунок 10.5 - Эскизы валов, у которых электродуговой наплавкой восстановлены посадочная поверхность *(а)* и торец *(б)*

Исправление кривизны вала осуществляют следующим образом (рисунке 10.6). Медленно поворачивая ротор *3* в центрах или призмах по стрелочному индикатору *2* определяют кривизну вала. Правку производят при кривизне более 0,02 его длины без демонтажа сердечника и контактных колец.

Для этого ротор *3* устанавливают на призматические опоры и в месте максимального выгиба воздействуют прессом *4.* Если это место находится вне сердечника, то опору с противоположной стороны располагают максимально близко к сердечнику, а со стороны изогнутой части — максимально близко к торцу вала. Расчетом определить усилие нажатия пресса затруднительно, поэтому правку проводят в несколько приемов, измеряя каждый раз величину прогиба индикатором *2* и подбирая усилие для следующего приема. Правку прекращают при значениях выгиба мене 0,04...0,05 мм.



1 — призматические опоры; *2* — индикатор; *3* — ротор; *4* — пресс.
Рисунок 10.6 - Схема исправления кривизны вала

10.4 Ремонт короткозамкнутых обмоток ротора

Короткозамкнутые обмотки роторов выполняются литыми сварными. Типичные повреждения литой обмотки — разрыв короткозамыкающего кольца и обрыв стержня в пазу. Для сварной обмотки характерно ослабление или нарушение контакта между стержнями и короткозамыкающим кольцом, а также обрыв или подгар стержней. Здесь рассматривается ремонт сварной обмотки.

Ремонт сварной обмотки. При ослаблении или нарушении контакта стержня с кольцом необходимо зачистить и пропаять его медно-фосфорным припоем. При пайке нельзя допускать перегрева меди. При ослаблении стержня в пазу выполняют расчеканку, производя ударами чекана по прямоугольной части стержня на всей длине сердечника.

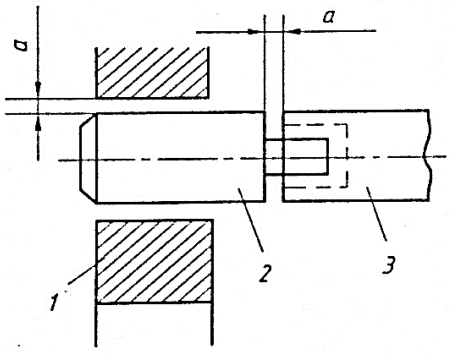


Рисунок 10.7 -Установка вставки стержня сварной короткозамкнутой обмотки

Если трещины неглубокие (не более 0,25 толщины стержня) и расположены на выступающей из сердечника части стержней, их устраняют сваркой. Если трещина более глубокая, то стержень в этом месте разрезают и удаляют, высверливая участок, примыкающий

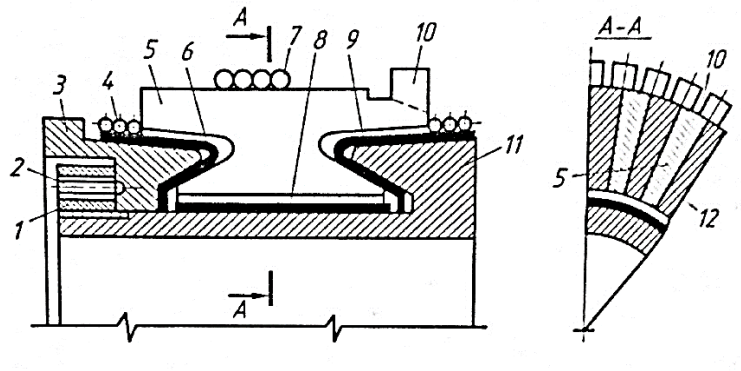
к короткозамкнутому кольцу 1. Через отверстие в кольце высверливают отверстие в стержне *3* глубиной 6... 7 мм (рисунок 10.7) и на место удаленной части стержня устанавливают вставку *2*. При пайке медно-фосфорным припоем зазор *а* должен быть равен 0,2 мм, а при пайке серебросодержащим припоем (применяется при линейных скоростях ротора от 50 м/с) — 0,10...0,15 мм.

10.5 Ремонт коллекторов и контактных колец

К о л л е к т о р ы на пластмассе наиболее часто имеют следующие дефекты: царапины, выбоины и подгар коллекторных пластин, трещины в пластмассе, местное выгорание пластмассы, электрический пробой изоляции, замыкание пластин на корпус и между собой, распайка контактов между пластинами и обмоткой. Указанные дефекты (кроме последнего), как правило, происходят на стороне коллектора, свободной обмотки, поскольку она больше загрязнена маслом и пылью. При ремонте коллектор можно не снимать с вала.

В отличие от коллекторов на пластмассе, коллекторы на стальной втулке в ряде случаев разбирают и заменяют отдельные коллекторные и изоляционные пластины. Замена план тин может производиться как со снятием, так и без снятия коллектора с вала.

В обоих случаях разборка производится следующим образом. Обвязывают коллекторные пластины стальной отожженной проволокой 7, отвертывают стопоры 2, гайку 1 и снимают нажимной



1 — гайка; 2 — стопор; 3 — нажимной конус; 4 — бандаж; 5 — коллекторная пластина; 6, 9— манжеты; *7* — временный проволочный бандаж; *8* — изоляционный цилиндр; 10 — петушки; 11 — нажимной конус; 12— изоляционная прокладка.

Рисунок 10.8 - Коллектор на стальной втулке

Ремонт контактных колец. При выработке контактных колец их протачивают. При пробое изоляции колец на втулку или между собой, а также при выгорании контактной шпильки или большом износе колец последние необходимо спрессовать с втулки. После этого срезают с втулки изоляцию и тщательно очищают ее наружную поверхность. На очищенную поверхность

наносят новую изоляцию, опрессовывают втулку и запекают изоляцию в пресс-форме.

Затем протачивают втулку до нужных размеров и насаживают на нее с натягом новые или отремонтированные контактные кольца. Посадка колец проводится в горячем состоянии (температура колец равна 300 ...400°С). Завершают ремонт отделкой узла контактных колец.

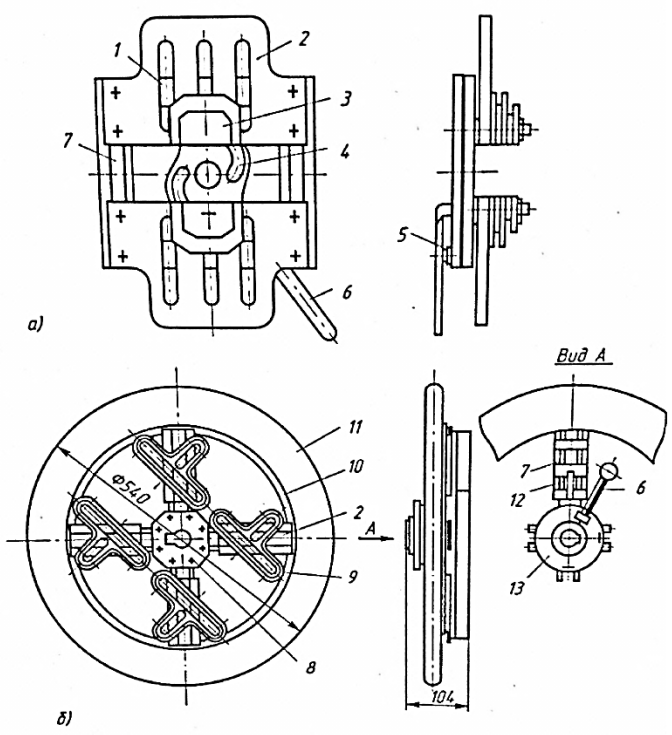
11 Лекция №11. Ремонт обмоток и сборка электрических машин после ремонта

При капитальном ремонте, как правило, производится полная замена обмоток и изоляции машины. Обмотки, изготовленные из круглого провода, и многовитковые обмотки, изготовленные из прямоугольного провода небольшого сечения, как правило, не восстанавливают, а изготовляют вновь. Обмотки, изготовленные из прямоугольного провода большого сечения, используют повторно, заменяя витковую и корпусную изоляцию. Во всех случаях ремонта обмотки подлежит замене вся изоляция. Обмотку из круглого провода укладывают вручную, так как механизация процесса сдерживается низким качеством сердечников после извлечения обмоток, большой номенклатурой и малым числом однотипных машин.

11.1 Изготовление и укладка обмоток из круглых проводов

При ремонте изготовление и укладка обмоток осуществляются следующим образом: нарезается и заготавливается изоляция, наматываются катушечные группы (или фазы), изолируются пазы и них укладываются проводники, распаиваются схемы и выводные концы и формируются лобовые части обмотки.

При ремонте обмотки стараются сохранить все ее параметры — шаг, число витков в пазу, диаметр провода по меди, геометрическую форму. Для однослойных обмоток это не представляет трудностей. Равнокатушечная и концентрическая обмотки имеют практически одинаковую трудоемкость и одинаково удобны при укладке. В двухслойных обмотках изготовление и укладка равнокатушечной обмотки достаточно просты и несложны для понимания. Обмотки машинной намотки более сложны и трудоемки при ручном изготовлении. Поэтому при ремонте возможно одно-двухслойные концентрические и двухслойные концентрические обмотки заменять на двухслойные равнокатушечные с сохранением диаметра провода и числа проводников в пазу. При этом производят расчет шага равнокатушечной обмотки и изменяют форму катушек.



1 — рама; *2* — каретка; *3* — сменные головки; *4* — кулачки; 5 — фиксатор; *6* — ручка; 7 — направляющая; *8* — ступица; *9*— коромысло; *10* — алюминиевое кольцо; *11* — текстолитовое кольцо; *12* — рычаг; *13* — диск.

Рисунок 11.1 - Шаблоны для намотки катушек к электродвигателям с высотой оси вращения 56... 132 мм *(а)* и 160...355 мм (б)

11.2 Изготовление и укладка обмоток из прямоугольного провода

Высоковольтные катушки используют повторно. Для этого снимают старую корпусную и витковую изоляцию, наносят изоляцию вновь и укладывают катушки в статор. Удаление корпусной изоляции производят на станках (рисунок 11.3). Катушку 5 устанавливают в рабочую зону дискового ножа *2.* Сменные диски *3* позволяют установить щеки *4* на расстоянии, необходимом для удержания катушки в зоне резания. Педалью 7 и тягой 1 создают необходимое давление при резании. Ведущий нижний вал *6* обеспечивает перемещение катушки.

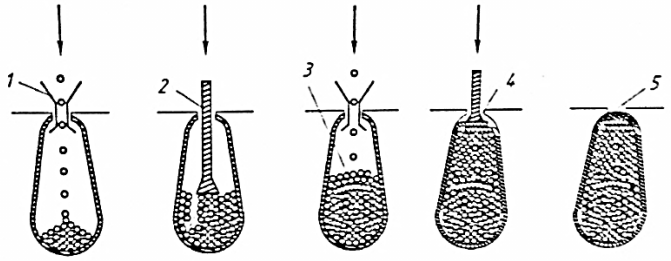


Рисунок 11.2 - Эскизы паза в процессе «всыпания» витков обмотки

После разрезания корпусной изоляции ее снимают, витки катушки раздвигают гармошкой и ножом снимают витковую изоляцию. При этом не допускают изменения формы витка. Затем на провод наматывают в полнахлеста витковую изоляцию из пленки толщиной 0,02...0,04 мм. Витки катушки сдвигают вместе и наматывают корпусную изоляцию. Тип изоляции (термопластичная или термореактивная) и число витков определяются конструктором, дальнейшее восстановление обмотки осуществляется так же, как при ее изготовлении и укладке на заводах-изготовителях машин.

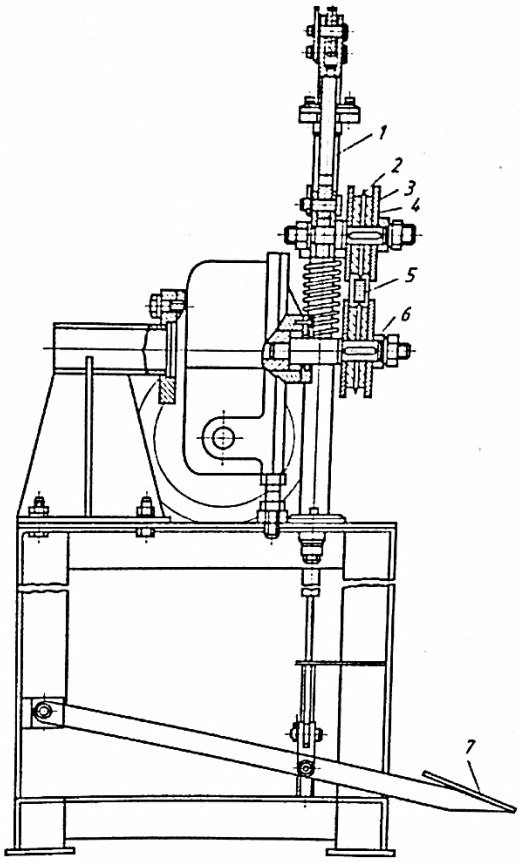


Рисунок 11.3 - Станок для удаления корпусной изоляции катушек

11.3 Ремонт стержневых обмоток роторов и обмоток полюсов

Извлеченные из пазов стержни поступают на восстановление изоляции. Старую изоляцию снимают ножом в холодном или нагретом состоянии и отжигают места, где изгибался стержень для снятия наклепа. Отжиг производят в печи или газовой горелкой, нагревая стержень до 400°С и охлаждая его в воде. После этого стержни выправляют и рихтуют, выгоревшие места напаивают твердым припоем и зачищают под размер стержня, удаляют заусенцы, зачищают концы металлической щеткой и облуживают. Затем стержни передают на изолировку и опрессовку.

Пазовые части изолируют простынками, покрытыми клеем, обкатывают на обкаточных механизмах и опрессовывают на прессах. Лобовые части изолируют лентами и передают на укладку. Технология укладки при ремонте не отличается от технологии укладки при изготовлении машины и поэтому здесь не рассматривается.

Обмотки полюсов выполняют из круглого или прямоугольного провода или сборными. Обмотки из прямоугольного провода могут быть намотаны плашмя или на ребро. Катушки из круглого провода не ремонтируют, а изготовляют вновь по технологии, принятой на электромашиностроительных заводах. Катушки, намотанные плашмя, разматывают, очищают от старой изоляции отжигают, травят и промывают в горячей воде. Намотку производят на шаблон. Витковую изоляцию из электрокартона, асбестовой ленты или миканита устанавливают в процессе намотки.

Катушки из шинной меди, намотанные на ребро, при ремонте растягивают гармошкой, очищают от старой изоляции, покрывают лаком и просушивают их в растянутом состоянии, прокладывая между витками асбестовую бумагу. Затем катушку складывают, обрезают изоляцию по размеру внутреннего и наружного контура катушки, заводят внутрь оправку и опрессовывают на прессе или стяжными шпильками при давлении 3...4 МПа. Не снижая давления, катушку нагревают до 180°С и выдерживают в течение 1 ...2 ч. Опрессованную катушку сушат, пропитывают в лаке или компаундной массе и накладывают внешнюю изоляцию.

11.4 Пропитка обмоток статоров и роторов

Обмотки статоров, роторов и катушки электрических аппаратов подвергают пропитке, которая цементирует витки обмоток, снижает механический износ изоляции, замедляет процессы теплового старения и увлажнения электроизоляционных материалов, так как она уменьшает площадь их соприкосновения с окружающей средой. При этом повышается электрическая прочность изоляции вследствие заполнения пор и капилляров обмотки лаками, имеющими более высокую электрическую прочность, чем воздух. Пропитка снижает температуру обмоток, так как теплопроводность лаков намного выше теплопроводности воздуха.

11.5 Сборка электрических машин после ремонта

Сборка является заключительным технологическим процессом, при котором комплектные и отдельные детали соединяются в готовое изделие, отвечающее требованиям чертежей и технических условий. От качества сборки в значительной мере зависят энергетические и эксплуатационные показатели машин — КПД, уровень вибраций и шума, надежность, долговечность.

Сборка электрических машин после ремонта обычно проводится стационарным концентрированным способом с индивидуальной подгонкой деталей по месту или с применением компенсаторов. Сборку необходимо

производить, используя детали и сборочные единицы, принадлежавшие данной машине, так как обезличенная сборка более сложна в организационном отношении и при ней возможны случаи, когда характеристики машины не будут соответствовать требованиям стандартов. На качество сборки влияют правильная организация рабочего места и использование исправного инструмента. Собранная машина подвергается обкатке и испытаниям.

11.6 Испытания электрических машин после ремонта

После ремонта производятся обкатка машин и приемо-сдаточные испытания по нормам, приведенным в ПТЭ. Общие методы испытаний электрических машин изложены в ГОСТ 1 1828—86*. Заключение о пригодности к эксплуатации дается не только на основании сравнения результатов испытания с нормами, но и по совокупности результатов всех проведенных испытаний и осмотров. Значения полученных при испытаниях параметров должны быть сопоставлены с исходными, а также с результатами предыдущих испытаний электрической машины.

12 Лекция № 12. Капитальный ремонт трансформаторов без разборки активной части

В отличие от электрических машин любой ремонт масляных трансформаторов, связанный с вскрытием бака, является капитальным. К капитальным относится и ремонт по типовой номенклатуре, называемый ревизией. Следует отметить, что трансформаторы большой мощности ремонтируются только по специальной для каждого трансформатора технологии.

12.1 Классификация ремонтов трансформаторов

По объему ремонтных работ различают ремонты: текущий (эксплуатационный) ремонт, капитальный без замены обмоток, капитальный с заменой обмоток, но без ремонта магнитной системы, капитальный с заменой обмоток и частичным или полным ремонтом магнитной системы.

По назначению ремонты могут быть планово-предупредительные (профилактические) и послеаварийные, как и при ремонте электрических машин. Периодичность их проведения зависит от результатов профилактических испытаний и наличия дефектов, выявленных в процессе эксплуатации и при внешнем осмотре трансформатора.

По характеру выполняемых работ выделяют следующие основные виды ремонтов: восстановительный, реконструкция и модернизация. При восстановительном ремонте параметры трансформатора и конструкция узлов и деталей не изменяются, При реконструкции параметры трансформатора сохраняются, а конструкция ряда узлов изменяется. В процессе модернизации

изменяют параметры трансформатора и, как правило, отдельные части конструкции.

12.2 Подготовка к капитальному ремонту трансформатора

Значительный объем подготовительных работ занимает подготовка масла. Масло и маслоочистительную аппаратуру доставляют ближе к ремонтной площадке, прокладывают маслопроводы, подготавливают емкости для слива старого масла, устанавливают и подключают маслоочистительную аппаратуру.

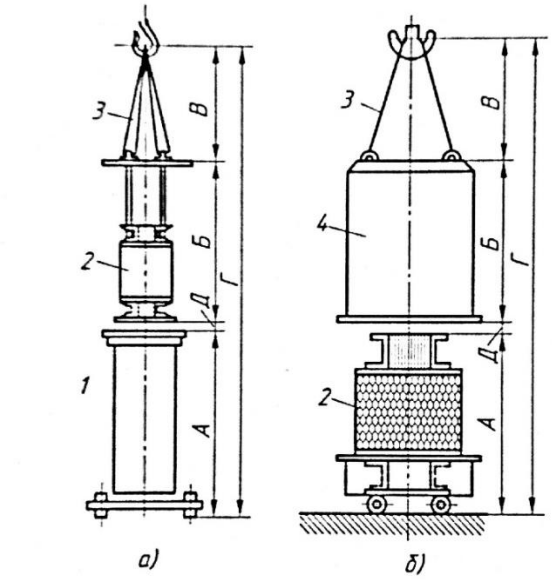


Рисунок 12.1 – Эскиз трансформатора с поднятой активной частью (а) и поднятой съемной частью бака (б)

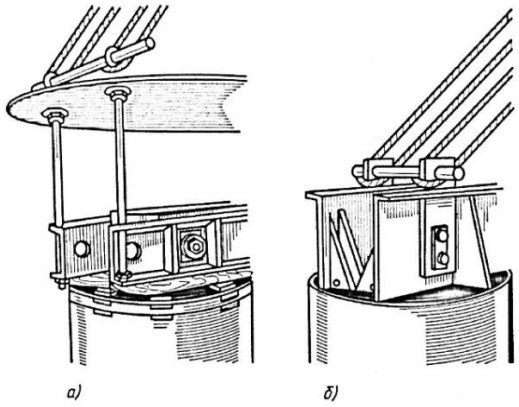


Рисунок 12.2 – Подъем активной части с помощью колец (а) и планки (б)

Наиболее ответственной является строповка и выемка активной части из бака. Для строповки на активной части имеются и подъемные кольца (рымы). У трансформаторов мощностью до 400 кВА их два, у трансформаторов большей

мощности — четыре. На подъемные кольца и крюк подъемного механизма надевают петли стропов и в отверстия колец вставляют стальные стержни. При строповке активной части, связанной с крышкой, применяют стропы необходимой длины, чтобы шпильки не сгибались (рисунок 12.2).

12.3 Ремонт активной части трансформатора

Ремонт обмоток. При ремонте проверяют качество прессовки, отсутствие деформации, исправность паек и контактов в местах соединения отводов, а также состояние изоляции обмоток и отводов. Качество изоляции определяется ее физико-химическими свойствами: эластичностью, твердостью, упругостью, цветом. Принято считать изоляцию пригодной к дальнейшей эксплуатации, если она эластична, не ломается, не дает трещин при изгибе под углом 90° и имеет светлый цвет.

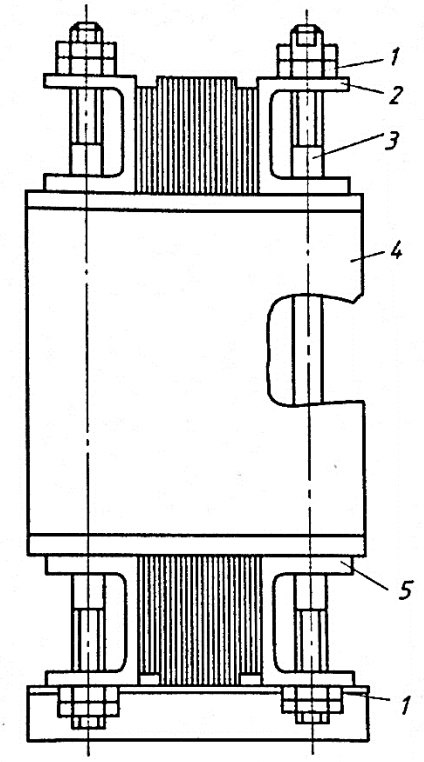
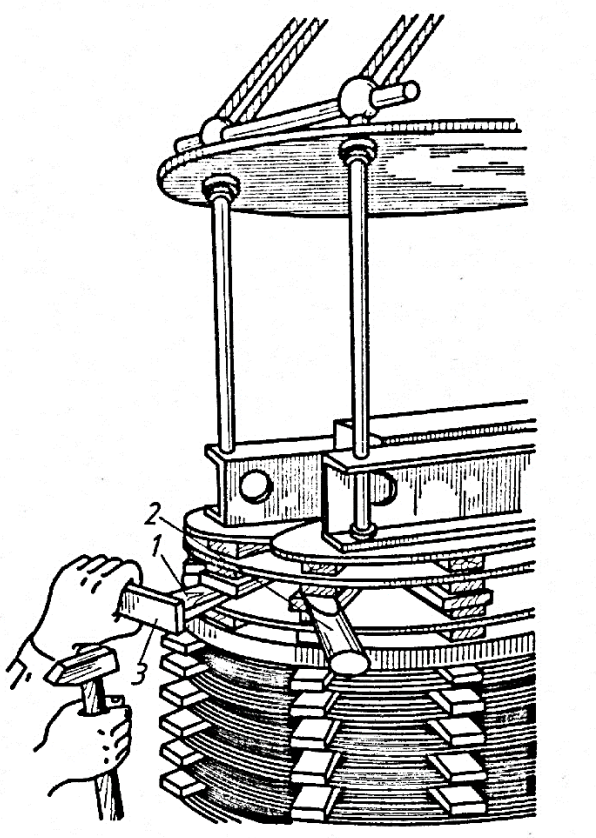


Рисунок 12.3 – Эскиз активной части трансформатора

Для равномерной прессовки обмоток на каждое прессующее кольцо устанавливают четыре-шесть винтов (у более мощных трансформаторов их число увеличивают). Для обмоток силовых трансформаторов напряжением до 1 1 0 кВ включительно применяют в основном общую кольцевую прессовку, т.е. все обмотки, размещенные на стержне, прессуют одним общим кольцом. Для трансформаторов напряжением 220 к В и более применяют раздельные кольца.

При ремонте обмоток осматривают витковую изоляцию и, если обнаруживают места повреждений, витки изолируют предварительно высушенной лентой из маслостойкой лакоткани, которую пропускают между

витками. При достаточно хорошем качестве витковой изоляции крайние витки в месте наложения дополнительной изоляции осторожно раздвигают электрокартонным клином для удобства пропуска ленты. В случае повреждения изоляции в удаленной части катушки между витками закладывают полоску из электрокартона толщиной 0,3...0,5 мм. В месте, где изоляция витка восстановлена, на катушку накладывают бандаж из тафтяной ленты вполуперекрышку. Операцию выполняют аккуратно, чтобы не повредить изоляцию других витков.



1 – дополнительный деревянный клин; 2 – вспомогательный клин;
3 – деревянный брусок.

Рисунок 12.4 - Обмотки трансформатора с прессующимися клиньями

12.4 Заключительные операции при капитальном ремонте

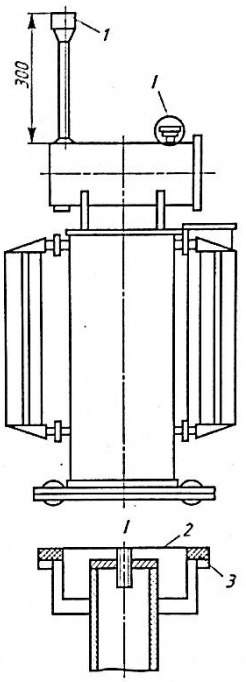
Установка активной части в бак. После ремонта крышки, комплектовки ее вводами и другой арматурой и присоединения всех отводов активную часть тщательно обтирают (за исключением обмоток, которые только промывают маслом) и окончательно осматривают. Измеряют сопротивление изоляции обмоток и стяжных шпилек, после чего переходят к предварительным испытаниям, которые позволяют оценить состояние изоляции трансформаторов. При значительном отклонении характеристик изоляции от нормированных активную часть подвергают сушке.

Уплотнение между крышкой и бортом рамы бака, как правило, заменяют. Резиновое уплотнение допускается использовать в виде длинной полосы, при этом стыки полосы склеивают и размещают между отверстиями в раме бака (рисунок 12.5).

Если при испытании дефектов не обнаружено и изоляция не увлажнена, активную часть устанавливают в бак. В зависимости от массы активной части трансформатора и его мощности применяют несколько способов ее крепления в баке.

Установка расширителя, газового реле и других устройств. После установки крышки и заливки активной части маслом монтируют все наружные узлы, в том числе расширитель, газовое реле, предохранительную трубу и другие устройства. При этом заменяют новыми все уплотняющие прокладки.

Испытание трансформатора на герметичность. После полной сборки трансформатор доливают масло из той же партии, из которой осуществлялось заполнение бака, и испытывают на герметичность. При этом для сообщения бака с наружным воздухом и заполнения устройств маслом открывают кран, установленный между газовым реле п расширителем, вывертывают верхнюю пробку расширителя, все воздушные винты и пробки на вводах, радиаторах, термосифонных фильтрах и других устройствах, где они предусмотрены. Когда масло наминает просачиваться, пробки и винты ввертывают и уплотняют (прядями асбеста). Затем масло доливают до нормального уровня в расширителе (по маслоуказателю).



1 – труба с воронкой; 2 – крышка масляного затвора; 3 – шайба.
Рисунок 12.5 – Испытание трансформатора на герметичность

13 Лекция №13. Капитальный ремонт трансформаторов с разборкой активной части

13.1 Диагностика состояния и дефектация трансформатора

Магнитопровод. При наличии дефекта в межлистовой изоляции возможны перегревы, вызываемые вихревыми токами или токами в короткозамкнутых контурах, образованных в результате разрушения изоляции массивных деталей остова от активной стали. В ряде случаев возможна конденсация влаги на поверхности масла. Попадая на верхнее ярмо, влага проникает между пластинами активной стали в виде водомасляной эмульсии, разрушает межлистовую изоляцию, вызывая коррозию стали.

Обмотки. Наиболее характерным видом повреждений в обмотках является витковое замыкание. Причиной его может быть разрушение изоляции из-за старения вследствие естественного износа или длительных перегрузок при недостаточном охлаждении. Нарушение изоляции витков может произойти, например, вследствие механических повреждений при коротких замыканиях.

При разборке трансформатора каждый узел или деталь, демонтированные с него, дефектируют и сразу определяют объем ремонтных работ, который необходимо выполнить для их последующей установки на трансформатор. По результатам дефектации активной части окончательно устанавливают объем ремонта трансформатора. При хорошем состоянии обмоток и магнитопровода активную часть ремонтируют.

13.2 Демонтаж активной части трансформатора

Демонтаж крышки и отводов. Разборку активной части, связанной с крышкой подъемными шпильками, начинают с отсоединения от переключающего устройства и вводов регулировочных и линейных отводов. Перед отсоединением отводы маркируют (с обозначением вводов и зажимов переключателя). Вводы и переключатель ответвлений демонтируют до или после съема крышки с активной части.

Приступая к демонтажу обмоток и изоляции, уже можно оценить состояние обмоток и изоляции и решить вопрос об их использовании после устранения неисправностей. Если обмотки не заменяют, а только ремонтируют или снимают для устранения неисправностей в магнитной системе (стержне или нижнем ярме), детали главной изоляции снимают, осматривают, устраняют небольшие дефекты и используют в дальнейшем. При повреждении хотя бы одной из обмоток в большинстве случаев демонтируют со стержней все обмотки, так как металлические оплавления и копоть, возникшие под действием электрической дуги, осаждаются на всех обмотках и изоляции.

После демонтажа обмоток снимают со стержня нижнюю ярмовую и уравнительную изоляцию, электрокартонный цилиндр и буковые детали расклиновки внутренней обмотки. Если из-за длительной работы и износа

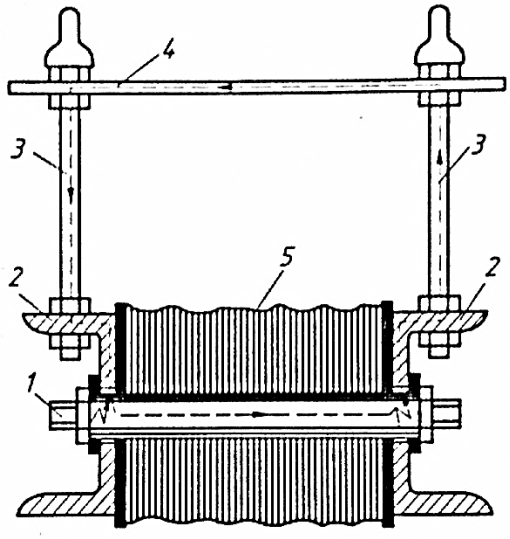
изоляции обмотки подлежат замене, *то* обычно заменяют и деревянные детали.

13.3 Ремонт обмоток и магнитной системы трансформатора

Ремонт обмоток трансформатора. Если при сильном нажатии пальцем изоляция разрушается, должен быть решен вопрос о за» мене обмоток. В ряде случаев при аварийных повреждениях обмоток, связанных с выгоранием проводов и изоляции в зоне вилкового замыкания, производят частичную перемотку обмоток. При ремонте с обмоточного провода удаляется старая изоляция, после чего он отжигается, рихтуется и переизолируется.

Перед частичной или полной перемоткой обмоток предварительно заготавливают необходимые изоляционные детали и материалы (выравнивающие бумажно-бакелитовые кольца, рейки для каналов между слоями, полосы электрокартона, бумажно-бакелитовые цилиндры, бортики и т.д.).

Ремонт магнитной системы трансформатора. Только после демонтажа обмоток оказывается возможным провести окончательную дефектировку и определить объем ремонтных работ магнитной системы. После очистки стержней и нижнего ярма от загрязнений, шлама и копоти проверяют качество и механическую прочность изоляции пластин магнитной системы, а также изоляцию ярмовых балок и пластин.



1 – шпилька; 2 – ярмовая балка; 3 – подъемная шпилька; 4 – крышка бака; 5 – ярмо.

Рисунок 13.1 – Эскиз магнитной системы при нарушении изоляции стяжной шпильки ярма

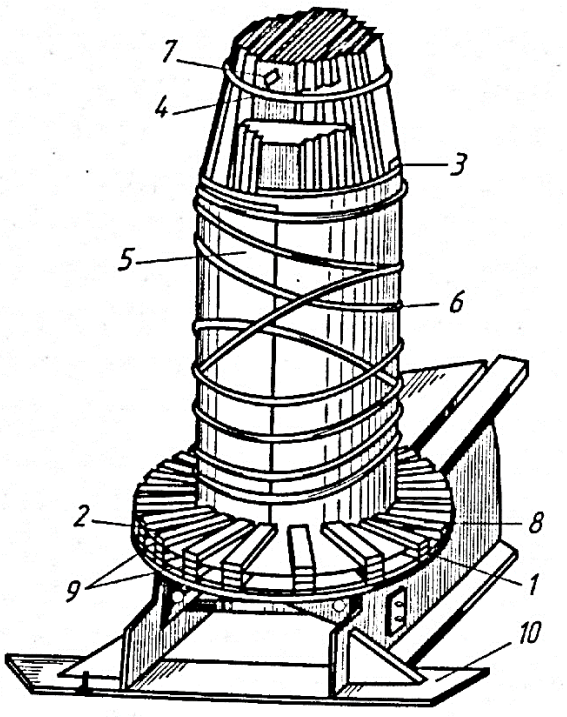
Полный ремонт магнитной системы представляет собой трудоемкую работу. Как правило, магнитная система с лаковой изоляцией пластин надежно работает в течение длительного времени. Причиной ремонта может быть,

например, аварийный процесс, возникший в результате нарушения изоляции пластин и образования контура (короткозамкнутого витка) в магнитной системе и стальных деталях остова (рисунок 13.1). По этому контуру, сцепленному с основным магнитным потоком, может протекать значительный ток, приводящий к выгоранию изоляции и стали.

Сборка магнитной системы требует большого внимания и аккуратности, так как пластины не фиксируются оправками и качество их укладки зависит от тщательности выполнения работ.

13.4 Установка изоляции и обмоток. Подпрессовка обмоток

Установку изоляции и обмоток начинают с укладки на полки ярмовых балок уравнительной изоляции (рисунок 13.2) так, чтобы ее поверхность была на одном уровне с поверхностью ярма. Затем укладывают нижнюю ярмовую опорную изоляцию с вынимающейся вставкой для прохода концов обмоток. При этом строго следят за тем, чтобы прокладки *9* ярмовой 1 и уравнительной *2* изоляции точно совпадали друг с другом.



1 – уравнительная изоляция; 2 – ярмовая изоляция; 3 – деревянная планка; 4 – ремень для стяжки верхней части стержня; 5 – цилиндр из электрокартона; 6 – киперная лента для стяжки цилиндра; 7 – отметка места окончания расшихтовки; 8 – вырез в ярмовой изоляции; 9 – прокладки; 10 – опорная пластина.

Рисунок 13.2 – Укладка нижней ярмовой и уравнительной изоляции

14 Лекция №14. Текущий ремонт, разборка и проверка работоспособности электрических аппаратов

14.1 Текущий ремонт электрических аппаратов

При каждом техобслуживании или ремонте аппарат прежде всего должен быть отключен от сети и обязательно должны быть приняты меры, исключающие возможность ошибочной подачи на него напряжения.

Оперативное обслуживание электрических аппаратов проводится как перед вводом их в эксплуатацию, так и в его процессе, в сроки, указанные в эксплуатационной документации. Оно включает в себя регулярное проведение осмотров и периодический контроль значений параметров, характеризующих режим работы. Анализ полученных данных позволяет сделать выводы об уровне работоспособности аппарата и необходимости различных видов техобслуживания или ремонта.

При проведении осмотра аппарата и его техническом обслуживании, аппарат очищают от пыли, грязи и масла, проверяют надежность крепления к стене, панели или стенду, наличие и исправность заземляющих проводов. Контролируется правильное взаимное расположение деталей в аппарате и их взаимодействие. Если конструкция аппарата позволяет выполнить указанные операции без разборки, желательно также оценить износ контактов, выработку осей, кулачков и других подвижных и неподвижных деталей. Техническое обслуживание обычно предусматривает и необходимую регулировку аппаратуры.

В состав технического обслуживания также включается профилактический контроль состояния изоляции, контактной системы

и устройств охлаждения (если они предусмотрены конструкцией), смазка и уход за доступными вращающимися и трущимися узлами, опробование резервного оборудования и средств сигнализации.

Текущие ремонты предназначены для проверки состояния, исправления или замены ограниченного числа быстроизнашивающихся и относительно несложных в ремонте узлов и деталей. При текущем ремонте заменяют узлы и детали, изношенные или не соответствующие требованиям эксплуатации. Например, пружины, контакты и обгоревшие дугогасительные камеры следует заменять на новые (заводского изготовления), однако отдельные конструктивные детали могут изготовляться или ремонтироваться в собственных мастерских. В случае необходимости могут заменяться или перематываться катушки электромагнитов. Проводимые в ходе текущих ремонтов осмотры, измерения и испытания анализируются с целью уточнения перечня работ, подлежащих выполнению в ходе последующего планового капитального ремонта.

Капитальные ремонты электрических аппаратов проводятся редко и лишь на стационарном, крупногабаритном, сложном и дорогостоящем оборудовании. Пришедшие в негодность или морально устаревшие маломощные стандартные аппараты обычно подлежат замене на новые, современные. Нецелесообразен и

сложный ремонт при значительных повреждениях, устранение которых невозможно силами ремонтного цеха или мастерской.

14.2 Классификация контактов и причины их повреждений

Одной из наиболее частых причин выхода из строя электрического аппарата является недопустимый нагрев его токопроводящих частей или отказ контактной системы, используемой в большинстве электроустановок.

Электрический контакт — это место перехода тока из одной токоведущей детали в другую. Контактирование — наличие электрического контакта. Контакт-деталь представляет собой токоведущую деталь устройства, с помощью которой осуществляется коммутация, т.е. процесс замыкания, размыкания или переключения электрической цепи. Контактный узел — конструктивный узел устройства, осуществляющий контакт электрической цепи.

Под контактным соединением понимают контактный узел, образующий неразмыкаемый контакт:

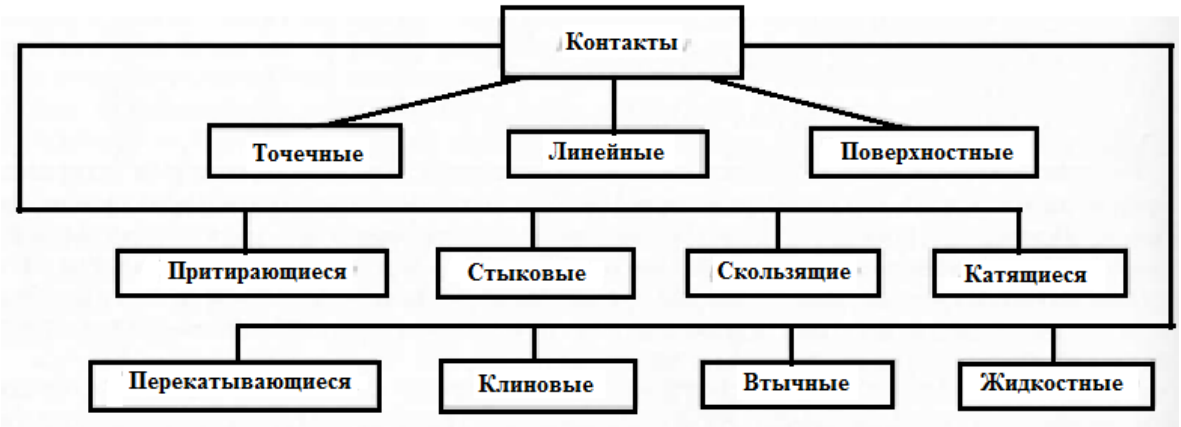


Рисунок 14.1 – Виды исполнения контактов

14.3 Проверка электрических цепей аппаратов

Для проверки электрических цепей обычно используется *непосредственный способ,* не требующий создания вспомогательных электрических цепей. Для контроля могут быть использованы различные средства технического оснащения, но все они работают по принципу пробника — устройства, состоящего из источника питания, индикатора целостности цепи, токоограничивающего резистора и щупов. В качестве индикатора целостности цепи могут быть использованы достаточно чувствительные стрелочные приборы, лампочки, звуковые индикаторы и др. Однако при проверке получаемая о дефектах информация может искажаться. Ошибки часто возникают из-за шунтирования проверяемой цепи другими цепями схемы, наличия полупроводниковых элементов либо из-за образования дополнительных электрических цепей вследствие замыканий. Для исключения

ошибок необходимо перед подключением пробника проанализировать схему аппарата и при наличии контактов, шунтирующих проверяемую цепь, принудительно разомкнуть или отключить их.

При анализе схемы следует обратить внимание на возможность образования ложных цепей через диоды при той или иной полярности щупов пробника, а также через нагрузку (лампы, обмотки электродвигателей или трансформаторов и др.). Не следует также забывать, что нагрузка может быть подключена не только последовательно, но и параллельно проверяемой цепи. В этом случае она может оказывать такое же влияние, как размыкающиеся контакты или диоды. Поэтому перед проверкой может потребоваться отключение нагрузки.

Рассмотрим несколько типичных примеров обнаружения ошибок при проверке электрических цепей аппаратов.

Пусть необходимо проверить нумерацию выводов в схеме аппарата (рисунок 14.2) с полупроводниковыми диодами (в такой схеме возможно образование ложных электрических цепей). Подключим один из щупов заведомо исправного пробника к выводу /, и, поочередно прикасаясь другим щупом к выводам 2, *3, 4,* увидим, что показания индикатора ничем не отличаются. Это говорит о том, что дефект либо существует в самой схеме, либо внесен нашими неправильными действиями. Рассмотрим поочередно возникающие цепи.

При подключении пробника к выводам *1 — 3* образуется замкнутая цепь: минусовой щуп пробника — вывод 1 — контакт *К* -вывод *2* — диод *VI* — вывод *3* — плюсовой щуп пробника. Следовательно, выводы 1 и 3 нельзя отличить. Обратим внимание на то, что в цепь включен диод, сопротивление которого зависит от полярности прикладываемого к его выводам напряжения. Переключим пробник так, чтобы к выводу был подключен плюсовой щуп пробника. В этом случае показания пробника равны нулю, что соответствует разомкнутой цепи. Поэтому выводы 1 и *3* можно отличить. Аналогично можно проверить цепь *1—4*. Таким образом, при проверке электрических цепей с полупроводниковыми диодами необходимо учитывать полярность щупов пробника.

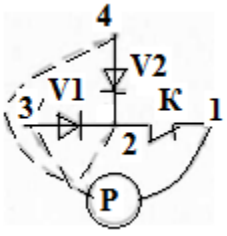


Рисунок 14.2 – Образование цепи через диоды

14.4 Разборка электрических аппаратов

Перед разборкой электрического аппарата или аппаратного комплекса, доставленного на площадку разборки ремонтного цеха, проводят тщательный внешний осмотр для выявления заметных механических или термических повреждений корпуса и навесных устройств. О замеченных неисправностях делают записи в дефектировочных картах. Аппарат протирают ветошью, а если необходимо, чистят кистями и щетками либо моют с применением мыльных растворов или растворителей.

Порядок разборки каждого ремонтируемого электрического аппарата определяется его конструкцией и необходимостью сохранения имеющихся исправных частей, а степень разборки — объемом и характером предстоящего ремонта. Если предварительный осмотр и испытания позволяют судить о характере предстоящего ремонта, то до начала разборки аппарата надо проверить наличие требуемых для ремонта материалов, изделий и запасных деталей, соответствующих размеров, марок и характеристик.

15 Лекция №15. Содержание ремонтов электрических аппаратов

15.1 Ремонт рубильников и переключателей

Объем и содержание технического обслуживания и ремонта рубильников и переключателей приведены в таблице 15.1.

Т а б л и ц а 15.1

Содержание ТО и ремонтов	Способ выполнения
Устранение дефектов у контактных ножей и губок	Осмотреть и очистить от грязи и пыли. Оплавленные контактные поверхности зачистить наждачной бумагой или напильником с целью удаления наплывов. При сильном оплавлении и износе заменить ножи и губки на новые
Проверка крепежных деталей, шарнирных соединений и пружин	Подтянуть все крепежные детали. Произвести смазку шарнирных соединений техническим вазелином, несколько ослабив их крепление, с тем, чтобы вазелин проник вовнутрь, а затем подтянуть. Шарнирные токопроводящие соединения должны иметь тарельчатые шайбы, которые обеспечивают надежный контакт в соединении. Проверить состояние пружин и пружинных скоб, ослабленные заменить новыми
Проверка и регулировка плотности вхождения	Добиться такого положения, чтобы ножи входили в губки без ударов и перекосов, нос некоторым усилием, а контактные поверхности в плоских контактах плотно прилегали друг к другу. Плотность нажатия контактов

контактов	проверить щупом толщиной 0,05 мм, который должен входить между ножом и губкой на глубину не более 6 мм. Глубину вхождения ножен в губки у рубильников с рычажным приводом отрегулировать, изменяя длину тяги от рукоятки к рубильнику. Вся контактная часть ножа должна войти в губки, не доходя до контактной площадки 2...4 мм

15.2 Ремонт реостатов и резисторов

В таблице 15.2 приведены операции по ремонту реостатов и способы их выполнения.

Таблица 15.2

Ремонтные операции	Способ выполнения
Внешний осмотр, разборка	Осмотреть, удалить пыль и грязь со всех внутренних деталей аппарата, проверить состояние зажимных контактов и контактных соединений
Проверка поврежденных резисторов	При необходимости частично отремонтировать с помощью электродуговой сварки или заменить новыми. Отклонение значений сопротивлений на любом контакте реостата не должно отличаться более чем на ± 10 %
Замена или восстановление контактов	Закопченные контакты промыть бензином и протереть ветошью, слегка обгоревшие — опилить напильником, снимая наименьшее количество металла и сохраняя геометрическую форму контактов, сильно оплавленные заменяют новыми
Ремонтные операции	Способ выполнения
Проверка изношенных частей электроизоляционных деталей	Неисправные электроизоляционные детали — втулки, изоляторы, шайбы, прокладки — заменить новыми
Сборка схемы соединений и регулировка	Элементы собрать согласно схеме реостата. Проверить непрерывность электрической цепи обмоток элементов сопротивлений, правильность схемы соединения, плавность хода контактирующей щетки

15.3 Ремонт автоматических выключателей, контакторов и магнитных пускателей

Во всех аппаратах обслуживанию и ремонту в подавляющем большинстве случаев подвергаются *контактные группы и дугогасительные камеры.* Простейшие контактные группы обычно не ремонтируются и при их наличии на складе заменяются на новые. Контакты с содержанием драгоценных металлов (серебро, золото, платина) не выбрасываются, а сдаются на утилизацию. Сложные контакты и контакты с проводящими на кладками могут быть отремонтированы самостоятельно или на ремонтном предприятии путем сварки или пайки одним из следующих методов: контактной (точечной), диффузионной, холодной, ультразвуковой или электронно-лучевой сварки, сварки и пайки в вакууме, ультразвуковой металлизации.

Контактная сварка относится к термомеханическим методам и позволяет соединить контактирующие накладки с конструктивной частью контактной группы.

Диффузионная сварка частей контактов выполняется при повышенных температурах (нагрев токами высокой частоты) с приложением необходимых давлений на свариваемые элементы. Сварка производится при разрежении 10^{-1}... 10^{-3} Па в вакуумной камере, основана на взаимной диффузии атомов в поверхностных слоях свариваемых материалов и позволяет получить надежные соединения металлокерамических контактных накладок с металлическими элементами контактных систем.

Холодная сварка. В этом случае связи между атомами соединяемых металлов возникают без внешнего подвода теплоты при обеспечении одновременной пластической деформации зоны соприкосновения. Соединяемые поверхности предварительно зачищаются. Степень деформации контактных материалов (Ag —Си, Ag — Ni, Ag —CdO) и металлов контактодержателей (медь, бронза, латунь) весьма велика.

Ультразвуковая сварка применяется в тех случаях, когда необходимо избежать общего нагрева контактирующих элементов и исключить изменение их физико-технических свойств. Энергия в этом случае подводится к месту соединения в форме механических колебаний ультразвуковой частоты. Тем не менее ультразвуковая сварка является процессом термомеханическим, поскольку в месте соединения не вся энергия колебаний затрачивается на деформацию микронеровностей, а значительная часть ее расходуется на выделение теплоты.

Электронно-лучевая сварка основана на превращении кинетической энергии электрона в тепловую энергию (механическое давление при этом отсутствует). Этот метод используется для ремонта контактов слаботочных реле, а также в тех случаях, когда к свариваемым элементам нельзя прикладывать механические усилия (контакты реле защиты).

Сварка и пайка в вакууме используется при нанесении слоя одного металла или сплава на другой (серебра на медь, меди на алюминий и др.). При ремонте контактных накладок соединяемая поверхность более легкоплавкого

металла нагревается в вакууме до температуры, превышающей температуру его плавления, и, таким образом, выполняет роль припоя.

Ультразвуковая металлизация. Используя ультразвук, можно осуществлять металлизацию поверхностей контактных деталей другим металлом. Металлизация осуществляется при частоте колебаний ультразвукового инструмента, равной 20 кГц, и амплитудах колебательного смещения 3... 10 мкм, формирующих кавитацию в расплаве. Таким способом можно восстанавливать лишь тонкие проводящие пленки на поверхности контактов.

Дугогасительные камеры. Эффективность и ресурс дугогасительных устройств коммутационных аппаратов в значительной мере зависят от свойств дугогасящей среды, материала контактных, изоляционных и конструктивных элементов и их конструктивно-технологических особенностей. Дугогасительные камеры, выработавшие ресурс, подвергшиеся износу или находящиеся в аварийном состоянии предпочтительно заменить на новые (на складе должен храниться их экономически обоснованный запас).

15.4 Особенности ремонта аппаратуры для пуска двигателя

В настоящее время все чаще используются электромеханические аппараты с применением элементов силовой электроники и электронные силовые аппараты. Например, уже широко известны тиристорные магнитные пускатели. Они предназначены для дистанционного или местного управления и защиты от перегрузки и токов короткого замыкания асинхронных короткозамкнутых двигателей.

По сравнению с магнитными тиристорные пускатели имеют следующие преимущества: отсутствие механических коммутирующих контактов, что исключает образование электрической дуги при коммутации, плавный пуск электродвигателя, большой срок службы.

На промышленных предприятиях применяют тиристорные пускатели.

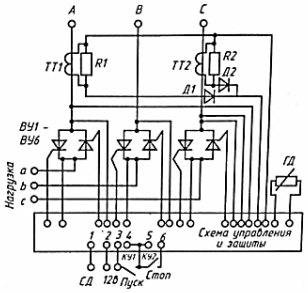


Рисунок 15.1 - Электрическая схема тиристорного пускателя ПТ40 -380

ПТ40-380, ПТ40-380Д (реверсивные) и другие пусковые тиристорные устройства. Электрическая схема тиристорного пускателя ПТ40-380 приведена на рисунке 15.1.

Список литературы

1 Акимова И.А., Котеленец Н.Ф., Сентюрихин Н.И. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования.- М.: Академия, 2008.

2 Куценко Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок: практическое пособие. – Мн.: Дизайн ПРО, 2006.

3 Субикин Ю Д. Технология электромонтажных работ: Учебное пособие. – М.:Высшая школа, 2002.

4 Справочник по ремонту и наладке электрооборудования /Под общ. ред. В.С. Вьюнова, 2002.

5 Доценко В.А., Сивков А.А., Герасимов Д.Ю. Монтаж, ремонт и эксплуатация электрических распределительных сетей в системах электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие.- Томск: Изд. ТПУ, 2007.

6 Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007.

7 Справочник по строительству и реконструкции линий электропередачи напряжением 0,4-750 кВ /Под ред. Гологорского Е.Г.- М.: Из-во НЦ ЭНАС, 2008.

8 Макаров Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования и сетей.- М.: Академия: ИРПО, 2003.

9 Соколов С.Е., Сажин В.Н. Эксплуатация и ремонт воздушных и кабельных линий: Учебное пособие. – Алматы: АИЭС, 2005.

10 Соколов С.Е, Сажин В.Н., Генбач Н.А. Электрические сети и системы: Учебное пособие. – АУЭС, 2010.

Сводный план 2018 г. поз. 196

Умербек Матаевич Матаев
Абдугани Абдужалилович Абдурахманов
Даулет МейирулыТойбазар

МОНТАЖ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Конспект лекций
для студентов специальности 5В071800 - Электроэнергетика

Редактор Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать
Тираж 150 экз.
Объем 4.1 уч. изд. л.

Формат 60х84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ № Цена 2400 тенге

Копировально-множительное бюро
Некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126

83

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ
Кафедра «Электрические станции и электроэнергетические системы

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебно-методической работе
_____С.В. Коньшин
“_____” _____2018 г.

МОНТАЖ И РЕМОНТ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Конспект лекций
для студентов специальности 5В071800 - Электроэнергетика,

СОГЛАСОВАНО:
Начальник УМО

_____ Р.Р. Мухамеджанова

“_____” _____2018 г.

Рассмотрено и одобрено на
заседании кафедры ЭСиЭЭС

Протокол_____

Зав. кафедрой
_____ Е.К. Умбеткулов

Редактор
_____

“____” _____ 2018 г.

Составители:
_____ У.М. Матаев

_____А.А. Абдурахманов

Специалист по стандартизации

_____

“____” _____ 2018 г.

_____Д.М. Тойбазар

Председатель ОУМК по МО и Э

_____ Б.К. Курпенов

«_____» _____ 2018 г.

Алматы 2018 г.

Содержание

Введение……3
1 Лекция №1. Общие вопросы эксплуатации и ремонта……...4
2 Лекция №2. Монтаж распределительных электрических сетей….....9
3 Лекция №3. Монтаж электрических машин и трансформаторов.....15
4 Лекция №4. Эксплуатация электрических сетей, пускорегулирующей аппаратуры, аппаратуры защиты, управления и контроля……..23
5 Лекция №5. Эксплуатация электрических машин…….27
6 Лекция №6.Эксплуатация трансформаторов…….....33
7 Лекция №7.Организация и структура электроремонтного производства...35
8 Лекция №8.Содержание ремонтов. Разборка электрических машин…….39
9 Лекция №9. Разборка электрических машин и их дефектация.....49
10 Лекция №10.Ремонт магнитопроводов и механических деталей……..54
11 Лекция №11. Ремонт обмоток и сборка электрических машин после ремонта……61
12 Лекция №12. Капитальный ремонт трансформаторов без разборки активной части……65
13 Лекция №13.Капитальный ремонт трансформаторов с разборкой активной части……70
14 Лекция №14.Текущий ремонт, разборка и проверка работоспособности электрических аппаратов……73
15 Лекция №15.Содержание ремонтов электрических аппаратов……76
Список литературы…….....80