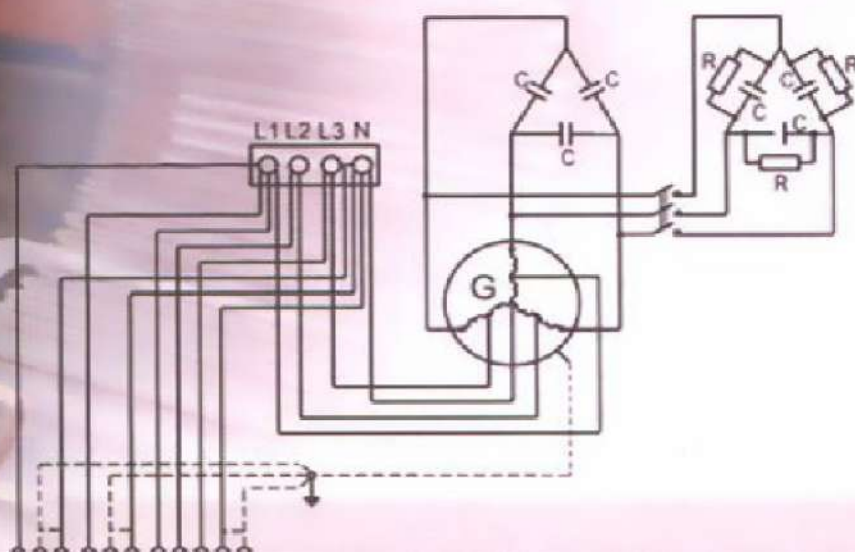




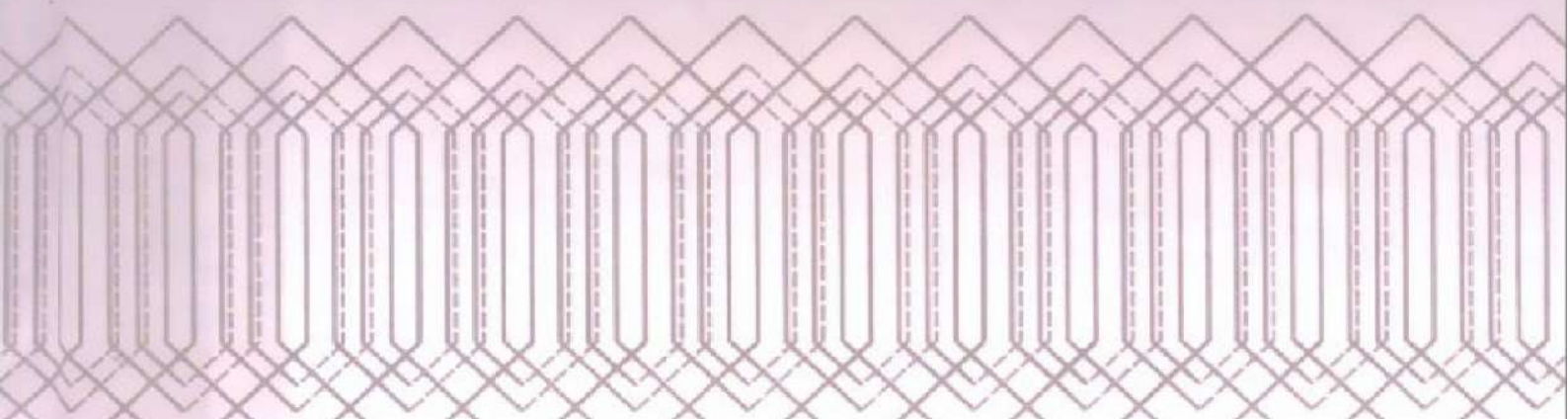
**Л.В. ДОЛОМАНЮК
О.Ю. МАРКИН
А.Е. СИДОРОВ**



МОНТАЖ, НАЛАДКА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН



Учебное пособие



Л.В. ДОЛОМАНЮК, О.Ю. МАРКИН, А.Е. СИДОРОВ

**МОНТАЖ, НАЛАДКА,
ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**



Учебное пособие

Казань
2015

УДК 621.757

ББК 31.26

Д64

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Казанского государственного
энергетического университета *Ю.В. Корнилов*;
кандидат технических наук, профессор Казанского государственного
энергетического университета *П.П. Павлов*;
доктор технических наук, профессор Уфимского государственного
авиационного технического университета *И.Х. Хайруллин*

Л.В. Долomanюк, Маркин О.Ю., А.Е. Сидоров

Д64 Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт электрических машин:
учеб. пособие / Л.В. Долomanюк, О.Ю. Маркин, А.Е. Сидоров. –
Казань: Казан, гос. энерг. ун-т, 2015. – 275 с.

Учебное пособие предназначено для изучения дисциплины «Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий». Использование представленного материала даст возможность обучающимся получить достаточно глубокие знания по монтажу, наладке, эксплуатации и ремонту электрических машин, которые нашли широкое применение в промышленности, организациях и учреждениях.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника», изучающих дисциплины «Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий», «Системы электроснабжения промышленных предприятий», «Электрические и электронные аппараты» и ряд других дисциплин по данному направлению. Представленный материал может быть полезен студентам и аспирантам широкого круга электроэнергетического направления подготовки при изучении ими дисциплин, связанных с электрическими машинами и электродвигателями, а также преподавателям, ведущим соответствующие дисциплины, и специалистам, работа которых связана с монтажом, наладкой, эксплуатацией и ремонтом электрических машин. Содержание учебного пособия отвечает требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

УДК 621.757

ББК 31.26

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие написано в соответствии с учебной программой по дисциплине «Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий» для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» по профилям «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» и «Электроснабжение промышленных предприятий».

Целью издания являются изучение основ и особенностей проведения работ по монтажу и наладке электрооборудования и средств автоматизации, а так же проведения электромонтажных и наладочных работ для промышленных предприятий и в целом в системе электроснабжения.

Оно может быть полезно и для инженеров-электриков, монтажников и ремонтно-обслуживающего персонала, работающих в области монтажа, наладки, эксплуатации и ремонта электрических машин промышленных предприятий, хозяйств и учреждений.

В учебном пособии принят следующий порядок изложения тем материала: монтаж электрических машин, наладка и испытание электрических машин, техническая эксплуатация электрических машин, ремонт электрических машин, отыскание и устранение неисправностей в электрических машинах. В приложениях представлены оборудование и приспособления, применяемые для ремонта электрических машин и их описание.

В процессе изучения данного учебного пособия студент может сформировать и продемонстрировать следующие компетенции:

- способность к самоорганизации и самообразованию;
- способность использовать методы анализа и моделирования электрических цепей;
- способность принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования;
- способность проводить обоснование проектных решений;

- готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике;
- способность использовать технические средства для измерения и контроля основных параметров технологического процесса;
- способность к участию в монтаже элементов оборудования объектов профессиональной деятельности;
- готовность к участию в испытаниях вводимого в эксплуатацию электроэнергетического и электротехнического оборудования;
- способность участвовать в пуско-наладочных работах;
- способность применять методы и технические средства эксплуатационных испытаний и диагностики электроэнергетического и электротехнического оборудования;
- способность оценивать техническое состояние и остаточный ресурс оборудования;
- готовность к участию в выполнении ремонтов оборудования по заданной методике.

Авторы выражают благодарность рецензентам работы за полезные замечания.

Особую признательность авторы выражают профессорам кафедр «Приборостроение и автоматизированный электропривод» д.т.н. Владимиру Юрьевичу Корнилову и «Электрический транспорт» к.т.н. Павлу Павловичу Павлову за ценные замечания и предложения.

ВВЕДЕНИЕ

Современная система электроснабжения любого промышленного предприятия должна удовлетворять ряду требований: экономичности и надежности, безопасности и удобству эксплуатации, обеспечению надлежащего качества электроэнергии, уровней напряжения, стабильности частоты и т.п. Монтаж оборудования, его последующая эксплуатация выполняются в соответствии с проектно-сметной документацией, отраслевыми правилами, нормами, заводскими инструкциями и другими нормативно-техническими документами. Специалист должен знать нормативно-технические документы, уметь вести эксплуатационную документацию по электрооборудованию. При этом должны также предусматриваться кратчайшие сроки выполнения строительно-монтажных работ, которые включают в себя такие важные мероприятия как составление проектной документации, которая обязана соответствовать требованиям нормативных документов, регламентирующих электромонтажные работы:

- строительным нормам и правилам (СНиП);
- государственным стандартам (ГОСТ) в области строительства;
- правилам устройства электроустановок (ПУЭ);
- правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ ЭП).

Организация электромонтажных работ возлагается на подрядчика и состоит из трех основных этапов.

На первом инженерно-техническом этапе производится приемка, проверка и изучение проектно-сметной документации; в проектной документации должен быть предусмотрен проект организации строительства (ПОС), на основе которого электромонтажной организацией разрабатывается проект производства электромонтажных работ (ППЭР).

На втором организационном этапе выполняется приемка от строителей под монтаж оборудования зданий, сооружений, фундаментов, проемов и ниш в конструкциях зданий и сооружений; контролируется установка закладных деталей, проверяется наличие предусмотренных проектом стационарных кран-балок, монтажных тележек и талей.

На третьем материально-техническом этапе осуществляется обеспечение и комплектация электромонтажных работ оборудованием, материалами, изделиями, монтажными заготовками; на этом же этапе выполняется оснащение монтажных работ механизмами, инструментами, инвентарем и средствами безопасного труда.

Так же нельзя забывать про необходимость гибкости системы, обеспечивающая возможность расширения при развитии предприятия без существенного усложнения и удорожания первоначального варианта. При этом должны по возможности применяться решения, требующие минимальных расходов цветных металлов и электроэнергии.

Таким образом, мы видим многообразие условий, которые необходимо учитывать при проектировании электроснабжения предприятий разных отраслей промышленности, не позволяет в ряде случаев дать однозначные рекомендации по некоторым вопросам. Они должны решаться путем тщательного анализа специфических требований, предъявляемых к электроснабжению данным видом производства или данной отраслью промышленности. Поэтому приведенные в пособии рекомендации не следует рассматривать как единственно возможные. В отдельных частных случаях возможны и неизбежны отступления от них, вытекающие из местных условий и из опыта проектирования в данной отрасли.

ГЛАВА I. МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1.1. Определение, классификация, конструктивные особенности и краткая характеристика электрических машин

Для приведения в движение любого исполнительного механизма, нужен электродвигатель, преобразующий электрическую энергию в механическую, а для преобразования механической энергии в электрическую – электрогенератор.

Электрическая машина – основной преобразователь механической энергии в электрическую и электрической в механическую.

По назначению электрические машины могут быть разделены следующим образом.

1. Генераторы, служащие для преобразования механической энергии в электрическую.

2. Двигатели, используемые для преобразования электрической энергии в механическую.

3. Преобразователи, предназначенные для преобразования электрической энергии с одними параметрами (род тока, напряжение, частота, число фаз переменного тока) в электрическую энергию с другими параметрами.

Электромеханическое преобразование энергии в электрических машинах основано на явлении электромагнитной индукции и связано с электродвижущими силами (ЭДС), которые индуцируются в процессе периодического изменения магнитного поля, происходящем при механическом перемещении обмоток или элементов магнитопровода.

Электрические машины, действие которых основано на законе электромагнитной индукции, называются *индуктивными*.

В зависимости от рода тока электрические машины разделяются на машины постоянного и переменного тока [1, с. 7–9].

Индуктивная электрическая машина состоит из двух основных частей: подвижной и неподвижной. Неподвижная часть – *статор*, состоит из сердечника той или иной конфигурации, одной или нескольких обмоток и конструктивных деталей, с помощью которых всем элементам статора придается определенное положение в пространстве.

Подвижная часть состоит из сердечника, одной или нескольких обмоток, а также конструктивных деталей, с помощью которых

обеспечивается перемещение подвижной части относительно неподвижной в определенном направлении и передается сопряженной машине преобразованная механическая энергия.

Машины, в которых подвижная часть вращается, изменяя свое угловое положение относительно статора, называются *вращающимися*, а их подвижная часть – *ротором*.

Наиболее распространены цилиндрические вращающиеся машины, в которых цилиндрический ротор располагается внутри статора, имеющего форму полого цилиндра.

В ряде случаев находят применение машины с внешним ротором, в которых неподвижный статор располагается внутри ротора.

Вращающиеся машины, у которых статор и ротор имеют форму дисков, обращенных один к другому плоскими торцевыми поверхностями, называются *торцевыми*.

Реже применяются электрические машины, в которых подвижная часть перемещается поступательно, изменяя свое линейное положение относительно статора. Такие машины называются *линейными* и имеют два возможных исполнения: плоское или цилиндрическое.

Известны три принципиально возможных исполнения электрической машины, при которых индуктивности ее обмоток зависят от углового положения ротора и изменяются периодически во времени при вращении ротора:

- 1) машина с одной обмоткой на статоре и одной обмоткой на роторе;
- 2) машина с одной обмоткой на статоре и с зубчатым сердечником ротора;
- 3) машина с двумя обмотками на статоре и с зубчатым сердечником ротора.

Каждое из исполнений имеет дополнительные модификации.

Исполнение машины с одной обмоткой на статоре и одной обмоткой на роторе применяется наиболее часто. При этом чаще всего используется модификация с однофазными или многофазными разноименно полюсными обмотками, выполненными с одинаковым числом периодов поля. Именно таким образом устроены наиболее распространенные машины переменного тока: асинхронные машины и синхронные машины в обычном исполнении.

Электрические машины можно классифицировать по различным признакам [1, с. 25–39]. На рис. 1 представлена классификация электрических машин по роду тока, принципу действия и типу возбуждения.



Рис. 1. Классификация электрических машин

К машинам переменного тока относятся также и коллекторные двигатели. В коллекторных двигателях переменного тока в обмотке якоря через преобразователь частоты – коллектор – подводится напряжение изменяющейся частоты.

Коллектор преобразует переменный ток постоянной частоты сети в переменный ток регулируемой частоты. К обмоткам статора подводится переменный ток.

В машинах постоянного тока механический преобразователь частоты – коллектор – может быть заменен коммутатором на полупроводниковых приборах (вентильные машины). В вентильных машинах обмотка возбуждения обычно располагается на роторе. Обмотка переменного тока выполняется на статоре и имеет обычно три–четыре фазы, подключенные к коммутатору.

Согласно ГОСТ 2479-79 электрические машины классифицируются по конструктивному исполнению и способу монтажа, условное обозначение которых состоит из буквенной части ИМ и следующих за ней

четырёх цифр. Первая цифра является номером группы, в которую входит машина по конструктивному исполнению. Деление на группы конструктивных исполнений электрических машин представлено табл. 1.

Таблица 1.1

Группы конструктивных исполнений электрических машин

№ п/п	Условное обозначение группы	Конструктивное исполнение машин
1	IM1	Машины на лапах с подшипниковыми щитами
2	IM2	Машины на лапах с подшипниковыми щитами, с фланцем на подшипниковом щите
3	IM3	Машины без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном подшипниковом щите
4	IM4	Машины без лап с подшипниковыми щитами, с фланцем на станине
5	IM5	Машины без подшипников
6	IM6	Машины с подшипниковыми щитами и стояковыми подшипниками
7	IM7	Машины со стояковыми подшипниками (без подшипниковых щитов)
8	IM8	Машины с вертикальным валом, не охватываемые группами от IM1 до IM4
9	IM9	Машины специального исполнения по способу монтажа

В каждой из девяти групп машины подразделяются в зависимости от способа монтажа (вторая и третья цифры в условном обозначении). Количество и исполнение концов вала обозначаются с помощью четвертой цифры.

Пример условного обозначения электрической машины с двумя подшипниковыми щитами, на лапах, с горизонтальным валом и одним цилиндрическим концом вала: IM1001 (ГОСТ 2479-79).

Наиболее распространенные по конструктивному исполнению и способу монтажа виды электрических машин схематически изображены на рис. 2.

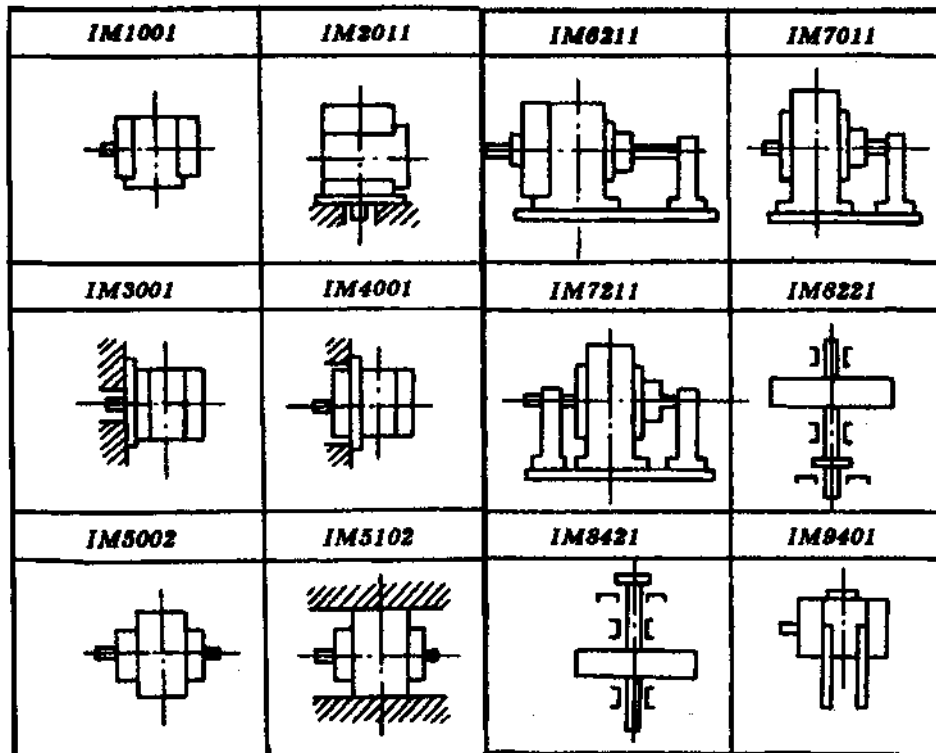


Рис. 2. Формы исполнения электрических машин

По степени защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями, находящимися внутри машины, и попадания посторонних тел внутрь машины, а также по степени защиты от проникновения воды внутрь машины согласно ГОСТ 17494-72 [4, с. 15–29], распространяющемуся на машины электрические напряжением до 1000 В (кроме машин для работы во взрывоопасной среде и в особых климатических условиях — тропических, при воздействии влажности, инея, химических реагентов, плесневых грибков и т.п.), имеются следующие исполнения (их характеристика и расшифровка обозначений даны в ГОСТ 14254-80):

1. Открытая электрическая машина (IP00).
2. Защищенная от прикосновения и попадания посторонних предметов машина (IP 10, IP20).
3. Каплезащищенная машина: защищенная от капель воды (IP01); защищенная от капель воды и от прикосновения и попадания посторонних предметов (IP11, IP21, IP12, IP22, IP13, IP23, IP43).
4. Брызгозащищенная машина: защищенная от брызг и прикосновения и попадания посторонних предметов (IP44, IP54).
5. Машина, защищенная от водяных струй, прикосновения, попадания посторонних предметов и вредных отложений пыли (IP55).

6. Машина, защищенная от захлестывания морской волной на палубе корабля, прикосновения, попадания посторонних предметов и вредных отложений пыли (IP56).

7. Машина, защищенная от проникновения воды внутрь при кратковременном погружении в воду (IP57).

8. Машина, защищенная от проникновения воды внутрь при неограниченно длительном погружении в воду (IP58).

Кроме того, выпускаются машины, предназначенные для работы во взрывоопасной среде и в особых климатических условиях:

9. Взрывозащищенная машина, предназначенная для работы во взрывоопасной среде и устроенная таким образом, что при взрыве газов внутри машины возникающее пламя не может проникнуть в окружающую среду.

10. Влагостойкая электрическая машина – для работы при большой влажности.

11. Морозостойкая электрическая машина – для работы при возможном образовании инея.

12. Химстойкая машина – для работы при воздействии химических реагентов.

13. Тропическая электрическая машина – для работы при возможном образовании плесневых грибов.

Конструктивное устройство генераторов и электродвигателей почти одинаково. В особенности это относится к машинам малой и средней мощности.

Наиболее распространенными электродвигателями являются асинхронные трехфазные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Широкое применение их обусловлено простотой конструкции и высокой надежностью в эксплуатации. Кроме того, управление этими электродвигателями легче всего поддается автоматизации. Их основные недостатки – относительно низкий коэффициент мощности и снижение частоты вращения при возрастании нагрузки.

Электродвигатель характеризуется мощностью в киловаттах, напряжением в вольтах, потребляемым током в амперах, частотой вращения, определяемой числом оборотов в минуту. Эти данные, а также заводской номер, тип электродвигателя и наименование завода, изготовившего электродвигатель, содержатся в табличке, прикрепляемой к корпусу электродвигателя.

Асинхронные электродвигатели серии 4А (рис. 3) имеют следующие преимущества по сравнению с двигателями других серий: меньшие масса

(в среднем на 18 %), габариты, высота оси вращения и другие установочные размеры; сниженные уровни воздушного шума и вибраций; большие пусковые моменты, большее удобство при монтаже и эксплуатации; повышенная надежность.

Обозначение электродвигателей серии 4А расшифровывается следующим образом, например: 4АН200LB8: 4 – номер серии; А – асинхронный; Н – защищенный; 200 – высота оси вращения, мм; L (S, M) – установочные размеры по длине корпуса; В (А) – длина сердечника (указывается, когда на одном установочном размере предусмотрены две мощности); 8 (2, 4, 6) – число пар полюсов.

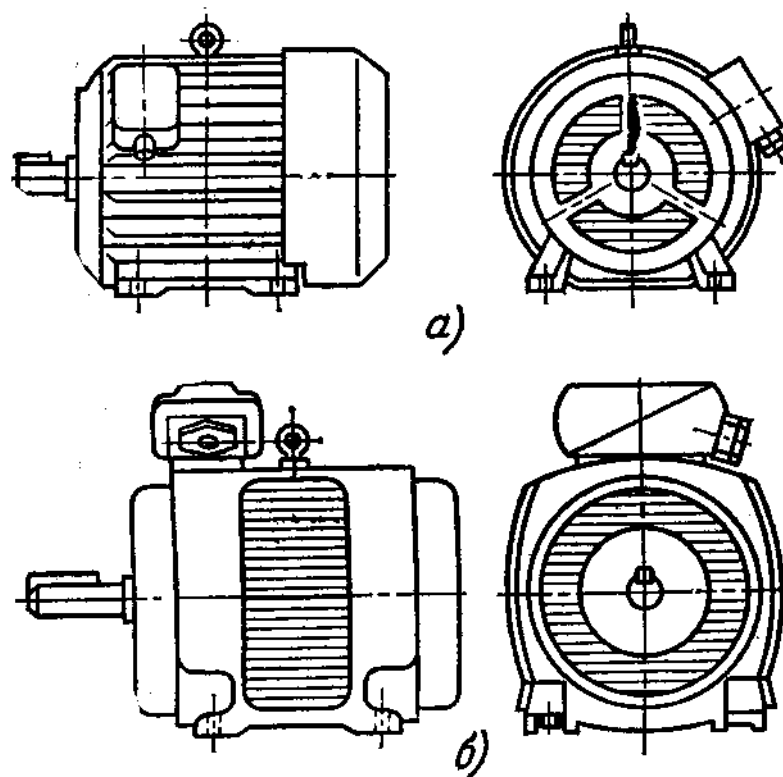


Рис. 3. Асинхронные электродвигатели серии 4А:
а – закрытое обдуваемое исполнение;
б – защищенное исполнение с высотой оси вращения 160–250 мм

Станина и подшипниковые щиты в зависимости от высоты оси вращения выполняются: при 56 и 63 мм – из алюминия, при 71–100 мм – из алюминия и чугуна, при 112–355 мм – из чугуна.

Расположение коробки выводов у двигателей с высотой оси вращения 56–250 мм – сверху станины; 280–355 – сбоку. При этом коробка выводов допускает поворот с фиксацией положения через 90° для электродвигателей с высотой оси вращения 56–132 мм и через 180° – с высотой 160–250 мм.

Коробка выводов может быть с доской и без доски контактных зажимов. Она выпускается с двумя штуцерами, за исключением малых двигателей с высотой оси вращения 56–63 мм, у которых коробка имеет только один штуцер.

У электродвигателей с высотой оси вращения 71 мм и более предусмотрена возможность закрепления стальной трубы или металлорукава с проводами или кабелями с медными или алюминиевыми жилами и с оболочкой из пластмассы. Коробка выводов у электродвигателей с высотой оси вращения 160 мм и более допускает присоединение кабеля в кабельной муфте, заливаемой мастикой.

Электродвигатели имеют подшипники качения. Вал и подшипники рассчитаны на применение клиноременной или зубчатой передачи.

Электродвигатели с высотой оси вращения 56–250 мм имеют всыпную обмотку статора из круглого провода, а с высотой оси вращения 280–355 мм – из прямоугольного провода с жесткими секциями. Изоляция обмотки по классу нагревостойкости при высоте оси вращения 56 и 63 мм маркируется Е; 71–132 мм – В; 160–355 мм – F. (Изоляция допускает предельную температуру охлаждающей среды для классов: А-105° С; Е-120° С; В-130° С; F-155° С. Температура окружающей среды принимается 35° С). Короткозамкнутая обмотка (клетка) ротора выполняется литой из алюминия.

1.2. Способы закрепления электрических машин к оборудованию и фундаменту

Электрические машины широко применяются во всех отраслях промышленности, в организациях и учреждениях, а также на транспорте. Электрические машины выпускаются на различные мощности и скорости вращения, на различный род тока, а также различные величины напряжения и частоты.

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 [5, с. 45–69].

Электрические машины могут устанавливаться непосредственно на технологическое оборудование, металлорежущие и деревообрабатывающие станки (рис. 4, а и б). Они прикрепляются к станинам станков с помощью фланцев (группы конструктивных исполнений электрических машин IM3 и IM4).



а)



б)

Рис. 4. Металлорежущий и деревообрабатывающий станки:
а – вертикально-фрезерный; б – профилирующий агрегат VPF340

В химическом производстве применяются машины для разделения жидких неоднородных систем, которые называются центрифугами (рис. 5, а). В центрифугах разделяют самые разнообразные жидкие системы: сырую нефть, смазочные и растительные масла, суспензии поливинилхлоридной смолы, суспензию крахмала, дрожжевую суспензию и др.

Кроме того, в химической промышленности часто используют реакторы, в которых реакционная среда является жидкостью. Реактор для полимеризации дивинила со стиролом при температуре 50°C представлен на рис. 5, б. Электрические машины (группы конструктивных исполнений – IM3 и IM4) прикрепляются к станинам химических машин и аппаратов с помощью фланцев.

Другими примерами закрепления электрических машин на технологическом оборудовании могут служить транспортирующие машины.



а)



б)

Рис. 5. Машина и аппарат химического производства:
а – центрифуга; б – реактор для полимеризации

Электрические машины закрепляются на раме технологических устройств с помощью лапок (группа конструктивного исполнения электрических машин IM1) и соединяются с редуктором с помощью муфты.

Редукторный привод смесителя-гранулятора представлен на рис. 6.

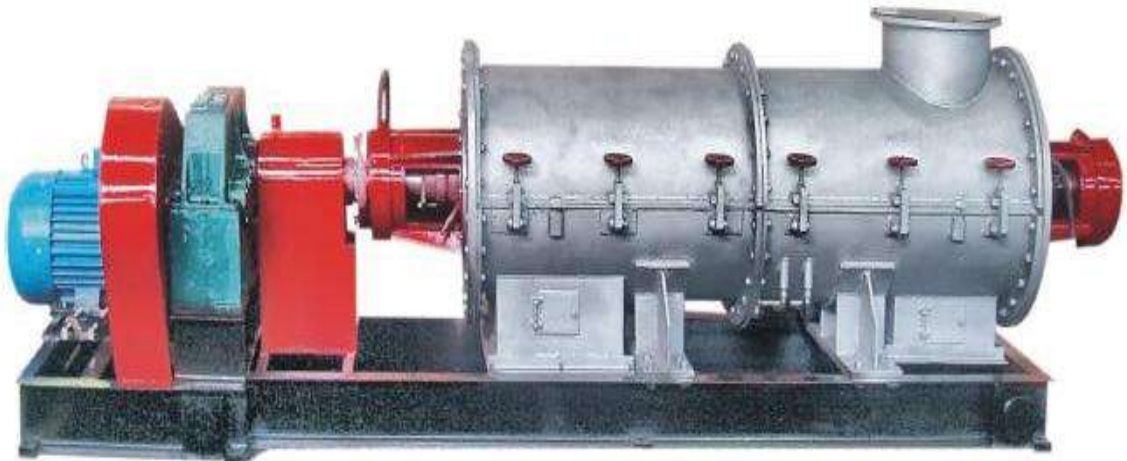


Рис. 6. Редукторный привод смесителя-гранулятора

Аналогичное закрепление электрических двигателей осуществляется на транспортирующих машинах – вертикальном ленточном ковшом элеваторе (рис. 7, а) и винтовом конвейере (рис. 7, б). Отличительной особенностью соединения электродвигателя с транспортирующей машиной является наличие клиноременной передачи, выступающей в функции предохранителя двигателя от поломок при попадании посторонних предметов в транспортные устройства.



Рис. 7. Транспортирующие машины:
а – вертикальный ленточный ковшовый элеватор; б – винтовой конвейер

Существуют и другие конструктивные исполнения агрегата и электрической машины (группа конструктивного исполнения – IM1). Например, компрессорный агрегат ASR, здесь компрессор и электрический двигатель соединены напрямую через соединительную муфту и расположены непосредственно на ресивере агрегата (рис. 8).



Рис. 8. Компрессорный агрегат ASR

На вал электрической машины может устанавливаться рабочее колесо центробежного вентилятора без соединительной муфты (рис. 9).



Рис. 9. Центробежной вентилятор

Электрические машины с центробежным насосом или приводной станцией, смонтированные на фундаментной плите, могут устанавливаться на бетонный фундамент. Фундамент под оборудование заливают в полу цеха с установкой в нем анкерных болтов, к которым закрепляется плита [5, с. 35–49]. Пример смонтированного центробежного насоса на раме представлен на рис. 10.



Рис. 10. Центробежный насос на раме

Приводная станция БКД типа L канатной дороги монтируется на бетонном фундаменте (рис. 11).



Рис. 11. Приводная станция канатной дороги БКД типа L

По конструкции фундаментные плиты делятся на следующие:

- 1) плита из гнутого профиля для машин малой мощности от 0,5 до 10 кВт (рис. 12);
- 2) плита сварная цельная для средних и крупных машин от 10 до сотен кВт (рис. 13).

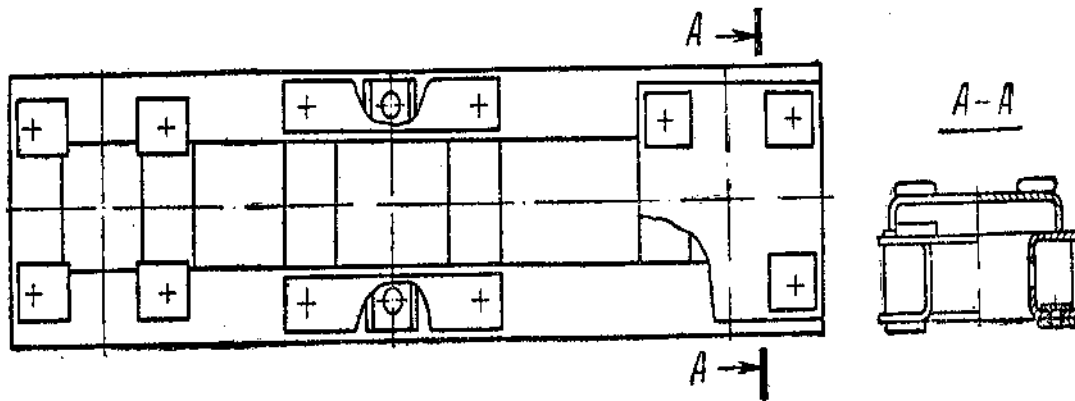


Рис. 12. Плита из гнутого профиля для машин малой мощности

Расстояние между поверхностью фундамента и фундаментной плитой должно быть в пределах 50–100 мм.

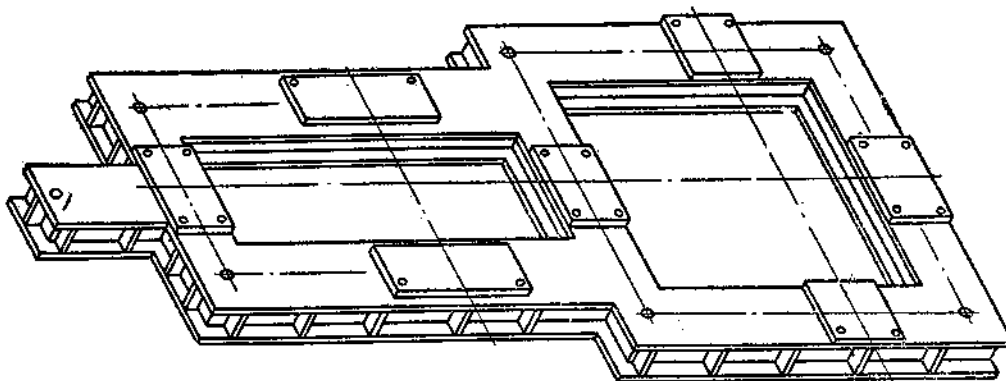


Рис. 13. Плита сварная цельная для средних и крупных машин

Прежде чем приступить к монтажу электрических машин, необходимо выполнить инженерную подготовку, сущность которой будет рассмотрена в следующем разделе.

1.3. Подготовка проектной и технической документации перед монтажом

Монтаж электрических машин и электроприводов выполняется в соответствии с требованиями СНиП, ПУЭ и монтажных инструкций заводов-изготовителей. Перед монтажом следует убедиться в соответствии

исполнения оборудования условиям его эксплуатации. 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 [9, с. 47–63].

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 нашей стране существуют специализированные организации по производству электромонтажных работ, обычно действующие по договорам подряда с заказчиком и построенные по территориальному признаку. Эти монтажные организации занимаются не только монтажными и пуско-наладочными работами, но и разработкой отдельных научно-технических проектов, изготовлением изделий и конструкций, не выпускаемых промышленностью серийно. На крупных промышленных предприятиях, особенно в периоды реконструкции производства, часто создаются собственные электромонтажные цехи или участки.

Все работы, связанные с подготовкой и проведением электропроектов, электромонтажных работ, заменой изделий и оборудования, электрических измерений и контрольно-сдаточных работ выполняются в соответствии с нормативно-технической документацией, к которой относятся: «Правила устройства электроустановок (ПУЭ)», ГОСТы и ОСТы, руководящие документы (РД), инструкции, правила по охране труда (ПОТ РМ), правила системы сертификации, правила учета энерго- и теплоносителей, нормативы и сборники документов. Для качественного выполнения электромонтажных работ при минимальных затратах труда и материальных ресурсов необходимо провести инженерную подготовку, включающую разработку:

- 1) технического проекта с проектно-сметной документацией электрической части электроустановки;
- 2) экономического обоснования;
- 3) проекта организации работ;
- 4) проекта производства работ (ППР);
- 5) необходимых чертежей, монтажных схем и технологических карт на проведение работ;
- 6) сетевых графиков на проведение монтажных и пусконаладочных работ.

На основании ППР оформляются спецификации и заявки на необходимые монтажные механизмы, оборудование и приспособления, инвентарные устройства, инструменты и монтажные материалы, а также на электромонтажные изделия, электрические конструкции, блоки и узлы, подлежащие изготовлению на заводах и в центральных монтажно-заготовительных мастерских.

Кроме того, в процессе подготовки к монтажу и при монтаже необходимо обеспечить:

- 1) комплектование и своевременную доставку на объекты необходимых материально-технических ресурсов;
- 2) поступление материалов и комплектующих изделий в монтажно-заготовительные мастерские для изготовления монтажных блоков, узлов и нестандартного оборудования и их комплектование;
- 3) своевременное исполнение заказов на монтажные блоки, узлы и нестандартное оборудование, а также качество работ монтажно-заготовительных мастерских;
- 4) комплектование и доставку готовой продукции мастерских на монтажные объекты.

Инженерная подготовка производства выполняется специальными группами подготовки производства или инженерно-техническими работниками – прорабами и мастерами, на которых возложено руководство монтажными работами. На группу подготовки производства возлагаются также функции получения, проверки, обработки, учета и хранения проектной и сметной документации по всем объектам монтажа. В случае необходимости группой проводится корректировка проекта с целью максимального повышения уровня индустриализации монтажных работ, а также замены нестандартных конструкций на типовые.

В качестве основного технического документа при производстве электромонтажных работ выступает утвержденный **Проект электроустановки (ПЭ)**. В строгом соответствии с ним должны производиться все электромонтажные работы. Какие-либо изменения в проект могут быть внесены только по согласованию с проектной организацией – автором проекта. К главным документам, в соответствии с требованиями которых производятся работы, относятся действующие ПУЭ и строительные нормы и правила. На их основе разрабатываются ППР, монтажные инструкции и технологические карты, а также заводские инструкции на поставляемое оборудование и материалы. Выполнение электромонтажных работ на объектах без ППР не допускается [10, с. 67–84].

Крупный **проект производства работ** по монтажу электрооборудования должен содержать:

- 1) локальный сетевой график электромонтажных работ, увязанный с комплексным сетевым графиком строительства объекта;
- 2) график движения рабочей силы;
- 3) строительный генеральный план энергетического объекта с расположением постоянных и временных транспортных путей, схем энергоснабжения, водоснабжения, мастерских, складов, бытовых помещений и других сооружений и устройств, необходимых для нужд электромонтажа;
- 4) ведомость физических объемов электромонтажных работ;
- 5) укрупненные калькуляции трудовых затрат;
- 6) ведомость основного электротехнического оборудования с указанием сроков комплектации оборудования;
- 7) ведомость основных вспомогательных материалов;
- 8) ведомость конструкций и изделий, подлежащих изготовлению на заводах монтажных изделий или в монтажно-заготовительных мастерских;
- 9) ведомость монтажных узлов и блоков, подлежащих предварительной укрупненной сборке в монтажно-заготовительных мастерских;
- 10) ведомость монтажных машин, механизмов, аппаратов, приспособлений, инструментов и инвентарных устройств;
- 11) технологические карты на работы, выполняемые по новой технологии, не получившей широкого распространения;
- 12) схемы такелаж крупногабаритного и тяжеловесного оборудования;
- 13) решения по безопасности ведения работ, требующие проектной разработки;
- 14) краткую пояснительную записку, содержащую необходимые обоснования принятых в ППР основных решений и методов производства работ.

Объем электромонтажных работ при составлении ППР определяется по рабочим чертежам и сметам, а потребность в материальных ресурсах – по спецификациям, составленным по рабочим чертежам и действующим нормативным документам.

Монтажные инструкции – это директивные документы, регламентирующие технологию выполнения работ в общем виде. Детально работы описываются в технологических картах трудовых процессов.

Технологические карты предназначены для обеспечения передовой технологии монтажного процесса при выполнении работ по монтажу отдельных элементов электротехнического узла или отдельных узлов электротехнических устройств. Технологические карты на сложные работы и работы, выполняемые новыми методами, не получившими широкого распространения, должны разрабатываться в составе ППР.

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 [9, с. 84–102]. Таким образом, в технологических картах должны быть разработаны следующие разделы:

1) технико-экономические показатели монтажных работ (физические объемы работ, трудоемкость работ в человеко-днях, выработка на одного рабочего в день, затраты машино-смен и энергоресурсов);

2) организация и технология выполнения монтажных процессов (схема организации работ и рабочих мест с указанием фронта работ, расположение частей и деталей подлежащего монтажу электрооборудования, расположение и порядок перемещения машин и механизмов, основные указания о последовательности и методах выполнения работ, специальные требования по технике безопасности);

3) организация и методы труда рабочих (количественный и квалификационный состав бригад с учетом достигнутого и возможного перевыполнения норм, график выполнения работ с указанием трудоемкости на единицу объема и на весь объем работ);

4) материально-технические ресурсы (ведомость необходимых монтажных материалов, ведомость монтажных изделий и конструкций, изготавливаемых на заводах монтажных изделий и в центральных монтажно-заготовительных мастерских, ведомость машин, механизмов, приспособлений и инструмента);

5) калькуляция трудовых затрат.

В электропромышленности для монтажа оборудования разработаны типовые технологические карты, которые значительно облегчают работу по составлению подобных документов и способствуют внедрению единых форм ведомостей, графиков и таблиц.

Вся проектная техническая документация анализируется заказчиком, который перед передачей ее монтажной организации для производства работ обязан поставить на ней подпись и штамп «Разрешается к производству работ».

Любые виды электромонтажных работ выполняются в два этапа:

- 1) заготовительные работы в мастерских и подготовительные непосредственно на объектах;
- 2) электромонтажные работы на объекте.

Перед началом электромонтажных работ на объекте обычно проводятся:

- 1) подготовительные работы по освоению монтажной площадки с организацией электромонтажного участка;
- 2) подготовка производственных, складских, бытовых помещений и монтажной площадки (к помещениям и площадкам, необходимым для нормальной работы электромонтажного участка, относятся: приобъектная мастерская, материальный склад, склад для горюче-смазочных материалов, инструментальная кладовая, навесы и открытые площадки для хранения металла, механизмов, монтажных приспособлений и инвентарных устройств, кабельное поле, бытовые помещения и помещение для конторы участка);
- 3) организация временного энергоснабжения объектов электро-монтажа;
- 4) мероприятия по технике безопасности, охране труда и противопожарной безопасности.

При проведении электромонтажных работ необходимо учитывать не только основные правила устройства энергетических сетей и электропроводок, но и природные и климатические условия местности, виды строений и характеристики помещений, где этот монтаж осуществляется. Например, правила и способы электромонтажа отличаются для зданий и строений, выполненные из различных конструктивных материалов, которые по условиям пожарной безопасности можно разделить на три основные группы:

К *первой* относятся помещения с повышенной опасностью, в которых имеется одно или несколько условий, создающих повышенную опасность: наличие сырости или токопроводящей пыли (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %, а пыль может оседать на проводах и попадать внутрь машин и аппаратов); наличие токопроводящих полов (металлические, земляные, кирпичные и т.п.); наличие высокой температуры (температура постоянно превышает +35 °С); возможность прикосновения человека к имеющим соединения с землей металлическим конструкциям зданий и технологическим механизмам с одной стороны и к металлическим корпусам электрических установок – с другой.

Ко *второй* группе относятся особо опасные помещения, в которых имеется: особая сырость (относительная влажность воздуха близка к 100 %, потолок, пол и стены покрыты влагой); химически активная или агрессивная среда (длительно содержатся агрессивные пары, газы и жидкости, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрических установок); два или более условий повышенной опасности.

К *третьей* группе относятся помещения без повышенной опасности (отсутствуют условия повышенной или особой опасности). Территории, на которых размещаются наружные электрические установки, относятся к особо опасным помещениям.

Помещения, предназначенные для монтажа и эксплуатации электрического и электромеханического оборудования, должны удовлетворять следующим требованиям. Расстояние между элементами здания и перемещаемыми к месту монтажа электрическими установками должно быть не менее 0,3 м по вертикали и не менее 0,5 м по горизонтали. Ширина проходов между электрическими установками и элементами здания – не менее 1 м. Для оборудования с напряжением до 1 кВ ширина прохода между машинами и щитами управления должна быть не менее 2 м, а при открытых дверцах щита – не менее 0,6 м. Помещения классифицируются по температурным условиям, условиям влажности и др. (см. приложения 2, 5), а также в отношении опасности поражения персонала электрическим током (см. п. 1.6).

Общие требования ко всем помещениям для электрооборудования

Согласно «Правилам устройства электроустановок (ПУЭ)», которые распространяются на вновь сооружаемые и реконструируемые электроустановки постоянного и переменного тока напряжением до 750 кВ, в том числе на специальные электроустановки и «ГОСТ Р 50571. Электроустановки зданий», («ГОСТ Р 50571. Электроустановки зданий» является основополагающим в комплексе государственных стандартов на электроустановки зданий, разрабатываемых Техническим комитетом по стандартизации ТК 337 «Электрооборудование жилых и общественных зданий» на основе применения международных стандартов МЭК 364 «Электрические установки зданий»), можно вывести общие требования ко всем помещениям для электрооборудования:

1) помещение должно быть сухим, светлым, прохладным, чистым, свободным от пыли и паров;

2) должно допускать возможность свободно внести оборудование при монтаже и вынести его при демонтаже;

3) должна существовать возможность монтировать аппаратуру без снятия и повреждения другого оборудования, находящегося в этом же помещении; должен быть доступ для обслуживания и эксплуатации.

К началу монтажа электрического и электромеханического оборудования строительные работы в помещении, включая отделку, должны быть закончены, так как цементная пыль вредна для оборудования – разъедает обмотки, засоряет подшипники, загрязняет провода, шины, контакты, изоляторы. Если нет возможности отложить монтаж электрооборудования до окончания строительных работ, то монтируемые или уже установленные устройства должны быть отгорожены стенкой или надежно укрыты.

1.4. Требования к фундаментам и проверка фундаментов под монтаж

Фундамент под электрические машины и технологическое оборудование должен быть достаточно массивным, чтобы воспринимать статические и динамические нагрузки от работающего оборудования, не допуская сдвигов и вибраций при его работе (рис. 14).

Рассмотрим основные требования, которые предъявляются к фундаментам. Опорные поверхности фундаментов, на которые укладывают фундаментные плиты, должны быть ровными и не иметь обрамляющих бортов.

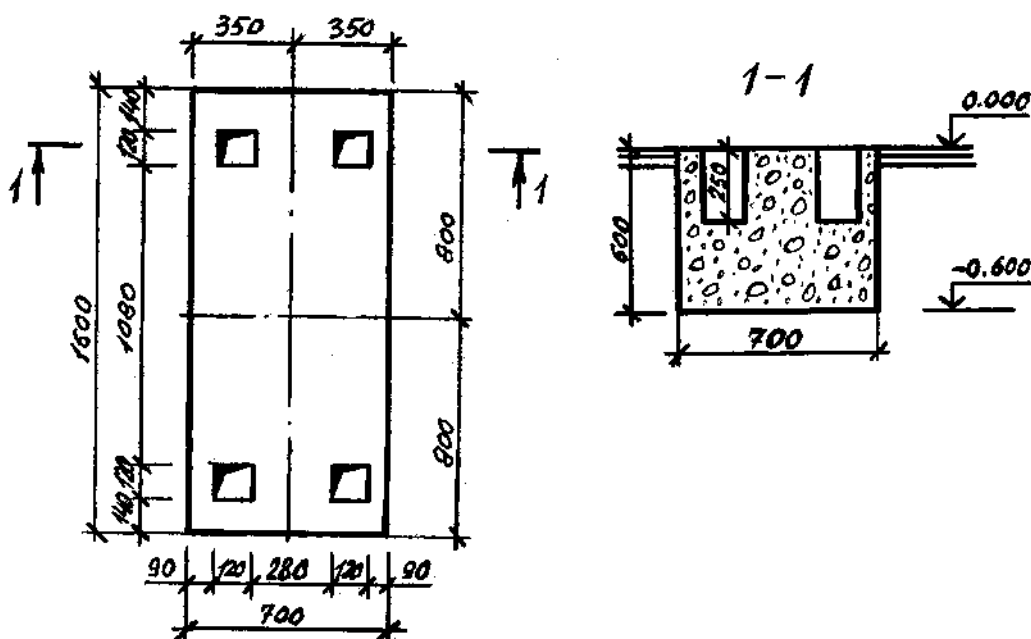


Рис. 14. Фундамент под электрические машины и технологическое оборудование

Фундаменты под оборудование должны быть выполнены в строгом соответствии с требованиями проекта и сдаваться под монтаж без каверн, раковин, поверхностных трещин, поврежденных углов и оголенной арматуры. Отметка верхней поверхности фундаментов (относительно нулевого репера) закрепляется на реперах, забетонированных в теле фундамента, с точностью до 0,5 мм.

Анкерные отверстия в бетонных и железобетонных фундаментах выполняются при бетонировании путем закладки сборно-разборных пробок. Пробивать отверстия в готовых фундаментах не допускается.

Строители должны нанести на фундаменты их главные (продольную и поперечную) оси и отметку верхней поверхности фундамента относительно нулевого репера.

Разметку главных осей фундамента проводят следующим образом: для разметки используются приспособления – оседержатели (рис. 15, а), 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 рис. 15, б. После разметки главные оси наносят на фундамент, используя для отметок нити с отвесами.

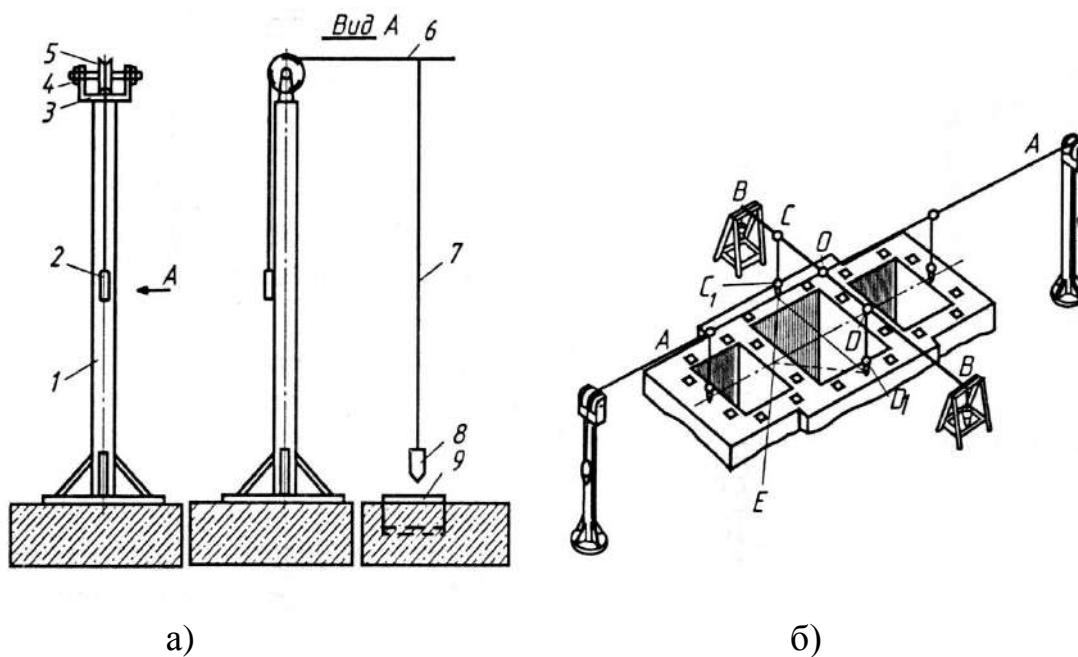


Рис. 15. Схемы приспособлений и разметки (а – оседержатель; б – разметки главных осей фундамента): 1 – стойка; 2 – груз; 3 – скоба; 4 – гайка; 5 – несущий ролик; 6 – струна; 7 – нитка; 8 – отвес; 9 – осевая плашка; А-А – главная продольная ось; В-В – главная поперечная ось

Приемка готовых фундаментов под монтаж производится только при соответствии их проектным геометрическим размерам и схеме расположения закладных деталей и отверстий, причем отклонения не должны превышать следующих величин (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Отклонения размеров фундаментов

№	Наименование размера	Величина отклонения, мм
1	Основные размеры в плане	30
2	Высотные отметки поверхности фундамента без учета высоты подливки	30
3	Размеры уступов в плане	–20
4	Размеры колодцев в плане	+20
5	Отметки уступов в выемках и площадках	–20
6	Оси анкерных болтов в плане	–5
7	Оси закладных анкерных устройств на плане	10
8	Отметки верхних торцов анкерных болтов	+20
9	По глубине колодцев для фундаментных болтов	+50

Когда допускаемые отклонения размеров фундаментов определяются паспортными данными технологического оборудования, то в этом случае следует руководствоваться ими.

Готовность фундаментов под монтаж оформляется актом, подписанным представителем заказчика, строительной и монтажной организациями.

По фундаментным осям проверяют размеры колодцев под фундаментные болты (рис. 16), а также правильность их выполнения и расположения по отношению к главным осям.

Правильное выполнение колодцев показано на рис. 16 (II, а). Далее проверке подлежит горизонтальность фундаментов (их верхняя плоскость) и их высота.

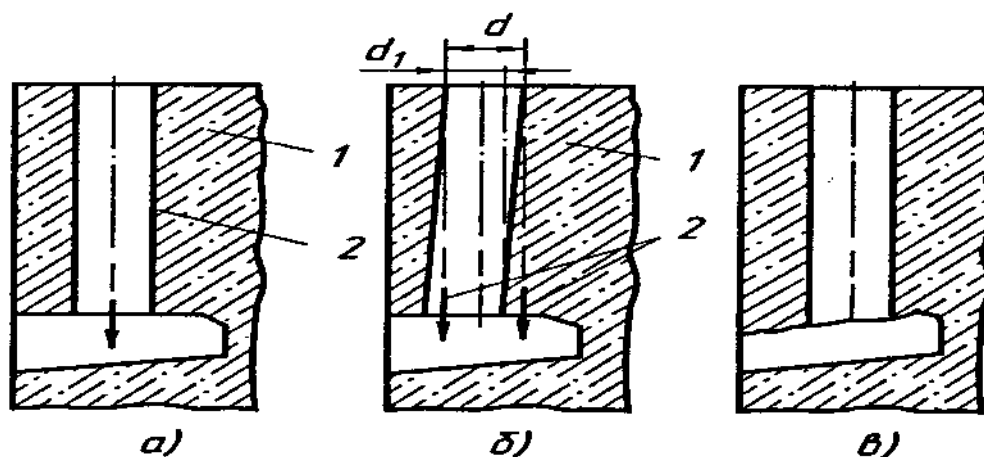


Рис. 16. Схемы колодцев: а – правильное;
б, в – неправильное выполнение колодцев под фундаментные болты;
1 – фундамент; 2 – отвесы

Горизонтальность фундаментов определяется с помощью уровней или нивелира. На практике часто используют гидростатический уровень, рамный прецизионный уровень, а также уровень с микрометрическим винтом. При больших размерах фундаментов целесообразно применение гидростатического уровня и нивелиров, при малых – рамного прецизионного уровня. Уровень с микрометрическим винтом используется обычно для выверки линии валов и их уклонов.

К приемо-сдаточному акту о готовности фундамента прилагается формуляр с указанием: проектных и фактических отметок поверхности фундамента; проектных и фактических основных геометрических размеров фундамента; проектных и фактических привязочных размеров и отметок анкерных болтов и закладных частей; привязки главных осей фундаментов, расположения и отметок реперов, заложенных в тело фундамента; расположения металлических планок, заложенных в тело фундамента, или скоб, закрепленных на конструкциях, фиксирующих главные оси фундамента. Кроме того, к приемо-сдаточному акту прилагаются: акт освидетельствования основания под фундаменты; документация, характеризующая качество применяемых материалов и выполненных работ (журналы испытания бетона, укладки бетона, акты скрытых работ на укладку арматуры и т.п.).

Обнаруженные при приемке фундаментов дефекты и недоделки устраняются строительной организацией до начала монтажных работ. Сроком сдачи фундаментов под монтаж считается дата окончания работ по устранению всех дефектов и недоделок, отмеченных актом сдачи.

1.5. Технология монтажа машин малой и средней мощности

Электрические машины должны быть смонтированы так, чтобы во время эксплуатации их работа не вызывала ненормируемого шума и вибрации самой машины, технологического оборудования, фундамента или частей здания. Поэтому монтаж электрических машин начинается с проверки [2, с. 14–22].

Методика проверки электрических машин перед началом монтажа:

- 1) соответствие машины ее проектной документации;
- 2) комплектность машины и сохранность крепежных деталей;
- 3) появление возможных повреждений за время транспортировки и хранения путем предварительного осмотра после расконсервации;
- 4) состояние подшипников, коробки выводов, коллектора, контактных колец, щеточного механизма и др.;
- 5) сопротивление изоляции обмоток, и щеточных траверс.
- 6) воздушный зазор между статором и ротором, а также зазоров в подшипниках скольжения и уплотнений валов.
- 7) отсутствие задевания ротора о статор.

Проверка воздушного зазора между статором и ротором, а также зазоры в подшипниках скольжения и уплотнений валов осуществляется с помощью пластинчатых и клиновых щупов. Проверка воздушного зазора без разборки машины возможна только у электрических машин открытого и защищенного исполнений.

Ротор машины должен свободно вращаться в подшипниках при его повороте рукой (при мощности до 10–15 кВт) или рычагом (для машин большей мощности).

Выявленные в процессе осмотра неисправности следует устранить до начала монтажа. Если нет уверенности в том, что во время хранения и транспортировки машина осталась неповрежденной, проводят ее полную разборку с ревизией отдельных узлов. При необходимости заменяют смазку в подшипниках и затягивают болтовые соединения.

Электрические машины малой и средней мощности поступают на место монтажа в собранном виде. По известным установочным размерам машины заранее изготавливают крепежные детали и конструкции. Машины устанавливаются на металлических рамах или фундаментах. Поскольку установочные размеры имеют допуски, указанные в чертежах, перед монтажом следует заготовить комплект прокладок, перекрывающий поле допусков.

Крепление мелких и средних электрических машин к фундаменту представлено на рис. 17. Таким способом крепят электрические машины, у которых отсутствуют фундаментные ямы. Фундаментные болты (типа блок) мелких и средних электрических машин заливаются бетоном.

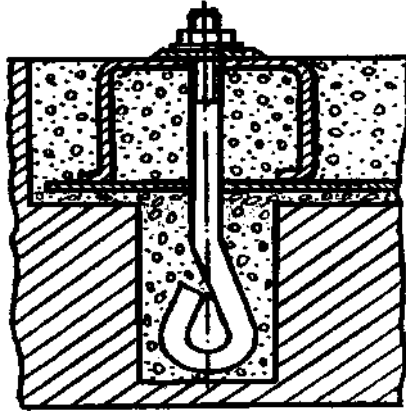


Рис. 17. Крепление мелких и средних электрических машин к фундаменту

Фундаментные болты для крепления мелких и средних электрических машин изготавливают нескольких исполнений (рис. 18).

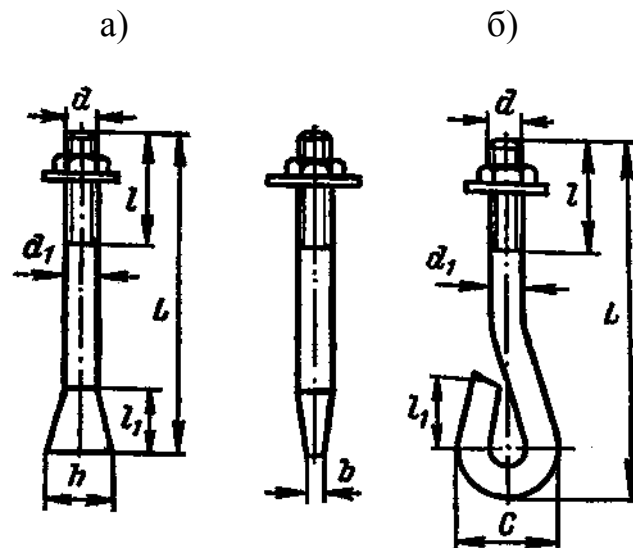


Рис. 18. Фундаментные болты для крепления мелких и средних электрических машин:
а – исполнение II; б – исполнение III

Машины небольшой мощности соединяются с приводным механизмом с помощью муфт различного типа и зубчатых, ременных или фрикционных передач. На рис. 19 показаны наиболее часто встречающиеся типы муфт.

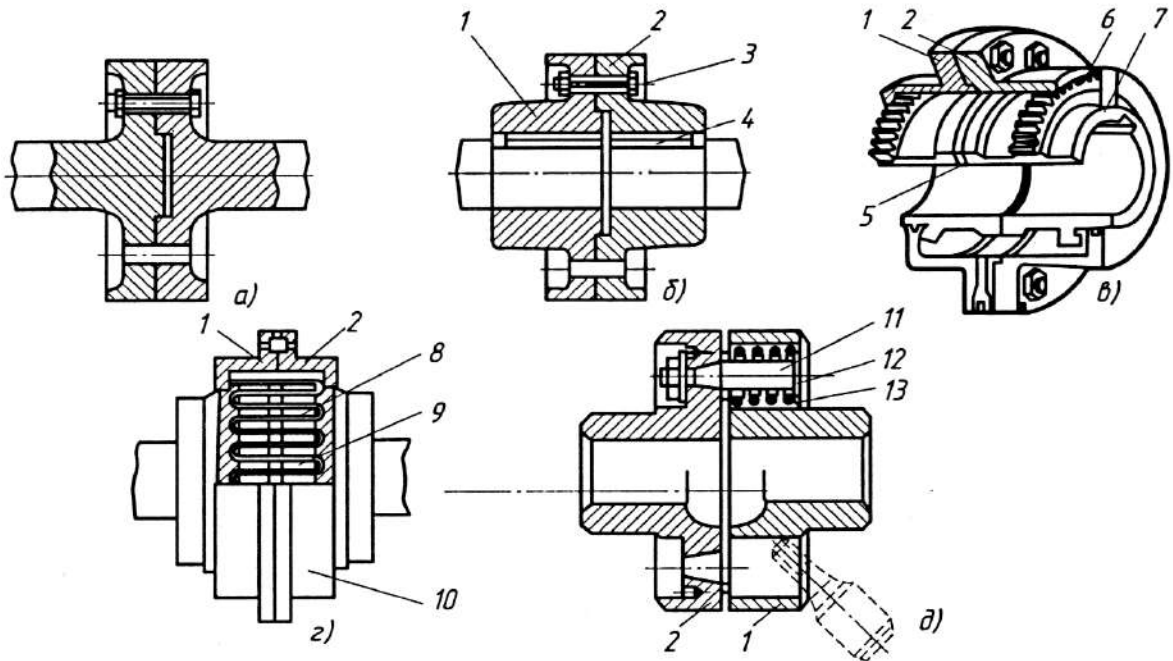


Рис. 19. Соединение валов (а) и муфт (б – жесткой поперечно-свертной; в – зубчатой; г – полужесткой зубчато-пружинной; д – упругой втулочно-пальцевой):
1, 2 – полумуфты; 3 – точечный болт; 4 – шпонка; 5, 7 – ступицы;
6 – зубчатый венец; 8 – ленточная пружина; 9 – зубья;
10 – кожух; 11 – палец-болт; 12 – кожаная шайба; 13 – кольцо

При соединении с помощью муфт на концы валов соединяемых машин насаживают полумуфты, предварительно проверив цилиндричность и соответствие наружного диаметра конца вала машины и внутреннего диаметра полумуфты с помощью измерительных скоб (рис. 20) и нутромеров (рис. 21). Величина натяга при посадке указывается на чертеже, а сама посадка осуществляется в горячем состоянии.

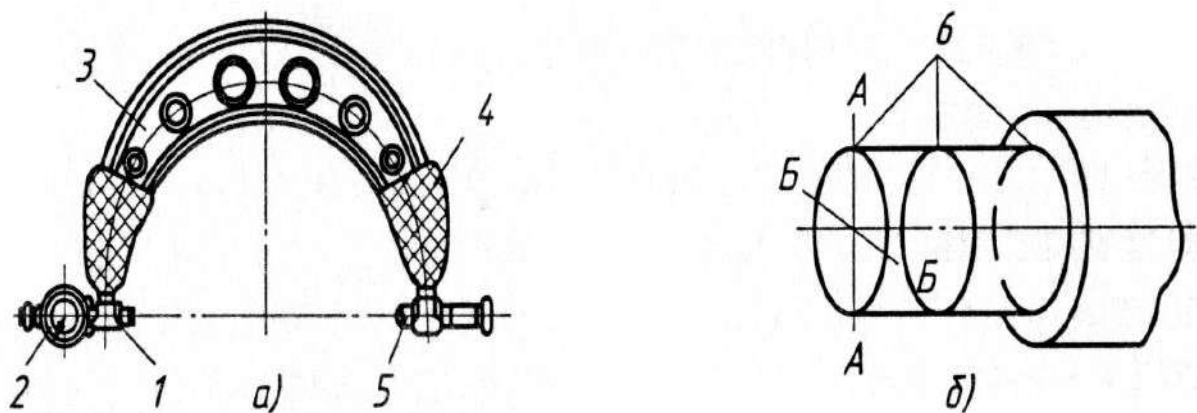


Рис. 20. Скоба с отсчетным устройством (а) и определение посадочных размеров конца вала (б): 1, 5 – подвижная и переставная пятки; 2 – отсчетное устройство; 3 – корпус; 4 – теплоизоляционная накладка; 5 – места измерений

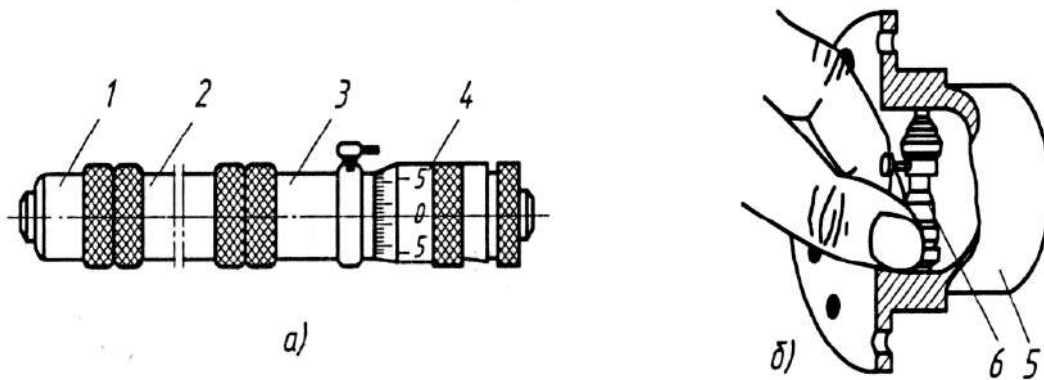


Рис. 21. Микрометрический нутромер (а) и определение им посадочных размеров конца вала (б): 1 – измерительный наконечник; 2 – удлинитель; 3 – трубка; 4 – микрометрическая головка; 5 – полумуфта; 6 – нутромер

При ременной и клиноременной передачах необходимым условием правильной работы электрической машины с приводимым им во вращение механизмом является соблюдение параллельности валов электрической машины и вращаемого им механизма [3, с. 24–32]. При этом необходимо добиться совпадения средних линий по ширине шкивов.

При одинаковой ширине шкивов и расстоянии между центрами валов до 1,5 м выверка производится с помощью стальной поверочной линейки, как показано на рис. 22 (вид сверху).

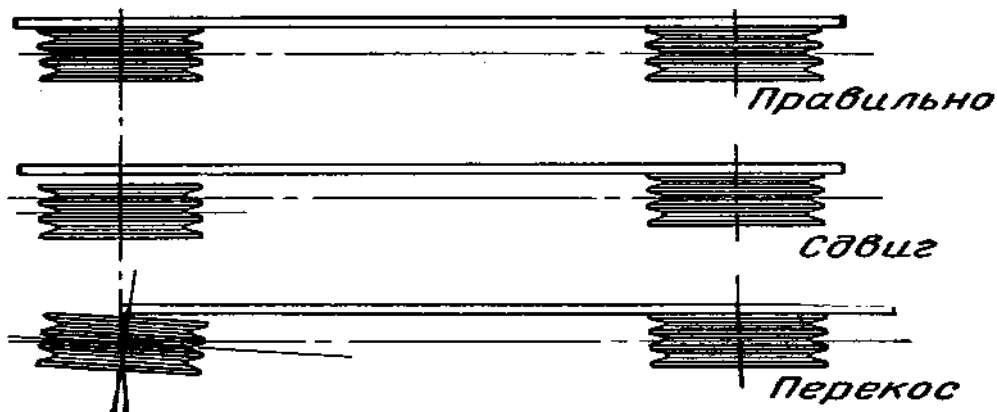


Рис. 22. Выверка электрической машины и механизма при клиноременной передаче (одинаковая ширина шкивов) с помощью поверочной линейки

Линейку прикладывают к торцам шкивов и производят подгонку электродвигателя так, чтобы линейка касалась двух шкивов в четырех точках. При расстояниях между центрами валов более 1,5 м и при отсутствии поверочной линейки необходимой длины выверку электродвигателя производят с помощью струны и временно устанавливаемых

на шкивы скоб. Подгонку производят до получения одинакового расстояния от скоб до струны. Выверку можно производить также с помощью тонкого шнурка, натягиваемого от одного шкива к другому [6, с. 54–72]. При установке валы сочленяемых машин могут иметь радиальное и угловое смещение (рис. 23), что повлечет за собой соответствующее смещение полумуфт (рис. 24).

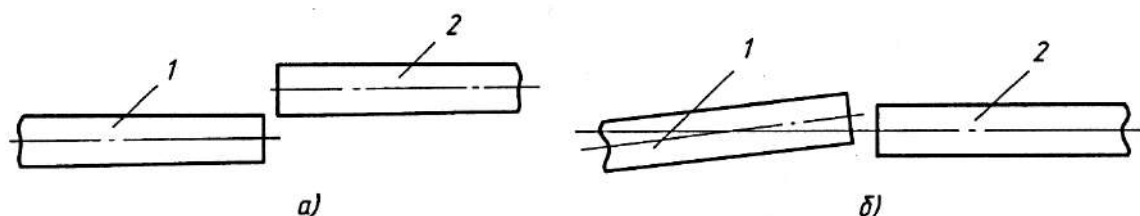


Рис. 23. Смещение валов: а – боковое (радиальное); б – угловое (осевое)

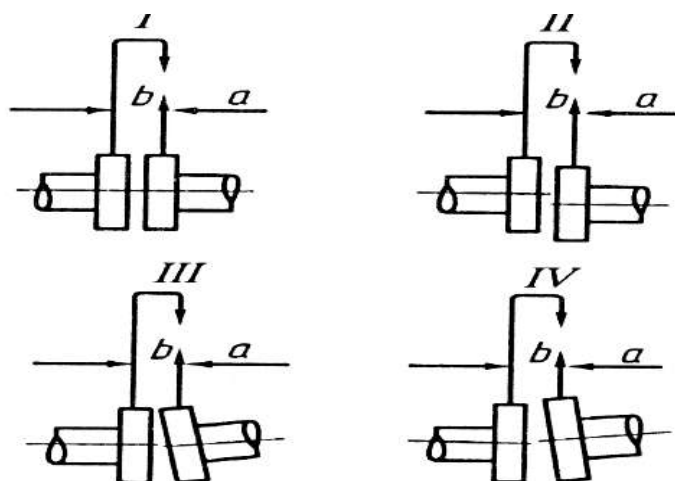


Рис. 24. Взаимное расположение валов машин, соединяемых с помощью муфт:
 I – валы расположены на одной прямой, их оси совпадают;
 II – оси валов параллельны;
 III – центры валов совпадают, их оси расположены под углом;
 IV – центры валов сдвинуты, их оси расположены под углом

При работе агрегата это приведет к повышенным вибрациям и, следовательно, к быстрому износу подшипников, муфт и болтовых соединений. Поэтому сочленяемые машины должны быть установлены таким образом, чтобы торцевые поверхности полумуфт были параллельны, а оси валов соединяемой машины и механизма находились на одной линии.

Для этого проводят центровку валов электрической машины и механизма с помощью центровочных скоб различной конструкции. Некоторые из них приведены на рис. 25–27.

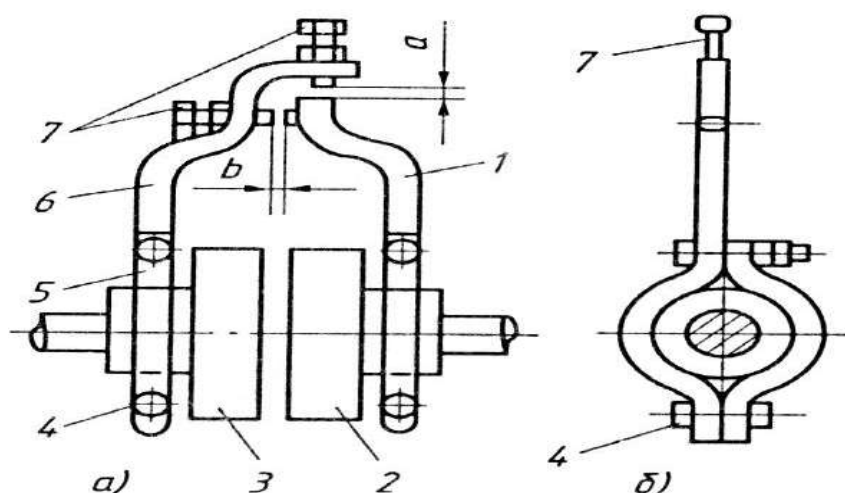


Рис. 25. Центровка валов с помощью радиально-осевых скоб:
1, 6 – внутренняя и наружная скобы; 2, 3 – полумуфты; 4, 7 – болты; 5 – хомут

Контроль точности центровки осуществляется по величине радиальных a и осевых b зазоров в четырех точках, равномерно расположенных по окружности муфты, при совместном повороте соединяемых валов на угол 0, 90, 180 и 270°. После получения удовлетворительных отклонений (каждый тип муфт имеет свои допустимые отклонения в радиальных и осевых зазорах) окончательно закрепляют машину на фундаменте. После повторной проверки центровки валов соединяют полумуфты между собой.

Разность зазоров a и b (рис. 25) в диаметрально противоположных положениях должна быть меньше допустимых отклонений, приведенных в таблице 3.

Таблица 1.3

Наибольшие допустимые отклонения центровки вала для различных муфт

№	Частота вращения, мин ⁻¹	Допустимые отклонения муфт, мм при диаметре до 600 мм				
		жесткой (фланцевой)	упругой втулочно-пальцевой	упругой с пластинами из прорезиненной ткани	переменной жесткости с ленточными пружинами	зубчатой МЗН или МЗУ
1	3000	0,04	0,20	0,20	0,25	0,25
2	1500	0,04	0,30	0,30	0,40	0,40
3	750	0,04	0,40	0,40	0,50	0,50
4	500	0,04	0,50	0,50	0,60	0,60

После центровки валов сопрягаемых машин и механизмов затягивают фундаментные болты (ключами вручную до отказа), контролируют сохранность центровки и проверяют свободу вращения соединенного вала.

При использовании цепной или ременной передачи необходимо совместить средние линии звездочек или шкивов, установленных на ведомом и ведущем валах. После этого обеспечить натяжение цепи или ремня.

Средние линии звездочек и шкивов, как правило, совмещают с помощью натянутой параллельно им струны с использованием обычного измерительного инструмента.

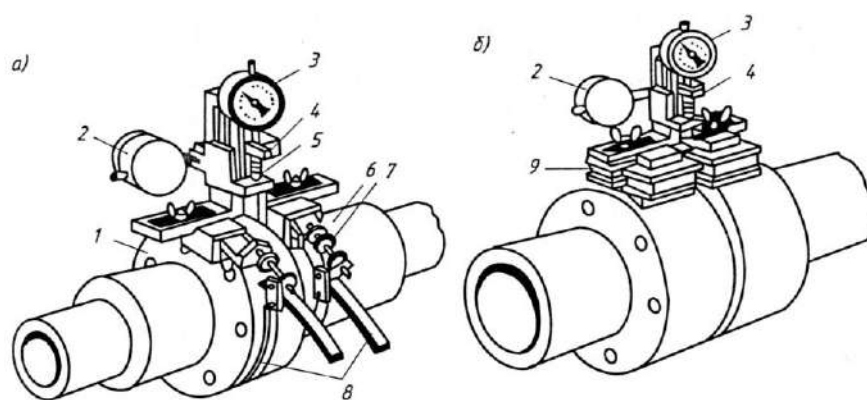


Рис. 26. Приспособления с ленточным (а) и электромагнитным (б) прижимами;:
1, 6 – полумуфты; 2, 3 – индикаторы; 4 – держатель; 5 – измерительный стержень;
7 – натяжное устройство; 8 – стальная лента; 9 – электромагнит

Для обеспечения требуемого натяжения машина должна иметь возможность перемещаться в плоскости, образованной осями вращения соединяемых машин. В ряде случаев для создания натяжения используются специальные натяжные ролики.

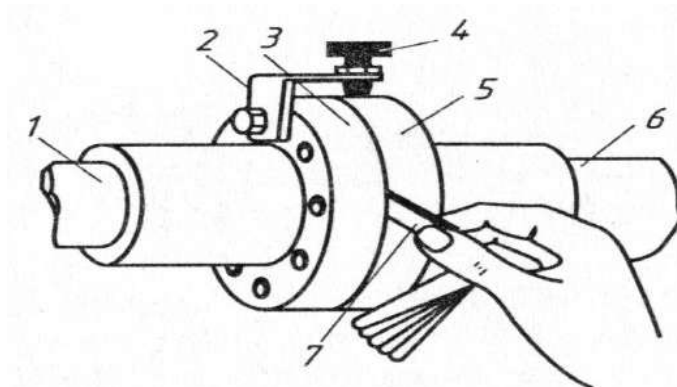


Рис. 27. Центровка валов способом «обхода одной точки»:
1, 6 – валы; 2 – скоба; 3, 5 – полумуфты; 4 – измерительный болт; 7 – щуп

При использовании цилиндрической зубчатой передачи необходимо обеспечить параллельность валов соединяемых машин и одинаковый зазор между зубьями сопрягаемых шестерен по всей длине зуба. Допуск на несоосность валов в этом случае обычно не превышает $0,5^\circ$. Контроль несоосности проводится с помощью индикаторов.

После закрепления электрической машины на фундаменте ее корпус заземляется.

1.6. Технология монтажа машин большой мощности

К электрическим машинам большой мощности относятся асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором (рис. 28).

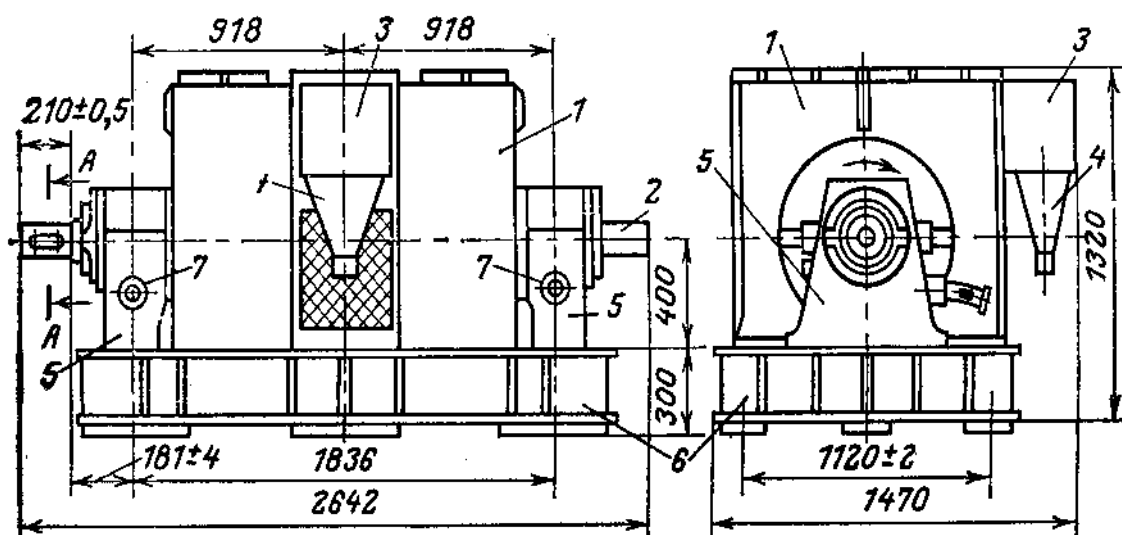


Рис. 28. Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором мощностью 1000 – 1600 кВт: 1 – статор; 2 – вал; 3 – вводная коробка; 4 – кабельная муфта; 5 – стояковый подшипник; 6 – фундаментная плита; 7 – подсоединение маслопровода циркуляции масла

Эти электродвигатели предназначены для привода быстроходных механизмов собственных нужд электростанций – насосов, компрессоров, нагнетателей; для привода быстроходных механизмов в металлургической, химической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности [7, с. 54–108].

Кроме того, в электроприводе применяют синхронные электродвигатели, которые обеспечивают повышение коэффициента мощности. Синхронные электродвигатели (рис. 29) применяют для нерегулируемых механизмов длительного режима работы вентиляторов, насосов, воздуходувок, компрессоров и дробилок горнорудных производств.

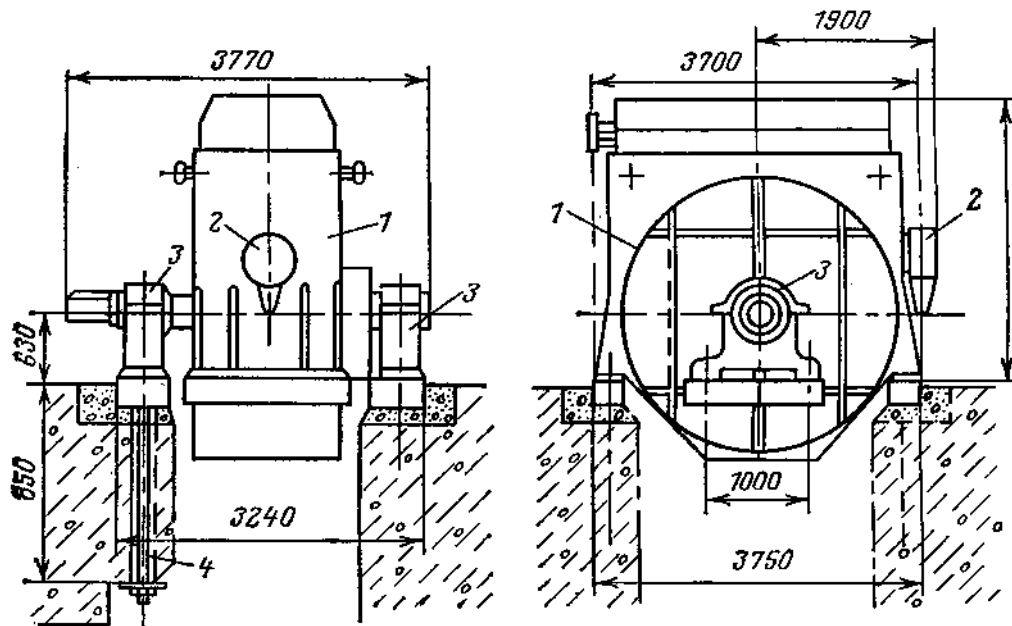


Рис. 29. Синхронные электродвигатели: 1 – статор; 2 – коробка выводов; 3 – стояковые подшипники; 4 – фундаментные болты

Технология монтажных работ при установке машин большой мощности следующая:

- 1) распаковка и размещение частей машины на монтажной площадке в машинном зале;
- 2) очистка частей машины от грязи и ржавчины, ревизия их исправности, очистка поверхности фундамента, выверка в горизонтальной плоскости основания фундаментной плиты;
- 3) установка подшипниковых стояков и изоляция от фундаментной плиты тех из них, для которых она предусмотрена предприятием-изготовителем;
- 4) установка статора и ротора;
- 5) сопряжение валов и их установка;
- 6) подгонка подшипников и вкладышей, уплотнение подшипников;
- 7) выверка воздушных зазоров;
- 8) выполнение внутренних соединений машины;
- 9) обработка коллектора и контактных колец;
- 10) монтаж коммутирующих устройств (суппорт, траверсы, щетки);
- 11) проверка состояния изоляции и при необходимости контрольный прогрев или сушка;
- 12) установка контрольных шпилек (конических штифтов) для надежного фиксирования положения станин и подшипниковых стояков;
- 13) монтаж систем смазки и принудительной вентиляции.

Особенность монтажа крупных электрических машин, поступающих в собранном состоянии, состоит в том, что он начинается с установки отдельной фундаментной плиты (рис. 30), на которую устанавливают машину, после чего проводят центровку валов.

Аналогично начинается монтаж электрических машин, прибывших с предприятия-изготовителя в разобранном виде, их устанавливают на отдельной фундаментной плите или общей с другими машинами агрегата. Иногда крупные машины устанавливают на нескольких отдельных плитах, предназначенных для установки на них стояков подшипников и лап станины. Фундаментными болтами к фундаменту крепят одновременно плиту, подшипниковый стояк или лапу станины (рис. 30).

С помощью установочных плит с регулировочными болтами обеспечивают точную регулировку высоты линии вала машины. Регулировочные болты разгружают стальными клиньями, укладываемыми между опорной и установочной плитами. Воздушный зазор между ротором и статором регулируют с помощью регулировочных болтов установочных плит под лапами станины.

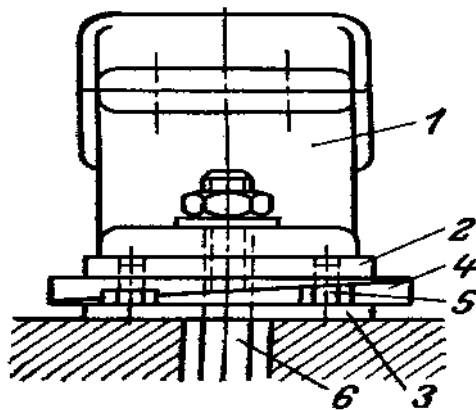


Рис. 30. Установка подшипникового стояка на отдельной фундаментной плите;
1 – подшипниковый стояк; 2 – установочная плита; 3 – опорная плита; 4 – клинья;
5 – регулировочный болт; 6 – фундаментный болт

Общую фундаментную плиту устанавливают после приемки фундамента. Закладывают в отверстия фундаментные болты и по периметру фундаментной плиты укладывают чугунные или стальные подкладки. Плиты, имеющие нижние полки (подошву), устанавливают на подкладки и клинья, укладываемые в местах сосредоточенных нагрузок – под подшипниковыми стояками, под лапами станин и с двух сторон фундаментных (анкерных) болтов.

Подкладки и клинья устанавливают в непосредственной близости от фундаментных болтов (под ребра жесткости), под подшипниковые стояки, под лапы станин и под остальные ребра так, чтобы расстояние между осями соседних подкладок было не более 1 м. Подкладки должны быть такой длины, чтобы они выступали на 35–50 мм из-под плиты. После этого фундаментную плиту устанавливают краном на подкладки, уложенные на фундамент. Плиту ориентируют по осям при помощи отвесов, спущенных с натянутых стальных струн.

Фундаментную плиту выверяют в горизонтальной плоскости по уровню, используя тонкие стальные подкладки. После выверки плиты проводят крепление плиты к фундаменту затяжкой фундаментных болтов (рис. 31), при этом прикрепляют к фундаменту одновременно плиту, лапу станины или подшипниковый стояк. Для крупных машин применяют съемное крепление, позволяющее затягивать болты до заливки их бетоном. Этим обеспечивается точность установки фундаментной плиты.

Существует бесподкладочный способ установки и выверки фундаментных плит. При этом способе зазор между поверхностью бетонного фундамента и основанием плиты оставляют 50–60 мм.

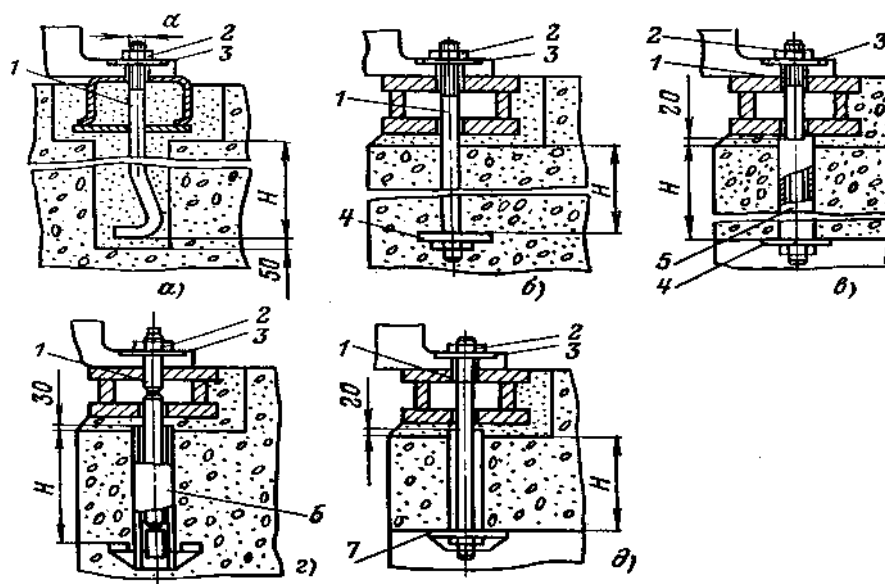


Рис. 31. Установка фундаментных болтов (а, б – крепление глухое; в, г, д – крепление съемное): 1 – фундаментный болт; 2 – гайка; 3 – шайба; 4 – плита; 5 – труба; 6 – арматура анкерная; 7 – плита анкерная

Площадки под установку домкратов выверяют в горизонтальной плоскости по уровню. Домкраты устанавливают у фундаментных болтов и в местах сосредоточенных нагрузок. Суммарная грузоподъемность

домкратов должна быть не менее 1,5-кратной монтажной массы оборудования. После окончательной выверки плиты, установленной на домкратах, производят подливку плиты, за исключением мест установки домкратов, которые загораживают временной опалубкой. Подливку производит строительная организация вибрационным способом. Наблюдение за тщательностью подливки ведут ответственные представители электромонтажной организации. После затвердения подливки снимают домкраты и временную опалубку в местах установки домкратов и производят окончательную подливку фундаментной плиты в этих местах. Подливка принимается по акту, в котором должны быть указаны: состав бетонной смеси, количество пластифицирующих добавок, температура бетонной смеси и воздуха во время подливки и вибрирования [10, с. 74–93].

После приемки подливки фундаментной плиты и необходимой выдержки бетона на плите устанавливают стояковые подшипники. Через оси крайних подшипниковых стояков натягивают стальную струну и стояки перемещают так, чтобы отвесы, опущенные со струны, натянутой по основной оси машины, совпали со струной, натянутой по осям крайних стояков подшипников. Промежуточные стояковые подшипники устанавливают и выверяют по этой струне (рис. 32).

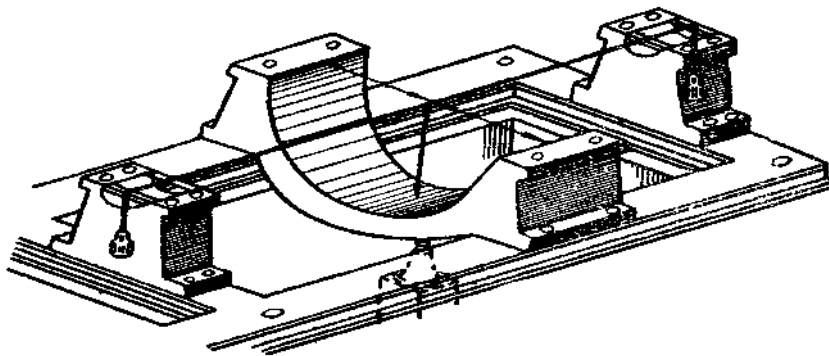


Рис. 32. Выверка подшипниковых стоек и магнитной системы

Установку подшипниковых стояков в горизонтальной плоскости выверяют по гидростатическому уровню. После выверки затягивают все болты, крепящие подшипниковые стояки к фундаментной плите. Подгонку вкладышей подшипников выполняют в соответствии с инструкцией предприятия-изготовителя. При установке стояковых подшипников обеспечивают изоляцию от фундаментной плиты тех из них, для которых она предусмотрена в формуляре машины и в проекте.

Неразъемный статор устанавливают краном и выверяют по основной и поперечной осям в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Если машина имеет разъемный статор, краном устанавливают на фундаментную плиту нижнюю половину статора и выверяют ее по осям. Затем краном поднимают вал ротора машины и укладывают его в подшипниковые стояки. Валы соседних машин соединяют муфтами. После этого устанавливают верхнюю половину статора и производят регулировку равномерности воздушного зазора по окружности ротора – по четырем точкам (0, 90, 180 и 360°). Замеры зазоров производят клиновым щупом. Затягивают болты, скрепляющие верхнюю и нижнюю половины статора [11, с. 94–135].

Ряд машин имеет на конце вала фланец, через который они соединяются с механизмом. Кроме того, при большой длине L ротора под действием его веса P происходит прогиб вала в вертикальной плоскости (рис. 33).

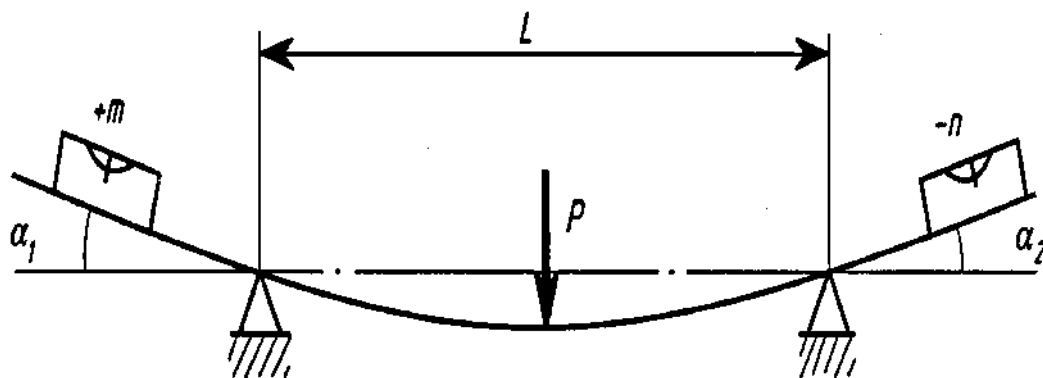


Рис. 33. Схема измерения углов поворота шеек вала

Поэтому при горизонтальном положении соединяемых машин плоскости полумуфт (или фланцев) вала оказываются расположенными под углом друг к другу, как показано на рис. 34, а.

Центровка валов электрической машины и механизма в этом случае заключается в такой установке соединяемых валов, при которой их общая линия представляет в вертикальной плоскости плавную кривую (рис. 34, 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 (рис. 34), установленному горизонтально на выходном конце вала.

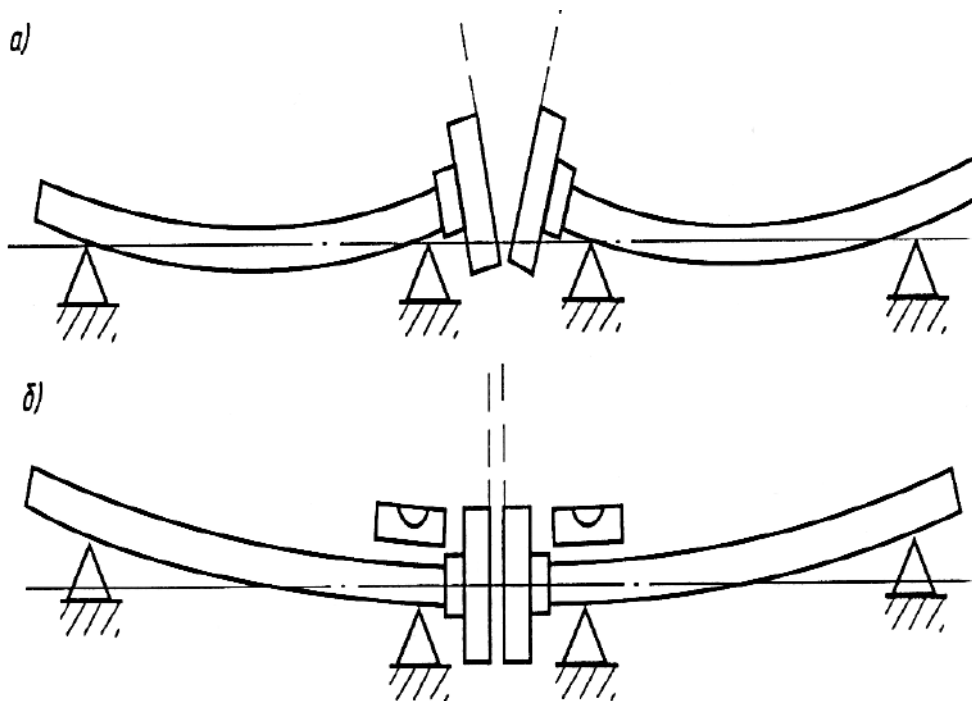


Рис. 34. Положение валов, соединяемых с помощью полумуфт:
а – до проверки; б – после проверки линии вала

Методика введения в статор ротора с использованием удлинителя (рис. 35). После введения ротора его шейки устанавливаются на подшипники подшипниковых стояков.

Операция центровка валов осуществляется следующим образом: сначала прокладки устанавливаются под корпуса подшипников, а затем проводится центровка.

После центровки закрепляют корпуса машины и подшипников, пригоняют вкладыши подшипников скольжения и их уплотнения, выверяют зазоры в подшипниках и между статором и ротором электрической машины. Устанавливают дополнительное оборудование, необходимое для работы машины (системы охлаждения, смазки подшипников и т.д.), производят монтаж и регулировку токосъемных механизмов, соединение электрических цепей, заземляют корпус машины [12, с. 104–121].

При отсутствии грузоподъемных механизмов в помещении сборки электрической машины для ввода ротора в статор можно использовать деревянные стойки 1, на которых установлена балка 2 (рис. 36).

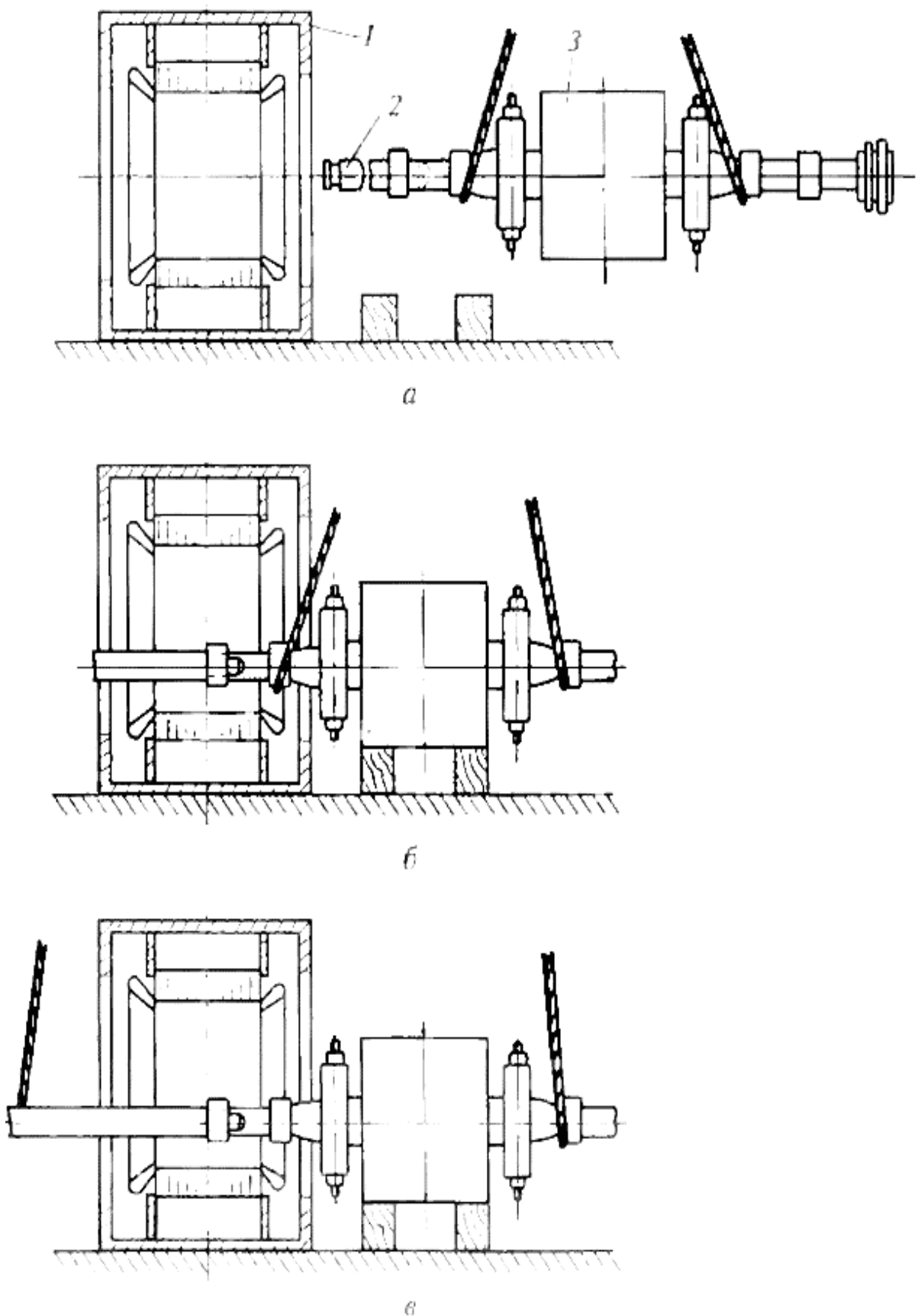


Рис. 35. Схема ввода ротора в статор с использованием удлинителя
(а – начало ввода; б – установка ротора на шпалы; в – закрепление стропа
на удлинителе): 1 – статор; 2 – удлинитель вала; 3 – ротор

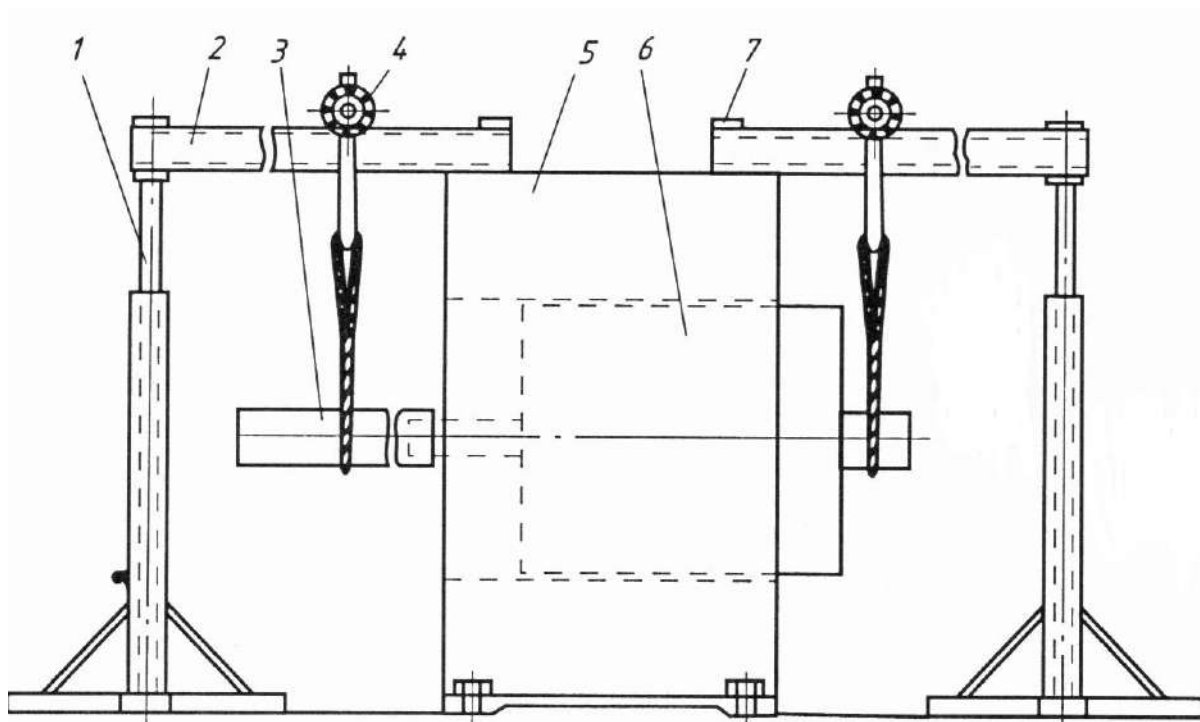


Рис. 36. Схема ввода ротора в статор с применением удлинителя и специального приспособления: 1. – стойка; 2 – балка; 3 – удлинитель; 4 – грузовой ролик; 5 – статор; 6 – ротор; 7 – накладка

После выверки установки машины (агрегата) составляют акт. В акте отмечается правильность монтажа электрической машины, соответствие нормам и инструкции предприятия – изготовителя. После этого устанавливают на место лобовые щиты и кожухи, щеточный суппорт, траверсы и щетки машины.

Контрольные вопросы

1. По каким критериям проводится проверка фундаментов под монтаж электрических машин?
2. С помощью каких инструментов проводится проверка фундаментов?
3. Опишите процесс ввода ротора в статор крупной машины.
4. Как осуществляется центровка валов электрической машины и механизма в случае их соединения с помощью муфты?
5. Каковы особенности центровки валов крупных электрических машин?

ГЛАВА II. НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

2.1. Методика наладки и проверка состояния изоляции

Электрические машины, вводимые в эксплуатацию после монтажа, подвергаются приемо-сдаточным испытаниям в объеме, предусмотренном «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ).

В программу входят:

- 1) измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками, а также сопротивления изоляции заложённых в машину температурных индикаторов;
- 2) определение возможности включения электрических машин без сушки;
- 3) испытание электрической прочности изоляции повышенным напряжением промышленной частоты;
- 4) измерение сопротивления обмоток постоянному току в практически холодном состоянии;
- 5) измерение воздушных зазоров между полюсами и якорем для машин постоянного тока, между статором и ротором для машин переменного тока;
- 6) измерение зазоров в подшипниках скольжения;
- 7) измерение разбега ротора (якоря) в осевом направлении для машин с подшипниками скольжения;
- 8) проверка работы машин на холостом ходу;
- 9) измерение вибрации машин;
- 10) снятие характеристики холостого хода;
- 11) испытание межвитковой изоляции обмоток на электрическую прочность;
- 12) определение характеристик трехфазного короткого замыкания для синхронных машин;
- 13) определение реактивных сопротивлений и постоянных времени синхронных генераторов;
- 14) измерение расхода охлаждающего воздуха (для машин с принудительной системой вентиляции);
- 15) проверка и испытание системы маслоснабжения;
- 16) проверка изоляции подшипника (для машин с подшипниковыми стойками);
- 17) проверка работы машины под нагрузкой, определение рабочих характеристик, нагрева и др.

В зависимости от габарита, назначения электрической машины, а также потребности в определении данных для наладочных работ объем приемо-сдаточных испытаний может быть увеличен. Он может быть увеличен, если машина на предприятии-изготовителе не проходила в полном объеме приемочных или приемо-сдаточных испытаний [16, с. 64–121].

Отдельные пункты программ по согласованию с заказчиком могут быть сокращены.

Весь комплекс работ по наладке электрических машин делится на следующие группы:

1. Определение характеристик и испытание собственно электрической машины в неподвижном ее состоянии и в состоянии работы.
2. Определение характеристик и испытание вспомогательных устройств машины (системы возбуждения, охлаждения, смазки).
3. Проверка и наладка вторичных устройств (релейных защит, устройств синхронизации, автоматики, управления, сигнализации и блокировок).

Заключение о возможности ввода машины в эксплуатацию делается по результатам всего комплекса работ, то есть на основании совокупности результатов испытаний и проверок всего, оборудования, наладки всех его вторичных устройств, обеспечивающих нормальную эксплуатацию машины.

2.2. Способы сушки изоляции

Первая проверка состояния изоляции производится сразу же после установки машины на фундамент с целью своевременного решения вопроса о необходимости сушки машины или устранения дефектов в изоляции, появившихся при транспортировке или монтаже [12, с. 58–87].

Проверка включает в себя внешний осмотр и получение сведений о степени увлажненности изоляции. Внешний осмотр производится после очистки и продувки машины от пыли и грязи. Особое внимание уделяется изоляции лобовых частей машины в месте выхода из паза, состоянию крепления лобовых частей, клиньев в пазах, бандажей, состоянию покраски и лаковых покрытий. Необходимо обращать внимание на отсутствие сдвигов пакетов стали, отсутствие вмятин, изломов и разрывов изоляции обмоток, на надежность выполнения выводов, на правильность выполнения заземления и фланцев на маслопроводах. У машин постоянного тока, кроме того, производится осмотр якоря, полюсов, межполюсных соединений, коллектора, щеток и щеткодержателей.

Проверка увлажнения изоляции производится для каждой ветви или фазы обмотки. При оценке состояния увлажненности и решении вопроса о необходимости сушки компаундированной, терморезистивной и гильзовой изоляции обмотки статора генератора руководствуются указаниями «Инструкции по определению возможности включения вращающихся электрических машин переменного тока без сушки». Для генераторов с бумажно-масляной изоляцией необходимость сушки определяется инструкцией завода-изготовителя.

Генераторы и синхронные компенсаторы с воздушным или водородным охлаждением обмоток статора, а также электродвигатели мощностью выше 5 МВт могут включаться в работу без сушки при соблюдении следующих условий:

1. $R_{из}$ обмоток генератора, измеренное при $T = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, не менее определяемого по формуле:

$$R_{60''} = \frac{U_{ном}}{1000 + 0,01S_{ном}},$$

где $U_{ном}$ – номинальное линейное напряжение, В; $S_{ном}$ – номинальная мощность, кВ·А.

Если $R_{из}$, вычисленное по этой формуле, менее 0,5 МОм, то за наименьшее допустимое значение принимается 0,5 МОм. Значение $R_{из}$ обмоток генератора, измеренного при $T < 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, но не менее $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, составляет не менее вычисленного по вышеприведенной формуле, умноженного на следующий коэффициент, соответствующий температуре измерения:

$T\text{ }^{\circ}\text{C}$ 75 70 60 50 40 30 20 10

K_T 1,0 1,2 1,7 2,4 3,4 4,7 6,7 9,4

2. Измеренное значение коэффициента абсорбции $R_{60''}/R_{15''}$ при $T = 10 \div 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ не ниже 1,3.

3. Измеренное значение коэффициента нелинейности K_u , определяемого по зависимости токов утечки от испытательного напряжения, не более.

Генераторы и синхронные компенсаторы с водяным охлаждением в случае, если конструкция генератора позволяет измерять токи утечки каждой фазы или ветви при соединенных остальных с корпусом, могут включаться в работу без сушки при соблюдении условий 1, 2 и 3, в противном случае – 1 и 2.

Электродвигатели выше 1000 В мощностью до 5 МВт включительно включаются без сушки, если измеренное значение R_{60}''/R_{15}'' при $T = 10 \div 30$ °С не ниже 1,2. Электродвигатели ниже 1000 В включаются без сушки, если измеренное значение из при $T = 10 \div 30$ °С не менее 0,5 МОм.

Таблица 2.1

Допустимые значения сопротивления изоляции ($R_{из}$) электродвигателей

№	Температура обмотки, °С	Наименьшее значение сопротивления изоляции, МОм, при номинальном напряжении обмотки, кВ		
		3–3,15	6–6,3	10–10,5
1	10	30	60	100
2	20	20	40	70
3	30	15	30	50
4	40	10	20	35
5	50	7	15	25
6	60	5	10	17
7	75	3	6	10

Роторы электрических машин, охлаждаемые воздухом или водородом, не подвергаются сушке, если $R_{из}$, измеренное при $T = 10 \div 30$ °С, не менее 0,5 МОм для генераторов и синхронных компенсаторов и 0,2 МОм для электродвигателей. В отдельных случаях допускается ввод в эксплуатацию синхронных машин мощностью не более 300 МВт с неявнополусными роторами, охлаждаемых газом, если у последних $R_{из}$ не ниже 2 кОм при $T = 75$ °С или 20 кОм $T = 20$ °С; при большей мощности и $R_{из}$ ротора ниже 0,5 МОм при $T = 10 \div 30$ °С – только по согласованию с заводом-изготовителем [18, с. 34–102].

Машины постоянного тока включаются в работу при условии, если сопротивление изоляции ($R_{из}$) не менее 0,5 МОм.

Измерение сопротивления изоляции $R_{из}$ и коэффициента абсорбции.

Сопротивление изоляции $R_{из}$ и коэффициент абсорбции $K_{абс}$ – важные характеристики состояния изоляции электрических машин и их измерение необходимо при всех испытаниях изоляции. Для определения $R_{из}$ измеряется ток утечки, проходящий через изоляцию, при приложении к ней выпрямленного напряжения:

$$R_{из} = \frac{U_{прил, выпр}}{I_{ут}} \cdot c$$

В связи с особенностями, связанными со структурой изоляционного материала, проявляющимися в характере изменения тока, проходящего через него, и вызывающими явление поляризации, значение сопротивления $R_{из}$, зависит от времени с момента приложения напряжения. Правильный результат может дать измерение тока утечки по истечении 60 с после приложения напряжения, то есть к моменту, когда ток абсорбции, вызванный явлением поляризации, в основном затухает.

Отношение сопротивления изоляции, измеренного через 60 с после приложения напряжения R_{60} , к сопротивлению изоляции, измеренному через 15 с после приложения напряжения R_{15} , то есть к моменту прекращения тока заряда геометрической емкости изоляции, определяет коэффициент абсорбции:

$$K_{абс} = \frac{R_{60}}{R_{15}}.$$

Если изоляция сухая, то коэффициент абсорбции значительно превышает единицу. У влажной изоляции коэффициент абсорбции близок к единице [12, с. 54–92]. На рис. 37 представлены кривые изменений $R_{из}$ и $K_{абс}$ во времени увлажненной и сухой изоляции.

Измеряется сопротивление каждой фазы или обмотки по отношению к корпусу или якорю и другим заземленным обмоткам.

При емкости обмотки более 0,01 мкФ применение мегомметров с ручным приводом приводит к ошибкам при отсчете, и поэтому следует пользоваться мегаомметром с выпрямительной приставкой или приводом. После окончания измерений обмотку следует присоединить к контуру заземления не менее чем на 2 мин для снятия электростатического заряда.

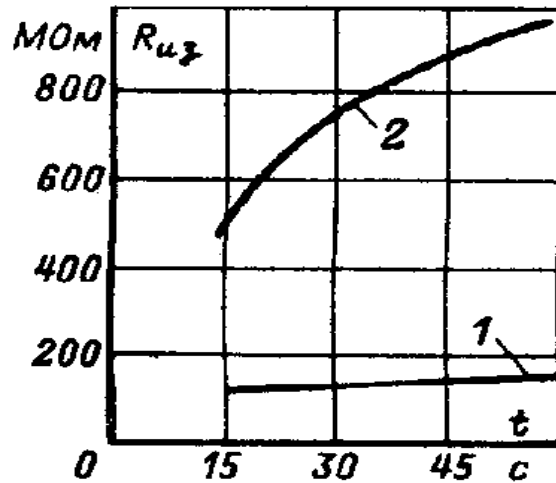


Рис. 37. Графические зависимости изменения сопротивления изоляции $R_{из}$ во времени;
1 – влажная изоляция ($R_{60}/R_{15} \approx 1,1$); 2 – высушенная изоляция ($R_{60}/R_{15} \approx 1,7$)

При измерении сопротивления изоляции обмотки статора с непосредственным охлаждением принимают меры по уменьшению погрешности, вызванной остающейся после слива воды влажностью внутренней поверхности шлангов. Для этого измерения производят, по схеме, приведенной на рис. 38.

В этом случае коллекторы будут иметь практически такой же потенциал, как и испытываемая фаза, присоединенная к линейному зажиму мегомметра.

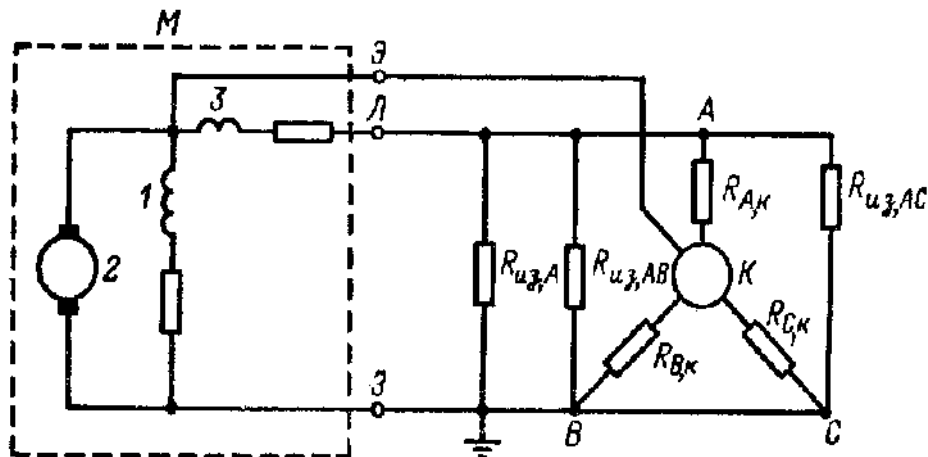


Рис. 38. Схема измерения сопротивления $R_{из}$ обмоток статора генератора с водяным охлаждением; $R_{из, А}$ – сопротивление изоляции фазы А по отношению к корпусу; $R_{из, АВ}$; $R_{из, АС}$ – то же по отношению к фазам В и С; $R_{А, к}$, $R_{В, к}$, $R_{С, к}$ – сопротивление шлангов фаз А, В и С; К – коллекторы системы охлаждения; М – мегомметр; 1 – малая рамка; 2 – генератор; 3 – большая рамка; Л, З, Э – зажимы

Поэтому по поверхности шлангов этой фазы ток проходить не будет, и их сопротивление не окажет непосредственного влияния на результат измерения сопротивления фазы.

Измерение токов утечки на выпрямленном напряжении для построения характеристики $i_{yt} = f(U_{исп})$ допускается, если $R_{60''}$ или $K_{абс}$ удовлетворяет приведенным выше нормам. Характеристика $i_{yt} = f(U_{исп})$ снимается не менее чем для пяти значений испытательного напряжения выпрямленного тока в пределах от U_{min} до U_{max} , равными ступенями (предварительно проверяется отсутствие утечек в испытательной схеме путем подъема напряжения без нагрузки).

Значения U_{max} для электрических машин установлены нормами в зависимости от $U_{ном}$ (включительно) следующие (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Значения U_{max} для электрических машин

№	Наименование напряжения	Величина напряжения, кВ		
1	$U_{ном}$	До 6.6	6.6–20.0	20.0–24,0
2	U_{max}	$1.28 \text{ } 2.5 \text{ } U_{ном}$	$1,28(2U_{ном} + 3)$	$1,28(2U_{ном} + 1)$

Рекомендуемые значения ступеней при испытании – $0,5 U_{ном}$. На каждой ступени напряжение выдерживается в течение 1 мин и производится отсчет $i_{15''}$ и $i_{60''}$. По характеру изменения токов в зависимости от испытательного напряжения, асимметрии токов по фазам и характеру изменения токов в течение 1 мин можно судить о степени увлажнения изоляции и наличии дефектов.

У генераторов с водяным охлаждением изоляция обмотки статора подвергается испытанию выпрямленным напряжением, если это позволяет конструкция.

Коэффициент нелинейности $K_{нелин}$ определяется по 60-секундным токам утечки при испытательном напряжении U_{min} и U_{max} :

$$K_{нелин} = \frac{i_{ym, max} U_{min}}{i_{ym, min} U_{max}},$$

Причем, минимальное напряжение U_{min} принимается равным $0,5 U_{ном}$. У сухой изоляции коэффициент нелинейности не превосходит 2–3. Для увлажненной изоляции $K_{нелин} > 3-4$, но иногда у очень влажной изоляции $K_{нелин}$ мал, поэтому его значения следует сопоставлять с абсолютным значением сопротивления изоляции.

2.3. Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением

При испытаниях изоляции обмоток повышенным напряжением выявляются местные дефекты: трещины, изломы, проколы, значительные расслоения, воздушные включения. Испытаниям подвергается каждая фаза обмотки по отношению к корпусу и другим заземленным (соединенным с корпусом) фазам. У машин с параллельными ветвями при наличии между ними полной изоляции испытаниям подвергается каждая ветвь по отношению ко всем другим обмоткам. Ввиду значительного емкостного тока, проходящего при испытании обмоток генераторов, синхронных компенсаторов и некоторых других электрических машин, мощность испытательных и регулировочных трансформаторов в этих случаях должна быть выбрана с учетом мощности заряда емкости обмоток. Для испытания машин мощностью до $75 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ пользуются испытательными установками мощностью $50-100 \text{ кВ} \cdot \text{А}$. При испытании изоляции крупных генераторов используются компенсирующие трансформаторы, значительно уменьшающие необходимую мощность испытательной установки; для испытания мелких электродвигателей низкого напряжения, машин постоянного тока и пускорегулирующей аппаратуры можно пользоваться измерительными трансформаторами напряжения типов НОМ-3 и НОМ-6 [18, с. 21–87].

При приемо-сдаточных испытаниях генераторов 10 кВ и выше после испытания изоляции обмотки повышенным напряжением промышленной частоты в течение 1 мин испытательное напряжение снижается до номинального значения и выдерживается в течение 5 мин для наблюдения за характером коронирования лобовых частей обмотки статора. При этом не должны наблюдаться сосредоточенные в отдельных точках свечение желтого и красноватого цвета, дым, тление бандажей и тому подобные явления. Голубое и белое свечение допускается.

Перед включением в работу по окончании монтажа проводится контрольное испытание номинальным напряжением промышленной частоты или выпрямленным напряжением $1,5 U_{ном}$ в течение 1 мин при открытых люках, через которые производится наблюдение.

При обнаружении загорания, запаха горелой изоляции, звуков электрических разрядов люки должны быть быстро закрыты и в статор должен быть подан инертный газ.

2.4. Измерение сопротивления постоянному току обмоток

Измерения у крупных машин производятся компенсационным методом, двойным мостом или методом амперметра – вольтметра с использованием приборов класса точности не ниже 0,5 и подключением милливольтметра непосредственно к выводам обмоток до амперметра. При измерении сопротивления постоянному току обмотки ротора синхронных машин для надежности соединения токовых цепей схемы измерения с обмоткой ротора используются специальные бандажи с болтовыми соединениями в местах разъема, надеваемые на предварительно зачищенные кольца ротора. Концы проводников, используемые для измерения напряжения, подкладываются перед стягиванием под бандажи. Температура обмоток крупных машин измеряется ртутными термометрами или термисторами (заводскими или лабораторными) не менее чем в четырех точках статора и ротора, в том числе обязательно в верхних и нижних точках лобовых частей. За температуру обмоток принимается среднее значение из всех измеренных.

Измерения производятся несколько раз, а при использовании метода амперметра – вольтметра при нескольких значениях тока – не менее 4–5 раз. За сопротивление постоянному току принимается среднее значение из всех измеренных. Согласно требованиям норм ПУЭ измеренные значения сопротивления постоянному току по отдельным фазам не должны различаться более чем на 2 %, а по отдельным параллельным ветвям более чем на 5 %. Кроме того, результаты измерений не должны отличаться от предыдущих результатов, в том числе заводских измерений, более чем на 2 %. Для удобства оценки и сравнения измеренные значения сопротивлений приводятся к температуре 15 °С. Значительные отклонения от этих норм указывают на вероятность наличия плохих паяк в лобовых частях статора, а чаще всего в местах подсоединений обмоток к выводам или в токопроводах ротора. Для выявления плохих паяк в статоре производится прогрев обмотки статора постоянным током или током от постороннего источника. При прогреве обмотки статора прощупываются рукой лобовые части статора. По наиболее нагретому месту определяется дефектная пайка. Токоподводы ротора проверяются тщательной ревизией

их с измерением сопротивления постоянному току отдельных участков. Дефектный участок ремонтируется [12, с. 84-102]. Прибор КВТ-1 позволяет определять дефектные пайки стержней генератора в лобовых частях без прогрева его и снятия изоляции. Для этой же цели используется прибор ИВ-ЗМ (искатель вихревой).

2.4.1. Измерение сопротивлений постоянному току обмоток статора асинхронных электродвигателей

Измерение сопротивлений постоянному току обмоток статора асинхронных электродвигателей производится между линейными выводами, если каждая обмотка не имеет отдельных выводов и соединение их в звезду или треугольник осуществлено внутри машины. Сопротивления отдельных фаз в этих случаях определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} R_A &= 0,5(R_{AB} + R_{AC} - R_{BC}); \\ R_B &= 0,5(R_{AB} + R_{BC} - R_{AC}); \\ R_C &= 0,5(R_{AC} + R_{BC} - R_{AB}); \end{aligned} \right\} \text{ для соединения в звезду,}$$

где R_{AB} , R_{AC} , R_{BC} – сопротивления, измеренные между выводами A и B , A и C , B и C .

Измерение сопротивления постоянному току обмоток ротора электродвигателей с фазным ротором производится так же, как между кольцами ротора.

2.4.2. Измерение сопротивления постоянному току обмоток машин постоянного тока

Измерение сопротивления постоянному току обмоток машин постоянного тока производится до их сборки. Сопротивление параллельных обмоток возбуждения может измеряться одинарным мостом, обмоток дополнительных полюсов, компенсационной обмотки, последовательной обмотки возбуждения – двойным мостом. Измерение между каждой смежной парой пластин по окружности коллектора для определения состояния паек «петушков» производится микроомметром или методом амперметра – вольтметра по схеме, приведенной на рис. 39, с помощью щупов, магнитоэлектрического амперметра с пределами измерений 10-20 А и милливольтметра с пределами измерений 10-60 мВ.

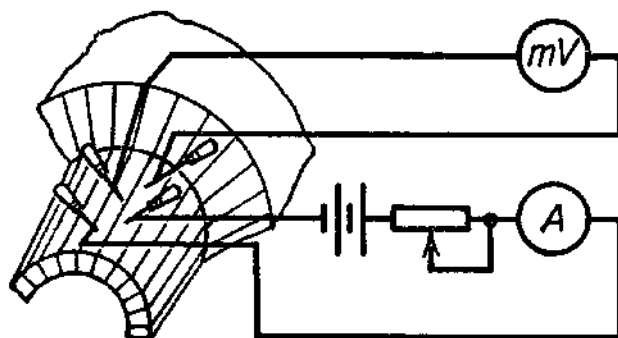


Рис. 39. Схема проверки состояния коллекторных пластин машин постоянного тока

Измерения производятся при токе, достаточном для четкого измерения напряжения (ток поддерживается одинаковым при всех измерениях). Последнее условие здесь дает возможность не подсчитывать для каждого измерения сопротивление постоянному току, а сравнивать измеренные напряжения. Сопротивление постоянному току подсчитывается по результатам измерений тока и напряжения. Результаты проверки состояния паяк «петушков» считаются удовлетворительными, если значения сопротивлений или напряжений при одном и том же токе в якоре не различаются более чем на 10 %. Пайка «петушков», для которых получены большие отклонения, считается дефектной и требует переделки. В некоторых случаях при наличии в обмотке уравнительных соединений (наличие их проверяется по заводской документации) могут иметь место закономерные отклонения отдельных результатов в пределах 20–30 %.

Кроме измерения сопротивлений постоянному току отдельных паяк, у якоря измеряется сопротивление постоянному току всей его обмотки в целом [12, с. 54–76]. Измерение производится между коллекторными пластинами, находящимися одна от другой на расстоянии по коллектору:

$$N = \frac{N'}{2p},$$

где N' – полное число пластин по коллектору; $2p$ – число пар полюсов возбuditеля.

У возбuditелей турбогенераторов, имеющих сложную волновую обмотку, кроме перечисленных измерений, для выявления дефектных паяк и витковых замыканий рекомендуется производить измерения между

пластинами, отстоящими одна от другой на расстоянии шага по коллектору y_k . У возбuditелей отечественного производства, имеющих четыре полюса – это расстояние между диаметрально противоположными точками по коллектору. Схема соединения обмоток якоря и шаг по коллектору определяются по заводским инструкциям и чертежам. В процессе измерений шаг по коллектору y_k уточняют, имея в виду, что сопротивление постоянному току секции обмотки, измеренное между пластинами, отстоящими по коллектору на расстояние, определяемое шагом y_k , всегда меньше, чем между соседними пластинами. Температура обмоток машин постоянного тока специально не измеряется, а определяется по температуре окружающего воздуха. Все результаты приводятся к температуре 15 °С и сравниваются с результатами заводских измерений. Отклонений от результатов заводских измерений не должно быть; незначительная разница может быть лишь за счет метода измерений и класса приборов, используемых при измерениях на заводе и на месте монтажа. После полной сборки машины постоянного тока производится повторное измерение сопротивления постоянному току всех обмоток для проверки качества сборки и получения исходных данных для последующих эксплуатационных проверок. Сопротивление обмотки якоря чаще всего измеряется совместно с сопротивлениями компенсационной обмотки и обмотки дополнительных полюсов, если соединение между ними не выведено на доску зажимов, при вставленных щетках и нескольких положениях якоря (за результат принимается средний результат всех измерений).

2.5. Определение активных и индуктивных сопротивлений обмоток синхронных машин

При капитальном ремонте электрических машин проводятся измерения, позволяющие определить сверхпереходные активные и индуктивные сопротивления генератора и сопротивления, соответствующие несимметричной его нагрузке (стационарный метод). Для этого используется трансформатор собственных нужд РУ 0,4 кВ. Однофазное переменное напряжение 380 В подается поочередно на выводы фаз обмотки статора А и В, В и С, А и С (рис. 40).

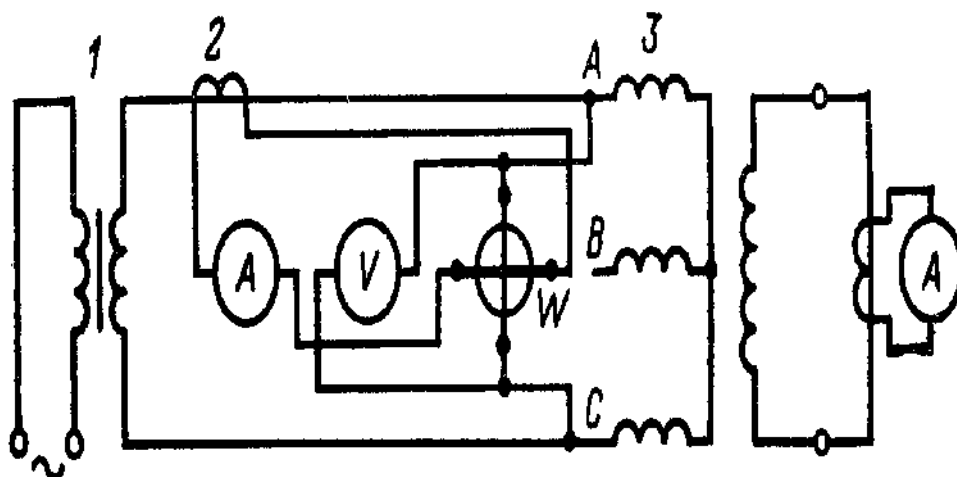


Рис. 40. Схема измерений для определения активных и индуктивных сопротивлений генератора: 1 – испытательный трансформатор или сеть 220-380 В; 2 – трансформаторы тока и измерительные приборы; 3 – обмотка статора

Во всех трех опытах измеряют ток, напряжение и активную мощность: I_{AB} , I_{BC} , I_{AC} , U_{AB} , U_{BC} , U_{AC} , P_{AB} , P_{BC} , P_{AC} . Для исключения погрешностей при измерениях за счет влияния сопротивления измерительных проводов и переходных контактов вольтметр и обмотка напряжения ваттметра должны присоединяться отдельными проводами непосредственно ко вводам генератора. Во избежание возникновения в обмотке ротора значительных напряжений, а также для обеспечения точности измерений обмотка ротора при производстве измерений замыкается накоротко (при этом необходимо контролировать ток, проходящий в этой обмотке). Правильность произведенных измерений проверяется определением $\cos \varphi$. Последний должен быть в пределах 0,2–0,4.

Ток I и мощность P , потребляемая при измерениях, определяются по формулам:

$$I = \frac{US_{ном}}{2 \cdot 0,15 \cdot U_{ном}^2};$$

$$P = UI \cdot \cos \varphi_K,$$

где U – напряжение, подаваемое на вводы генератора, В; $U_{ном}$ – номинальное линейное напряжение, кВ; $S_{ном}$ – активная номинальная мощность, МВ·А.

Индуктивные и активные сопротивления определяются по следующим формулам.

Полные сопротивления (Ом), отнесенные к одной фазе обмотки:

$$z_{AB} = \frac{U_{AB}}{2I_{AB}}; \quad z_{BC} = \frac{U_{BC}}{2I_{BC}}; \quad z_{AC} = \frac{U_{AC}}{2I_{AC}}.$$

Активные сопротивления (Ом), также отнесенные к одной фазе:

$$r_{AB} = \frac{P_{AB}}{2I_{AB}^2}; \quad r_{BC} = \frac{P_{BC}}{2I_{BC}^2}; \quad r_{AC} = \frac{P_{AC}}{2I_{AC}^2}.$$

Индуктивные сопротивления (Ом), отнесенные к одной фазе:

$$x_{AB} = \sqrt{(z_{AB}^2 - r_{AB}^2)}; \quad x_{BC} = \sqrt{(z_{BC}^2 - r_{BC}^2)}; \quad x_{AC} = \sqrt{(z_{AC}^2 - r_{AC}^2)}.$$

Средние значения сопротивлений, Ом:

$$z_{cp} = \frac{z_{AB} + z_{BC} + z_{AC}}{3}; \quad z_{cp} = \frac{z_{AB} + z_{BC} + z_{AC}}{3}; \quad z_{cp} = \frac{z_{AB} + z_{BC} + z_{AC}}{3};$$

Сверхпереходные индуктивные сопротивления по продольной оси:

$$x_d'' = x_{cp} - \Delta x,$$

где $\Delta x = 0,667 \sqrt{x_{AB}(x_{AB} - x_{BC}) + x_{BC}(x_{BC} - x_{AC}) + x_{AC}(x_{AC} - x_{AB})}.$

Сверхпереходное индуктивное сопротивление по поперечной оси:

$$x_q'' = x_{cp} + \Delta x.$$

Индуктивное сопротивление обратной последовательности:

$$x_2 \approx x_{cp}.$$

Индуктивное сопротивление в процентах определяется по формуле:

$$x\% = \frac{S_{ном} x}{U_{ном}^2} 100\%,$$

где $S_{ном}$ – номинальная мощность машины, МВ·А; $U_{ном}$ – номинальное линейное напряжение, кВ; x – индуктивное сопротивление, Ом.

Активное сопротивление по продольной оси:

$$r_d'' = r_{cp} - \Delta r,$$

где $\Delta r = 0,667 \sqrt{r_{AB}(r_{AB} - r_{BC}) + r_{BC}(r_{BC} - r_{AC}) + r_{AC}(r_{AC} - r_{AB})}$.

Активное сопротивление по поперечной оси:

$$r_q'' = r_{cp} + \Delta r.$$

Активное сопротивление ротора:

$$r_{p,cp} = r_{cp} - r_{cm};$$

$$r_{d,p}'' = r_d'' - r_{cm};$$

$$r_{q,p}'' = r_q'' + r_{cm};$$

$$R_{2p} = \sqrt{2} \cdot r_{p,cp}.$$

В этих выражениях r_{cm} принимается равным $(2 \div 3)r$ для генераторов, имеющих непрерывную изоляцию обмотки статора, и $(4 \div 5)r$ для генераторов, имеющих гильзовую изоляцию; r – сопротивление одной фазы обмотки статора постоянному току; R_{2p} – активное сопротивление ротора обратной последовательности.

Активное сопротивление генератора обратной последовательности:

$$R_2 = r_{cm} + \sqrt{2} \cdot r_{p,cp}.$$

2.6. Измерение сопротивления переменному току обмоток полюсов синхронных машин

Методики измерения сопротивления переменному току обмоток полюсов синхронных машин с явнополюсным и неявнополюсным ротором несколько отличаются друг от друга.

Измерение полного сопротивления катушек полюсов явнополюсного ротора синхронной машины z производится с целью проверки целости

обмоток, отсутствия витковых замыканий и исправности всех межполюсных соединений. Измерение производится подачей переменного напряжения на каждую катушку полюса отдельно у явнополусных машин от постороннего источника через трансформатор 127–220/12–36 В с измерением при этом напряжения и тока [6, с. 67–83]. Полное сопротивление определяется как частное от деления подаваемого на катушку напряжения U на ток I .

Результаты проверки полюсов считаются удовлетворительными, если сопротивления всех катушек у явнополусных машин не различаются значительно.

Измерение полного сопротивления обмотки неявнополусного ротора производится подачей напряжения 220 В на обмотку ротора, находящегося в неподвижном состоянии, а также с целью выявления витковых замыканий в роторе и на вращающемся генераторе (при трех-четырех частотах вращения, включая номинальную).

2.7. Проверка полярности обмоток и порядок чередования фаз.

Полярность обмоток асинхронных машин

Полярность обмоток асинхронных машин, то есть правильность заводской маркировки, определяется с помощью поляромера (рис. 41).

Если присоединить плюс батареи к началу первой обмотки, а плюс гальванометра поочередно к началу второй и третьей обмоток, то в момент замыкания цепи источника постоянного тока гальванометр в случае правильной их маркировки будет отклоняться влево. Аналогичная проверка производится присоединением батареи к другим обмоткам.

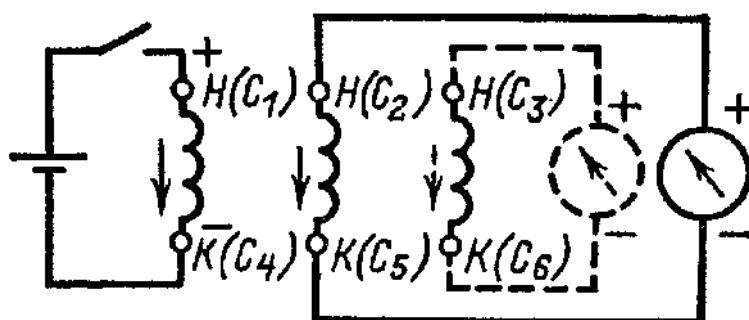


Рис. 41. Определение полярности обмоток электродвигателя

В дальнейшем опробованием определяется направление вращения электродвигателей для обеспечения заданного направления вращения приводимых агрегатов. Правильное направление вращения обеспечивается присоединением жил кабелей или ошиновки к выводам в соответствии со стандартным чередованием и раскраской фаз в последовательности, соответствующей одному из следующих вариантов: 1) фаза *A* (I; Ж) – к выводу *C1*, *C2* или *C3*; 2) фаза *B* (II; З) – к выводу *C2*, *C3* или *C1*; 3) фаза *C* (III; К) – к выводу *C3*, *C1* или *C2*.

Проверка полярности, согласования обмоток машин постоянного тока

Стандартное обозначение выводов обмоток машин постоянного тока приведено в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Стандартное обозначение выводов обмоток машин постоянного тока

№	Наименование выводов обмоток	Обозначение выводов	
		Начало	Конец
1	Обмотка якоря	<i>Я1</i>	<i>Я2</i>
2	Компенсационная обмотка	<i>К1</i>	<i>К2</i>
3	Обмотка добавочных полюсов	<i>Д1</i>	<i>Д2</i>
4	Последовательная обмотка возбуждения	<i>С1</i>	<i>С2</i>
5	Параллельная обмотка возбуждения	<i>Ш1</i>	<i>Ш2</i>
6	Пусковая обмотка	<i>П1</i>	<i>П2</i>
7	Уравнительный провод и уравнительная обмотка	<i>У1</i>	<i>У2</i>
8	Обмотка особого назначения	<i>0.1; 0.3 и т.д.</i>	<i>0.2; 0.4 и т.д.</i>

В основу обозначений положено условие, что при правом вращении машины постоянного тока в режиме двигателя (то есть по часовой стрелке, если смотреть на машину со стороны приводного конца) ток в его обмотке проходит от начала *1* к концу *2*. Основные случаи согласования обмоток генераторов и двигателей постоянного тока в зависимости от режима работы и направления вращения в соответствии с заводской маркировкой приведены на рис. 42 и 43.

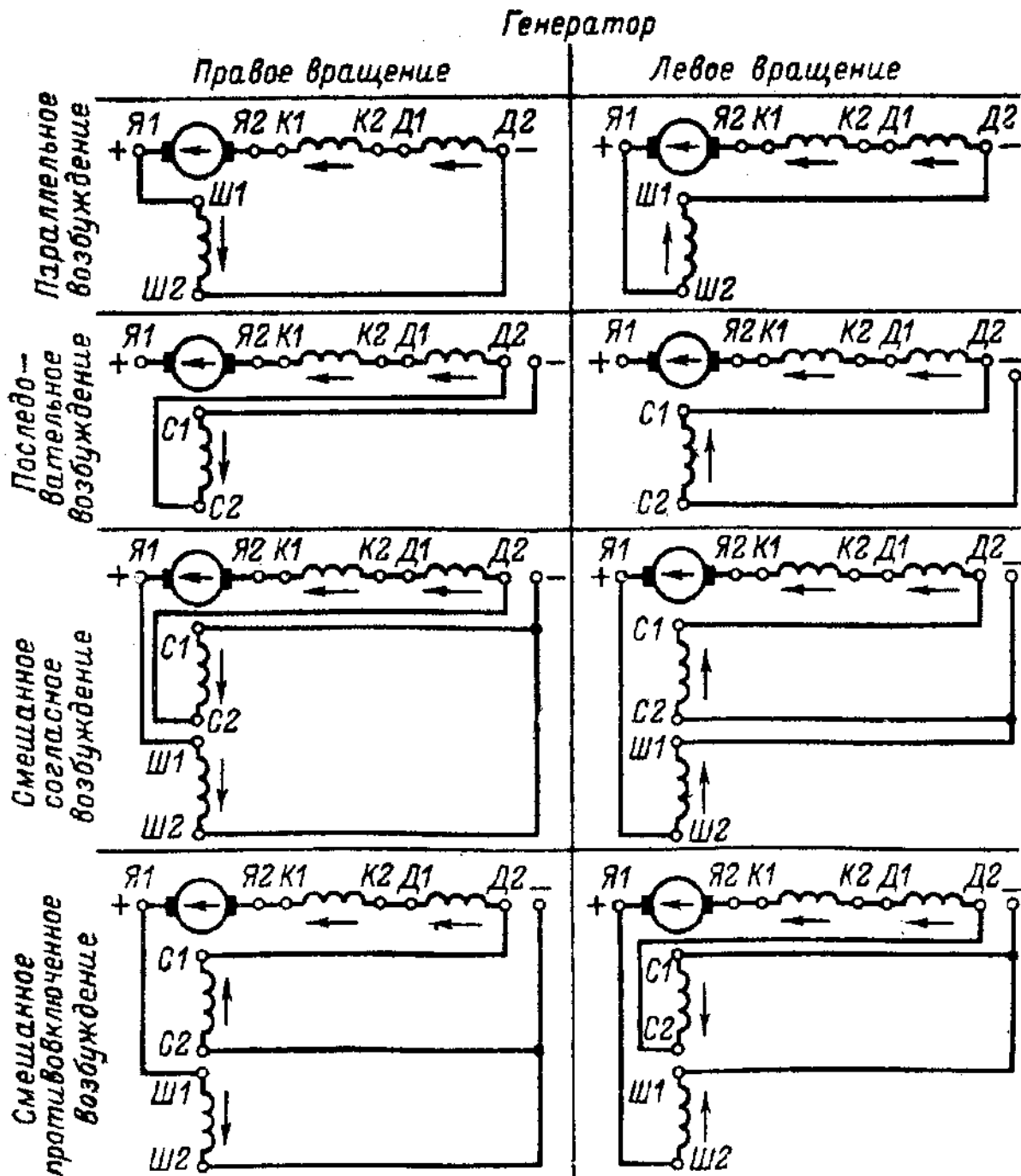


Рис. 42. Различные случаи стандартного согласования обмоток генераторов постоянного тока в зависимости от режима работы и напряжения в соответствии с заводской маркировкой

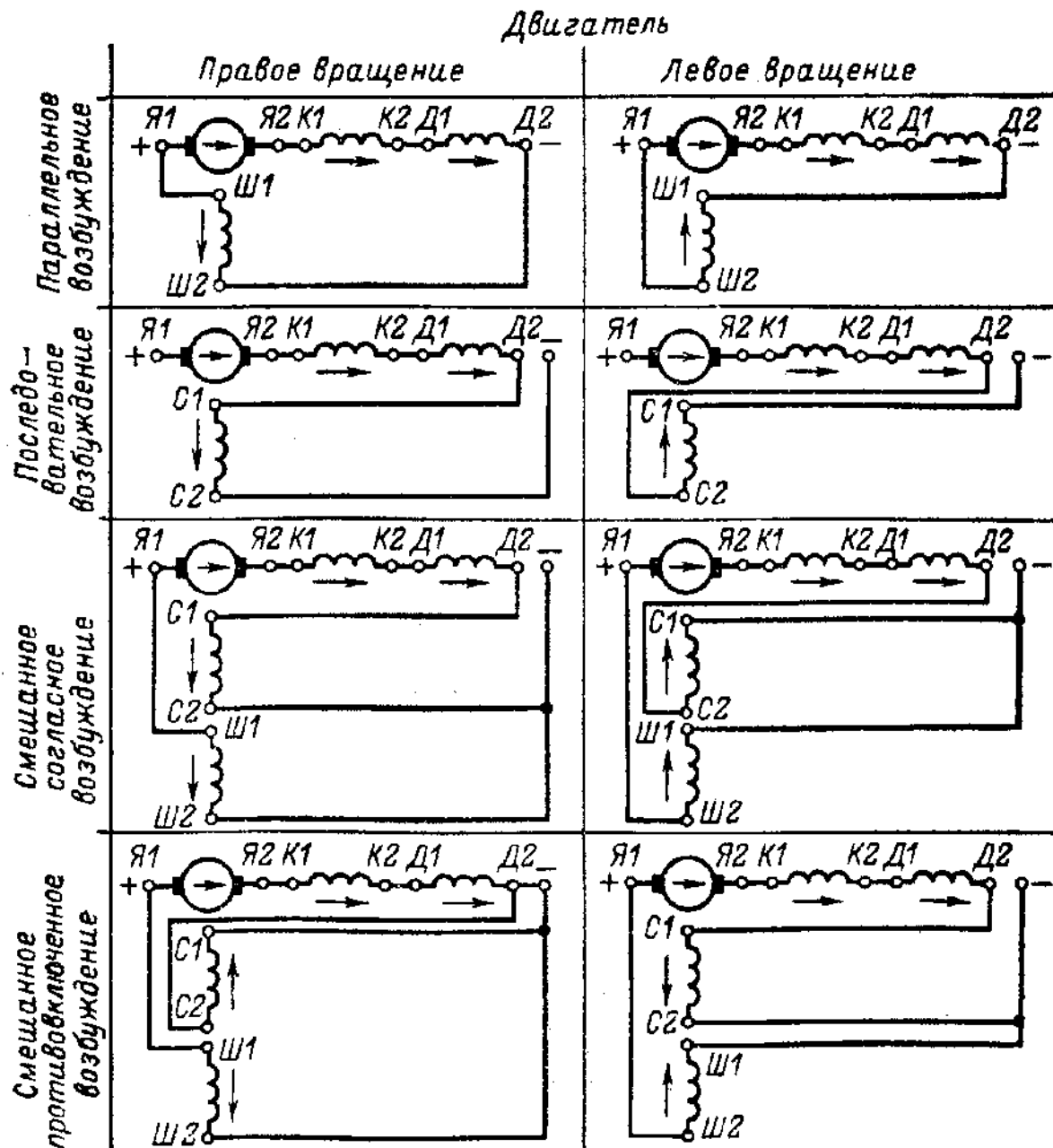


Рис. 43. Различные случаи стандартного согласования обмоток двигателей постоянного тока в зависимости от режима работы и напряжения в соответствии с заводской маркировкой

Исходя из этого, в режиме генератора ток во всех обмотках, кроме включаемых специально на размагничивание и обмоток возбуждения, при правом вращении должен проходить от конца 2 к началу 1. При новых включениях машин постоянного тока, в том числе используемых в качестве возбuditелей, должны быть проверены

соответствие полярностей обмоток заводским обозначениям выводов, правильность внутренних соединений, а также согласования обмоток основных и дополнительных полюсов, компенсационной обмотки для данного направления вращения, что важно для обеспечения безыскровой коммутации во время работы.

Проверка согласованности обмоток главных полюсов производится на собранной машине следующим образом. К одной из обмоток присоединяется переносная аккумуляторная батарея 6–12 В через рубильник (рис. 44), к другой – милливольтметр.

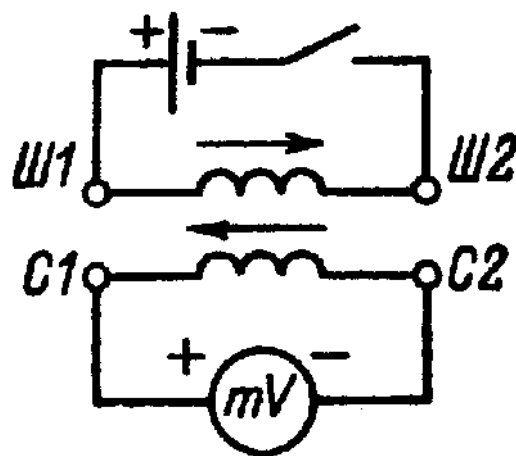


Рис. 44. Проверка согласованности обмоток главных полюсов импульсным методом

Если при включении рубильника стрелка милливольтметра отклонится вправо (а при отключении наоборот), то заводские обозначения обмоток главных полюсов правильны и обмотки согласованы между собой. Обмотка дополнительных полюсов и главная (параллельная) обмотка включаются в схему таким образом, чтобы в них при работе возбудителя проходил ток от одних однополярных зажимов к другим, например от Ш1 к Ш2 и от Д2 к Д1 для правого вращения и от Ш2 к К1 и от Д2 к Д1 для левого вращения.

Проверка может быть произведена методом проворачивания якоря. В этом случае собирается аналогичная схема (рис. 45), но милливольтметр присоединяется к якору зажимом любой полярности.

При согласованности обмоток и правильности заводских обозначений выводов милливольтметр при подаче напряжения на различные обмотки будет отклоняться в одну и ту же сторону.

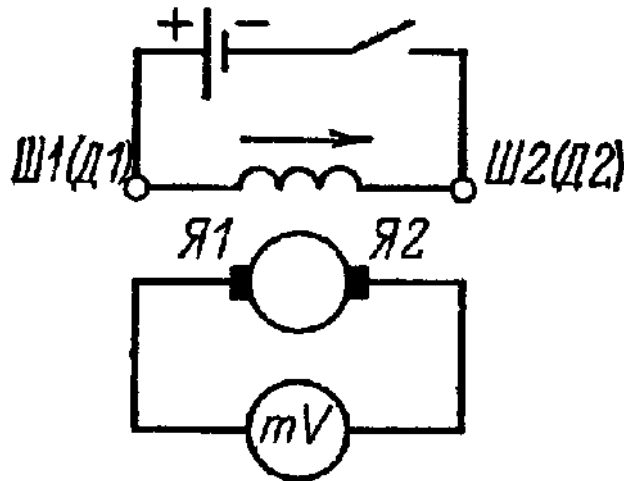


Рис. 45. Проверка согласованности обмоток главных полюсов методом проворачивания якоря

Правильность соединения обмоток якоря, дополнительных полюсов и компенсационной обмотки

Правильность соединения обмоток якоря, дополнительных полюсов и компенсационной обмотки проверяется на собранной машине следующим образом. В зазор между дополнительным полюсом и якорем вставляется рамка, сделанная из нескольких витков провода небольшого сечения с гальванометром, присоединенным к концам провода. К обмоткам якоря и дополнительных полюсов поочередно подключается кратковременно аккумуляторная батарея (рис. 46). При противоположных отклонениях гальванометра однополярными зажимами следует считать те, к которым подключался один и тот же зажим батареи. В этом случае должны быть соединены вместе разнополярные зажимы, например Я2 с Д1; чтобы ток в обмотках якоря и дополнительных полюсов проходил от одних однополярных зажимов к другим [14, с. 86–105]. При наличии в машине компенсационной обмотки импульс от аккумуляторной батареи подается на обмотку дополнительных полюсов и компенсационную обмотку, соединенные вместе (соединение их осуществляется заводом внутри машины).

В этом случае устанавливается правильность включения обмотки дополнительных полюсов и компенсационной обмотки по отношению к обмотке якоря.

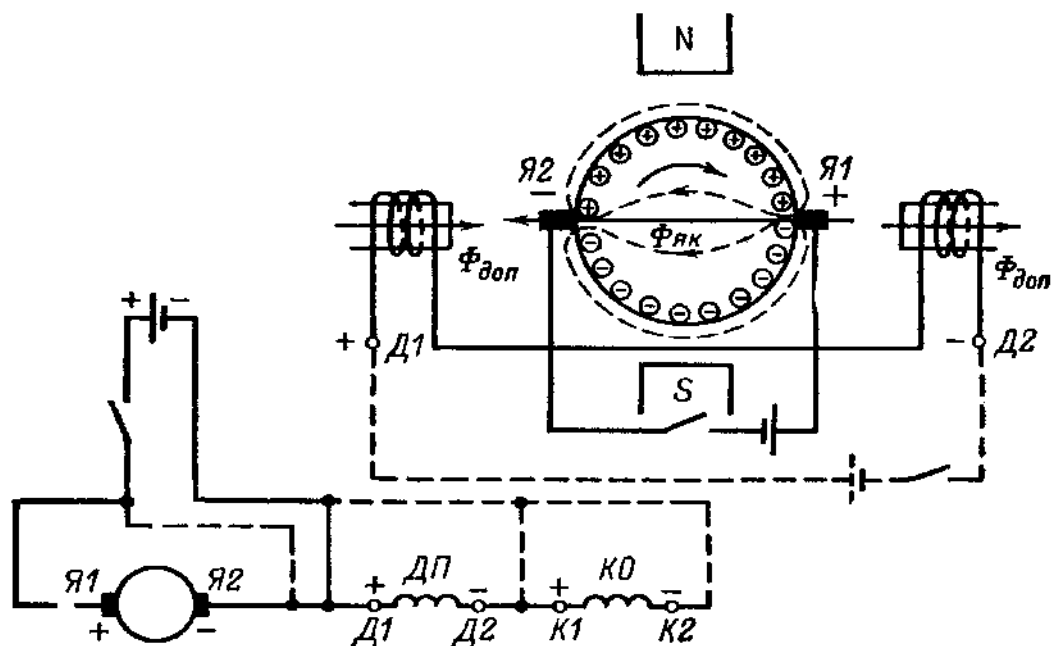


Рис. 46. Схема проверки правильности соединения обмоток якоря, дополнительных полюсов и компенсационной обмотки

Правильность соединения обмоток дополнительных полюсов (и компенсационной обмотки при ее наличии) с обмоткой якоря можно проверить переменным током. Для этого через обмотки, соединенные последовательно (рис. 47), подается переменный ток от сети 127–220 В, регулируемый реостатом R .

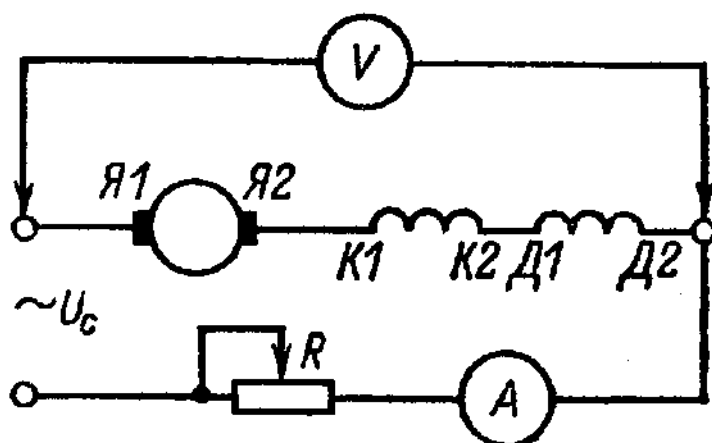


Рис. 47. Схема проверки правильности соединения обмоток дополнительных полюсов и компенсационной обмоткой якоря

Измеряется ток и напряжение, а по ним определяется сопротивление переменному току z . Измерение повторяется при изменении полярности обмоток относительно обмотки якоря. Правильным согласованием будет такое, при котором z наименьшее. Это следует из того, что при правильном согласовании обмоток потоки, создаваемые якорем и обмотками дополнительных полюсов и компенсационной (при наличии ее), направлены встречно; следовательно, результирующий поток меньше, чем он был бы при одинаково направленных потоках, а сопротивление переменному току цепи с обмоткой пропорционально потоку, связанному с обмоткой. При этой проверке одновременно выявляется наличие витковых замыканий в обмотках.

Правильность соединения компенсационной обмотки и обмотки дополнительных полюсов

Правильность соединения компенсационной обмотки и обмотки дополнительных полюсов можно устанавливать прослеживанием соединений на разобранной машине аналогично тому, как это делается при проверке чередования главных полюсов, то есть, задаваясь условным направлением токов и пользуясь правилом «буравчика». Если соединение обмоток осуществляется на сборке зажимов, правильность соединения их устанавливается индуктивным методом – подачей импульсов от батареи на одну из них и определением направления отклонения стрелки гальванометра, подключенного к другой из них. Плюс батареи и плюс гальванометра при проверке отклонения гальванометра в обоих случаях положительны, и в этом случае соединяют вместе разнополярные выводы, то есть $D2$ с $K1$.

Определение полярности выводов якоря (щеток)

Определение полярности выводов якоря (щеток) производится для правильного присоединения к возбудителю измерительных цепей и различных устройств, связанных электрически с цепями возбуждения генератора, при монтаже. Согласно ГОСТ положительными для правого вращения должны быть выводы якоря HI и обмотки возбуждения III . Это может проверяться двумя способами [5, с. 56–78].

Способ № 1. Плюс батареи (постоянного источника) подключается к III или $III2$ в зависимости от направления вращения якоря. К выводам якоря подключается милливольтметр (плюс прибора соединяется

с выводом *Н1*), и якорь резко приводится во вращение. Если заводская маркировка правильна, то милливольтметр отклонится в правую сторону. В противном случае внешние цепи подключают, исходя из установленной при проверке полярности.

Способ № 2. Он применяется, когда якорь нельзя привести во вращение. К якору возбuditеля между коллекторными пластинами в точках, равноотстоящих от разноименных смежных щеток (рис. 48.), с помощью щупов подключается милливольтметр.

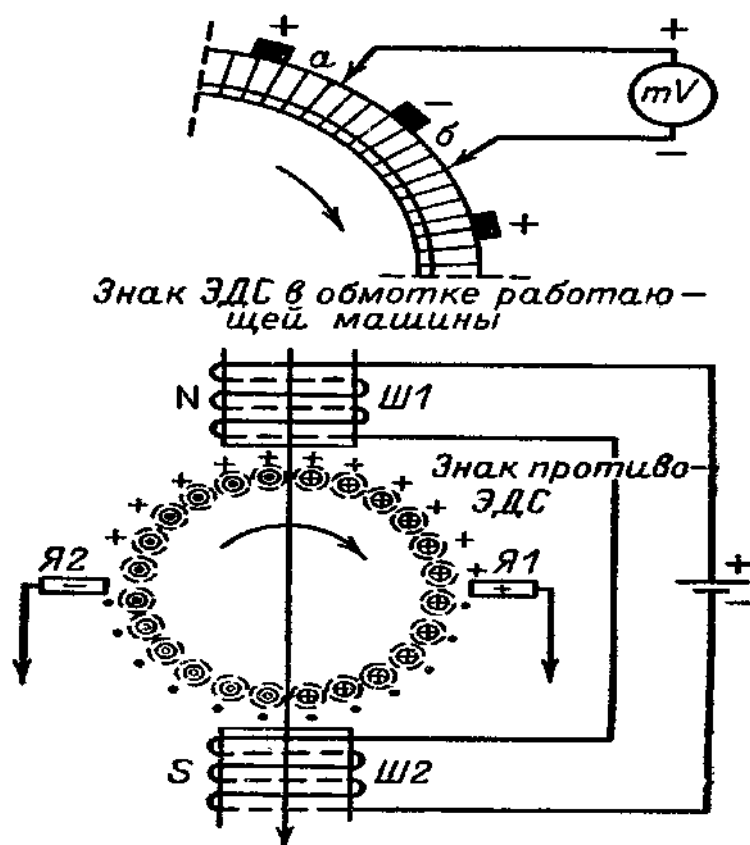


Рис. 48. Определение полярности выводов якоря

В момент подключения батареи к обмотке возбуждения соответствующей заводской маркировке полярностью в обмотке якоря на основе закона электромагнитной индукции образуется противо-ЭДС, имеющая в отдельных проводниках знаки, показанные в кружках на рисунке. Знаки ЭДС проводников будут такими, как будто физическая нейтраль, имеющая место при работе машины, сместилась по направлению вращения якоря на половину полюсного деления (совпадала с направлением потока основных полюсов). Если при этом милливольтметр, подключенный по линии, соответствующей образовавшейся физической нейтральной,

отклонится вправо, то полярность ЭДС, в точке *a* положительна, а в точке *b* отрицательна. Полярность щеток соответствует полярности той точки (*a* или *b*) коллектора, которая расположена ближе к ней против движения якоря.

Проверка чередования основных и дополнительных полюсов

Проверка производится по схеме, приведенной на рис. 49. Поочередно к параллельной обмотке возбуждения и обмотке дополнительных полюсов с соответствующей рисунку полярностью подключается батарея.

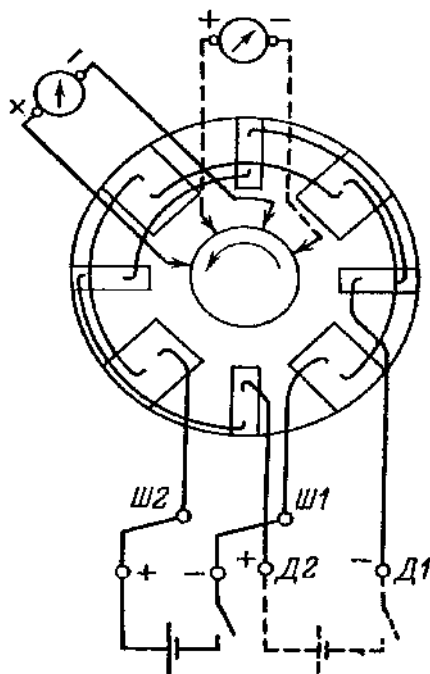


Рис. 49. Проверка чередования основных и дополнительных полюсов на собранном возбуждатель

В обоих случаях в обмотке якоря образуется противо-ЭДС аналогично тому, как это имело место при определении полярности щеток (см. рис. 48).

В первом случае замечают направление отклонения стрелки милливольтметра, подключенного к коллектору под дополнительным полюсом (учитывая, что в действительности стержень обмотки якоря, находящийся под основным полюсом, из конструктивных соображений соединяется с пластиной коллектора, находящейся под дополнительным полюсом). Во втором случае замечают отклонение стрелки

милливольтметра, смещенного одноименными концами по коллектору под ближайший против движения якоря основной полюс. Если отклонение стрелки милливольтметра в обоих случаях одинаково, то однополярными зажимами для данного направления вращения следует считать те, к которым подключался один и тот же зажим батареи.

У электродвигателей постоянного тока согласование обмоток проверяется опробованием и наблюдением за искрением. При необходимости производится проверка, аналогичная описанной выше. Имеется в виду, что полярность дополнительных полюсов у электродвигателей должна быть такой, как у предыдущего по направлению вращения якоря основного полюса, что следует из физической картины искажения поля в машине из-за реакции якоря [6, с. 44–72].

Определение последовательности фаз генератора вытекает из принципа образования ЭДС в генераторе. Проверка производится после установки статора генератора на фундамент и снятия торцевых щитов путем прослеживания мест входа в паз начал всех обмоток (фаз) статора со стороны выводов. По последовательности чередования этих мест вдоль окружности расточки статора в направлении вращения ротора определяется чередование фаз. При установлении последовательности «начало фазы 1 – начало фазы 2 – начало фазы 3» чередование фаз будет 1-2-3.

В соответствии с установленным чередованием фаз монтажному персоналу задаются раскраска фаз ошиновки и схема подключения монтируемого генератора к действующему распределительному устройству, обеспечивающая совпадение чередования фаз генератора и системы, к которой он подключается, и удобства монтажа. Направление вращения ротора задается лицом, ответственным за монтаж турбины, или определяется по расположению лопаток дисков турбины. Выводы обмоток статора генератора и всех других электрических машин переменного тока маркируются следующим образом: *C1*, *C2*, *C3* – начала обмоток; *C4*, *C5*, *C6* – концы обмоток. Конец *C4* соответствует обмотке с началом *C1*, конец *C5* – началу *C2* и конец *C6* – началу *C3*. Подключение генератора (синхронного компенсатора) к действующей части электроустановки производится так, чтобы чередование фаз и группа соединения обмоток силовых трансформаторов связи или блочных, а также трансформаторов СН обеспечивали параллельную работу генераторов и трансформаторов при различной раскраске и конструктивном исполнении ошиновки выводов генераторов.

2.8. Проверка и испытания изоляции ступей подшипников и маслопроводов синхронных генераторов, стяжных болтов и термоиндикаторов

Изоляция подшипников и маслопроводов проверяется в процессе монтажа до укладки вала ротора в подшипники мегаомметром не менее 1000 В. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм. При проверке изоляции маслопроводов удобно пользоваться металлической шайбой, закладываемой между изоляционными прокладками, размещенными между фланцами трубопроводов [10, с. 54–92].

Если изоляция ступа подшипника не проверена до установки ротора, то для измерения ее сопротивления один конец вала приподнимается краном. Это делается для того, чтобы исключить обходной путь тока через вал ротора, другие подшипники и фундаментную плиту генератора. Часто между слоями изоляции ступей подшипника прокладывается металлическая прокладка (фольга). Тогда контроль исправности изоляции можно проводить без подъема конца вала. Стяжные болты в статоре генератора в отечественных машинах вынесены за пределы магнитного поля статора. Поэтому они не требуют изоляции от корпуса. Если стяжные болты проходят в стали статора, изоляция их проверяется мегаомметром 1000 В и испытывается повышенным напряжением 1000 В промышленной частоты в течение 1 мин до полной сборки машины. Сопротивление изоляции стяжных болтов не нормируется, но практически при удовлетворительном состоянии ее оно бывает не менее нескольких мегаомов. Изоляция проводки к термодетекторам проверяется мегаомметром 250 В. Сопротивление изоляции не нормируется, обычно оно не менее 0,5–1 МОм. Кроме изоляции соединительных проводов, у термоиндукторов измеряется сопротивление их постоянному току и уточняется место их установки. Измеренное сопротивление должно соответствовать в пределах допустимой погрешности измерений заводским данным для данного типа термодетекторов при данной температуре. Проверка термодетекторов должна производиться до сборки машины, чтобы можно было устранить обнаруженные при проверке дефекты.

2.9. Установка щеток машин постоянного тока на нейтраль, проверка пускорегулирующих резисторов

Щетки с учетом условий нормальной коммутации и наличия у машин постоянного тока дополнительных полюсов устанавливаются всегда строго по геометрической нейтрали. Установка щеток проверяется

индуктивным методом с помощью милливольтметра и аккумуляторной батареи [11, с. 57–84]. Для этого милливольтметр присоединяется к щеткам; аккумуляторная батарея подключается через рубильник к параллельной обмотке возбуждения. При кратковременных включениях батареи, перемещая щеточную траверсу (предварительно ослабив крепящие винты), находят такое ее положение, при котором отклонения стрелки милливольтметра минимальны. Установка проверяется при нескольких положениях якоря. Это необходимо для избежания случайного результата из-за возможного несимметричного расположения обмотки якоря по отношению к щеткам. При симметричном расположении обмотки якоря должны иметь место четкие нулевые показания милливольтметра при положении щеточной траверсы на геометрической нейтрали. В этом положении траверса закрепляется винтами, после этого производится контрольная проверка. Пускорегулирующие сопротивления машин постоянного и переменного тока поставляются комплектно с машинами. Проверяется комплектность поставки по номинальному току, который должен соответствовать максимальному току возбуждения у генераторов, а у электродвигателей – максимальному току нагрузки. Проверяется также общее сопротивление постоянному току реостатов возбуждения генераторов, которое должно быть больше сопротивления обмотки возбуждения в 15–20 раз. Для реостатов электродвигателей определяется возможность осуществления регулирования частоты вращения в необходимых пределах и соответствие реостата допустимому максимальному пусковому току. Тщательно проверяются общее механическое состояние и качество контактных соединений. Кроме того, проверяется состояние изоляции. Сопротивление изоляции, измеряемое мегаомметром 1000–2500 В, не нормируется, но должно составлять не менее 5–10 Мом. В противном случае необходима сушка. В случае удовлетворительного результата измерения сопротивления изоляции реостат подвергается испытанию повышенным напряжением промышленной частоты. В противном случае испытание проводится после сушки. Испытательное напряжение 1000 В, продолжительность испытания 1 мин. Кроме перечисленных проверок и испытаний, у реостатов измеряется сопротивление их постоянному току на всех ступенях. Общее сопротивление не должно отличаться от паспортных данных более чем на 10 %. Обращается внимание на изменение сопротивления по ступеням и наличие более мелких ступеней в рабочей части реостата, соответствующей рабочему режиму машины.

2.10. Опробование машин постоянного тока и снятие характеристик

Опробование генератора постоянного тока начинается после разгона его до номинальной частоты вращения при полностью введенном, реостате возбуждения. Постепенно выводя реостат, наблюдают за плавностью изменения напряжения по щитовым приборам, после чего снимаются характеристики.

Снятие характеристики холостого хода производится для проверки общего состояния магнитопровода и обмоток, а также паспортных данных. Характеристика представляет собой зависимость ЭДС генератора от тока возбуждения. Для снятия характеристики в цепи обмотки возбуждения устанавливается лабораторный шунт (соответствующий максимальному току возбуждения), к которому присоединяется милливольтметр пределами измерения, соответствующими указанным на шунте. Напряжение на якоре измеряется вольтметром постоянного тока. При ответственных испытаниях, какими являются испытания возбuditелей синхронных генераторов и компенсаторов, приборы должны быть класса 0,2–0,5; в менее ответственных случаях (зарядные агрегаты и т.п.) могут применяться приборы класса 0,5–1. Характеристика снимается при устойчивой частоте вращения первичного двигателя (или турбины – у возбuditелей генераторов). Плавно поднимается ток возбуждения с помощью регулировочного реостата возбуждения (шунтового реостата) до максимальной ЭДС при полностью выведенном реостате возбуждения. Затем плавным снижением реостата до нуля с измерением установившегося тока возбуждения и напряжения на отдельных ступенях (должно быть не менее 15–20 точек в каждой ветви). Не допускается уменьшение возбуждения при увеличении напряжения, и наоборот, увеличение его при уменьшении напряжения во избежание получения искаженных результатов из-за остаточного магнитного потока предшествующего режима. При увеличении возбуждения снимается восходящая ветвь характеристики, при снижении его – нисходящая. Частота вращения контролируется тахометром или частотомером, включаемыми на остаточное напряжение статора генератора. В случае невозможности обеспечить устойчивую частоту вращения результаты пересчитываются. По результатам измерений строятся характеристики. За исходную характеристику принимается средняя, и она сравнивается с результатами заводских проверок или характеристиками аналогичных машин. Отклонений от заводских данных не должно быть. Характеристики

холостого хода снимаются при поочередном питании током всех обмоток возбуждения. Для полного контроля за всеми элементами возбудителя синхронных машин при снятии характеристики возбудителя часто в дополнение к описываемым производится еще измерение контрольным вольтметром напряжения на обмотке возбуждения. Для оценки нагрузочной способности и других расчетов у генераторов постоянного тока снимается нагрузочная характеристика [12, с. 92–134]. Нагрузочная характеристика снимается так же, как и характеристика холостого хода, но при работе генератора на свою нагрузку, например ротор синхронной машины. Обычно снятие нагрузочной характеристики возбудителей синхронных генераторов производится одновременно со снятием характеристики холостого хода генератора до максимального значения тока ротора, имеющего место при испытании витковой изоляции. Пример характеристик холостого хода и нагрузочной представлен на рис. 50.

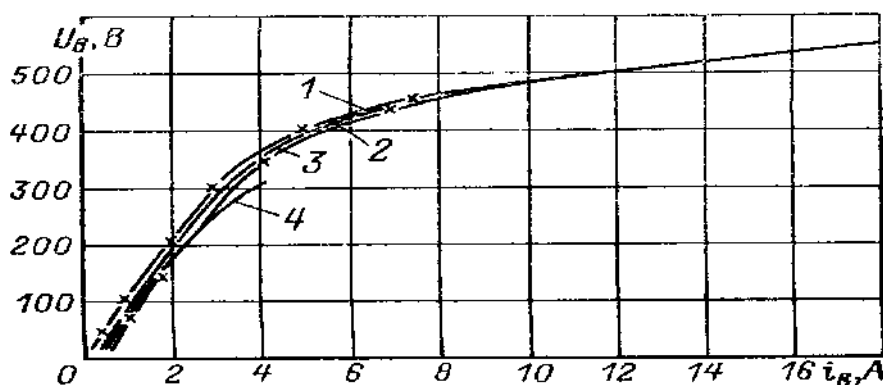


Рис. 50. Характеристика холостого хода и нагрузочная возбудителя синхронного генератора типа ВТ170-3000: 1,2 – нисходящая и восходящая ветви; 3 – усредненная характеристика XX; 4 – нагрузочная характеристика

У электродвигателей постоянного тока характеристики не снимаются. Окончательная оценка состояния двигателей производится по результатам опробования их в действии, нормальному развороту, отсутствию вибрации, биений, чрезмерных перегревов и т.п. При опробованиях электродвигателей постоянного тока обращают внимание на диапазон регулирования частоты вращения, который должен удовлетворять технологическим требованиям, правильность выбора пусковых сопротивлений, работу щеток и т.д. При необходимости регулировку частоты вращения можно делать, несколько смещая щетки с нейтральной, но при условии сохранения безыскровой коммутации.

2.11. Определение характеристик асинхронных двигателей

Характеристика холостого хода асинхронного двигателя представляет собой зависимость тока статора I_o и потребляемой мощности P_o от напряжения U_o статора при номинальной частоте f_n и отсутствии нагрузки на валу двигателя:

$$I_o = f(U_o); P_o = f(U_o)$$

при $f_o = const$; $M_2 = 0$.

Характеристику холостого хода снимается при наличии регулируемого источника переменного тока требуемой мощности – индукционного регулятора или синхронного генератора. Примерная характеристика холостого хода представлена на рис. 51.

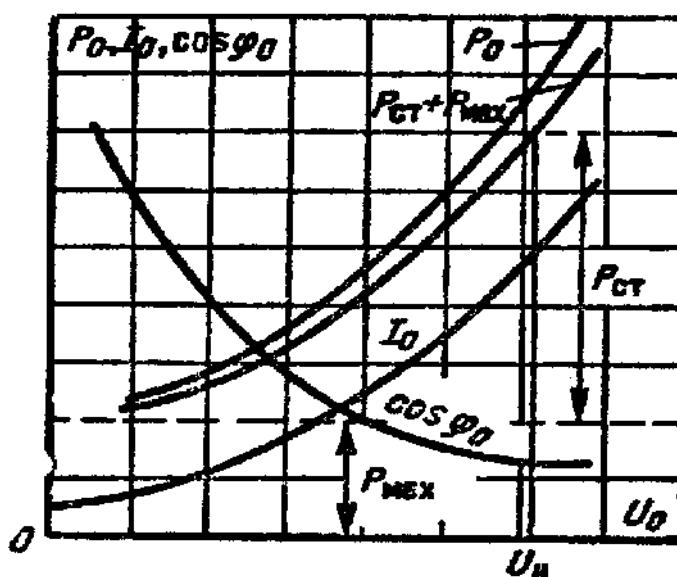


Рис. 51. Характеристика холостого хода асинхронного двигателя

При приемо-сдаточных испытаниях ограничиваются определением одной точки характеристики при номинальном напряжении и номинальной частоте источника питания статора [14, с. 78–96].

Перед снятием характеристики асинхронный двигатель предварительно прогревают на холостом ходу до установившейся температуры подшипников и обмотки. Продолжительность прогрева принимается равной для двигателей мощностью до 100 кВт 1 ч, мощностью выше 100 кВт 2 ч. После пуска двигателей с фазным ротором контактные кольца необходимо закортить. Измерения производят по схеме рис. 52.

Для точных измерений применяют приборы класса 0,5 и ваттметры, предназначенные для измерений при низких коэффициентах мощности.

Если измерение мощности производится по схеме двух ваттметров, то контроль схемы измерения можно осуществить проверкой величины коэффициента мощности. Величину $\cos \varphi_o$ определяют двумя способами.

По первому способу находят $\cos \varphi_o$ по формуле:

$$\cos \varphi_o = \frac{P_o}{\sqrt{3} \cdot U_o I_o}.$$

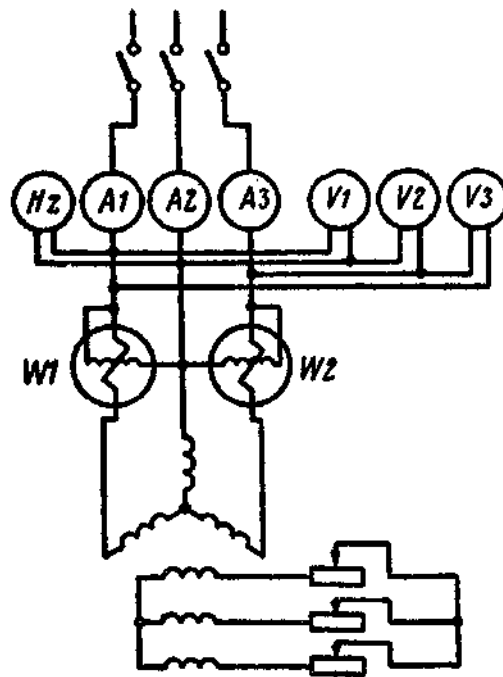


Рис. 52. Схема подключения приборов и соединения обмоток для снятия характеристик трехфазных асинхронных двигателей

Второй способ: по отношению показаний ваттметров и кривой рис. 53. Если значения $\cos \varphi_o$ близки, то измерения правильны.

Значения напряжения и тока определяют, как среднее арифметическое показаний приборов:

$$U_o = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}; \quad I_o = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}.$$

Потери холостого хода P_o состоят из потерь в стали статора $P_{ст}$, механических $P_{мех}$ и потерь в обмотке статора $P_{о.б}$.

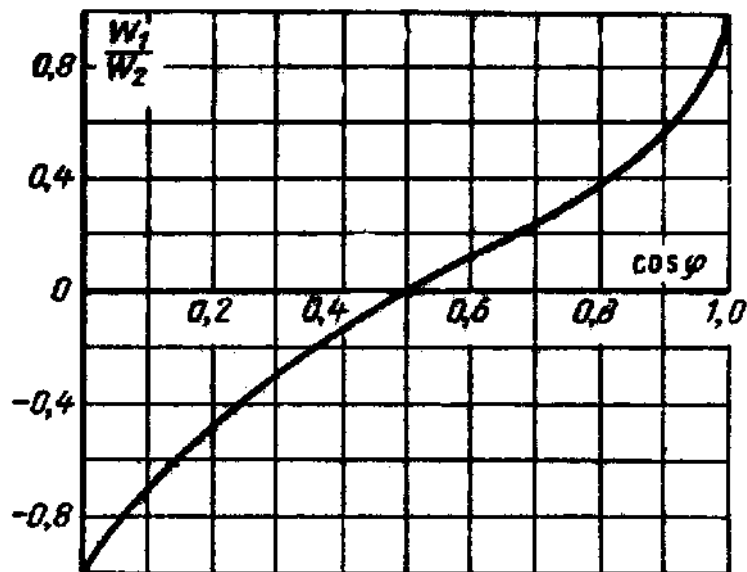


Рис. 53. Кривая для определения $\cos \varphi_o$ по отношению показаний двух ваттметров

Потери в обмотке статора определяются по выражениям:

1) при соединении обмоток в «звезду»:

$$P_{o.m} = 3I_o^2 R_\phi,$$

2) при соединении обмоток в «треугольник»:

$$P_{o.m} = I_o^2 R_\phi,$$

где I_o – линейный ток холостого хода; R_ϕ – сопротивление одной фазы статора во время испытаний.

Сумма механических потерь и потерь в стали равна:

$$P_{мех} + P_{ст} = P_o - P_{o.m}.$$

Для определения механических потерь и потерь в стали строится график зависимости суммы потерь от квадрата приложенного напряжения U_o^2 , и экстраполируется эта зависимость до пересечения с осью ординат. Если при измерениях частота источника питания f отличается от номинальной f_n , но не больше чем на $\pm 2\%$, то измеренные значения U_o , $P_{мех}$, $P_{ст}$ подлежат пересчету по выражениям:

$$U_o' = U_o \frac{f_i}{f}; \quad P_{\text{мех}}' = P_{\text{мех}} \left(\frac{f_n}{f}\right)^2; \quad P_{\text{см}} = P_{\text{см}} \left(\frac{f_n}{f}\right)^{\frac{3}{2}}.$$

где U_o' ; $P_{\text{мех}}'$; $P_{\text{см}}'$ – расчетные значения при номинальной частоте.

Ток холостого хода не нормируется. Увеличение тока холостого хода по сравнению с каталожным значением может быть следствием увеличения воздушного зазора.

Контрольные вопросы

1. Когда производится первая проверка состояния изоляции?
2. Какому испытанию подвергаются генераторы с водяным охлаждением, если это позволяет конструкция?
3. Какие параметры при этом контролируются?
4. Когда производится измерение сопротивления машин постоянного тока?
5. Как осуществляется установка щеток машин постоянного тока на нейтраль?
6. Что включает в себя проверка пускорегулирующих резисторов?
7. Как проверяется правильность соединения обмоток якоря, дополнительных полюсов и компенсационной обмотки на собранной машине?

ГЛАВА III. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

3.1. Обслуживание 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 ненормальных режимах работы [16, с. 54–82].

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 в ПУЭ установлены следующие нормы: для измерения сопротивления изоляции обмоток машин постоянного тока следует использовать мегомметры 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.

Типовой объем по техническому обслуживанию электрических машин состоит из следующих работ:

1. Ежедневный контроль над выполнением правил эксплуатации и инструкций завода-изготовителя. При контроле проверяется нагрузка, температура отдельных узлов электрической машины, температура охлаждающей среды при замкнутом цикле охлаждения, наличие и состояние смазки в подшипниках, уровень шумов и вибраций, степень искрения под щетками.

2. Ежедневный контроль над исправностью заземления.

3. 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. При этом могут, выполняются следующие операции: подтяжка контактов и креплений, замена щеток, регулирование траверс.

4. Проверка состояния электрических машин с использованием средств технической диагностики, проводимая с целью выявления предельной выработки ресурса их узлов и деталей и предупреждения аварийных ситуаций.

5. Восстановление отключившегося оборудования, после срабатывания защиты.

6. Приемно-сдаточные испытания после монтажа, наладки и ремонта электрических машин и систем их защиты и управления.

7. Плановые осмотры эксплуатируемых машин по утвержденному главным энергетиком графику с заполнением карты осмотра.

Все электрические машины устанавливают на промышленных предприятиях в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок (ПУЭ). По исполнению и техническим характеристикам электрические машины должны соответствовать режиму работы и условиям окружающей среды.

В цехах промышленных предприятий, характеризующихся повышенной запыленностью воздуха (землеприготовительных, сталелитейных, гальванических и др.), где воздух непригоден для вентиляции продуваемых двигателей (пыль, влага, высокая температура и т.п.), забор охлаждающего воздуха должен производиться извне. Приток наружного воздуха для охлаждения в этих случаях должен соответствовать рекомендациям завода-изготовителя. Попадание в двигатель пыли резко ухудшает условия его охлаждения, приводит к повышенному нагреву и ускоренному старению изоляции. Влажный воздух, используемый для охлаждения машины, снижает электрическую прочность изоляции и вызывает ее пробой.

Для каждого двигателя на напряжение выше 1000 В, а также для двигателей мощностью 40 кВт и выше, независимо от рабочего напряжения на предприятии, должна быть следующая техническая документация: паспорт двигателя, протокол приемно-сдаточных испытаний (карта ремонта), принципиальные и монтажные (исполнительные) схемы управления, сигнализации и релейной защиты, технические акты о повреждениях двигателей, эксплуатационный журнал и другая техническая документация в объеме требований нормативных документов.

На каждом предприятии для каждого участка или цеха должна быть составлена местная инструкция по эксплуатации электрических машин.

В местных инструкциях указывают:

- 1) техническую характеристику установленных двигателей;
- 2) порядок подготовки к пуску, последовательность операций пуска, останова и технического обслуживания во время нормальной эксплуатации и в аварийных режимах;
- 3) порядок допуска к осмотру, ремонту и испытаниям двигателей, требования по технике безопасности, взрыво- и пожароопасности, специфические рекомендации для каждой конкретной группы двигателей.

Указания по режимам, периодичности осмотров и контролю над работой двигателей должны быть разработаны для каждого типа или группы эксплуатируемых двигателей. Местную инструкцию разрабатывают специалисты энергетической службы цеха, и утверждает главный инженер предприятия. Инструкцию пересматривают не реже 1 раза в 3 года.

Надзор за нагрузкой двигателей, вибрацией, температурой подшипников и охлаждающего воздуха, уход за подшипниками (поддержание уровня масла) и устройствами для охлаждения электродвигателя, а также операции по пуску и остановке двигателей осуществляет технологический персонал цеха, обслуживающий механизмы.

3.2. Определение мощности электродвигателей технологического оборудования

Наиболее широкое распространение на промышленных предприятиях для привода различных технологических механизмов получили асинхронные электродвигатели (рис. 54).

Асинхронным называется электрический двигатель переменного тока, частота вращения n_2 ротора которого меньше частоты n_1 вращающегося поля статора. Отставание выражается в процентах и называется *скольжением*. Скольжение определяется из выражения:

$$S = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} 100 \%$$

Проектировщикам и работникам, эксплуатирующим электрические двигатели, приходится подбирать электродвигатели для различных технологических установок. В этом случае можно воспользоваться приведенными ниже рекомендациями и формулами.

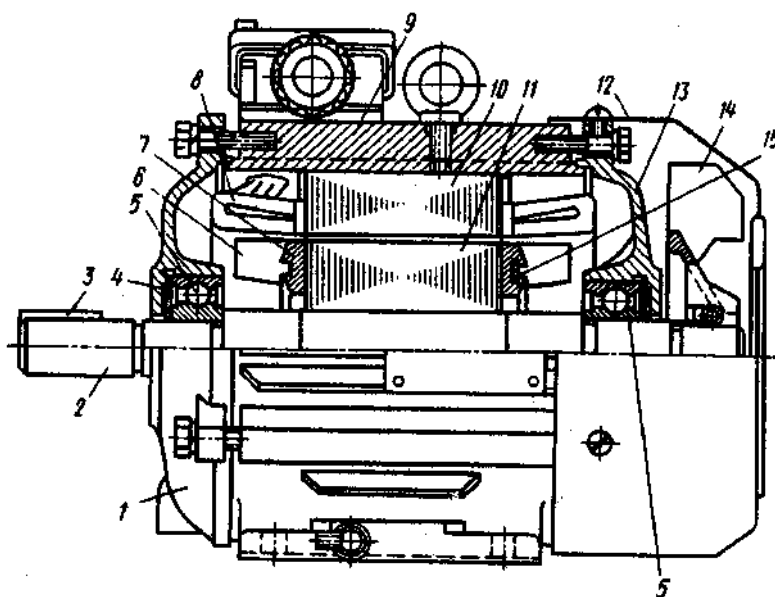


Рис. 54. Асинхронный электродвигатель серии 4А:

- 1, 3 – передний и задний щиты; 2 – вал; 3 – шпонка; 4 – установочная пружина;
 5 – подшипник; 6 – крыльчатка; 7 – коротко замыкающее кольцо;
 8 – лобовая часть обмотки статора; 9 – станина; 10 и 11 – сердечники статора и ротора;
 12 – кожух вентилятора; 14 – вентилятор; 15 – балансирующий груз

Мощность P (кВт) электродвигателя для привода некоторых механизмов продолжительного режима работы при постоянной нагрузке вычисляют по следующим формулам:

1. Металлорежущие станки:

$$P = \frac{P_p v}{102 \cdot 60 \eta_{cm}},$$

где $P_p = K_p F$ – сопротивление резанию; K_p – коэффициент резания – удельное сопротивление резанию, кГ/мм^2 , – зависит от сопротивления разрыву $E_{разр}$; F – площадь сечения стружки, мм^2 ; v – скорость резания, м/мин ; η_{cm} – КПД станка при полной нагрузке (для строгальных и долбежных станков можно принять равным 0,6, а для токарных, сверлильных и фрезерных станков – 0,7).

2. Насосы:

$$P = \frac{QH\gamma K}{102 \cdot \eta_{нас} \eta_{пер}},$$

где Q – количество нагнетаемой жидкости, м³/с, H – полная высота напора (напор всасывания плюс напор нагнетания, плюс потери напора в системе), м; $\eta_{нас}, \eta_{пер}$ – КПД насоса (соответствующий расчетному) и передачи, γ – удельная масса жидкости, кг/м³, K – коэффициент запаса, учитывающий возможные перегрузки.

3. Грузоподъемные машины:

а) для механизмов подъема:

$$P = \frac{(G_1 + G_2)v}{102\eta_{мех}},$$

где G_1, G_2 – массы поднимаемого груза и захватывающего приспособления, кг, v – скорость подъема, м/с, $\eta_{мех}$ – КПД механизма.

Найденную мощность проверяют по режиму пуска. Для этого определяют массу поднимаемого груза $m = \frac{(G_1 + G_2)}{g}$, где g – ускорение силы тяжести, м/с²:

$$g = \frac{v}{60t}.$$

Сила F , необходимая для создания ускорения, равна ma , а мощность (кВт), соответствующая этой силе,

$$P_{дин} = \frac{Fv}{102 \cdot 60\eta_{м}}.$$

Взяв отношение $\lambda = \frac{(P + P_{дин})}{P}$, по каталогу определяют допустимость перегрузки для намечаемого электродвигателя. Если перегрузка превышает номинальные значения, то мощность электродвигателя выбирают по условию:

$$P \geq \frac{(P + P_{дин})}{\lambda},$$

где намечаемого электродвигателя; $M_{нач}$ – начальный момент; M_H – номинальный момент; $M_{пуск}$ – пусковой момент;

б) для механизмов передвижения:

$$P = K \frac{(G_1 + G_2)(S + \mu \frac{d_u}{2})v}{102 \cdot R \eta_m},$$

где P – мощность (Вт), G_1 , G_2 – массы перемещаемого груза и тележки (или моста), кг; v – скорость перемещения, м/с; R – радиус бегунка, см; d_u – диаметр цапфы, см; μ – коэффициент трения скольжения, равный 0,10; S – коэффициент трения качения (для обкатанных колес $S = 0,05$, а для необкатанных – 0,10); η_m – КПД механизма; K – коэффициент, учитывающий дополнительное сопротивление движению от трения, скольжения.

Полученную по этой формуле мощность электродвигателя необходимо проверить по режиму пуска (п. 3).

4. Механизмы непрерывного транспорта:

а) для ленточных транспортеров:

$$P = \left(\frac{AL_1v}{1,5} + \frac{BL_2v}{300} + \frac{QH}{270} + C \right) \frac{0,736 \cdot K_1 \cdot K_2}{\eta_m}, \text{ (Вт)},$$

где A и B – коэффициенты холостого хода лент и груза; v – скорость, м/с; C – коэффициент на сбрасыватель; L_1 , L_2 – длины транспортера между барабанами и перемещения груза, м; Q – производительность транспортера, т/ч; H – высота подъема груза, м; K_1 – коэффициент, учитывающий добавочные потери в зависимости от длины транспортера (при длине транспортера до 15, 30, 45 и выше 45 м; K_1 принимают равным соответственно 1,2; 1,1; 1,05 и 1); K_2 – коэффициент, учитывающий увеличенное сопротивление при пуске (принимается в пределах 1,25–1,50); η_m – КПД транспортера.

Значения коэффициентов A , B и C в зависимости от ширины ленты, приведенные в табл. 3.1, относятся к подшипникам скольжения; для подшипников качения их следует уменьшить вдвое. При сбрасывателе, имеющем форму волнореза, коэффициент C также уменьшают вдвое.

Таблица 3.1

Зависимость коэффициентов А, В и С от ширины ленты

Коэффициент	Ширина ленты, мм							
	350-450	500	600	750	900	1050	1200	1500
А	0,026	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,01
В	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,1	0,09
С	1,5	1,5	1,75	2,5	3	4	5	7

Мощность электродвигателя для горизонтальных транспортеров можно приближенно рассчитать по формуле:

$$P = \frac{G\mu L}{367 \cdot \eta_T},$$

где G – производительность, т/ч; L – рабочая длина, м; μ – коэффициент трения в подшипниках, равный 0,1 для подшипников скольжения и 0,01–0,05 для шариковых подшипников; η_T – КПД транспортера;

б) для скребковых транспортеров и винтовых конвейеров (шнека):

$$P = \frac{G(LW_c + H)}{367},$$

где G – производительность, т/ч; L – длина горизонтальной проекции конвейера, м; H – высота подъема, м; W_c – коэффициент сопротивления транспортируемого материала движению ходовой части или груза по желобу.

Для винтовых конвейеров (шнеков) средние значения W_c в зависимости от характеристики материала принимаются равными:

Неабразивный.....	1,86–2,0
Абразивный (гравий, песок, цемент).....	3,2
Малоабразивный.....	2,5
Сильно абразивные и липкие материалы (зола, известь, сера, формовочная земля).....	4

Значение коэффициента W_c для скребковых транспортеров при малоабразивном материале приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Значения коэффициента W_c

Производительность, т\ч	Транспортер		Производительность, т\ч	Транспортер	
	С роликовыми цепями	Со скользящими цепями		С роликовыми цепями	Со скользящими цепями
4,5	2,5	4,20	27	1,10	1,90
9	1,70	3,00	36	1,05	1,70
18	1,30	2,25	45	0,97	1,60

Мощность P (кВт) электродвигателей для черпаковых транспортеров можно приближенно определить по формуле:

$$P = \frac{GH}{367 \cdot \eta_T}, \text{ (Вт)},$$

где G – производительность, т/ч; H – высота подъема, м; η_T – КПД транспортера.

5. Дробильно-сортировочные машины:

а) для челюстных (щековых) дробилок:

$$P = \frac{b\delta^2(D^2 - d^2)n}{234 \cdot 10^4 \cdot E \cdot \eta_{dp}},$$

где b – длина рабочего пространства зева дробилки, см; δ – разрушающее напряжение, кг/см² (для железной руды 800-1200, медной – 1100–2600; среднее значение – 1500); D, d – диаметры предназначенного для дробления и выходящего из дробилки материалов, см; n – число двойных качаний щеки дробилки в 1 мин; E – модуль упругости материала, в среднем равный 45 кг/см²; η_{dp} – КПД дробилки.

Практически челюстные дробилки требуют от 0,75 до 2 кВт на 1 м³/ч производительности;

б) для цилиндрических сортировок:

$$P = 0,08G,$$

где G – производительность, т/ч.

3.3. Общая характеристика контролируемых параметров

Электродвигатели, устанавливаемые в помещениях с нормальной средой, должны иметь открытое или защищенное исполнение. В местах, где возможно попадание пыли и других веществ, разрушающих изоляцию, применяют электродвигатели закрытого исполнения.

Электродвигатели, устанавливаемые на открытом воздухе, имеют закрытое или специальное исполнение, соответствующее условиям их работы. Электродвигатели, устанавливаемые в помещениях, где возможно оседание на их обмотках пыли и других веществ, нарушающих естественное охлаждение, – закрытое обдуваемое или продуваемое (с подводом чистого воздуха) исполнение.

Дежурный электротехнический персонал цеха периодически, в сроки, установленные графиком обходов-осмотров оборудования, обязан осматривать двигатели и контролировать режим их работы по всем показателям в объеме типовой инструкции.

На двигателях и приводимых ими механизмах должны быть нанесены стрелки, указывающие направление вращения. Опробование двигателей после ремонта или монтажа для определения направления вращения осуществляют при отсоединенном приводном механизме.

Крышки подшипников и коробки выводов двигателей (особенно в запыленных помещениях) тщательно уплотняют, корпуса двигателей и металлические оболочки питающих кабелей – надежно заземляют.

Защиту электрических машин выполняют в соответствии с ПУЭ. Двигатели с принудительной смазкой подшипников, как правило, обеспечивают блокировкой, отключающей их при прекращении подачи смазки в подшипники или превышении допустимой температуры. На двигателях, имеющих принудительную вентиляцию, устанавливают защиту, действующую на сигнал, который выдает температурное реле автомата защиты, и отключение двигателя при повышении его температуры выше допустимой или прекращении работы вентиляции.

Электродвигатели, у которых возможны систематические перегрузки по техническим причинам, снабжают защитой от перегрузки, действующей на сигнал, который выдает температурное реле автомата защиты, автоматическую разгрузку механизма или на отключение [16, с. 98–145].

При отключении двигателя ответственного механизма под действием защиты и отсутствии резерва допускается повторное включение его после тщательной проверки схемы управления, защиты и самого двигателя.

Синхронные двигатели эксплуатируются, в основном, в режиме, обеспечивающем поступление в сеть опережающего тока при оптимальном значении коэффициента мощности.

Электродвигатели мощностью до 5000 кВт на напряжение выше 1000 В включают без сушки при соблюдении условий, приведенных в «Инструкции по определению возможности включения вращающихся электрических машин постоянного тока без сушки» (СН 282) и «Инструкции по определению возможности включения вращающихся электрических машин переменного тока без сушки» (СН 241). Без сушки включают и электродвигатели на напряжение ниже 1000 В, если сопротивление изоляции их обмоток, измеренное при температуре 10–30 °С, не ниже 0,5 МОм.

У электрических машин постоянного тока сопротивление изоляции обмоток измеряют относительно корпуса, а бандажа – относительно корпуса и удерживаемых обмоток. При номинальном напряжении двигателя до 500 В включительно измерение производят мегаомметром на напряжение 500 В, а при номинальном напряжении выше 500 В – мегаомметром на напряжение 1000 В. Измеренное сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм. В эксплуатации сопротивление изоляции обмоток измеряют вместе с соединенными с ними цепями и кабелями.

При техническом обслуживании электрических машин существенное внимание следует уделять контролю над их вибрацией. Для двигателей с частотой вращения 750 об/мин и ниже амплитуда вибрации подшипника должна быть не более 0,16 мм, а для двигателей с частотой вращения 750–3000 об/мин – не более 0,05 мм. Для двигателей с подшипниками скольжения осевой разбег роторов допускается 2–4 мм. Для двигателей мощностью 100 кВт и более, а также для двигателей ответственных механизмов воздушный зазор между статором и ротором в диаметральных точках не должен отличаться более чем на $\pm 10\%$ от среднего зазора.

Причинами возникновения повышенной вибрации двигателя могут быть: недостаточная балансировка ротора, плохое крепление двигателя или механизма на фундаменте, недостаточная жесткость фундамента, неправильная центровка двигателя с механизмом и т.д.

Вибрация двигателя может привести к ослаблению крепления и преждевременному износу отдельных частей и деталей установки, поломкам и повреждению, аварийному выходу двигателя из строя. При уходе за двигателем нужно принимать меры, чтобы вибрация не превосходила допустимых значений.

Измерение вибрации двигателя (подшипников, статора и фундаментной плиты) производят в вертикальном, поперечном и аксиальном направлениях после каждого планового ремонта, а также после подшабровки или замены вкладышей подшипников или исправления центровки.

3.4. Нагрев электрических машин

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. Допустимый нагрев электрических машин зависит от класса изоляции обмоток. Переход на более высокий класс изоляции электрической машины может быть осуществлен только при капитальном ремонте. Нужно твердо знать, что при повышении температур обмоток электрических машин сверх допустимых значений срок службы их изоляции резко сокращается. Температурой окружающего воздуха, при которой двигатель может работать с номинальной мощностью, считается 40 °С. При повышении температуры окружающего воздуха выше 40 °С нагрузка на двигатель должна быть снижена настолько, чтобы температура отдельных его частей не превышала допустимых значений [17, с. 54–172].

Предельно допустимые превышения температуры активных частей двигателей при температуре газообразной охлаждающей среды 40 °С и высоте над уровнем моря не более 1000 м должны соответствовать значениям ГОСТ для соответствующих классов изоляционных материалов и не должны превышать: 65 °С для изоляции класса А; 80 °С для изоляции класса Е; 90 °С для изоляции класса В; 110 °С для изоляции класса Г; 135 °С для изоляции класса Н.

Если конструкция установки предусматривает водяное охлаждение газообразной охлаждающей среды, то разность температур между выходящей из охладителя и поступающей в охладитель водой не должна быть выше 7–10 °С, при этом температура охлаждающей воды не должна превышать соответственно 30–33 °С.

Чтобы не допустить отпотевания охлаждающих трубок (точки росы) воздухоохладителей в двигателях с замкнутым циклом вентиляции и увлажнения обмотки температура охлаждающей воды должна быть не ниже 10–15 °С.

Работа двигателя при пониженном напряжении в сети более 5 % или повышенном более чем на 10 % номинального не допускается.

Асинхронные короткозамкнутые электродвигатели, получившие наибольшее распространение, с уменьшением напряжения сети снижают пропорционально квадрату напряжения пусковой и максимальной моменты, в результате этого может произойти опрокидывание двигателя. Уменьшение напряжения ниже 95 % номинального приводит к значительному увеличению тока и нагреву обмоток. Рост напряжения выше 110 % номинального сопровождается увеличением выделяемого в активной стали двигателя тепла и повышением температуры обмоток статора.

Если частота переменного тока питающей сети изменяется в пределах $\pm 2,5$ % номинального значения, то электродвигатель может длительно работать с паспортной нагрузкой, если нет особых указаний завода-изготовителя. При одновременном отклонении напряжения и частоты переменного тока от номинальных значений работа двигателей с номинальной нагрузкой допускается, если сумма абсолютных значений (в процентах) этих отклонений не превышает 10 % и каждое из отклонений не превышает нормы.

Независимо от снижения температуры окружающего воздуха увеличивать токовые нагрузки более чем на 10 % номинального не допускается.

На практике применяются два способа контроля за нагревом: непосредственный и косвенный.

При **непосредственном методе контроля** электрическая машина имеет встроенные в обмотки, подшипники и 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.

Температуру отдельных частей машин измеряют ртутными или спиртовыми термометрами, прикладываемыми к доступным частям, а также методом сопротивления и температурными датчиками, заложенными в обмотки и другие части машины.

3.5. 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 [14, с. 94–132].

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.

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). В качестве примера в табл. 3.3 приведен перечень возможных неисправностей асинхронных двигателей с короткозамкнутой обмоткой ротора серии АИР. Аналогичные перечни содержатся в паспортах, поставляемых заводами-изготовителями вместе с самими электрическими машинами.

Таблица 3.3.

Неисправности асинхронных двигателей

Неисправность, внешнее проявление и дополни- тельные признаки	Вероятная причина	Способ устранения
1	2	3
1. Двигатель при пуске не разворачивается, гудит	<ul style="list-style-type: none"> • отсутствие или недопустимое уменьшение напряжения питания; • перепутаны начало и конец фазы обмотки статора; • двигатель перегружен; • неисправен приводной механизм 	<ul style="list-style-type: none"> • найти и устранить неисправность сети; • провести подключение фаз согласно схеме; • снизить нагрузку; • устранить неисправность приводного механизма
2. Остановка работающего двигателя	<ul style="list-style-type: none"> • прекращена подача напряжения; • неполадки в аппаратуре распределительного устройства и питающей сети; • заклинивание приводного механизма; • сработала защита 	<ul style="list-style-type: none"> • найти и устранить разрыв в электрической цепи; • устранить неполадки в аппаратуре; распределительного устройства и питающей сети; • устранить неисправность приводного механизма; • проверить обмотку статора и устранить причину

Продолжение табл. 3.3

1	2	3
3. Повышенный нагрев двигателя	<ul style="list-style-type: none"> • двигатель перегружен по току; • повышено или понижено напряжение в сети; • повышена температура окружающей среды; • нарушена нормальная вентиляция (загрязнены вентиляционные каналы и корпус двигателя); • нарушена нормальная работа приводного механизма 	<ul style="list-style-type: none"> • снизить нагрузку до номинальной; • установить напряжение в соответствии с ГОСТ 183-89; • установить допустимую температуру; • почистить корпус и вентиляционные каналы; • устранить неполадки в работе приводного механизма
4. Повышенный нагрев и стук подшипников	<ul style="list-style-type: none"> • неправильная центровка двигателя и приводного механизма; • повреждение подшипников 	<ul style="list-style-type: none"> • правильно смонтировать двигатель и приводной механизм; • заменить подшипники
5. Обмотка статора перегревается, двигатель сильно гудит и не развивает нормальной частоты вращения	<ul style="list-style-type: none"> • межвитковое замыкание в обмотке статора; • обмотка одной из фаз пробита на корпус (землю) в двух местах; • короткое замыкание между фазами; • обрыв одной из фаз 	<ul style="list-style-type: none"> • заменить статор; • заменить статор • заменить статор; • заменить статор
6. Повышенная вибрация работающего двигателя	<ul style="list-style-type: none"> • недостаточная жесткость фундамента; • несоосность вала двигателя с валом приводного механизма; • нет балансировки привода или соединительной муфты (шкива) 	<ul style="list-style-type: none"> • увеличить жесткость фундамента; • отрегулировать и улучшить соосность валов; • провести балансировку привода; или муфты (шкива);
7. Пониженное сопротивление изоляции обмоток	<ul style="list-style-type: none"> • загрязнение или увлажнение обмоток 	<ul style="list-style-type: none"> • разобрать и почистить двигатель, продуть и просушить обмотку

3.6. Подшипники электрических машин

В электрических машинах в зависимости от конструктивного исполнения применяют подшипники качения и скольжения.

Подшипники качения, используемые в электродвигателях и генераторах, бывают двух видов: шариковые и роликовые (табл. 3.4).

Предельно допустимая температура для подшипников качения 100 °С. Температура фактическая обычно значительно ниже, но при обнаружении заметного повышения нагрева, не связанного с изменением режима и условий работы, двигатель при первой возможности необходимо остановить для ревизии подшипников.

Для смазки в подшипниках качения применяют различные смазки для подшипников промышленного производства, в случае невозможности найти смазку промышленного производства, разрешается смесь минерального масла и мыла, выполняющего роль загустителя.

Для подшипников качения, работающих в условиях нормальной влажности, с частотой вращения до 3000 мин⁻¹ следует применять материал консталин 1 и консталин 2.

Таблица 3.4

Шариковые и роликовые подшипники, применяемые
в электродвигателях

Габарит электро- двигателя	Вид электро- двигателя по способу монтажа	Номер подшипника со стороны, противоположной приводу, при частоте вращения, мин ⁻¹		Номер подшипника со стороны привода при частоте вращения, мин ⁻¹	
		3000	1000, 1500	3000	1000, 1500
1		60	304	60	304
2	M10	60	305	60	305
3	M20	60	306	60	306
4	M30	60	308	60	308
5		60	309	60	309
6	M10, M20, M30	309	309*	309	2309к*, 309*
7	M10, M20, M30	311	311*	311	2311*, 311*
8	M10, M20, M30	314	314*	314	2314к*, 314*
9	M10, M20, M30	317	317**	317	2317к**, 317к*

Примечание. Единая серия асинхронных двигателей А2 и АО2 мощностью от 0,6 до 100 кВт разделяет все двигатели на девять габаритов по размерам наружного диаметра сердечника статора; эта серия заменяется в настоящее время сериями 4А и АИ.

* Подшипники этих же номеров применяют при частоте вращения 750 мин^{-1} .

** То же, при частоте вращения 600 и 750 мин^{-1} .

При большой частоте вращения роторов мощных электродвигателей для подшипников, качения наиболее подходят универсальные тугоплавкие водостойкие смазки (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Смазка для подшипников качения электрических машин

Марка	Температура каплепадения, °С, не менее	Условия работы подшипников
Универсальная среднеплавкая УС (жировой солидол)	75	Повышенная влажность, температура до 65 °С
Смазка 1–13 жировая тугоплавкая	120	То же, до 90 °С
Универсальная тугоплавкая УТ-1 (жировой консталин)	130	Сухие помещения, температура до 115 °С
Универсальная тугоплавкая УТ-2 (жировой консталин)	150	То же, до 135 °С

При частоте вращения до 1500 мин^{-1} и температуре подшипников до 65 °С для легко нагруженных подшипников качения целесообразно применять жировой солидол. Пополнять подшипники качения смазкой рекомендуется через 300–500 ч работы. Заполнять их смазкой следует не более чем на $\frac{1}{3}$ объема свободного пространства (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Объем смазки для заполнения подшипников
качения электрических машин

Габарит электродвигателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Объем смазки, закладываемой в подшипниковую камеру, см ³	7,5	11	16	27	41	65/ 80	75/ 110	140/ 220	220/ 315

Примечание. В числителе указан объем смазки для роликовых подшипников, в знаменателе – для шариковых.

Чрезмерно большое количество смазки приведет к недопустимому нагреву подшипников, особенно при скорости 1500–3000 мин⁻¹. Заменять смазку следует после 1500–2000 ч работы, но не реже 1 раза в год. Перед заменой всю смазку удаляют, подшипник промывают керосином, затем бензином и тщательно протирают ветошью. Смешивать различные смазки при их закладке (или добавлении) запрещается.

При осмотре подшипников качения проверяют нагрев и вибрацию, а также их работу на слух. Ненормальный шум при работе указывает на отсутствие смазки в подшипнике или появление дефекта на поверхности качения.

При замене смазки обращают внимание на состояние подшипника и его зазоры. Подшипник нужно заменить, если радиальный зазор между кольцом и шариком (роликом) для валов диаметром до 25 мм превосходит 0,1 мм, а для валов до 100 мм – 0,3 мм.

В настоящее время для подшипников качения электрических машин широко применяют новые виды пластичных смазок:

Для электрических машин, узлы трения которых работают в интервале температур от –30 до + 80 °С, – литол-24; для подшипников качения электрических машин, работающих в диапазоне температур узлов трения от 80 до 160°С, – пластичная смазка ВНИИ НП-207, заменителем которой может служить пластичная смазка ВНИИ НП-219 (ТУ 38-101-471-74).

Срок службы высокотемпературных пластичных смазок ВНИИ НП-207 и ВНИИ НП-219 без добавления в подшипники электрических машин – не менее 10 месяцев.

Срок службы пластичных смазок литол-24 без добавления и замены в зависимости от режима работы электрических машин составляет от 2 до 6 лет.

Для смены смазки в электродвигателях защищенного исполнения снимают крышку подшипника, промывают его, закладывают свежую порцию смазки, вновь устанавливают крышку в прежнее положение и закрепляют ее болтами.

В электродвигателях закрытого обдуваемого исполнения подшипник, расположенный со стороны вентилятора, менее доступен для наружного осмотра. Для смены смазки в этом подшипнике снимают защитный кожух вентилятора, наружный вентилятор и крышку подшипника.

Для смены смазки в подшипнике, расположенном со стороны контактных колец, у электродвигателей АОК 2 4-го и 5-го габаритов необходимо:

- 1) снять кожух контактных колец;
- 2) вынуть щетки из обойм щеткодержателей;
- 3) снять кожух вентилятора вместе с комплектом щеткодержателей;
- 4) ослабить крепление вентилятора и установочный винт защитной шайбы;
- 5) сдвинуть вентилятор и защитную шайбу в сторону контактных колец; отвернуть болты подшипниковой крышки и сдвинуть ее на валу в сторону вентилятора;
- 6) промыть подшипник и его крышку бензином и заложить смазку.

При промывке и заполнении смазкой подшипников контактные кольца завертывают в бумагу, чтобы предохранить их от повреждений и загрязнений.

В электродвигателях АОК 2 6-го габарита и выше при смене смазки в подшипнике со стороны, противоположной приводу, необходимо снять контактные кольца. Для этого надо отпаять соединительные хомутики выводных концов, вынуть из канавки вала стопорное кольцо и съемником снять контактные кольца, кожух вентилятора и вентилятор.

В электродвигателях АК 2 при смене смазки в подшипнике со стороны, противоположной приводу, контактные кольца снимать не следует. Для смены смазки достаточно снять коробку с щеткодержателями и отвести подшипниковую крышку в сторону контактных колец.

В подшипниках скольжения в зависимости от мощности электромашины и частоты вращения ее ротора для заливки вкладышей используют баббиты различных марок. Подшипники скольжения электрических машин мощностью 500 кВт и более заливают баббитом Б83,

содержащим 83 % олова. Заливку вкладышей подшипников машин меньшей мощности выполняют баббитами Б16 и Б6. При длительной работе двигателей температура подшипников скольжения не должна превышать 80 °С.

У подшипников скольжения два вида смазки: принудительная (при которой масло подается в подшипник под напором и циркулирует через него) и кольцевая (когда в постоянном объеме ванны со смазочным маслом на шейке вала вращается одно или несколько колец) [14, с. 67–82].

У двигателей с кольцевой смазкой масло в ванну подшипника следует заливать до отметки на указателе уровня или, если нет метки, до середины маслоуказательного стекла на подшипнике. Выше допустимого уровня наливать масло не следует, так как оно может попасть на обмотку, разьезть изоляцию и растворить покровные лаки. Это приведет к резкому снижению электрической прочности и пробоем изоляции. Если масло все же попало на обмотку, то необходимо в кратчайший срок вывести двигатель в ремонт. Наиболее часто попадание масла внутрь двигателя происходит при переливе масла в картер подшипника или от появления выработки в торце вкладыша в результате осевых усилий ротора.

Попадание масла внутрь двигателя из-за торцевой выработки во вкладыше чаще всего происходит из-за дефектов в соединительной муфте двигателя с механизмом.

При медленном вращении смазочных колец вкладыш будет нагреваться. Причинами этого могут быть: чрезмерно высокий уровень масла в картере подшипника, повышенная вибрация двигателя, наличие односторонней выработки на шейке вала в месте работы кольца, наличие заусенцев и погнутости на кольце, налипание грязи на внутреннюю поверхность кольца, касание кольцом одной из стенок прорези вкладыша из-за негоризонтального положения вала двигателя. Легкий звон, сопровождающий быстрое вращение смазочных колец, указывает на недостаток масла в ванне. В подшипники скольжения масло доливают 1 раз в месяц. Смену масла производят не реже 1 раза в год, а также при загрязнении масла или сильном нагреве подшипника.

При техническом обслуживании двигателя проверяют нагрев и вибрацию его подшипников, состояние и уровень масла, подработку подшипников. Разность между температурой подшипника и температурой охлаждающего воздуха не должна превышать 45 °С.

В подшипниках скольжения со смазывающими кольцами температуру масла обычно проверяют термометром. Делать это нужно осторожно, чтобы не остановить вращение смазывающего кольца. Даже кратковременный перерыв в смазке может привести к оплавлению вкладыша.

В подшипнике, не имеющем маслоохладителя, температура масла должна быть ниже температуры вкладыша на 5–10 °С. Следовательно, максимальная температура масла в подшипниках с кольцевой смазкой не должна быть выше 70–75 °С.

Температура масла на сливе для двигателей с принудительной смазкой подшипников не должна превышать 65 °С, а температура подводимого масла – не выше 40–45 °С и не ниже 25 °С при пуске.

У электрических машин, имеющих подшипники с принудительной системой смазки, давление масла нужно проверять в напорной части маслосистемы, а количество масла – на сливе из подшипника (оно должно заполнять от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$ сечения сливного маслопровода). Небольшой расход масла может вызвать нагрев и вибрацию подшипника, а чрезмерно большой – появление течи масла по валу.

Марку масла для каждого двигателя принимают в соответствии с рекомендациями в инструкции. С целью удобства обслуживания на предприятии для всех двигателей желательно применять одну и ту же марку масла. Опыт эксплуатации показывает, что все двигатели до 100 кВт могут работать с маслом индустриальным «30» или «45», а двигатели свыше 1000 кВт – с турбинным маслом «Л» и «УТ» (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Масла для подшипников с кольцевой смазкой электрических машин

Частота вращения и режим работы машины	Машина мощностью, кВт			
	От 100 до 1000		Свыше 1000	
	Вязкость, Па·с	сорт	Вязкость, Па·с	сорт
1	2	3	4	5
От 1000 мин ⁻¹ и выше:	0,017–0,020	Индустриальное «20» (веретенное «3»)	0,017–0,020	Индустриальное «20» (веретенное «3»)
–нереверсивные и с редкими пусками	0,024–0,027	Индустриальное «30» (машинное «Л»)	0,024–0,027	Индустриальное «30» (машинное «Л»)
–реверсивные и с частыми пусками	0,024–0,027	Индустриальное «30» (машинное «Л»)	0,024–0,027 0,034–0,040	Индустриальное «30» (машинное «Л»)
	0,024–0,027			

Окончание табл. 3.7

1	2	3	4	5
От 250 до 1000 мин ⁻¹ : – нереверсивные и с редкими пусками	0,034–0,040	Индустриальное «30» (машинное «Л») Индустриальное «45» (машинное «С»)	0,034–0,040	Индустриальное «45» (машинное «С»)
–реверсивные и с частыми пусками	0,034–0,040	Индустриальное «45» (машинное «С»)	0,034–0,040	Индустриальное «45» (машинное «С»)
До 250 мин ⁻¹ : –нереверсивные и реверсивные	0,034–0,040	Индустриальное «45» (машинное «С»)	0,034–0,040	Индустриальное «45» (машинное «С») Индустриальное «45» (машинное «С»)

3.7. Техническое обслуживание коллекторов, контактных колец, щеток и щеточных аппаратов электрических машин

При всех нагрузках, в пределах номинальных мощностей, машины постоянного тока должны работать без искрения, а при перегрузках – без опасного искрения. Это требование обеспечивается с помощью коллекторов, которые не должны чрезмерно нагреваться и искрить под щетками при работе. Безыскровая коммутация достигается правильным выбором щеток, их оптимальным давлением, расположением щеточного аппарата и состоянием поверхности коллектора. Поэтому уход за коллекторами должен быть особо тщательным [19, с. 34–102].

Поверхности коллектора и контактных колец, соприкасающиеся со щетками, должны быть строго цилиндрическими и полированными без неровностей и горелых мест. Между коллекторными пластинами слюда не должна выступать за поверхность коллектора. На всей площади соприкосновения с коллектором или контактными кольцами угольные щетки должны иметь зеркально-блестящую поверхность.

На поверхности коллектора при работе машины образуется состоящая из окислов меди тонкая пленка – светло- или темно-коричневого цвета. Пленка увеличивает переходное сопротивление контактом слое и снижает износ коллектора и щеток. Для ее хранения необходимо своевременно удалять с поверхности коллектора металлическую и угольную пыль, которая образуется при истирании пластин коллектора и щеток. Эту операцию можно производить во время работы машины при помощи сухой не ворсистой тряпки, обернутой на специальную дощечку. При этом нельзя соприкасаться с токопроводящими частями и задевать детали на поворотной траверсе щеточного аппарата.

Для получения равномерного износа коллектора щетки расставляют так, чтобы они работали по всей поверхности коллектора. При осевых сдвигах якоря щетки крайних щеткодержателей не должны свисать за наружный край коллектора. Для проверки правильности установки щеток на нейтрالي собирают специальную электросхему (см. п. 2.9). Поверхность щетки должна быть зеркально блестящей и плотно прилегать к коллектору. Зеркальный блеск рабочих поверхностей щеток получают при шлифовании их стеклянной бумагой на холостом ходу машины.

Коммутацию машин постоянного тока оценивают по степени искрения (класс коммутации) под сбегающим краем щетки (табл. 3.8).

Таблица 3.8

Шкала степени искрения

Степень искрения (класс коммутации)	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	2	3
1	Отсутствие искрения (темная коммутация)	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1\frac{1}{4}$	Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки	
$1\frac{1}{2}$	Слабое искрение под большой частью щетки	Появление следов почернения на коллекторе, легко устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках

Окончание табл. 3.8

1	2	3
2	Искрение под всем краем щетки	Появление следов почернения на коллекторе, не устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках
3	Значительное искрение под всем краем щетки, появление крупных и вылетающих искр	Значительное почернение на коллекторе, не устраняемое протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и разрушение щеток

При номинальном режиме работы степень искрения должна быть не выше $1\frac{1}{2}$. Степень искрения 2 допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки, а степень 3 – только для моментов прямого (без реостатных ступеней) включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы.

Коллектор необходимо отполировать при неровностях до 0,2 мм или нагаре. Полируют стеклянной бумагой № 00, наложенной на брусок, точно пригнанный по окружности коллектора, или пемзой при номинальном числе оборотов машины. При неровности на коллекторе 0,2–0,5 мм его шлифуют мелко карборундовым камнем. Шлифование производят при окружной скорости коллектора 10–20 м/с камнем, укрепленным неподвижно на суппорте. Можно шлифовать коллектор встречно вращающимся карборундовым диском диаметром 200–300 мм, причем коллектор вращается с номинальной скоростью. При биении коллектора 0,1–0,2 мм или неравномерностях более 0,5 мм его необходимо проточить при вращении якоря в своих подшипниках, скорость протачивания 180–200 м/мин, при подаче резца 0,04–0,05 мм на оборот. Биение коллектора должно быть не более значений приведенных в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Величины биения коллектора

Диаметр коллектора, мм	До 250	300-600	700
Биение, мм	0,02	0,03-0,04	0,05

Цвет всех пластин должен быть одинаков; более светлый цвет некоторых пластин свидетельствует об их износе. Это происходит вследствие ослаблений крепления пластин. Опустившиеся пластины чернеют, а поднявшиеся срабатываются и приобретают светлый оттенок. Этот недостаток устраняют, отпуская стопоры конусной шайбы, подтягивая шайбу на ее резьбе и надежно закрепляя стопорами. Требования, предъявляемые к коллектору, распространяются и на контактные кольца.

Для обеспечения безыскровой коммутации необходимо выбирать тип щеток, соответствующий условиям работы или рекомендуемый заводом-изготовителем машины. Изношенные щетки заменяют только щетками той же марки. Установка щеток различных марок на коллектор недопустима. Ток между ними будет распределяться неравномерно – одни щетки будут перегружены по току, а другие – недогружены. Перед установкой новые щетки притирают по радиусу коллектора или контактных колец.

Допустимые плотность тока, окружная скорость, удельное нажатие щетки на коллектор и переходное падение напряжения приведены в табл. 3.10.

Щеточный аппарат электрической машины представляет собой конструкцию, состоящую из щеткодержателей со щетками и щеточных пальцев. К сборке щеточного аппарата в коллекторных машинах предъявляют повышенные требования в отношении расстановки щеток по окружности и тщательной их притирки к поверхности коллектора.

Зазор между щеткой и обоймой щеткодержателя по ширине и толщине щетки должен составлять 0,1–0,3 мм. Обоймы щеткодержателей должны отстоять от коллектора на 2–4 мм. Пружина щеткодержателя должна создавать давление на щетку, соответствующее паспортному удельному давлению, зависящему от марки и размеров щетки. Разница в давлении на отдельные щетки не должна превышать 10 % его среднего значения.

Под положительными и отрицательными щетками износ коллектора неодинаков. Для получения равномерного износа щетки каждой пары смежных брикетов (ряд положительных и ряд отрицательных щеток) необходимо располагать друг за другом для работы по одному щеточному следу, а щетки следующей пары брикетов – по другому щеточному следу, сдвинутому относительно первой пары на определенную величину, чтобы щетки работали по всей поверхности коллектора. Траверсу со щетками у машин постоянного тока устанавливают, как правило, на нейтраль.

Таблица 3.10

Технические характеристики щеток для электрических машин

Наименование групп марок	Обозначение марок	Удельное электрическое сопротивление, Ом·мм ² /м	Переходное падение напряжения на пару щеток, В	Давление на щетку, ×10 ⁵ Па	Плотность тока, А/см ²	Скорость вращения, м/с
1	2	3	4	5	6	7
Угльно-графитные ¹	Г20	35–100	2,0–4,3	0,2–0,3	10–12	15
	Г21	150–420	3,2–5,5	0,80	20	25
	Г22	100–230	Не менее 2,2	0,80	20	25
Графитные ²	Г3	8–20	0,6–1,4	0,80	20	25
	611М	8–22	0,6–1,6	0,80	20	25
	6110М	8–28	0,8–1,8	0,80	20	25
Электрографитированные ³	ЭГ2А	11–28	1,0–2,0	0,80	20	25
	ЭГ2АФ	12–35	1,1–2,1	0,80	20	25
	ЭГ4	6–14	1,0–2,2	0,80	20	25
	ЭГ8	35–45	1,2–2,0	0,80	20	25
	ЭГ14	20–38	1,1–2,1	0,80	20	25
	ЭГ51	20–40	1,0–2,1	0,80	20	25
	ЭГ61	24–46	1,2–3,0	0,80	20	25
	ЭГ71	20–35	1,3–2,3	0,80	20	25
	ЭГ74	35–75	1,2–2,4	0,80	20	25
	ЭГ74АФ	19–38	1,0–2,0	0,80	20	25
Металлографитные ⁴	М1	2–5	1,0–1,9	0,15–0,20	15	15
	М3	6–12	1,4–2,2	0,15–0,20	12	15
	М6	1–6	1,0–2,0	0,15–0,20	15	15
	М20	3–13	1,0–1,8	0,15–0,20	12	15
	МГ	0,04–0,12	0,1–0,3	0,18–0,23	20	15
	МГ2	0,1–0,25	0,3–0,7	0,18–0,23	20	15
	МГ4	0,3–1,3	0,6–1,6	0,20–0,25	15	15
	МГ64	0,05–0,25	0,2–0,5	0,15–0,20	20–25	15
	МГС0	Не более 0,3	0,08–0,35	0,18–0,23	20	15
	МГС5	2–15	0,7–1,9	0,20–0,25	15	10

Примечания. Коэффициент трения щеток о коллектор составляет 0.25 для всех марок щеток.

1. Для генераторов и двигателей с облегченными условиями коммутации и для коллекторных машин переменного тока. Мощность выше 200 кВт.

2. Для генераторов и двигателей с облегченными условиями коммутации и для контактных колец. Мощность выше 10 кВт.

3. Для генераторов и двигателей со средними и затрудненными условиями коммутации и для контактных колец. Мощность выше 10 кВт при $U = 500$ В. Средней и большой мощности при U до 1000 В.

4. Для низковольтных генераторов и контактных колец.

Для улучшения коммутации иногда щетки незначительно сдвигают с нейтрали: у генераторов – по направлению вращения, у двигателей – против направления вращения.

При вращении коллектора щетки вибрируют и изнашиваются. Зазор между щетками и обоймами увеличивается, это приводит к перекосу щеток и нарушению их контакта с коллектором. Если зазор превышает 0,25 мм, обойму заменяют.

Для улучшения контакта между щеткой и обоймой щеткодержателя верхнюю часть щеток гальваническим способом покрывают слоем меди.

В собранной машине расстояние между щетками по окружности коллектора проверяют тонкой стальной рулеткой с миллиметровыми делениями. Ленту рулетки прикладывают к поверхности коллектора и измеряют разницу расстояний между щетками, расположенными на разных щеточных пальцах; она не должна превышать половины толщины коллекторной пластины. При необходимости устраняют перекося щеточных пальцев. Расстояние измеряют между крайними щетками со стороны обмотки якоря при расположении траверсы на нейтрали.

3.8. Контроль напряжения питающей сети при пуске и работе электродвигателей

Для обеспечения нормальной работы электродвигателя напряжение на шинах питающей подстанции поддерживают в пределах 100–105 % номинального. По производственным причинам допускается работа электродвигателя при отклонении напряжения от –5 до +10 % номинального. В табл. 3.11 очерчены зоны колебаний напряжения, регламентируемые ПУЭ, то есть меньше 1,5; 1,5–4 и более 4 % (при составлении этой таблицы не учитывались потери напряжения от пусковых токов в шинопроводе и кабельных линиях).

Таблица 3.11

Колебание напряжения на шинах питающей подстанции, %, при частых пусках электродвигателей

Номинальная мощность двигателя, кВт	Мощность трансформатора, кВ·А								
	25	40	63	100	160	250	400	630	1000
0,6	1,5	0,9	0,6	0,3	0,2	—	—	—	—
0,8	1,9	1,2	0,7	0,4	0,3	—	—	—	—
1.1	2,4	1,5	1,0	0,6	0,4	—	—	—	—
1,5	3,2	2,0	1,3	0,8	0,5	0,3	—	—	—
2.2	4,4	2,8	1,8	1,1	0,7	0,4	—	—	—
3.0	5,7	3,7	2,4	1,5	0,9	0,6	0,3	—	—
4.1	7,1	4,6	3,0	1,9	1,2	0,7	0,4	—	—
5.5	9,3	6,1	4,0	2,5	1,6	1,0	0,6	0,4	—
7.5	—	7,9	5,3	3,3	2,4	1,4	0,8	0,6	0,4
10,0	—	10,3	6,9	4,4	2,8	1,8	1,1	0,8	0,5
13.0	—	—	8,6	5,5	3,6	2,3	1,4	1,0	0,6
17.0	—	—	10,9	7,1	4,6	3,0	1,8	1,4	0,8
22,0	—	—	—	8,8	5,8	3,8	2,3	1,8	1,1
30.0	—	—	—	—	7,5	5,0	3,0	2,3	1,5
40,0	—	—	—	—	9,7	6,5	4,0	3,1	1,9
55.0	—	—	—	—	—	8,5	5,3	4,1	2,6
75,0	—	—	—	—	—	11,3	7,1	5,6	3,6
100.0	—	—	—	—	—	—	9,2	7,3	4,7

Сведения о максимальной мощности короткозамкнутых электродвигателей, которые могут запускаться прямым подключением к различным источникам питания, приведены в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Максимальная мощность короткозамкнутого электродвигателя, подключенного к различным источникам питания

№	Источник питания	Максимальная мощность ЭД
1	2	3
1	Трансформатор, питающий силовую сеть	20 % мощности трансформатора при частых пусках, 30 % – при редких
2	Трансформатор, питающий силовую и осветительную сеть	4 % – мощности трансформатора при частых пусках, 8 % – при редких

Окончание табл. 3.12

1	2	3
3	Электростанция малой мощности	12 % мощности электростанции
4	Блок трансформатор-двигатель	До 80 % мощности трансформатора
5	Высоковольтная сеть	Не более 3 % мощности трехфазного короткого замыкания в точке присоединения электродвигателя

3.9. Выбор защиты электрических машин

Правильный выбор и настройка защиты электрических машин позволяют увеличить их рабочий ресурс, обеспечить безаварийную работу и повысить эксплуатационную надежность. Защита может действовать на отключение и на сигнал. В первом случае при недопустимом отклонении режимных параметров происходит отключение электрической машины от сети, во втором – подается звуковой или световой сигнал о недопустимом отклонении параметров обслуживающему персоналу, который и принимает решение о необходимости отключения машины.

Применение защиты удорожает машину, поэтому выбор типа и числа защит определяется не только технической, но и экономической целесообразностью их установки.

В ПУЭ оговариваются следующие типы защит для электрических двигателей. Для двигателей напряжением до 1000 В предусмотрены:

- для двигателей переменного тока – защита от многофазных коротких замыканий и минимального напряжения, а в сетях с глухо-заземленной нейтралью дополнительная защита однофазных замыканий;

- для двигателей постоянного тока – защита от коротких замыканий и недопустимого повышения частоты вращения;

- для синхронных двигателей – защита от асинхронного режима;

- для всех двигателей – защита от перегрузки;

- для двигателей переменного тока напряжением свыше 1000 В предусмотрены дополнительные виды защит;

- для двигателей, имеющих принудительную смазку подшипников, – защита (на сигнал и на отключение) от повышения температуры смазки или прекращения ее циркуляции;

- для двигателей, имеющих принудительную вентиляцию, – защита (на сигнал и на отключение) от повышения температуры охлаждающего газа или прекращения вентиляции;

- для двигателей с водяным охлаждением обмоток и активной стали и имеющих встроенные воздухоохладители, охлаждаемые водой, – защита на сигнал от снижения циркуляции воды и защита на отключение от прекращения ее циркуляции;
- для блоков «трансформатор-двигатель» общая защита от многофазных коротких замыканий;
- для синхронных электродвигателей – автоматическое гашение поля в аварийных режимах (как правило, для двигателей мощностью свыше 500 кВт).

Для защиты от коротких замыканий применяются предохранители или автоматические выключатели.

Защита от перегрузки должна выполняться с выдержкой времени и может быть построена с использованием тепловых реле. Эта защита должна действовать на отключение или на сигнал, и, если возможно, на разгрузку двигателя. Защита от перегрузки устанавливается при тяжелых условиях пуска (для ограничения длительности пуска при пониженном напряжении) и в тех случаях, когда по технологическим причинам возможна перегрузка механизма.

Защита от минимального напряжения применяется: для двигателей постоянного тока, не допускающих прямого пуска при наличии напряжения в сети; для двигателей тех механизмов, самозапуск которых после останова недопустим по технологическим соображениям; для многоскоростных двигателей тех механизмов, самозапуск которых допустим и целесообразен, при этом защита должна автоматически переключать двигатель на низшую скорость.

Защита от асинхронного режима синхронных двигателей напряжением до 1000 В должна осуществляться с помощью защиты от перегрузки по току статора, а для двигателей напряжением свыше 1000 В защита может осуществляться с помощью токового реле, реагирующего на увеличение тока статора и отстроенного от действия пускового тока и тока в режиме форсирования возбуждения.

Для генераторов переменного тока мощностью свыше 1 МВт предусмотрены следующие виды защит:

- от многофазных коротких замыканий в обмотке статора и на ее выводах; выполняется в виде дифференциальной токовой защиты, которая должна действовать на отключение генератора от сети, на гашение поля и на останов приводного двигателя. Для генераторов мощностью до 1 МВт для этих целей может быть использована защита от внешних коротких замыканий, действующая на отключение генератора и гашение поля возбуждения;

- от однофазных замыканий на землю в обмотке статора. При емкостном токе замыкания на землю не менее 5 А выполняется в виде токовой защиты, действующей на отключение генератора и гашение поля возбуждения;

- от двойных замыканий на землю (одно возникло в обмотке статора, другое – во внешней цепи);

- от замыканий между витками одной фазы в обмотке статора. Выполняется в виде поперечной дифференциальной токовой защиты без выдержки времени. Она должна действовать на отключение генератора и гашение поля;

- от внешних коротких замыканий. Выполняется в виде максимальной токовой защиты, действующей на отключение генератора;

- от перегрузки токами обратной последовательности (применяется для генераторов мощностью свыше 30 МВт);

- от симметричной перегрузки обмотки статора. Выполняется в виде максимальной токовой защиты, действующей на сигнал с выдержкой времени;

- от перегрузки обмотки ротора током возбуждения;

- от асинхронного режима с потерей возбуждения. Может действовать на сигнал, если генератор допускает работу в этом режиме (после гашения поля возбуждения), или на отключение, если асинхронный режим для генератора является недопустимым;

- от замыкания на землю во второй точке цепи возбуждения.

В настоящее время электрические машины снабжаются комплексными защитными устройствами, выполняющими одновременно функции не одной, а нескольких защит. При этом наиболее универсальной остается тепловая защита электрических машин, позволяющая наиболее полно использовать их возможности.

Контрольные вопросы

1. Как проводятся плановые осмотры эксплуатируемых машин?
2. Определение мощности электродвигателей технологического оборудования?
3. На что следует уделять существенное внимание при техническом обслуживании электрических машин?
4. Что является основным фактором, влияющим на работоспособность электрических машин?

ГЛАВА IV. РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

4.1. Причины повреждений и износа электрических машин

Структура электроремонтного предприятия и состав его оборудования определяется номенклатурой и объемом ремонтируемых электрических машин. Ремонтный цех может быть самостоятельной производственной единицей или входить в цеховую структуру крупного предприятия. Кроме того, в составе крупного предприятия должна быть центральная электротехническая лаборатория [14, с. 34–92].

Виды работ, проводимые в цехе ремонта электрических машин:

1. Текущий ремонт.
2. Капитальный ремонт, реконструкция и модернизация.
3. Ремонт и изготовление технологической оснастки для ремонта.
4. Ремонт и изготовление пускорегулирующей аппаратуры.
5. Изготовление запасных частей для машин и аппаратов.
6. Изготовление электромонтажных узлов и заготовок.

Виды ремонтных работ, проводимые в цехе:

- 1) предремонтные; 2) разборочные и дефектовочные; 3) изоляционно-обмоточные; 4) слесарно-механические; 5) комплектовочные; 6) сборочные; 7) отделочные; 8) послеремонтные;

В состав ремонтного цеха, (например, Компрессорного завода) входят следующие отделения и участки:

- 1) склад поступающих и отремонтированных электрических машин;
- 2) испытательный участок; 3) участок разборки, мойки и дефектовки машин; 4) ремонтно-механический участок; 5) кузнечно-сварочный участок; 6) участок гальванопластики; 7) отделение ремонта контактных колец, коллекторов и щеточных аппаратов, восстановление контактов электрических аппаратов; 8) обмоточное отделение; 9) пропиточно-сушильный участок с отделением окраски; 10) столярный участок; 11) участок комплектации и сборки машин; 12) испытательная станция.

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 ремонта: мощность, напряжение, частота вращения, энергетические показатели.

В ремонт принимаются только комплектные электрические машины, имеющие все основные 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.

Схема технологического процесса ремонта электрических машин представлена на рис. 55.

Испытательный участок. Здесь проводят предремонтные испытания для выявления неисправностей электрических машин, поступивших в ремонт. Помимо внешнего осмотра здесь измеряют активные сопротивления и сопротивление изоляции обмоток, проверяют целостность подшипников (при работе машины на холостом ходу), правильность и плотность прилегания щеток к коллектору и контактными кольцам, проверяют уровень вибрации.

Участок оснащается подъемно-транспортным и электроизмерительным оборудованием, а также испытательными стендами, в соответствии с ремонтной документацией, на капитальный ремонт электрооборудования определенного класса, подкласса и (или) руководством по капитальному ремонту конкретного типа электрооборудования.

Участок разборки, мойки и дефектации. Здесь производят очистку машин перед разборкой, разбирают ее на отдельные узлы и детали и производят их дефектацию (определяют их состояние и степень износа, объем необходимого ремонта), передают неисправные детали и узлы для ремонта на соответствующие участки, а исправные – на участок комплектации. По итогам дефектации составляется дефектная ведомость и определяются необходимый объем ремонта и потребность в комплектующих изделиях.

Участок оснащается подъемно-транспортным и моечным оборудованием, механическими и электрическими инструментами для разборки машин, станками для удаления обмотки, печью для выжига (нагрева) изоляции, приспособлениями для выведения ротора из статора.

Ремонтно-механический и кузнечно-сварочный участки. Здесь ремонтируют изношенные и изготавливают новые конструктивные детали электрических машин и аппаратов – валы, корпуса подшипников скольжения, крышки подшипников и др. Здесь же ремонтируют и изготавливают новые токоведущие части, такие как контактные кольца, коллекторы, щеточные механизмы, контакты. На этом участке производят ремонт и перешихтовку магнитопроводов (сердечников), а также механическую обработку и восстановление резьбовых соединений. Кроме того, на этом участке изготавливают необходимую для ремонта технологическую оснастку.

Участки оснащаются соответствующим парком универсальных станков для механической обработки деталей, подъемно-транспортным оборудованием, прессами и ножницами для резки металла, универсальным сварочным и слесарным оборудованием.

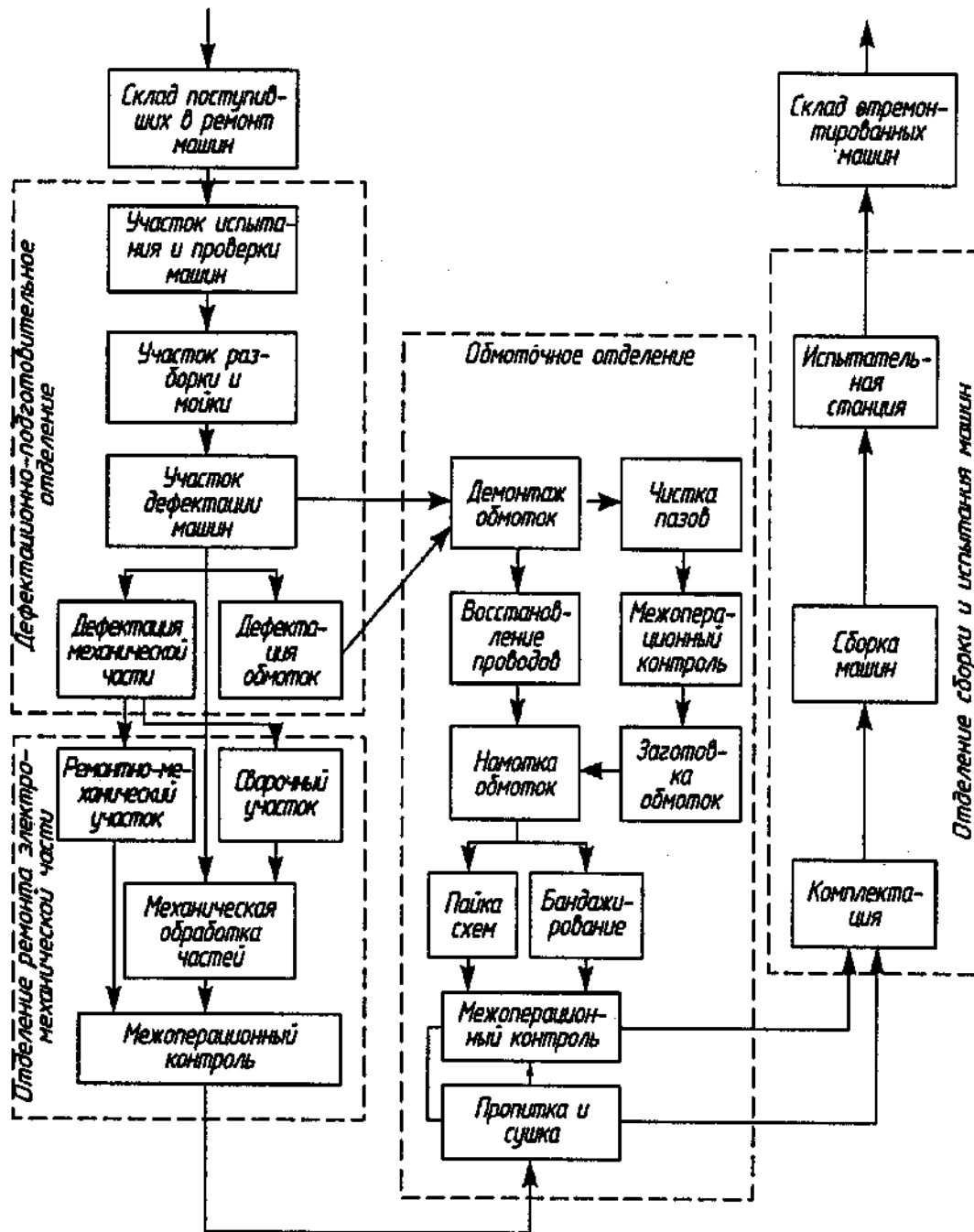


Рис. 55. Структурно-технологическая схема ремонта электрических машин

Обмоточное отделение. Здесь ремонтируют старые и изготавливают новые обмотки электрических машин и аппаратов, восстанавливают поврежденный обмоточный провод, осуществляют укладку, пропитку

и сушку обмоток, производят сборку рабочей схемы соединения обмоток и осуществляют контроль изоляции обмоток в процессе ее изготовления и укладки.

Участок пропитки и сушки. Он оснащается хорошей вытяжной вентиляцией. Подъемно-транспортное оборудование рассчитывается на узлы, имеющие максимальную массу (как правило, это статоры наиболее крупных машин).

В отделении окраски проводят отделочные работы и окраску машин и аппаратов после сборки и испытаний. Там устанавливаются станки для очистки и изолировки проводов, намотки обмоток, резки и формовки изоляции, пресса для формовки катушек из прямоугольного провода, специальные станки для бандажировки обмоток. Отделение оснащено инструментом для пайки и сварки проводов, необходимым пропиточным оборудованием и сушильными шкафами.

Участок комплектации и сборки. Сюда направляются исправные чистые узлы и детали с участка разборки и дефектации, отремонтированные узлы и детали из остальных отделений, а также недостающие комплектующие детали (крепеж, подшипники качения и т.п.). Полный машинокомплект поступает на сборку, где осуществляются поузловая и общая сборка электрических машин и аппаратов. Здесь производится и балансировка роторов электрических машин.

Участок оснащен практически тем же оборудованием, что и участок разборки (за исключением моечного оборудования и оборудования для удаления обмоток). Кроме того, здесь установлены балансировочные станки.

Испытательная станция. Здесь проводятся послеремонтные испытания электрических машин и аппаратов по соответствующим программам, а также испытания новых конструкций, узлов и деталей, изготовленных в процессе реконструкции или модернизации.

Станция оснащается подъемно-транспортным оборудованием и испытательными стендами, включая стенды для высоковольтных испытаний, а также соответствующим защитным оборудованием. Территория станции имеет ограждение для предотвращения доступа на нее постороннего персонала предприятия.

4.2. Методики испытаний машин перед ремонтом

Рассмотрим методики испытаний электрических машин перед ремонтом. Предремонтные испытания проводятся с целью определения характера дефектов поступивших во внеплановый ремонт электрических

машин [14, с. 67–83]. Кроме того, на практике встречаются случаи, когда исправная машина по ошибке обслуживающего персонала отправляется в капитальный ремонт. Для машин малой мощности применяется следующая методика испытаний:

1. Определение состояния машины путем внешнего осмотра.
2. Определение (измерение) сопротивления изоляции обмоток.
3. Определение сопротивления обмоток постоянному току.
4. Проверка легкости вращения вала машины от руки.
5. 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, а также требований и условий ее эксплуатации. Методика испытаний крупных электрических машин:

1. Измерение вибрации на холостом ходу и при различных нагрузках.
2. Определение температуры отдельных узлов машины (обмотки, магнитопровода, подшипников).
3. Определение температуры воздуха и воды на входе и выходе из воздухоохладителя.
4. Определение подшипниковых токов.
5. После останова машины: измерение сопротивления изоляции, величины воздушного зазора, биение контактных колец и коллектора.

Особое внимание при испытаниях 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:

1. Заполнить ведомость объема работ и смету, которые уточняются после вскрытия и осмотра машины.
2. Составить график ремонтных работ.
3. Оформить и утвердить техническую документацию на реконструкцию или модернизацию и подготовить необходимые для этого материалы и запасные части.
4. Укомплектовать и привести в исправное состояние необходимый инструмент и подъемно-транспортные механизмы.

5. Подготовить рабочие места и спланировать ремонтные площадки для производства ремонтных работ.

6. 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 и отсоединять ее от приводного механизма, то такой ремонт целесообразно выполнять в условиях специальной ремонтной мастерской (ремонтного предприятия).

4.3. Технология ремонтных работ электрических машин

В настоящее время на предприятиях используется планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонтов (ППР) электромеханического оборудования, которая предусматривает плановые (по графику) осмотры и ремонты электрического и электромеханического оборудования. При этом контроль за текущей нагрузкой, качеством электроэнергии и другими режимными параметрами не предусматривается [11, с. 74–92].

Эксплуатация по техническому состоянию. В этом случае ресурс для элементов электрооборудования не устанавливается, но проводится периодический или непрерывный контроль и измерение параметров, которые характеризуют техническое состояние электропривода электрооборудования, блока или узла. По результатам контроля принимают решение о дальнейшей эксплуатации объекта, которое основывается на определении и прогнозировании технического состояния объекта и на данных о затратах на ТО и Р, включая потери на простои.

Основой метода является диагностика как средство достоверной информации о техническом состоянии электропривода. Следовательно, его можно применять для тех элементов электрооборудования, техническое состояние которых контролируется. Метод ТО и Р по состоянию имеет отрицательные моменты, связанные с непостоянством объема работ при обслуживании из-за вероятностного характера требований на ремонт.

Основным недостатком системы ППР является возможность отправки в ремонт исправного оборудования, поскольку оценка его износа осуществляется косвенным путем по количественным показателям. Для электрических машин таким критерием является время работы без учета

реальной нагрузки. А поскольку стоимость ТО входит в себестоимость продукции, то стремление к уменьшению издержек производства приводит к стремлению уменьшить стоимость ТО за счет рационализации ремонтов.

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:

1. Чистка наружных поверхностей машины.
2. Проверка состояния подшипников качения, их промывка и замена.
3. Проверка работы смазочных колец и системы принудительной смазки в подшипниках скольжения.
4. Осмотр и чистка вентиляционных каналов, обмоток статора и ротора, коллекторов и контактных колец.
5. Проверка состояния крепления лобовых частей обмоток и бандажей.
6. Устранение местных повреждений изоляции и выявленных при осмотре дефектов.
7. Сушка обмоток и покрытие их при необходимости покровными эмалями.
8. Шлифовка контактных колец и коллекторов (при необходимости их продоразивание).
9. Проверка и регулировка щеточного механизма и систем защиты.
10. Сборка машины и проверка ее работы на холостом ходу и под нагрузкой.
11. 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 (после осмотровых) 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, выполняются следующие работы:

1. 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).

2. 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.

3. Ремонт корпуса, подшипниковых щитов, магнитопроводов (заварка трещин, восстановление резьбовых отверстий, восстановление 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).

4. 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.

5. 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 повреждения практически невозможно. После извлечения они передаются на переплавку. Высоковольтные обмотки из прямоугольного провода могут использоваться повторно после замены витковой и корпусной изоляции.

При выполнении ремонтных работ должны выполняться следующие технические условия. 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.

4.4. Технологии разборки электрических машин

Полное представление об объеме и характере ремонта машины можно иметь только после ее разборки, осмотра и составления ведомости дефектов отдельных частей [10, с. 78–145]. До начала ремонта необходимо:

1. Ознакомиться с документацией на электродвигатель, подлежащий ремонту.
2. Проверить, производилась ли при предыдущем ремонте замена подшипников качения или перезаливка подшипников скольжения.
3. Установить, сколько часов отработали подшипники качения после замены, каковы были зазоры в подшипниках скольжения при последнем замере, не остались ли неустраненными какие-либо дефекты, не появились ли дефекты при работе электродвигателя.

На основе этих данных решается вопрос об объеме ремонта электродвигателя. Мастер сообщает объем ремонта электродвигателя бригадир, который подготавливает необходимый инструмент, материалы и запчасти, проверяет наличие запасных шарикоподшипников и роликоподшипников. По весу двигателя и его деталей подбирают стропы, а при необходимости переносные подъемные приспособления. Стropы и подъемные средства должны быть испытаны и иметь об этом свидетельства.

Разбирать электрическую машину необходимо осторожно, не допуская повреждения или потери отдельных ее частей. Недопустимо пользоваться зубилом, наносить резкие удары или прилагать большие усилия. При разборке электродвигателя необходимо нанесением меток керном зафиксировать положение полумуфт относительно друг друга; в каком отверстии полумуфты установлен каждый палец электродвигателя. Туго отвинчивающиеся болты или гайки предварительно обрабатывают спецрастворами (например, VD-40), или смачивают керосином и оставляют на несколько часов, после чего их можно отвернуть.

На основные детали разбираемой машины навешивают бирки с указанием принадлежности их к данной машине. Небольшие детали укладывают и хранят в ящиках, входящих в наборы инструмента и приспособлений. Гайки, болты, шпильки после разборки узлов и деталей машины ввертывают обратно на свои места.

Если, например, корпус или подшипниковые щиты машины разбиты настолько, что не могут быть восстановлены, и если у машины отбиты две или более лапок, значительно отклонены величины воздушных зазоров, большая выработка гнезд подшипниковых щитов с негодным валом, то машину не ремонтируют. Поступающая же в ремонт электрическая машина должна быть укомплектована всеми необходимыми деталями: возбудителем, подшипниками, обмотками, траверсами со щеткодержателями и др.

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). Устройство двухлапчатого съемника представлено в приложении I. В этом же приложении рассмотрен процесс снятия шкива с вала электродвигателя.

Для снятия соединительных деталей, имеющих аксиальные отверстия, можно использовать съемник, описанный и показанный в приложении II, с таким устройством может работать один рабочий. 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 нагрева внимательно следят за началом трогания детали, поскольку на нее действует большое усилие со съемника. Можно использовать нагрев детали токами высокой частоты, при котором вал практически не нагревается.

Рассмотрим процесс разборки асинхронного двигателя закрытого исполнения (IP44), показанного на рис. 56.

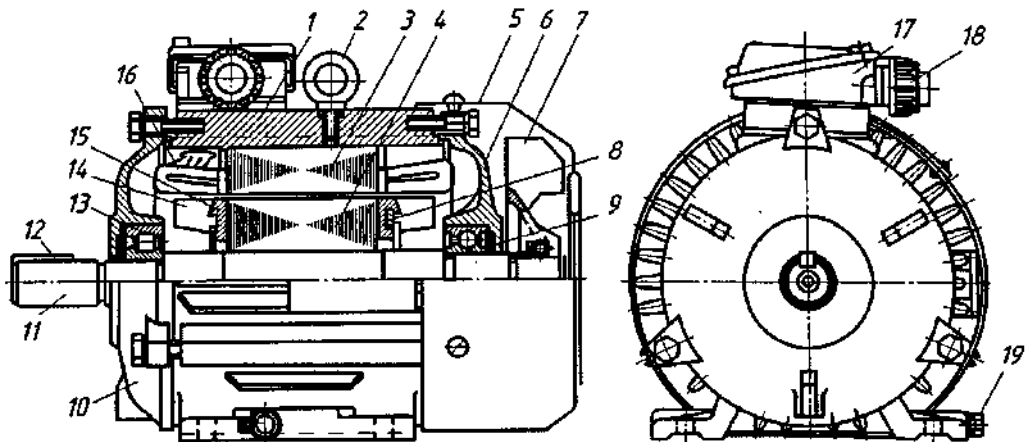


Рис. 56. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором:
 1 – станина; 2 – рым-болт; 3 – статор сердечника; 4 – сердечник ротора; 5 – кожух;
 6, 10 – подшипниковые щиты; 7 – вентилятор; 8 – балансирующий груз;
 9, 13 – подшипники; 11 – вал ротора; 12 – шпонка; 14 – вентиляционная лопатка;
 15 – коротко замыкающее кольцо; 16 – лобовая часть обмотки статора;
 17 – коробка выводов; 18 – сальник; 19 – болт

Последовательность демонтажа и разборки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором следующая:

1. Отсоединить двигатель от электрической сети и от заземляющего провода.
2. Отсоединить двигатель от приводного механизма и снять его с фундамента.
3. Снять шкив или полумуфту с помощью съемника.
4. Снять шпонку.
5. Снять кожух 5 вентилятора 7.
6. Снять вентилятор 7, предварительно ослабив его винт (вручную или с помощью съемника).
7. Отвернуть болты, крепление подшипниковых щитов 6, 10 к корпусу, и снять задний подшипниковый щит 6, легко ударяя по нему молотком из мягкого материала (дерева, пластмассы, меди).

8. Извлечь ротор 4 из статора 3, для чего легкими толчками сдвинуть ротор в сторону переднего подшипникового щита 10 и вывести щит из замка. Затем, поддерживая ротор за вал, вывести его из статора, не допуская повреждения лобовых частей обмотки статора и крыльчатки ротора.

9. Снять передний подшипниковый щит 10, легко ударяя по нему молотком из мягкого материала.

10. Снять с помощью съемника подшипники 9 и (или) 13, если необходима их замена.

Ротор небольшой массы выводят из статора руками, поддерживая его с двух сторон, как описано выше. Более крупные роторы выводят из статора с помощью специального приспособления для выема и ввода ротора показанного на рис. П. 3 приложения III.

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. При использовании других способов применяют вставки или разъемные хомуты (приложение IV).

При разборке электрических машин часто используют гидравлические съемники, один из которых показан в приложении V на рис. П. 5. 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 (Приложение VI рис. П.6). Перед установкой на стенд с двигателя снимают кожух вентилятора, вентилятор и болты, крепящие крышки подшипников и подшипниковые щиты.

После разборки двигателя на все детали и узлы навешивают бирки с одним ремонтным номером, 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 крупной электрической машины

Разборка любой крупной электрической машины с подшипниками скольжения имеет свои специфические особенности, связанные с ее конструкцией, местом установки, наличием грузоподъемных механизмов

и др. Исходя из этого, приведем только общие операции по разборке крупных машин. При разборке крупной электрической машины измеряют:

1. Воздушный зазор между ротором и статором в четырех точках (через 90°) с обеих сторон.
2. Радиальные зазоры в подшипниках и натяги крышек подшипников на вкладыши.
3. Зазоры по уплотнениям вала и по маслоуловителям.
4. Осевой разбег ротора и уклон вала ротора.
5. Проверяют совпадение или несовпадение магнитных осей статора и ротора.

Результаты измерений заносят в формуляр, проводят испытания и приступают к разборке машины.

Последовательность разборки крупной электрической машины:

1. Снять наружные и внутренние щиты и диффузоры. В воздушный зазор под ротор завести лист электрокартона.
2. Разобрать опорные подшипники и опустить ротор на статор.
3. Снять полумуфты или шестерни, подогревая их при необходимости, зачистить посадочные поверхности и определить натяг.
4. Ротор извлечь с помощью грузоподъемных механизмов и специальных скоб (для роторов массой до 500 кг), пригодных для роторов машин до 19-го габарита включительно (см. Приложение VII, рис. П.7). Чтобы не повредить обмотки при выводе ротора из статора, закрыть их листами из электрокартона или резины.

Если расточка статора расположена ниже поверхности фундаментной плиты, статор сначала поднимают и подкладывают под его лапы шпалы, чтобы расточка статора была выше верхней отметки плиты. Далее выводят ротор из статора (пункт 4).

При отсутствии грузоподъемных механизмов применяют специальные приспособления для выведения ротора из статора (см. Приложение VIII, рис. П.8).

5. Детали и узлы крупных электрических машин после разборки несколько раз протирают салфетками, смоченными в бензине, или другой испаряемой смазкой.

4.5. Технология разборки 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, модели 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 рис. П.9 (Приложение IX). Для обрезки лобовой части корпуса (статор) машины устанавливается на станок и осуществляется процесс обрезки обмотки.

Конструкция отрезного устройства станка СО-3М представлена в Приложении X на рис. П.10, там же описан способ обрезки обмотки. После обрезки статор перемещается на следующую операцию.

Чтобы извлечь обмотку из пазов, не повредив сердечника, необходимо ослабить сцепление обмотки с последним. Это можно осуществить выжигом или размягчением изоляции [12, с. 89–138].

Выжиг 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 ослабевают посадка сердечника. Корпус (статор) устанавливают в печи горизонтально, поскольку при вертикальной установке может произойти смещение сердечника относительно корпуса из-за ослабления прессовки. При выжиге изоляции обмоток роторов, имеющих контактные кольца, последние должны быть демонтированы. Пазовая изоляция при выжиге обугливается и теряет свою механическую прочность. Выжиг производится в печи при температуре 350 °С в течение 4–6 ч. Повышать температуру выжига сверх указанной не следует, так как это может привести к нарушению межлистовой изоляции сердечников и ухудшению их магнитных свойств.

Печи оборудуются вытяжной вентиляцией для удаления образующихся при выжиге изоляции вредных газов, которые затем дожигаются или нейтрализуются. Наличие вредных газов является одним из существенных недостатков данного метода. После извлечения из печи статор охлаждают до температуры 50–60 °С и передают на станок для извлечения обмотки.

Химическое размягчение пазовой изоляции. Для химического размягчения пазовой изоляции сердечник с обмоткой помещают на 6–8 ч в ванну с 10 %-м раствором едкого натрия (каустическая сода), подогретого до температуры 80–90 °С. После извлечения из ванны сцепление обмотки с сердечником резко уменьшается, что позволяет удалить ее без больших механических усилий. После этого сердечник промывают в проточной воде и сушат. Данный метод трудоемок и требует

большого расхода воды. Кроме того, необходима нейтрализация получившегося при промывке раствора, который нельзя непосредственно сливать в канализацию.

Метод размягчения пазовой изоляции путем высокочастотного нагрева сердечника. Такой метод размягчения пазовой изоляции является более прогрессивным. При использовании этого метода тепло, выделяющееся в сердечнике, передается пазовой изоляции через разделяющую их лаковую пленку и далее через лак к проводникам обмотки. При интенсивном нагреве температура лака между пазовой изоляцией и сердечником оказывается выше, чем между пазовой изоляцией и проводниками. Поэтому при последующем извлечении обмотки в горячем состоянии она выходит из пазов вместе с пазовой изоляцией (коробочкой), оставляя пазы чистыми, не требующими дополнительной очистки.

На рис. П.11 (Приложения XI) 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. Затем включают установку и проводят высокочастотный нагрев сердечника с обмотками. После нагрева удаляют обмотки из пазов сердечника.

Удаление обмотки из пазов сердечника в небольших машинах производят вручную с помощью крючков, которыми захватывают необрезанную лобовую часть обмотки.

Из сердечников более крупных машин обмотку извлекают на специальных станках типа УПО-1, один из которых показан на рис. П.12 (Приложение XII). Производительность станка – 180 статоров в смену.

После извлечения обмотки проводят очистку пазов от остатков изоляции, используя напильники. Очищенные сердечники направляют на мойку.

Если при ремонте отсутствуют обмоточные данные, то после извлечения обмотки несколько катушек прикрепляют к статору и по ним уточняют обмоточные данные – диаметр провода, число элементарных проводников в одном эффективном, длину лобовой части и др.

4.6. Разборка обмоток из прямоугольного провода

К обмоткам из прямоугольного провода относятся:

1. Обмотки фазных роторов асинхронных двигателей.
2. Статорные обмотки крупных синхронных и асинхронных машин.
3. Якорные обмотки и обмотки возбуждения машин постоянного тока.
4. 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. Затем определяют обмоточные данные, параметры бандажей, расположение начал и концов фаз, данные по изоляции 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 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 рис. П.13 (Приложения XIII). После снятия всех стержней их отправляют на восстановление изоляции.

Пазы сердечника, нажимные шайбы и обмоткодержатели очищают от старой изоляции. Проверяют качество пазов, для чего в пазы устанавливают один слой электрокартона толщиной 0,1 мм и прогоняют через паз клин. Сам клин изготавливают по форме и размеру паза с учетом толщины гильзы из электрокартона. После прогонки клина извлекают гильзу. По числу и глубине вмятин на гильзе судят о неисправности пазов. Неисправности пазов устраняют дорновкой.

Извлечение якорной обмотки машин постоянного тока. Перед разборкой производят, как и в предыдущем случае, запись необходимых для последующего ремонта обмоточных данных. Разборку начинают с распайки (удаления) бандажей и отпайки концов обмотки от коллектора.

Если обмотка соединена с коллектором сваркой, то сварку удаляют на токарном станке. Глубина сварки от торца петушков составляет 2–4 мм.

Если обмотка крепилась в пазах клиньями, их предварительно выбивают. Сначала извлекают из пазов верхние стороны катушек, затем удаляют межслойную изоляцию и вынимают нижние стороны катушек. При извлечении под катушку подводят киперную или лавсановую ленту, с помощью которой вытаскивают катушку из паза, не деформируя ее. По мере разборки записывают данные уравнительных соединений и их схему. Пазы якоря зачищают от остатков изоляции, проверяют их исправность и отправляют необмотанный якорь на мойку.

В тех случаях, когда состояние изоляции удовлетворительное, а дефект имеется лишь в верхней стороне катушки обмотки якоря, производят его устранение без полной разборки обмотки. Для этого снимают бандажи, распаивают или вырубает острым зубилом место соединения катушки с коллектором и достают (вынимают) поврежденную верхнюю сторону катушки. После замены поврежденной изоляции отремонтированную сторону катушки укладывают обратно в паз, соединяют ее с коллектором и восстанавливают снятые бандажи.

Поврежденный медный провод наваривают медно-фосфорным припоем, зачищают и изолируют. При повреждении провода нужно внимательно осмотреть паз, в котором он находился, для нахождения причины повреждения и выхода машины из строя.

Извлечение высоковольтной катушечной обмотки. Такая обмотка располагается в открытых пазах, а катушки имеют термопластичную или термореактивную изоляцию. У обмоток с термопластичной изоляцией рассоединяют катушечные группы и нагревают их перед выемкой. Для нагрева используют сварочные генераторы постоянного тока, позволяющие обеспечить ток при нагреве, равный 0,4–0,6 номинального. Форсировать нагрев катушек нельзя, так как это может привести к вспучиванию изоляции. При нагреве термопластичная изоляция размягчается и становится эластичной.

Из пазов выбивают клинья, обрезают крепления обмотки к бандажным кольцам и между собой, сохраняя при этом межкатушечные прокладки в лобовых частях. Катушки извлекают из пазов с помощью рычагов (рис. 57). Для облегчения выемки катушек из пазов используют следующую методику. Между верхней и нижней катушками забивают деревянные или пластмассовые клинья. Верхние стороны первых катушек, число которых равно шагу обмотки в пазах, оставляют в расточке статора, так как их нижние стороны еще нельзя извлечь. Затем извлекают катушки

целиком (и нижние и верхние стороны). После этого последними извлекают нижние стороны первых катушек. Извлеченные катушки отправляют на замену изоляции и проводят дефектацию сердечника.

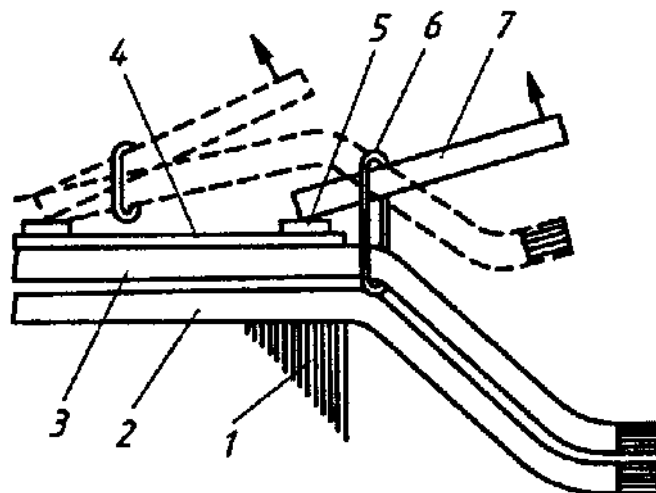


Рис. 57. Извлечение катушек из пазов статора

1 – сердечник статора; 2, 3 – нижняя и верхняя стороны катушек; 4 – расточка статора;
5 – изоляционная прокладка; 6 – рычаг

У обмоток с терморезистивной изоляцией извлечь катушки с помощью нагрева не удастся, поскольку эта изоляция не размягчается даже при температурах 300–400 °С. Размягчение терморезистивной изоляции можно производить в перегретых водных растворах углекислого газа в автоклаве при температуре 120–200 °С и давлении 0,4–2,0 МПа. Эта технология получила название гидrolитической деструкции связующего (ГДС).

4.7. Мойка деталей и узлов электрических машин

После разборки все детали и узлы электрических машин необходимо очистить от загрязнений. Поэтому перед дефектацией все детали и узлы очищаются от загрязнений и смазки в моющих растворах, промываются в воде и сушатся. При мойке эффективно использовать моющие синтетические препараты МЛ-51, МЛ-52, которые хорошо растворяются в воде (в том числе в жесткой). Эти препараты нетоксичны, негорючи, взрывобезопасны и не вызывают ожогов кожи. Растворы на основе препаратов МЛ-51, МЛ-52 пригодны для чистки деталей из черных (не вызывают коррозии) и цветных металлов, включая алюминий и его

сплавы. В баке моющей машины раствор образует с загрязнениями распадающуюся эмульсию, причем масляные загрязнения всплывают на поверхность раствора, а твердые частицы плотностью более 1 г/см^3 оседают в нижней части бака. Быстрота и полнота расслоения эмульсии гарантируют многократное использование одной порции моющего раствора по замкнутому циклу. Поэтому баки для раствора, горячей воды и отстойников оборудуют устройствами для сбора масла с поверхности. Указанные моющие синтетические препараты предназначены для струйной очистки деталей, но могут использоваться и для очистки деталей в ваннах.

Струйную очистку наиболее эффективно проводить в моечных машинах. В настоящее время разработано и внедрено несколько конструкций моющих машин. Существует моечная машина для мойки узлов и деталей электрических машин с высотой оси вращения до 280 мм, разработанная ЦКТБ электроремота. Машина состоит из моечной камеры, двух гидравлических баков с системами подогрева и фильтрации жидкости и насосной станции. В состав камеры входят две полукмеры с приводом, подвеска с приводом ее вращения и ловителем, два контура с системой форсунок и емкость для слива рабочей жидкости в процессе мойки. Гидравлические баки состоят из двух одинаковых емкостей для горячего моющего раствора и горячей воды соответственно, трубопровода и арматуры.

Технология мойки осуществляется следующим образом. Большие детали подвешивают на подвеске, а малые укладывают в контейнер и также укрепляют на подвеске. Детали поступают в моечную машину. В моечной машине происходит подготовка раствора, он нагревается до температуры $70\text{--}80^\circ\text{C}$, и под давлением оmyвает детали электрических машин через качающиеся сопла. Подвеска при этом медленно поворачивается. Время мойки определяется габаритными размерами и степенью загрязнения деталей. Время мойки в такой машине составляет 15–20 мин. После обработки раствором детали моют горячей водой ($70\text{--}80^\circ\text{C}$), а затем сушат горячим воздухом.

Моющий раствор готовится непосредственно в моющей камере. В одном литре горячей воды растворяют 10–25 г моющего средства. Смену моющего раствора производят примерно через 10 суток. Препараты МЛ-51 и МЛ-52 при засыпке могут образовать «пылевое облако», а при размешивании раствор может разбрызгиваться. Поэтому необходимо строго соблюдать правила безопасного выполнения работ. В случае попадания моющего раствора в глаза их следует промыть чистой водой.

При разведении порошка необходимо работать в защитных очках, респираторе и резиновых перчатках. Руки до локтей следует смазать защитными кремами (применяют силиконовый крем, а также пасты марок ХИОТ-6 и АБ-1).

4.8. Дефектация деталей и узлов электрических машин

Одной из важнейших операций в технологии ремонта электрических машин является дефектация. Дефектация деталей машин проводится после их мойки. Процесс дефектации состоит из двух этапов:

1. Визуальный осмотр узлов и деталей машины.
2. Технический контроль. Проведение необходимых измерений и испытаний с помощью технических средств.

Дефектация необмотанного статора. При визуальном контроле статора проверяют:

1. Наличие трещин, сколов и деформаций корпуса.
2. Состояние резьбовых отверстий.
3. Крепление сердечника в корпусе.
4. Наличие распушения крайних листов и выгорания отдельных листов сердечника.
5. Наличие коррозии на поверхностях.

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 сердечниках 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:

1. Откола более двух лап и сквозных трещин в корпусе.
2. Выгорания одного или нескольких зубцов на длину более 50 мм или 1/3 длины сердечника.
3. Увеличенного воздушного зазора более чем на 15 % (25 % – для двухполюсных машин).
4. Значительном повреждении сердечника.

Дефектация необмотанного якоря (ротора). Прежде чем приступить к дефектации ротора, необходимо отремонтировать центральные отверстия вала. После этого якорь (ротор) устанавливают шейками вала на призмы и производят его внешний осмотр. Затем 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 выявления подгаров, возгораний, 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-h10, под посадку коллектора – k6-k8. Дефектация сердечника ротора проводится так же, как сердечника статора.

Якорь бракуется и не подлежит ремонту при наличии:

1. Излома вала в любом сечении.
2. Значительного износа сердечника (в результате коррозии, абразивного износа и пр.).
3. Обрыва литого стержня обмотки (для короткозамкнутых роторов асинхронных машин).

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 H6-H7, под посадку щита на корпус – h6-h9. Подшипниковые щиты бракуются при наличии:

1. Трещин и отколов в щите и на посадочных поверхностях.
2. Отколов крепежных приливов.

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 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 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.

Крепежные детали считаются бракованными при наличии:

1. Повреждений более 20 % ниток резьбы.
2. Трещин и надрывов у головок болтов.
3. Уменьшения диаметра шпилек и болтов из-за коррозии более чем на 10 %.

4.9. Ремонт сердечников статоров и роторов

При эксплуатации электрической машины на производстве происходит износ, ослабление крепления и изменение формы ее составных частей и отдельных деталей. Некоторые детали даже при сохранении формы и размеров теряют свою работоспособность в результате потери упругости. Все это приводит к ухудшению энергетических и эксплуатационных показателей работы машины, при этом нарушается технологический процесс производства. Поэтому электрическую машину демонтируют и отправляют на ремонт.

Характерными повреждениями сердечников статоров (роторов) являются:

1. Ослабление посадки сердечников в корпусе (на валу) и их сдвиг в осевом направлении.
2. Распушение крайних листов сердечников.
3. Ослабление прессовки и нарушение изоляции между листами.
4. Выгорание или оплавление отдельных участков поверхности.
5. 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 заводским чертежам и закрепляют его новыми стопорами или кольцевыми шпонками, причем отверстия для стопоров сверлят в новом месте. При ослаблении посадки 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 размеры показаны на рис. 58, 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 опиляют совместно с сердечником до требуемого размера. Распушенные зубцы можно также склеить, промазав лаком и стянув кольцом 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 зубцами (пальцами) 6, как показано на рис. 58, б, или установку отдельных нажимных пальцев 6 между сердечником 4 и нажимной шайбой 7, как показано на рис. 58, в. 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 забивают текстолитовые клинья 8 (рис. 58, г), обеспечивающие нормальную прессовку сердечника. Чтобы определить необходимую толщину клина, можно предварительно сжать сердечник при давлении 1 МПа. Ширина клина не должна превышать ширины зубца. Для предохранения клина от выпадения его перед установкой промазывают клеящим лаком и загибают крайний лист 9 сердечника.

Выпадение вентиляционной распорки происходит из-за местного ослабления прессовки сердечника статора. Ремонт осуществляют следующим образом. Поврежденную распорку выправляют, а вместо выпавшей забивают текстолитовый клин, загибая на него с двух сторон крайние листы сердечника.

При ослаблении прессовки сердечников крупных электрических машин, у которых прессовка осуществляется стяжными шпильками, производят подтяжку гаек на шпильках. Для этого удаляют сварные швы, стопорные гайки стяжных шпилек, подтягивают четыре гайки, расположенные в диаметрально противоположных точках, и производят обтяжку нажимного фланца, завертывая остальные гайки в несколько обходов. По окончании подтяжки восстанавливают сварные швы.

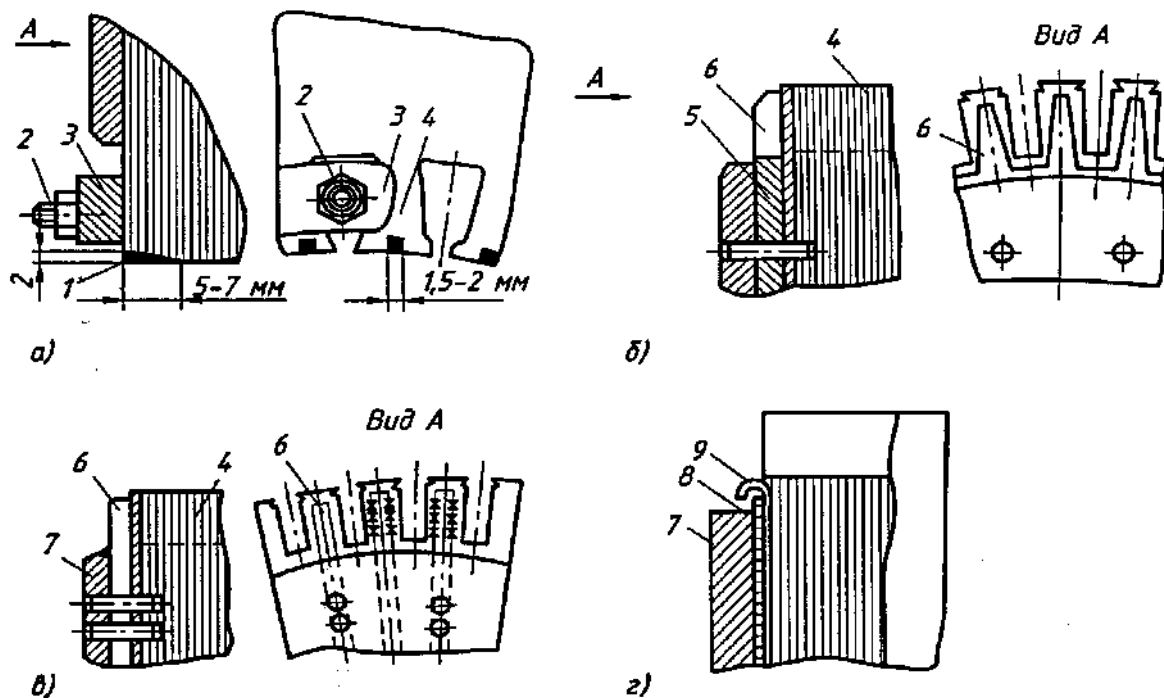


Рис. 58. Эскизы отремонтированных сердечников с использованием сварки (а), дополнительных нажимных шайб с зубцами (б), отдельных нажимных пальцев (в) и клиньев (г): 1 – сварной шов; 2 – шпилька; 3 – кольцо; 4 – зубцы; 5 – шайба; 6 – нажимные пальцы; 7 – нажимная шайба; 8 – текстолитовый клин; 9 – крайний лист сердечника

Если гайки не удастся подтянуть или подтяжкой не удастся восстановить прессовку сердечника, прессовку восстанавливают забивкой в зубцовую зону клиньев из стеклотекстолита марки СТЭФ-1. Поверхности для забивки клиньев обезжиривают бензином Б-70 и подсушивают, контактные поверхности сегментов и клиньев промазывают лаком БТ-99 или эпоксидным клеящим лаком ЭЛ-4. После установки клиньев для полной полимеризации проводят сушку при температуре 20–25 °С в течение 10–12 ч.

Ремонт при нарушении межлистовой изоляции. Если имеется нарушение на небольшой глубине лакового покрытия отдельных сегментов, прилегающих к месту установки клиньев, то перед забивкой клина между сегментами вставляют прокладки из слюды на лаке БТ-99 на глубину 20–35 мм. Местные нарушения меж листовой изоляции на поверхности статора устраняют установкой лепестков слюды между сегментами или изолировкой сегментов жидким лаком БТ-99. Для этого сегменты разводят специально заточенными узкими и тонкими стальными полосами необходимой длины.

Большие площади повреждений устраняют травлением в концентрированной азотной кислоте. На статор наматывают намагничивающую и контрольную обмотки и, пропуская по намагничивающей обмотке ток, определяют место повышенного нагрева, что свидетельствует о повреждении изоляции. Защищают окружающую место повреждения поверхность шпаклевкой и химически стойкой эмалью, нагревают поврежденную зону до 75–105 °С с помощью намагничивающей обмотки и, отключив ток, протравливают поврежденное место концентрированной азотной кислотой. После окончания травления остатки кислоты нейтрализуют 4–5-кратной обработкой салфетками, смоченными 10 % раствором кальцинированной соды, и промывают ремонтируемое место горячей дистиллированной водой (40–60 °С). Затем протирают его салфетками и промывают спиртом.

Ремонт при выгорании участка зубца сердечника. При выгорании или оплавлении участка зубца сердечника дефектную часть срубав и устанавливают на ее место вставку 1 из стеклотекстолита для предотвращения выпучивания обмотки, как показано на рис. 59.

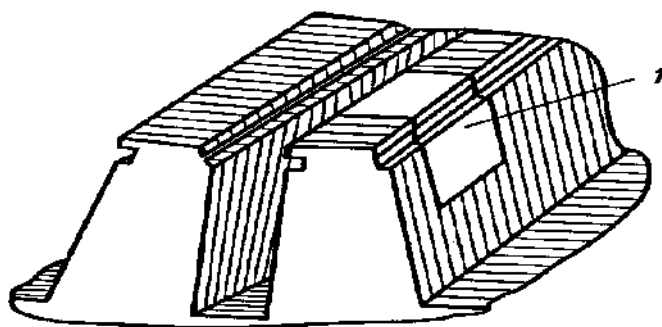


Рис. 59. Схема установки вставки в зуб сердечника

Удаление поврежденной области производят с помощью острого зубила. Перед вырубкой проводят предварительное высверливание, после чего устраняют замыкания листов. Вставка изготавливается по размерам удаленной части и устанавливается по месту на клее ЭЛ-4.

4.10. Ремонт корпусов электрических машин и их подшипниковых щитов

При ремонте корпусов электрических машин наиболее часто встречаются следующие характерные повреждения:

1. Отлом части лапы чугунной станины корпуса.
2. Износ или срыв резьбовых отверстий в корпусе.

3. Износ посадочных мест под щиты.

4. Появление трещин на корпусе.

5. Износ и разбивка посадочных поверхностей подшипниковых щитов и трещины на них.

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.

Перед наплавкой детали нагревают в печи до 300–400 °С. Наплавку производят чугунным электродом марки Б и газовой горелкой, используя в качестве флюса буру или одну из трех смесей, процентное содержание которых указано в табл. 4.1. После наплавки детали подвергают отжигу в печи при температуре 300–400 °С в течение 4–6 ч и медленному охлаждению в выключенной печи в течение 12–16 ч.

Таблица 4.1.

Рецептура флюсов при наплавке чугунным электродом

№	Наименование компонентов	Рецепт 1	Рецепт 2	Рецепт 3
1	Бура, %	56	23	–
2	Углекислый натрий, %	22	27	50
3	Углекислый калий, %	22	–	–
4	Азотнокислый натрий, %	–	50	–
5	Двууглекислый натрий, %	–	–	50

Большое значение имеют правильная установка и крепление деталей на станке при механической обработке наплавленных мест. При обработке замков корпуса его устанавливают на внутреннюю поверхность или на один из замков, который не подвергался наплавке, а при обработке щитов – либо на одну посадочную поверхность, не имеющую наплавки, либо – на технологические приливы (при обработке двух наплавленных поверхностей).

В щите посадочную поверхность под подшипник восстанавливают запрессовыванием втулки. Предварительно протачивают гнездо подшипника под 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 подшипникового щита. Втулку 1 (рис. 60) закрепляют в щите двумя диаметрально расположенными стопорами 2. Глубина сверления под стопор должна быть не менее двух диаметров стопора.

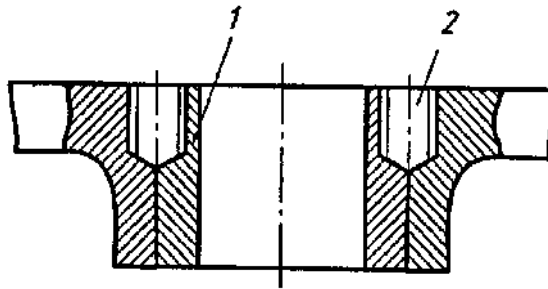


Рис. 60. Фрагмента подшипникового щита с восстановленной посадочной поверхностью под подшипник: 1 – втулка; 2 – стопор

Дефекты при износе посадочных поверхностей щитов и валов на величину не более 0,2 мм, устраняют нанесением герметика (например, 6Ф). Герметик находится в твердом состоянии и выпускается в виде листов желтого цвета толщиной до 5 мм. Этот материал стоек к воздействию воды, щелочей и масел, но растворяется в ацетоне, толуоле, бензоле и этилбутилацетате. Он обладает хорошей адгезией к стали, чугуну, алюминиевым и медным сплавам. Для приготовления жидкого герметика нарезают мелкими кусочками твердые листы и помещают их в посуду с растворителем на 24 ч. Посуду плотно закрывают и периодически взбалтывают. Вязкость приготовленного раствора должна быть в пределах 33–34 с по вискозиметру ВЗ-4. Срок хранения раствора в плотно закрытой посуде и в затененном месте составляет 2–3 года.

Заварка трещин на поверхностях корпусов и подшипниковых щитов. Заварка трещин применяется только в тех случаях, когда она не вызовет изменений формы посадочных поверхностей. Методика заварки трещин заключается в следующем. Предварительно высверливают отверстия на расстоянии 8–10 мм от концов трещины сверлом диаметром 6–8 мм на глубину трещины. Затем трещину разделяют под сварку с углом не менее 70° и притупляют кромки. Поверхности, прилегающие к месту сварки, зачищают до металлического блеска абразивным кругом или металлической щеткой. Заварку трещин производят электро-сварочным аппаратом на постоянном токе обратной полярности при силе тока 45–60 А на 1 мм диаметра электрода.

В качестве присадочного материала используют медные стержни диаметром 3–6 мм с оболочкой из листовой жести толщиной 0,3 мм с тонкой меловой обмазкой. При сварке используют флюс (бура – 50 %, железные опилки – 25 %, железная окалина – 25 %). Сварку ведут короткими участками длиной не более 40 мм, не допуская перегрева основного материала. Для отвода тепла применяют медные прокладки. Каждый участок сразу после сварки простукивают молотком массой 500 г. Швы отбивают от шлака и зачищают металлической щеткой.

Восстановление отломанных лап корпуса. Изготавливают 2 или 3 односторонние шпильки 2 из стального прутка диаметром не менее $1/2$ толщины детали. Размечают и высверливают отломанную 1 и основную 3 детали (рис. 61) и нарезают резьбу в основной детали. Кромки сопрягаемых деталей по излому разделяют под углом 30° с обеих сторон на глубину не менее $1/4$ толщины. Завертывают шпильки 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 высверливают новое крепежное отверстия в лапе (рис. 61).

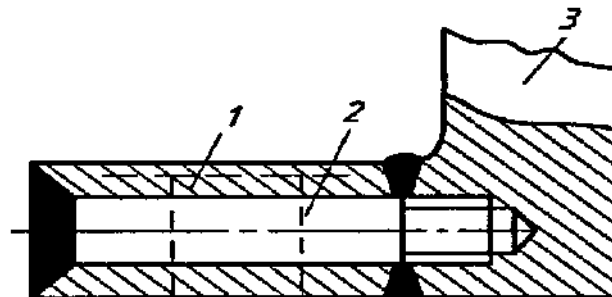


Рис. 61. Схема лапы корпуса после восстановления:

1 – отломанная часть лапы; 2 – шпилька; 3 – основная деталь корпуса

Восстановление резьбовых отверстий. Износ и срыв резьбы в крепежных отверстиях происходит при многократных сборках и разборках резьбовых соединений или чрезмерно больших моментах затяжки. В стальных корпусах гнезда с изношенной резьбой заваривают электродуговой сваркой, высверливают отверстия по размер соответствующего метчика и нарезают резьбу. В чугунных и алюминиевых корпусах разбитое резьбовое отверстие рассверливают под пробку и нарезают резьбу большего диаметра. Заготавливают футорку, завертывают ее в отверстие и проваривают соединение электросваркой.

Сварной шов зачищают, в футорке высверливают отверстие и нарезают резьбу того же диаметра.

В алюминиевых деталях целесообразна замена болтов на шпильку и гайку. Сначала в корпусе устанавливают на клей шпильку, на которую будет надеваться деталь и крепиться гайкой. В этом случае износ соединения при сборке и разборке значительно уменьшится, так как происходит свинчивание двух стальных деталей. Если позволяет конструкция, допускается восстанавливать резьбовое отверстие рассверливанием до ближайшего большего диаметра размерного ряда резьбы.

4.11. Ремонт валов электрических машин

К основным повреждениям относятся:

1. Риски и задиры на посадочных поверхностях, изменение их формы и размеров.
2. Задиры в шпоночных пазах, изменение их формы и размеров.
3. Уменьшение диаметров посадочных поверхностей под подшипник и сердечник.
4. Овальность и конусность посадочных поверхностей.
5. Поломка вала.
6. Забитые центральные отверстия.

Риски и задиры устраняются зашлифовкой, если их общая площадь не превышает от общей посадочной поверхности 4 % под подшипник и 10 % под муфту, шкив, шестерню или шпонку. Зашлифовка производится бархатным напильником или шлифовальной шкуркой, слегка смоченной маслом. Если размеры посадочных поверхностей выходят за размеры допусков, указанных на чертежах, или зона дефектов превышает приведенные выше допуски, то дефекты устраняются одним из следующих методов: электродуговой или вибродуговой наплавкой, газоплазменным напылением, электромеханическим методом.

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 в очередности, обозначенной цифрами на торце вала (рис. 62, а), которая обеспечивает минимальные деформации.

После наплавки проводят механическую обработку поверхности. Наплавку обычно производят электродами Э42 или ОММ-5.

Восстановление центральных отверстий. Центральные отверстия на торце вала восстанавливают следующим образом. Наплавку торца вала ведут от центра к периферии по спирали (рис. 62). Затем на токарном станке обрабатывают торец, выдерживая общую длину вала, и высверливают центральные отверстия. При восстановлении центральных отверстий базой служит наружная поверхность сердечника ротора.

Разработанный шпоночный паз восстанавливают электродуговой наплавкой с последующей механической обработкой. Если шпоночные пазы повреждены на валу и в сердечнике, то следует сделать шпоночные пазы большего размера и поставить новую шпонку.

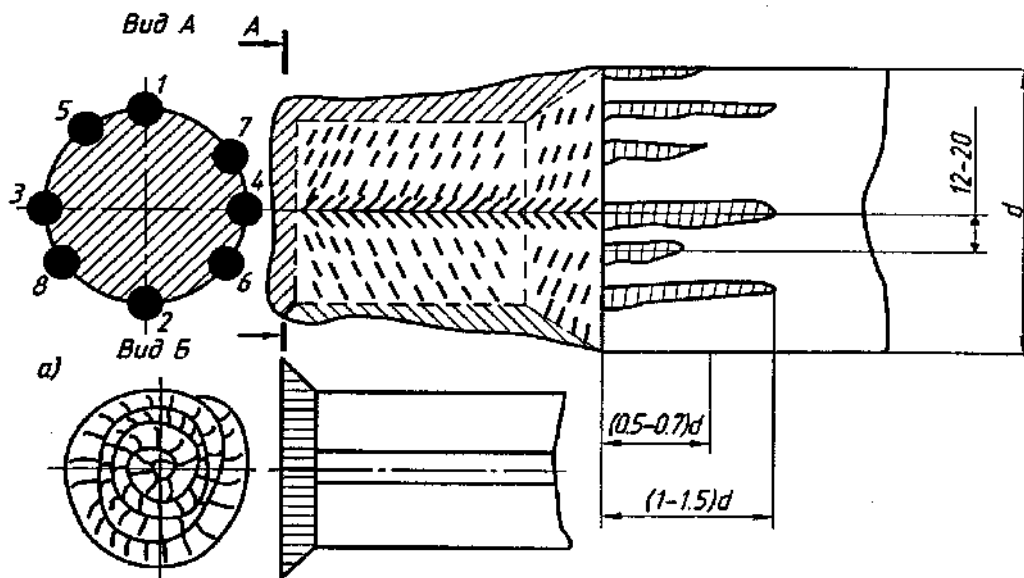


Рис. 62. Восстановление посадочной поверхности вала (а) и его торца электродуговой наплавкой (б)

Если поврежден один шпоночный паз, то его фрезеруют до большего размера и устанавливают ступенчатую шпонку или фрезеруют новый шпоночный паз со смещением его относительно старого на четверть окружности. Выбор способа ремонта зависит от возможностей ремонтного цеха.

Ремонт с использованием вибродуговой наплавки. Автоматическую и полуавтоматическую вибродуговую наплавку открытой дугой в среде защитного газа применяют для восстановления цилиндрических деталей диаметром 8–200 мм. Эта наплавка не требует сложного оборудования, обеспечивает высокую производительность и получение твердой поверхности без ее термообработки. Вибродуговая наплавка является разновидностью электродуговой сварки и осуществляется

электродом, вибрирующим с частотой 20-100 Гц. Толщина наплавляемого слоя равна 3–5 мм.

Перед наплавкой поверхность вала должна быть очищена от загрязнений и масла, а шпоночные пазы – заделаны медными или графитовыми вставками, чтобы последние выступали над чистовой высотой наплавленного металла на 1 мм.

Деталь зажимается в патроне или центрах станка и вращается со скоростью $0,7\text{--}4,0 \text{ мин}^{-1}$, а сварочная (вибродуговая) головка перемещается вдоль этой детали со скоростью v_{np} . Перенос металла происходит небольшими каплями, что обеспечивает формирование плотных слоев наплавленного металла. Напряжение источника тока равно 14–24 В, диаметр d_3 электродной проволоочки – 1,6 2,5 мм, сварочный ток – 100–250 А. К месту наплавки подают охлаждающую жидкость, через которую в дугу вводят ионизирующие соли, поддерживающие стабильность ее горения.

Выбор режимов наплавки зависит от типа применяемой головки, а режим наплавки должен удовлетворять следующим соотношениям:

$$\frac{v_{np}}{v_n} = 1,0 - 1,2; \quad B = (1,2 - 1,7)d_3,$$

где v_n – скорость наплавки (до 1,5 м/мин); B – шаг наплавки.

Ремонт с использованием газоплазменного напыления. Его используют при восстановлении цилиндрических поверхностей, имеющих сплошную выработку на глубину до 3 мм. При восстановлении поверхность предварительно подвергают механической обработке, обезжиривают, напыляют подслоя (обеспечивает прочную связь основного металла с рабочим слоем покрытия и защиту основного металла от окисления), напыляют рабочий слой и подвергают его механической обработке. Установка газоплазменного нанесения покрытий на валы диаметром до 250 мм представлена на рис. П.14 (Приложение XIV). Частота вращения вала при напылении равна $0,1\text{--}0,6 \text{ мин}^{-1}$.

Перед газоплазменным напылением покрытий проводят предварительную механическую обработку вала [11, с. 93–143]. С него удаляют слой металла, пораженный коррозией, и добиваются устранения его эксцентриситетности, конусности и овальности в местах напыления. После этого, для улучшения сцепления между напыляемым подслоем и поверхностью вала ее обрабатывают резцом с углом при вершине $50\text{--}60^\circ$ и передним углом, равным нулю. Резец устанавливается ниже оси детали

с вылетом 100–150 мм благодаря чему в процессе работы он вибрирует, образуя рваную поверхность вала (рис. 63). Подготовку поверхности к напылению можно проводить и накаткой сетчатыми роликами. На концах шеек вала протачивают кольцевые канавки для выхода резца. После этой подготовки напыляют подслоем из условия перекрытия вершин обрабатываемой поверхности на 0,15–0,25 мм, а по окончании напыления накрывают напыленную поверхность и прилегающие к ней поверхности ротора асбестом и выдерживают до полного охлаждения. Перерывы между технологическими операциями процесса напыления должны быть минимальны.



Рис. 63. Вид профиля поверхности вала, подготовленной к напылению (глубина $h = 0,7\text{--}0,8$ мм; шаг $t = 1,6\text{--}2,0$ мм)

Электромеханический способ ремонта. Обрабатываемую деталь устанавливают на токарный станок, затем в зону контакта детали и инструмента подают переменный ток силой 350–1500 А при напряжении 2–6 В. Один провод подводится к электроконтактному приспособлению, проводящему ток к вращающейся детали, другой – к изолированному от корпуса станка инструменту.

Электрическое сопротивление контакта «деталь–инструмент» велико из-за малой его площади, поэтому в месте контакта выделяется значительное количество теплоты. Вследствие этого зона контакта практически мгновенно нагревается до высокой температуры. Поверхность детали под действием этой температуры и радиального усилия инструмента сглаживается или высаживается (в зависимости от профиля инструмента).

Этот метод применяют для чистовой обработки поверхностей взамен шлифовки (шероховатость поверхности $R_a = 0,63\text{--}0,32$ мкм), для упрочнения поверхностного слоя на глубину 0,2–0,3 мм и для восстановления изношенной поверхности до 0,4 мм без добавления металла и свыше 0,4 мм с добавлением металла.

Ремонт состоит из двух операций: высадка поверхностного слоя изношенной детали (рис. 64, а) и сглаживание (рис. 64, б).

Высадкой получают винтовой выступ на поверхности детали диаметром D_2 , при этом вместо срезания стружки происходит пластическая деформация поверхностного слоя. Сглаживание до диаметра D_0 производят резцом, имеющим радиус закругления равный 60 мм, при котором на глубину 0,15 мм повышается твердость поверхности.

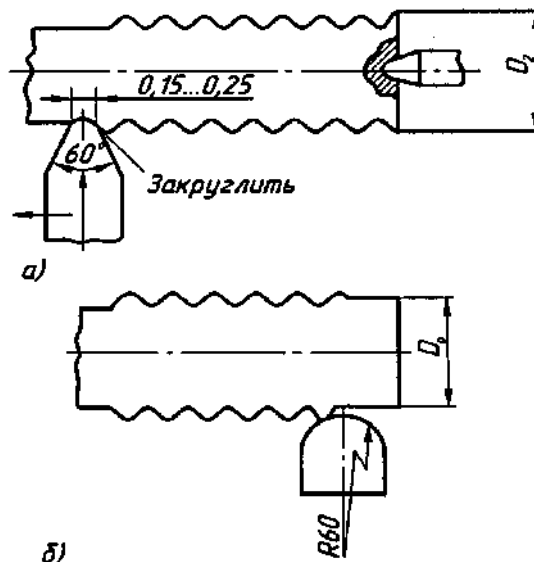


Рис. 64. Ремонт валов высадкой (а) и сглаживанием (б)

При износе свыше 0,4 мм, после высадки приваривают металл и винтовую канавку роликовым инструментом, затем подвергают восстановленную поверхность механической обработке.

Технология восстановления посадочной поверхности вала под сердечник ротора: 1) снимают сердечник; 2) измеряют диаметра вала. Если зазор между сердечником и валом до 0,12 мм производят продольную накатку посадочной поверхности, при большем зазоре – добавляют металл одним из рассмотренных выше способов.

Технология снятия сердечника и конструкция специального приспособления представлена на рис. П.15. Приложение XV.

Исправление кривизны вала. Кривизну исправляют следующим образом (рис. 65). 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 1 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.

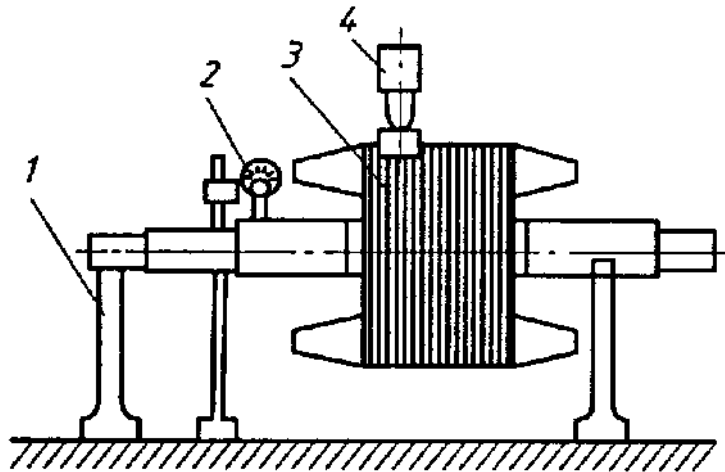


Рис. 65. Схема исправления кривизны вала:
1 – призматические опоры; 2 – индикатор; 3 – ротор; 4 – пресс

Расчетом определить усилие нажатия прессы 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 менее 0,04–0,05 мм.

4.12. Ремонт короткозамкнутых обмоток ротора

У роторов асинхронных машин короткозамкнутые обмотки выполняются литыми или сварными. Для литой обмотки типичные повреждения: 1) разрыв короткозамыкающего кольца; 2) обрыв стержня в пазу. Для сварной обмотки: 1) ослабление или нарушение контакта между стержнями и короткозамыкающим кольцом; 2) обрыв или подгар стержней [11, с. 87–132].

При осмотре сварной обмотки необходимо обращать внимание на характерные явные признаки повреждений, которые показывают тот или иной дефект (обрыв стержня или его распайка с кольцом):

1. Наличие цветов побежалости на кольцах в местах паяных соединений со стержнями;
2. Подгар болтов, соединяющих сегменты коротко замыкающей обмотки явно полюсных синхронных машин.
3. Волнообразный изгиб коротко замыкающих колец или стержней.
4. Прогиб выступающих из сердечника концов стержней.
5. Смещение обмотки (беличьей клетки) вдоль ротора.

Ремонт литой обмотки. Трещины короткозамыкающего кольца устраняют пайкой. Если число трещин более двух на кольцо, обмотку не восстанавливают. Поврежденные места очищают и промывают

бензином. Места трещин расширяют и разделяют по форме ласточкиного хвоста, но не более чем на $\frac{2}{3}$ толщины кольца. Ротор устанавливают таким образом, чтобы поврежденное место располагалось горизонтально, нагревают его газовой горелкой до $350\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ и залуживают припоем (15 % олова, 20 % кадмия и 65 % цинка, или 63 % олова, 33 % цинка и 4 % алюминия). В процессе лужения протирают поверхность щеткой из кардоленты. Облуженную трещину после этого заполняют одним из указанных припоев, подавая его с прутка. Излишки припоя снимают стальной горячей гладилкой. Трещины могут устраняться также аргонно-дуговой сваркой.

Литые обмотки, имеющие разрывы стержней, не восстанавливаются.

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.

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 $6\text{--}7$ мм (рис. 66) и на место удаленной части стержня устанавливают вставку 2. При пайке медно-фосфорным припоем зазор, a должен быть равен $0,2$ мм, а при пайке серебрясодержащим припоем (применяется при линейных скоростях ротора от 50 м/с) – $0,10\text{--}0,15$ мм.

При необходимости удаления стержня целиком высверливают его сверлами с удлиненными хвостовиками.

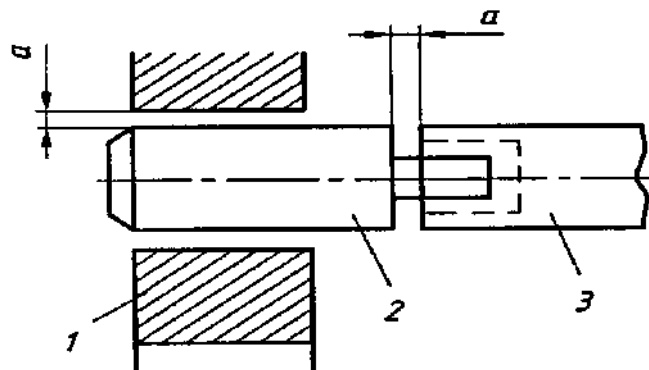


Рис. 66. Установка вставки стержня сварной короткозамкнутой обмотки:

1 – короткозамкнутое кольцо; 2 – вставка; 3 – стержень

Можно прорезать стержень через шлиц в пазу, ослабив его посадку, после чего выбить из паза на 50–80 мм и извлечь из паза, используя механизм с захватом. После ремонта необходимо провести динамическую балансировку ротора.

4.13. Ремонт коллекторов и контактных колец

Ремонт коллекторов. Коллекторы 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 от обмотки, поскольку она больше загрязнена маслом и пылью. При ремонте коллектор можно не снимать с вала.

При наличии небольших перекрытий на поверхности пластмассы их зачищают стеклянной шкуркой, обезжиривают и покрывают эмалью, протирают салфетками и не менее двух раз покрывают эмалью воздушной сушки. Прожоги на значительной площади коллектора удаляют проточкой на токарном станке на глубину 2–3 мм, после чего обработанную поверхность шлифуют стеклянной шкуркой, обезжиривают и покрывают эмалью. Трещины глубиной до 3 мм и прогары удаляют сверлением, обработанные места очищают и обезжиривают, после чего заполняют эпоксидным компаундом холодного отвердевания. После застывания компаунда его покрывают эмалью. Замыкание пластин между собой устраняют расчисткой дорожек между пластинами и обработкой оплавленных или обгоревших пластин шабером.

Для устранения сильных подгаров, выработок, неровностей и биения коллектор протачивают по наружной поверхности, не снимая с вала. Для этого ротор устанавливают в центры или на люнеты токарного станка. После проточки продоразживают коллектор и снимают фаску.

В отличие от коллекторов на пластмассе, коллекторы на стальной втулке в ряде случаев разбирают и заменяют отдельные коллекторные и изоляционные пластины. Замена пластин 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 конус 3 вместе с бандажом 4 и манжетой 6 (рис. 67, а). Осматривают манжету и пластины

с торца. При незначительных повреждениях манжеты очищают поврежденное место и устанавливают на нем с помощью клея миканитовые прокладки. При подгаре пластин с торца зачищают поврежденные места.

Для снятия кольца коллекторных пластин 5 необходимо сначала отсоединить обмотку от петушков 10. Если обмотка припаяна, производят распайку паяльником, если приварена – протачивают торцы петушков на глубину проварки (как правило, она составляет не более 2–3 мм).

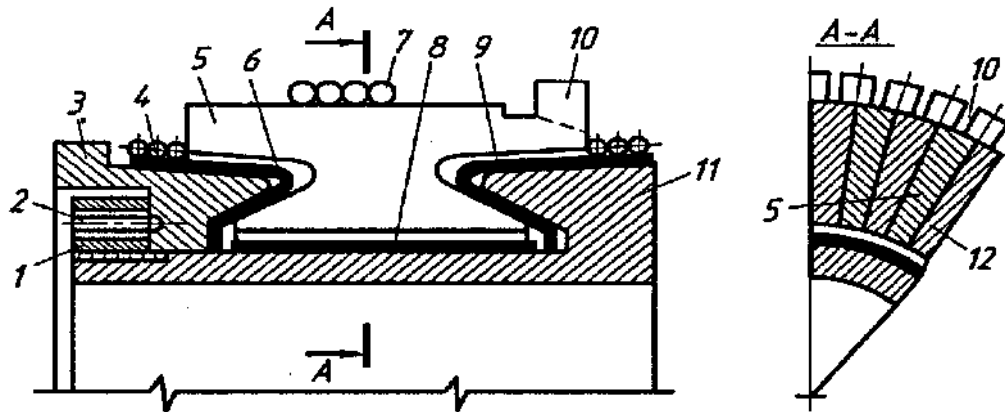


Рис. 67. Коллектор на стальной втулке:

- 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

В конструкции коллектора с привариваемой обмоткой предусмотрена двукратная проточка места сварки. После отсоединения обмотки, снимают кольцо коллекторных пластин 5 с нажимного конуса 11. Осматривают изоляционный цилиндр 8 и вторую манжету 9, у которых при необходимости устраняют повреждения.

При пробое изоляционной прокладки 12 между коллекторными пластинами 5 или при сильном выгорании коллекторных пластин (до 4–5 штук) их заменяют. Для этого применяют приспособление, показанное на рис. П.16. (Приложение XVI)

После сборки коллектор необходимо проточить и произвести его формовку. Формовка производится при скорости на 20 % выше номинальной и при высокой температуре. Формовку, прессовку и подтяжку нажимных конусов прекращают при биении менее 0,03 мм.

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 снять с втулки. После этого срезают с втулки

изоляцию и тщательно очищают ее наружную поверхность. На очищенную поверхность наносят новую изоляцию, запрессовывают 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.

Ремонт обмоток электрических машин

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

4.14. Изготовление и укладка обмоток в пазы

При ремонте изготовление и укладка обмоток осуществляются следующим образом: нарезается и заготавливается изоляция, наматываются катушечные группы (или фазы), изолируются пазы и в них укладываются проводники, распаиваются схемы и выводные концы и формируются лобовые части обмотки. Листовой материал разрезают ручными (гильотинными) или механизированными ножницами, а рулон – дисковыми. Катушечные группы наматывают на автоматизированных станках, предварительно устанавливая программу намотки и размер шаблона. После окончания намотки станок останавливают, щеки шаблона сближают, ослабляя намотку, для облегчения съема катушек. При работе на неавтоматизированных станках используют неунифицированные шаблоны, рассчитанные для намотки катушек определенных размеров рис. П.17, (Приложение XVII). Шаблоны позволяют наматывать равнокатушечную и концентрическую обмотки и имеют приспособление, позволяющее движением рукоятки ослабить намотку обмотки и свободно снять ее с шаблона.

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. Трудоемкость при намотке равнокатушечной и концентрической обмотки практически одинаковая. Эти обмотки 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. Шаг равнокатушечной обмотки при пересчете двухслойной концентрической обмотки:

$$y = \frac{(y_{нб} + y_{нм})}{2},$$

где $y_{нб}$ и $y_{нм}$ – шаг соответственно наибольшей и наименьшей катушек двухслойной концентрической обмотки.

Шаг равнокатушечной обмотки при пересчете одно-, двухслойной concentрической обмотки (укорочение шага зависит только от q):

$$y = 2(q + 1),$$

где q – число пазов на полюс и фазу.

Намотанные катушечные группы обмотки передают на рабочее место укладки. Укладку начинают с осмотра сердечника, в пазах которого не должно быть пыли и грязи, а отдельные листы сердечника не должны выступать в паз или распушаться, образуя ровные стенки пазов. В пазы устанавливают пазовую изоляцию, которую подгибают на краях, образуя манжеты, препятствующие сдвигу ее при последующих операциях. При укладке однослойных обмоток в пазы закладывают витки обеих сторон катушек. При укладке двухслойных обмоток в пазы закладывают стороны катушек, которые располагаются внизу паза, а вторые стороны, которые должны располагатьсяверху паза, остаются не уложенными, так как в тех пазах, где они должны располагаться, нет еще нижних катушек. Число таких катушек будет равно шагу обмотки. Следующие катушки укладываются одной стороной вверх пазов, а другой вниз. Верхние стороны первых катушек устанавливают последними.

Порядок «всыпания» витков в пазы показан на рис. 68.

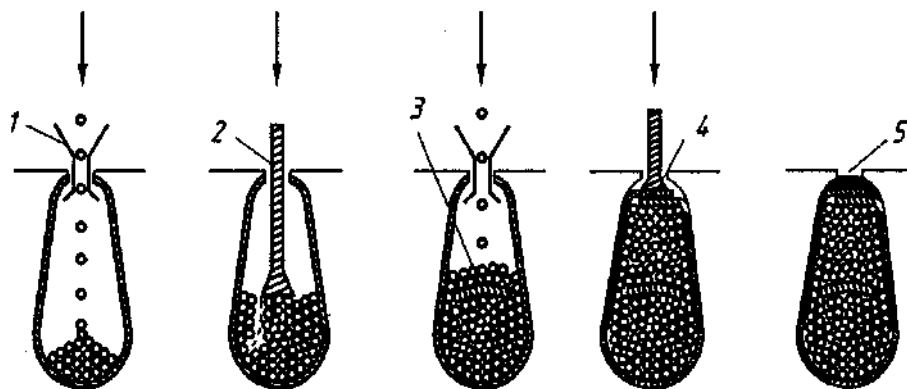


Рис. 68. Схема «всыпания» витков обмотки в паз:

1 – прокладки; 2 – подбойка; 3 – изоляционная прокладка; 4 – изоляция; 5 – клин

В изолированный паз устанавливают технологические прокладки 1 и через них заводят проводники. После высыпания определенного количества витков их уплотняют подбойкой 2. При укладке двухслойных обмоток после заведения нижней катушки устанавливают изоляционную прокладку 3. После укладки всех проводников их уплотняют, подгибают

края изоляции 4, устанавливают прокладку под клин и с торца забивают клин 5. Проводники в пазу всегда должны располагаться плотно. Если они размещены свободно (катушки легко сдвинуть рукой), под клин устанавливают дополнительные прокладки. После укладки катушек производят сборку, пайку, изолирование и увязку схемы и лобовых частей. Перед отправкой на испытания и пропитку лобовым частям придают окончательную форму, для чего их обстукивают молотком через текстолитовую прокладку. Форму и размеры лобовых частей проверяют шаблоном. При всех дальнейших операциях запрещается что-либо делать с обмоткой.

Выбирая провод и изоляцию, всегда следует помнить, что с повышением коэффициента заполнения паза (рекомендуется не превышать его значение более 0,72–0,74) увеличивается трудоемкость укладки и снижается надежность машины. Ремонтируя асинхронные электродвигатели первой и второй серии, и используя современные провода с более тонкой изоляцией, и пазовую изоляцию с меньшей толщиной и, как правило, более высокого качества, при укладке получают очень низкий коэффициент заполнения паза. Поэтому необходимо установить дополнительные прокладки. При этом возможно использование проводов большего диаметра. При ремонте четвертой серии асинхронных электродвигателей или серии АИ часто используют более толстую изоляцию, чем та, которая установлена в машинах. Поэтому трудоемкость ремонта машин последних серий более высокая и требует высокой квалификации рабочих.

Изготовление и укладка обмоток из прямоугольного провода. Низковольтные катушечные обмотки статоров из прямоугольного провода повторному использованию не подлежат, так как восстановить межвитковую изоляцию эмалевого провода не представляется возможным. Катушки для укладки в машину получают с заводов-изготовителей как запасные части или изготавливают на ремонтном предприятии по технологии предприятий-изготовителей. Технология изготовления включает следующие операции:

1. Намотку катушек статора в форме «лодочки».
2. Скрепление витков лентами и лаками.
3. Запрессование пазовой части.
4. Растяжку (лодочки) статора в форме «лодочки» в катушку.
5. Формование лобовых частей.
6. Изолирование выводных концов и лобовых частей.

Обмотки якорей из прямоугольного провода с эмалевой изоляцией также не могут быть использованы повторно. Если обмотка якоря имеет витковую изоляцию в виде пленок толщиной 0,02–0,04 мм, то при ремонте ее можно восстановить. Для этого катушки извлекают из пазов, стараясь сохранить их форму, и снимают с них корпусную и витковую изоляцию, срезая ее ножом. Затем катушки рихтуют, придавая им первоначальную форму, и накладывают витковую изоляцию, обматывая пленками каждый проводник в половину нахлеста. Проводники собирают в катушку и наматывают корпусную изоляцию. Дальнейшее изготовление катушки зависит от типа изоляции и соответствует технологии изготовления катушек на производстве.

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 (рис. П.18, Приложение XVIII).

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 половину нахлеста витковую изоляцию из пленки толщиной 0,02–0,04 мм. Витки катушки сдвигают вместе и наматывают корпусную изоляцию. Тип изоляции (термопластичная или терморезистивная) и число витков определяются конструктором. Дальнейшее восстановление обмотки осуществляется так же, как при ее изготовлении и укладке на заводах-изготовителях машин.

4.15. Ремонт стержневых обмоток роторов и обмоток полюсов

Извлеченные из пазов стержни поступают на восстановление изоляции [15, с. 56–82]. 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 запрессовку.

Пазовые части изолируют простынками, покрытыми клеем, обкатывают на обкаточных механизмах и запрессовывают 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 изготавливают 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 запрессовывают 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.

4.16. 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 [14, с. 98–132]. 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.

При ремонте возможности выбора изоляции и лака ограничены и наиболее часто для пропитки обмоток из эмалированных проводов используют лаки марок МЛ-92, МГМ-8, КО-916к, КО-964Н, компаунды (составы без растворителей) КП-34, КП-103. Провода с волокнистой изоляцией допускают более широкий выбор пропиточного состава. Для них не представляет опасность высокая цементирующая способность пропиточного лака. Обмотки вращающихся частей при использовании проводов с волокнистой изоляцией пропитывают в компаундах, которые обеспечивают высокую цементацию (например, типов КП, Б-ИД-9127).

Растворители лаков (ксилол, толуол) при сушке должны испариться и выделиться из обмоток в виде летучих веществ, которые необходимо нейтрализовать и рассеять в атмосфере. В связи с этим требуется отдельное помещение. Составы без растворителей при отверждении не выделяют вредных летучих веществ, поэтому оборудование для пропитки и сушки можно располагать в общем помещении.

В промышленности используют несколько способов пропитки и сушки.

Способ погружения изделия в лак. При ремонте на небольших участках пользуются этим способом. Такой способ является гибким технологическим процессом, позволяющим на одном и том же оборудовании пропитывать изделия различных размеров и конструкций. Однако этот процесс является малопроизводительным с большой долей ручного труда. Обычно при пропитке используют маловязкие лаки. Вязкость лаков 40–45 с, определяемая по вискозиметру ВЗ-4 при температуре лака 20 °С, и содержанием пленкообразующих веществ 51–58 %. Чтобы внести в обмотку необходимое количество лака, выполняют несколько пропиток, после каждой из них узел сушат в течение 8–17 ч. Время нахождения изделия в лаке при первой пропитке – от 20 минут до одного часа, а при следующих – от 10 до 20 минут. Заполнение пор и пустот в изоляции обмоток происходит в основном при первой пропитке, а последующие пропитки фактически являются покровными.

Способ пропитки изделия лаком в вакууме. Этот способ является менее гибким, чем способ погружения, но позволяет получить более высокое качество пропитки с меньшей трудоемкостью и используется на специализированных предприятиях. Фирма Хитека (Венгрия) выпускает ряд пропиточных установок для изделий различных габаритных размеров. Установка типа АВБ-4 представлена на рис. П.19 (а), Приложение XIX.

В табл. 4.2 представлена циклограмма пропитки изделия лаком с указанием времени операций.

Цикл пропитки в зависимости от типа изделий можно изменять в пределах 6–16 мин. Отсутствие воздуха в изделии способствует глубокому проникновению лака в обмотку. Этот процесс усиливается при создании повышенного давления после заполнения автоклава лаком.

При таком способе пропитки можно использовать лаки с вязкостью 55–100 с. После пропитки создание вакуума приводит к испарению более половины летучих веществ и повышению вязкости лака.

Таблица 4.2

Циклограмма пропитки изделия лаком

Операция	Время цикла, мин							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Закрытие автоклава	•							
Вакуумирование до $2,7 \cdot 10^3$ Па	•	•	•					
Снижение вакуума до $(13-40) \cdot 10^3$ Па			•					
Заполнение автоклава лаком			•					
Повышение давления до $(200-300) \cdot 10^3$ Па				•	•			
Снижение давления до атмосферного и слив лака					•	•		
Вакуумирование до $13 \cdot 10^3$ Па						•	•	
Увеличение давления до атмосферного								•
Раскрытие автоклава								•

При этом лак становится настолько вязким, что практически не вытекает из обмотки после пропитки и во время сушки.

Использование более вязкого лака, чем при пропитке погружением, и повышение его вязкости после пропитки позволяют за одну пропитку ввести в обмотку примерно столько же лака, сколько вносится при двукратной пропитке погружением. Использование более вязкого лака требует меньше времени для сушки. Время пропитки и сушки сокращается в четыре-шесть раз по сравнению со способом погружения.

4.17. Сборка электрических машин после ремонта

Сборка электрических машин является заключительным технологическим процессом, при котором комплектные и отдельные детали соединяются в готовое изделие, отвечающее требованиям технических условий [14, с. 98–142]. 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 способом с индивидуальной подгонкой деталей по месту. Сборку необходимо производить, используя детали и сборочные единицы, принадлежавшие данной машине. Если проводить обезличенную сборку, то она более сложна в организационном отношении производства 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.

Перед сборкой со склада доставляют исправные детали и узлы электрических машин. Отремонтированные узлы и детали на сборку поступают из механического и изоляционно-обмоточного участков. По навешенным биркам определяют принадлежность каждой детали и узла собираемым двигателям и комплектуют их. Возможен обезличенный ремонт, когда взаимозаменяемые детали и узлы однотипных двигателей устанавливают произвольно. К ним относятся подшипниковые щиты, роторы, статоры и т.д. При этом вследствие того, что эти детали и узлы уже эксплуатировались, возможны случаи, когда собранная машина будет иметь характеристики, не соответствующие стандартам. Поэтому, по возможности, такой тип ремонта использовать не следует.

Собирают узлы электрических машин в такой последовательности. Изготовленные вкладыши или втулки подшипников скольжения запрессовывают в подшипниковые щиты с помощью винтового или гидравлического пресса. Допускается подгонять вкладыши с помощью молотка. Легкими ударами через деревянную прокладку вкладыш устанавливают в гнездо щита. До запрессовки втулки в прорезь вкладыша вставляют смазочное кольцо и следят, чтобы оно не мешало установке втулки на свое место. При запрессовке подшипника не должно быть перекосов.

Порядок сборки ротора электрической машины:

- 1) листы активной стали надевают на вал;
- 2) укрепляют контактные кольца или коллектор;
- 3) закрепляют вентилятор.

Если электродвигатель имеет шариковые подшипники, то их предварительно после тщательной промывки разогревают в масляной ванне до температуры 90–100 °С и туго напрессовывают на посадочные места вала. Подшипники разогревают в ванне в подвешенном состоянии. Мелкие подшипники опускаются на металлическую сетку внутри

масляной ванны. Конструкция масляной ванны представлена на рис. П.22, Приложение XXII. Укладывать подшипники на дно ванны или разогревать пламенем паяльной лампы не разрешается во избежание неравномерного нагрева или отпуска стали.

Подшипники насаживают на вал легкими ударами молотка по трубе (рис. 69) через деревянную прокладку 7. Диаметр трубы должен соответствовать диаметру внутренней обоймы подшипника 3. Труба должна быть изготовлена из мягкой стали (малоуглеродистой) или иметь медный ободок 4. Устанавливают ротор (якорь) в статор осторожно, чтобы не повредить обмотки и листы активной стали. Приемы сборки ротора те же, что и при выемке его. В зазор между статором и ротором укладывают временную картонную прокладку. После того как ротор установили на место, надевают задний подшипниковый щит, приподняв смазочное кольцо подшипников скольжения.

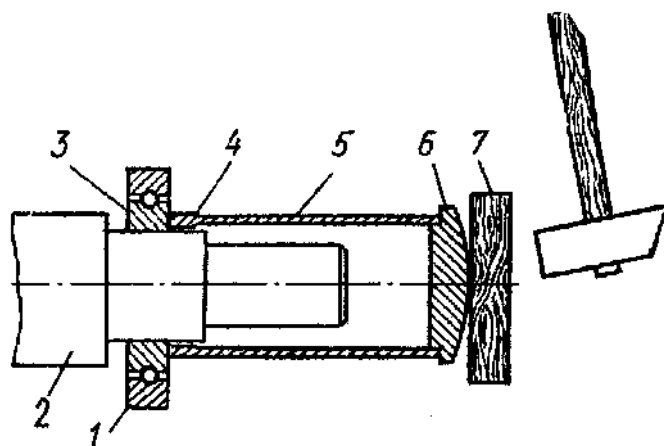


Рис. 69. Способ насадки на вал подшипника:

- 1 – наружная обойма подшипника; 2 – вал; 3 – внутренняя обойма подшипника;
4 – медный ободок; 5 – монтажная труба; 6 – металлическая пробка;
7 – деревянная прокладка

Правильность установки щита определяют по совпадению рисок, нанесенных на щит и корпус электродвигателя до его разборки. Затем щит слегка прикручивают болтами, после этого удаляют временную прокладку и надевают передний щит, который также прикручивают болтами. Болты затягивают попеременно с диаметрально противоположных сторон, завертывая каждый раз на половину оборота.

При полной сборке, не затягивая болтов подшипниковых щитов до отказа, проворачивают ротор от руки. При правильной сборке ротор легко вращается, поворот ротора при значительном усилии свидетельствует о недостатках сборки:

- 1) перекося вала;
- 2) засыхание масла в подшипниках;
- 3) наличие посторонних предметов между статором и ротором;
- 4) несоответствие допусков при обработке подшипников или вала и др.

После устранения неисправности окончательно затягивают болты щитов, закрывают фланцы, масляные камеры подшипников скольжения заливают маслом, устанавливают все остальные детали машины. Щупом проверяют зазоры между статором и ротором, а также величину осевого перемещения (величину разбега) ротора, то есть зазоры в осевом направлении между внутренним торцом вкладыша и соответствующей заточкой шейки вала (зазоры не должны превышать 1–2 мм).

Величину воздушного зазора между ротором и статором измеряют с обеих сторон в четырех различных последовательно сдвинутых на 90° положениях ротора для электродвигателя небольшого диаметра и в восьми точках для электродвигателей с большим диаметром ротора. Измерения проводят как при холодном, так и при нагретом электродвигателе.

При сборке машин постоянного тока полюсы располагают в том же порядке, что и до ремонта (установка производится по меткам). Щетки не должны свисать с коллектора или плотно прилегать к петушкам.

Собранная машина подвергается обкатке и испытаниям.

Перед сборкой производят балансировку роторов (якорей) и других вращающихся деталей, если они ремонтировались или при предремонтных испытаниях была обнаружена повышенная вибрация. Согласно ГОСТ 12327-71 компенсация неуравновешенности должна производиться в двух плоскостях исправления при отношении осевого размера L детали к диаметру D больше 0,2; при $L/D < 0,2$ – в одной плоскости. Детали, устанавливаемые на уравновешенный ротор, балансируются отдельно. Если деталь устанавливают на ротор (якорь) с помощью шпонки, то она балансируется со шпонкой, а ротор – без шпонки.

Плоскостью исправления называют плоскость, перпендикулярную оси вращения, в которой путем добавления или удаления массы осуществляется компенсация неуравновешенности. В качестве плоскостей исправления могут быть использованы плоскости деталей, имеющих другие функции, – нажимных шайб, вентиляторов, коллекторов. Кроме того, плоскости исправления могут создаваться специальными балансировочными кольцами. При одной плоскости исправления ротор (якорь) можно балансировать как статическим, так и динамическим способами, а при двух плоскостях – только динамическим.

Статическая балансировка ротора проводится на призмах. Схема станка для статической балансировки и принцип работы представлены в Приложении XX на рис. П.20.

Если балансируемые детали не имеют вала, то изготавливают временный технологический вал, с помощью которого производят балансировку.

Для динамической балансировки роторов электрических машин применяют универсальный станок (рис. П.21, Приложение XXI). Ротор балансируют на станке при его вращении.

После сборки машины проверяют легкость вращения вала от руки или при помощи рычага и отправляют машину на испытания.

4.18. 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 11828-86. 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.

Под исходными значениями понимаются значения, указанные в паспорте машины, в протоколах испытаний завода-изготовителя, в стандартах и технических условиях. При отсутствии таких значений в качестве исходных могут быть приняты значения параметров, полученные при приемо-сдаточных испытаниях или испытаниях по окончании восстановительного ремонта электрической машины.

По изложенной ниже программе испытываются и электрические машины производства иностранных фирм после истечения гарантийного срока эксплуатации.

Программой испытаний двигателей переменного тока после капитального ремонта предусмотрены следующие операции:

1. Испытание стали статора двигателей с обмотками из угольного провода (удельные потери – не более 5 Вт/кг, наибольший перегрев зубцов при $B_z = 1$ Тл не должен превышать 45 °С, наибольшая разность перегрева различных зубцов при той же индукции – не более 30 °С).

2. Измерение сопротивления изоляции обмоток статора, ротора, термоиндикаторов с соединенными проводами (если они имеются в данной машине) и подшипников.

3. Испытание обмоток статора и ротора при собранном двигателе повышенным напряжением промышленной частоты длительностью 1 мин. Значения испытательных напряжений обмоток в процессе их изготовления и после сборки машины приведены в табл. 4.3–4.5.

Таблица 4.3

Значения испытательных напряжений обмоток

Испытуемый элемент двигателя переменного тока с $U \leq 0,66$ кВ	Испытательное напряжение, кВ	
	$P_H = 0,2-1$ кВт	$P_H = 10,1-1000$ кВт
Обмотки после укладки в пазы до пайки межкатушечных соединений	2,5	3,0
Обмотки после пайки и изолировки межкатушечных соединений	2,3	2,7
Обмотки после пропитки и запрессовки обмотанного	2,2	2,5
Главная изоляция обмотки собранного двигателя переменного тока	$2U_H + 1,0$, но не менее 1,5	

Отклонения сопротивления обмоток от паспортных и по фазам – не более ± 2 %, для реостатов – не более ± 10 %.

Результаты испытаний считаются положительными, если не наблюдалось скользящих разрядов, толчков тока утечки или нарастания его установившегося значения, пробоев или перекрытий и если сопротивление изоляции, измеренное мегомметром после испытаний, осталось прежним.

4. Измерение сопротивлений обмоток статора и ротора (проводится для двигателей мощностью $P_H = 300$ кВт и более или для двигателей с $U_H > 3$ кВ), реостатов и пускорегулирующих резисторов постоянному току.

Таблица 4.4

Значения испытательных напряжений элементов ротора

Испытуемый элемент ротора асинхронных машин	Испытательное напряжение, кВ
<i>Полная замена обмотки</i>	
Отдельные стержни до укладки в пазы	$2U_{рот} + 3,0$
Стержни после укладки в пазы до соединения	$2U_{рот} + 2,0$
Обмотка после соединения, пайки и	$2U_{рот} + 1,0$
Контактные кольца до соединения с обмоткой	$2U_{рот} + 2,2$
<i>Частичная замена обмотки</i>	
Оставшаяся часть обмотки после выемки заменяемых катушек, секций или стержней	$2U_{рот}$ (но не менее 1,2 кВ)
Вся обмотка после присоединения новых катушек, секций или стержней	$1,7U_{рот}$ (но не менее 1,0 кВ)
Под $U_{рот}$ понимается напряжение на кольцах неподвижного ротора с разомкнутой обмоткой при номинальном напряжении на статоре	

5. Испытание витковой изоляции обмоток из прямоугольного провода импульсным напряжением высокой частоты в течение 5–10 с. Значения испытательных напряжений приведены в табл. 4.5–4.6.

Таблица 4.5

Значения испытательных напряжений обмоток статора электродвигателей

Испытуемый элемент обмоток статора из прямоугольного провода двигателей переменного тока	Испытательное напряжение, кВ, на номинальное напряжение, кВ							
	$P_n \leq 1000$ кВ					$P_n > 1000$ кВ		
	до 0,66	2	3	6	10	3	6	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Катушка (стержень) перед укладкой	4,5	11,0	13,5	21,1	31,5	13,5	23,4	34,0
Обмотка после укладки в пазы до пайки между- катушечных соединений	3,5	9,0	11,5	15,8	25,0	11,5	20,5	30,0

Окончание табл. 4.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обмотки после пайки и изолирования соединений	3,0	6,5	9,0	15,8	25,0	9,0	18,5	27,0
Главная изоляция обмотки собранной машины	1,5	5,0	7,0	13,0	21,0	7,0	15,0	23,0

Таблица 4.6

Значения испытательных напряжений изоляции

Тип изоляции витков	Амплитуда напряжения, В	
	До укладки секции в пазы	После укладки и бандажировки
Провод ПБО	210	180
Провода ПБД, ПДА, ПСД	420	360
Провод ПБД с однослойной изоляцией из бумажной ленты	700	600
Провода ПБД и ПДА с изоляцией слоем микаленты через виток	700	600
То же, с прокладкой миканита в пазовой части между витками	1000	850
Провод с однослойной изоляцией микалентой толщиной 0,13 мм ($\frac{1}{2}$ нахлеста)	1100	950
Провод ПБД с однослойной изоляцией шелковой лакотканью толщиной 0,1 мм ($\frac{1}{2}$ нахлеста)	1400	1200
Провода ПБД и ПДА с однослойной изоляцией микалентой толщиной 0,13 мм ($\frac{1}{2}$ или $\frac{1}{3}$ нахлеста)	1400	1200
Провода ПБД и ПДА с однослойной изоляцией микалентой толщиной 0,13 мм ($\frac{1}{2}$ нахлеста) и сверху слоем хлопчатобумажной ленты впритык	2100	1800
Провод ПДА изолированный двумя слоями микаленты толщиной 0,13 мм ($\frac{1}{2}$ нахлеста)	2800	2400

6. Измерение воздушного зазора (если позволяет конструкция) в четырех сдвинутых на 90° точках (измеренные зазоры не должны отклоняться от среднего более чем на 10 %) и зазоров в подшипниках скольжения (допустимые значения зазоров приведены в табл. 4.7). Если зазор больше допустимого, необходимо заново заливать вкладыш подшипника.

Таблица 4.7

Допустимые значения зазоров в подшипниках скольжения

Номинальный диаметр вала, мм	Величина зазора, мкм, при частоте вращения, мин ⁻¹		
	До 1000	1000–1500	Более 1500
18–30	40–93	60–130	140–280
31–50	50–112	75–160	170–340
51–80	65–135	95–195	200–400
81–120	80–160	120–235	230–460
121–180	100–195	150–285	260–530
181–260	120–225	180–300	300–600
261–360	140–250	210–380	340–680
361–600	170–305	250–440	380–760

7. Проверка работы двигателя на холостом ходу (для двигателей мощностью 100 кВт и более, напряжением 3 кВ и выше). Ток холостого хода не должен отличаться более чем на 10 % от указанного в каталоге. Продолжительность испытания – 1 час.

8. Измерение вибрации подшипников (для двигателей напряжением 3 кВ и выше и двигателей ответственных механизмов). Максимально допустимые вибрации равны 50; 100; 130 и 160 мкм для двигателей с частотами вращения соответственно 3000; 1500; 1000 и 750 мин⁻¹ и менее.

9. Измерение разбега ротора в осевом направлении (для двигателей с подшипниками скольжения, двигателей ответственных механизмов и при выемке ротора при ремонте). Допустимый разбег – не более 4 мм.

10. Проверка работы двигателя (напряжением свыше 1 кВ или мощностью 300 кВт и более) под нагрузкой. Величина нагрузки – не менее 50 % номинальной.

11. Испытание воздухоохладителя в течение 5–10 мин при избыточном давлении 0,2–0,25 МПа.

12. Проверка исправности стержней короткозамкнутых обмоток роторов электродвигателей мощностью 100 кВт и более (все стержни должны быть целыми) и срабатывания защиты машин напряжением до 1000 В при питании от сети с заземленной нейтралью (проводится у машин с $U_H > 42$ В, работающих в опасных и особо опасных условиях, а также у машин с $U_H > 380$ В).

Программой испытаний машин постоянного тока после капитального ремонта предусмотрены следующие операции:

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток и бандажей.

2. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты длительностью 1 мин, значения испытательных напряжений приведены в табл. 4.8. Эти испытания не проводятся для машин мощностью до 200 кВт на напряжение до 440 В.

Таблица 4.8

Значения испытательных напряжений обмоток

Испытуемый элемент	Напряжение, кВ
Обмотки машин постоянного тока на номинальное напряжение до 100 В и мощностью более 3 кВт;	$1,6 U_H + 0,8$
на номинальное напряжение более 100 В и мощностью до 1000 кВт;	$1,6 U_H + 0,8$ (но не менее 1,2)
на номинальное напряжение более 100 В и мощностью более 1000 кВт	$1,6 U_H + 0,8$
Обмотки возбуждателей синхронных генераторов мощностью более 3 кВт	$8 U_H$ (но не менее 1,2 и не более 2,8)
Обмотки возбуждателей синхронных двигателей и компенсаторов мощностью более 3 кВт	$8 U_H$ (но не менее 1,2)
Проволочные бандажи якорей машин мощностью более 3 кВт	1,0
Реостаты и пускорегулирующие резисторы (допускается испытывать совместно с изоляцией цепей возбуждения)	1,0

3. Измерение сопротивления обмоток, реостатов и пускорегулирующих резисторов постоянному току в практически холодном состоянии. Значения сопротивлений обмоток возбуждения не должны отличаться

от заводских значений более чем на $\pm 2 \%$, обмотки якоря – $\pm 10 \%$. В цепях реостатов и пускорегулирующих резисторов не должно быть обрыва цепей.

4. Снятие характеристик холостого хода и испытание витковой изоляции. Характеристика холостого хода снимается только у генераторов; максимальное напряжение – до 1,3 номинального; отклонение характеристики от заводской – не нормируется. Продолжительность испытания витковой изоляции – 5 мин, при этом испытании среднее напряжение между соседними коллекторными пластинами не должно превышать 24 В, если $2p > 4$.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к ремонту электрических машин?
2. Назовите типовой объем текущего ремонта электрических машин.
3. Назовите типовой объем капитального ремонта электрических машин.
4. Каков типовой объем предремонтных испытаний?
5. Поясните последовательность снятия подшипников и подшипниковых щитов электрических машин.
6. Как снять детали, установленные по посадке с натягом?
7. Перечислите способы извлечения из пазов обмоток из круглого провода и поясните последовательность извлечения.
8. Как работают станки по извлечению из пазов обмоток из круглого провода?
9. Поясните процесс извлечения из пазов обмоток из прямоугольного провода.
10. Объясните, почему детали подвергают мойке и каковы правила техники безопасности при этой операции.
11. Опишите процесс механизации мойки.
12. В чем заключается процесс дефектации отдельных узлов и деталей электрических машин?
13. При каких повреждениях статора (ротора), корпуса и подшипниковых щитов они не подлежат ремонту?
14. Объясните методы устранения распушения крайних листов сердечника.
15. Как можно устранить ослабление прессовки сердечника?
16. Объясните порядок ремонта резьбовых отверстий.

17. Как можно отремонтировать посадочные поверхности в корпусах и подшипниковых щитах?

18. Назовите методы наплавки поверхностей валов и сравните их.

19. Как устранить повреждения литой (сварной) обмотки ротора?

20. Какие дефекты коллекторов на пластмассе и как их можно устранить?

21. Какие дефекты коллекторов на стальной втулке и как их можно устранить?

22. Назовите последовательность намотки катушек обмотки из круглого провода с помощью шаблона.

23. Какова последовательность ремонта обмоток из прямоугольного провода?

24. Зачем производится пропитка обмоток после их укладки в пазы?

25. Назовите способы пропитки обмоток и сравните их.

26. Как производится статическая (динамическая) балансировка роторов?

27. Как осуществляется комплектация электрической машины перед сборкой?

28. Какова программа испытаний электрической машины переменного тока после ремонта?

29. Какова программа испытаний электрической машины постоянного тока после ремонта?

ГЛАВА 5. ОТЫСКАНИЕ И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

5.1. Общие указания

Электрические машины можно условно объединить в следующие группы:

- электродвигатели и генераторы постоянного тока;
- асинхронные электродвигатели (с фазным, короткозамкнутым или полым ротором);
- синхронные генераторы и электродвигатели;
- электрические машины специального назначения (преобразователи, электромашинные усилители, генераторы опорных напряжений, тахогенераторы, вращающиеся трансформаторы, сельсины и т.п.).

Преобразователи, электромашинные усилители (ЭМУ), генераторы опорных напряжений (ГОН), тахогенераторы конструктивно сочетают в себе элементы машин первых двух основных групп, поэтому вопросы ремонта этих машин рассматриваются в подразделах 5.2–5.7. Особенности ремонта сельсинов и вращающихся трансформаторов изложены в подразделах 5.8–5.14.

Ввиду значительной однотипности технологических операций по проверке и ремонту различных сельсинов и вращающихся трансформаторов в указанных подразделах не рассматриваются вопросы ремонта каждого типа сельсинов (вращающихся трансформаторов), а даются общие указания. При необходимости по тексту имеются отдельные указания, относящиеся к определенному типу сельсинов (вращающихся трансформаторов).

При ремонте электрических машин кроме настоящего раздела необходимо использовать указания, приводимые в частных руководствах на изделия, в паспортах и технических описаниях на электродвигатели, а также справочную литературу.

Рабочие места для разборки и отыскания неисправности электрических машин должны быть обеспечены оборудованием для чистки и мойки деталей, оснасткой для разборочных работ, контрольно-измерительными приборами и измерительным инструментом. Разборка и отыскание неисправностей в электрических машинах должны производиться на специально оборудованных верстаках, имеющих подвод электроэнергии 36 В, 50 Гц для местного освещения и питания паяльников и 220 В, 50 Гц для включения приборов.

Рабочие места по выполнению намоточных работ должны быть обеспечены намоточным оборудованием, оснасткой, контрольно-измерительными приборами.

Предупреждение. При ремонте электрических машин соблюдать действующие правила по мерам безопасности. Особую осторожность соблюдать при проведении работ, связанных с подачей высоких напряжений (электрическая проверка, испытания электрических машин).

5.2. Характерные неисправности электродвигателей и генераторов, причины неисправностей и способы их устранения

В процессе эксплуатации электрических машин вследствие износа механических частей, старения изоляции и нарушения нормальных условий эксплуатации возможно возникновение различных неисправностей, о появлении которых свидетельствуют следующие признаки:

- изменение характеристик машины (числа оборотов и вращающего момента на валу двигателя, напряжения генератора) или их неустойчивость;
- значительный перегрев машины или отдельных ее частей;
- сильное искрение под щетками;
- гудение при работе машины;
- механические вибрации машины и шумы (стуки) при ее работе.

Причины ненормальной работы могут быть внешние, то есть не зависящие от самой машины, и внутренние, связанные с повреждением ее частей.

Внешними причинами ненормальной работы машин могут быть:

- перегрузка двигателей и генераторов;
- понижение или повышение напряжения питания (для двигателей) или числа оборотов (для генераторов);
- нарушение цепи питания двигателя или цепи нагрузки генератора;
- неисправности в управляющей и регулирующих схемах.

Внутренними причинами ненормальной работы машин могут быть:

- неисправность обмоток;
- неисправность токоснимающих деталей (щеток, щеткодержателей, коллекторов, контактных колец);
- неисправность механических частей;
- неуравновешенность (нарушение баланса) вращающихся частей машины.

В табл. 5.1–5.3 перечислены основные, наиболее часто встречающиеся неисправности электрических машин, обусловленные как внешними, так и внутренними причинами, а также указаны способы выявления этих неисправностей.

Предварительная проверка производится по месту установки электрической машины без снятия ее и имеет целью определить техническое состояние, а также выявить неисправности, нарушающие нормальную работу машины. Если изделие, в котором установлен двигатель или генератор, функционирует, то рекомендуется проверить машину в работе.

По результатам предварительной проверки определяется необходимость снятия и разборки для отыскания неисправностей ее узлов и деталей и устранения неисправностей.

5.3. Внешний осмотр и электрическая проверка Электродвигателей и генераторов по месту установки

Проверку машин по месту установки проводить внешним осмотром и электрической проверкой. Если доступ к машине затруднен, то проверять машину на исправность только электрической проверкой.

В промышленности и сельском хозяйстве применяются в основном электродвигатели и генераторы закрытого исполнения, поэтому внешний осмотр может не дать требуемых результатов. Чтобы судить об исправности машины, основное внимание при проверке по месту установки следует уделить электрической проверке и, если возможно, проверке в работе.

5.3.1. Внешний осмотр

Перед осмотром удалить пыль и грязь с наружных частей машины, снять предохранительные щитки и накладки, закрывающие доступ к токоснимающему аппарату.

При осмотре проверить состояние корпуса, подшипниковых щитов, крышек и крепежных деталей, коллекторов (контактных колец), щеткодержателей и щеток, выводов и панели с зажимами; проверить также наличие и состояние смазки в подшипниках, и легкость вращения ротора (якоря) от руки.

Таблица 5.1

Перечень наиболее часто встречающихся или возможных неисправностей
в машинах постоянного тока

Наименование неисправности	Вероятная причина	Метод проверки
1	2	3
1. Генератор не возбуждается или дает пониженное напряжение	Неправильное направление вращения	Проверить направление вращения визуально в момент пуска или остановки генератора
	Недостаточная частота вращения	Проверить частоту вращения тахометром
	Потеря остаточного магнетизма в активном железе	Проверить напряжение при разомкнутой обмотке возбуждения (п. 5.6.4)
	Неправильное включение обмотки возбуждения	Проверить включение обмотки возбуждения визуально
	Обрыв цепи обмотки возбуждения	Проверить сопротивление цепи обмотки возбуждения прибором (п. 5.5.2)
	Замыкание обмотки возбуждения на корпус или на другие обмотки	Проверить сопротивление изоляции обмотки возбуждения относительно корпуса и других обмоток (п. 5.5.2)
	Замыкание между витками обмотки якоря или замыкание обмотки на корпус в двух или более местах	Проверить сопротивление изоляции обмотки якоря относительно корпуса методом падения напряжения (п. 5.5.2).
		Проверить, нет ли в обмотке якоря короткозамкнутых витков (п. 5.5.2)
	Обрыв в обмотке якоря	Проверить обмотку якоря методом падения напряжения (п. 5.4.2)

Продолжение табл. 5.1

1	2	3
2. Напряжение генератора сильно падает при нагрузке	Неправильно установлены (сдвинуты) щетки	Проверить установку щеток по отметкам на траверсе и щите машины. Сдвинуть щетки по направлению вращения
	Плохой контакт в щетках и соединениях	Проверить на ощупь температуру щеток и соединений
	Перегрузка генератора	Проверить величину тока в нагрузке генератора прибором
	Снижение скорости вращения приводного двигателя под нагрузкой	Проверить скорость вращения генератора тахометром
3. Двигатель не вращается при включенном питающем напряжении: а) без нагрузки;	Обрыв обмотки якоря или обмотки возбуждения	Проверить сопротивление цепи и напряжения на якоре и обмотке возбуждения прибором
	Низкое напряжение питающей сети (для двигателей с параллельным возбуждением)	
	Велик противодействующий момент нагрузки	Проверить величину напряжения сети и пускового тока
	Замыкание между витками или на корпус обмотки возбуждения или обмотки якоря	Проверить легкость хода вращаемого механизма
	Загрязнение коллектора, плохой контакт в щетках	Проверить сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса.
		Проверить, нет ли в обмотках короткозамкнутых витков (п. 5.5.2)
б) под нагрузкой		Осмотреть коллектор, проверить на ощупь степень нагрева коллектора и щеток
		Проверить напряжение сети
		Снижение скорости вращения приводного двигателя под нагрузкой

Продолжение табл. 5.1

1	2	3
		Проверить ток, потребляемый двигателем, и легкость хода вращаемого механизма
		Проверить обмотку якоря методом падения напряжения (п. 5.5.2)
		Проверить установку щеток по отметкам на траверсе и щите двигателя
		Проверить на ощупь степень нагрева щеток
	Низкое напряжение питающей сети	Проверить ток, потребляемый двигателем
	Перегрузка двигателя	Проверить установку щеток по отметкам на траверсе и щите двигателя
		Проверить сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса (п. 5.5.2)
4. Двигатель не развивает номинального числа оборотов в минуту	Замыкание между витками обмотки якоря	Проверить установку щеток по отметкам на траверсе и щите двигателя
	Неправильно установлены (сдвинуты) щетки	Проверить установку щеток по отметкам на траверсе и щите двигателя
	Плохой контакт в щетках	Осмотреть рабочую поверхность щеток
	Повышение напряжения питающей сети.	Проверить легкость перемещения щеток в обойме щеткодержателя
	Перегрузка двигателя (для двигателей с последовательным возбуждением)	Проверить давление щеток на коллектор (п. 5.3.1)
5. Двигатель развивает повышенное число оборотов в минуту	Неправильно установлены (сдвинуты) щетки	Проверить сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса (п. 5.5.2)

Продолжение табл. 5.1

1	2	3
	Замыкание обмотки возбуждения на корпус в двух или более местах	Проверить установку щеток по отметкам на траверсе и щите двигателя
	Сильный сдвиг щеток с нейтрале	Проверить установку щеток по отметкам на траверсе и щите двигателя
		Осмотреть рабочую поверхность щеток
6. Двигатель не реверсируется	Неправильно установлены (сдвинуты) щетки	Проверить легкость перемещения щеток в обойме щеткодержателя
	Щетки не пришлифованы к коллектору	Проверить давление щеток на коллектор (п.5.3.1)
7. Искрение под щетками	Заедание щеток в обойме щеткодержателя	Осмотреть коллектор. Проверить биение коллектора (п. 5.3.1)
	Щетки слабо или слишком сильно прижаты к коллектору	Осмотреть коллектор, протереть его поверхность чистой салфеткой, смоченной спиртом или бензином
	Механические неисправности коллектора (западают или выступают пластины, выступает изоляция между пластинами, повышенное биение и т.п.)	Проверить на ощупь нагрев паяк. Восстановить дефектные пайки
	Загрязнена поверхность коллектора	Проверить сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса
	Плохо припаяны выводы обмотки к пластинам коллектора	Проверить обмотку методом падения напряжения (п. 5.5.2)
	Замыкание между витками или на корпус не менее чем в двух местах обмотки якоря. Обрыв обмотки якоря	Поменять местами выводы обмоток добавочных полюсов
	Неправильно подключены обмотки добавочных полюсов	Проверить сопротивление нагрузки генератора, легкость вращения механизма, приводимого в действие двигателем, и ток, потребляемый двигателем

Продолжение табл. 5.1

1	2	3
	Перегрузка машины	Проверить, нет ли в обмотке короткозамкнутых витков, методом падения напряжения (п. 5.5.2)
8. Перегрев всей машины или отдельных ее частей: а) перегрев всей машины;	Замыкание между витками обмотки якоря	Проверить величину тока, потребляемого машиной на холостом ходу в режиме двигателя
	Замыкание между пластинами пакета якоря	Проверить зазор между якорем и полюсами и легкость вращения якоря
		Осмотреть поверхность коллектора. Проверить биение коллектора (п. 5.3)
б) перегрев якоря;	Трение якоря о полюсы	Проверить нажатие щеток на коллектор (п. 5.3.1)
	Механические неисправности коллектора	Проверить наличие и чистоту смазки подшипников
	Щетки слишком прижаты к коллектору	Проверить легкость вращения якоря
	Отсутствие или загрязнение смазки	Проверить равномерность воздушного зазора
в) перегрев коллектора;	Неправильная сборка (перекос) подшипников, отсутствие осевого люфта якоря	Проверить подшипники
	Износ подшипников	Проверить осевой люфт якоря и состояние подшипников
г) перегрев подшипников.	Повышенные люфты якоря вследствие износа или неправильной установки подшипников	Проверить равномерность воздушного зазора
9. Вибрация машин	Обрыв фазы обмотки ротора, вызывающий асимметрию магнитного поля	Проверить состояние подшипников (п. 5.5)

Окончание табл. 5.1

	Повышенные люфты ротора вследствие износа или неправильной установки подшипников	Проверить сопротивления фаз обмотки ротора
		Проверить осевой люфт ротора, состояние подшипников (п. 5.5)

Таблица 5.2

Перечень наиболее часто встречающихся или возможных неисправностей в асинхронных двигателях

Наименование неисправности	Вероятная причина	Метод проверки
11	2	3
1. Ненагруженный двигатель не запускается	Обрыв фазы обмотки статора трехфазного двигателя (при включении фаз звездой) или фазы сети питающего напряжения	Проверить напряжения между фазами и сопротивления фаз обмотки статора
	Обрыв цепи основной или вспомогательной обмотки однофазного двигателя	Проверить сопротивление обмоток
	Одностороннее притяжение (прилипание) ротора к статору вследствие сильного износа подшипников	Проверить равномерность воздушного зазора
2. Двигатель не вращается при включении питающего напряжения и нагрузки. Вращающий момент двигателя недостаточен	Пониженное напряжение питающей сети	Проверить напряжение между фазами питающей сети
	Обрыв фазы обмотки статора трехфазного двигателя (при включении фаз треугольником)	Проверить сопротивления фаз обмотки статора
	Пробой конденсатора однофазного двигателя. Замыкание на корпус не менее чем в двух местах обмотки статора	Проверить сопротивление изоляции конденсатора

Продолжение табл. 5.2

	Обрыв в обмотке фазного ротора или плохой контакт в цепи ротора	Проверить сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса (п. 5.5)
	Перегрузка двигателя	Проверить сопротивление цепи ротора и сопротивления фаз обмотки ротора
		Проверить легкость хода вращаемого механизма и токи, потребляемые двигателем
3. Скорость вращения двигателя меньше номинальной скорости	Пониженное напряжение питающей сети	Проверить величину напряжения питающей сети
	Плохой контакт в цепи ротора	Проверить сопротивление цепи ротора
4. Двигатель работает с половинной скоростью	Обрыв в одной фазе обмотки ротора или нарушение контакта в одной из щеток	Проверить сопротивление фаз обмотки и надежность контактирования щеток
5. Искрение под щетками, обгорание контактных колец	Щетки плохо пришлифованы к кольцам	Осмотреть поверхность щеток
	Щетки заедают в обойме щеткодержателя	Проверить легкость скольжения щеток в обойме щеткодержателя
	Щетки слабо прижаты к кольцам	Проверить нажатие щеток на кольца ротора (п. 5.3)
	Повреждена поверхность контактных колец	Осмотреть кольца, в случае надобности отшлифовать их
	Загрязнение контактных колец и щеток	Осмотреть щетки и кольца, протереть их чистой салфеткой, смоченной спиртом или бензином
	Замыкание между витками обмотки фазного ротора	Проверить, нет ли в обмотке ротора короткозамкнутых витков обмотки (п. 5.5)

Продолжение табл. 5.2

1	2	3
Перегрев всей машины или отдельных ее частей: а) перегрев всей	Перегрузка двигателя	Проверить легкость хода вращаемого механизма и токи, потребляемые двигателем
	Повышенное напряжение питающей сети	Проверить напряжение между фазами питающей сети
	Плохой контакт в цепи ротора	Проверить сопротивление ротора
б) перегрев ротора;	Ухудшение вентиляции	Проверить вентиляционное устройство
в) перегрев обмотки статора;	Повышенное напряжение питающей сети	Проверить напряжение между фазами питающей сети
	Обрыв одной из, фаз обмотки статора или сети питающего напряжения	Проверить сопротивление фаз обмотки статора и напряжения между фазами
г) перегрев контактных колец и щеток;	Щетки слишком сильно прижаты к кольцам	Проверить нажатие щеток на кольца (п. 5.3)
	Повреждение поверхности контактных колец, биение их	Осмотреть поверхность колец, проверить их биение (п. 5.3)
д) перегрев подшипников	Отсутствие или загрязнение смазки	Проверить наличие и чистоту смазки подшипников
	Неправильная сборка (перекос подшипников, отсутствие осевого люфта вала)	Проверить легкость вращения ротора
	Износ подшипников	Проверить легкость вращения ротора
7. Вибрация машины	Обрыв фазы обмотки ротора, вызывающий асимметрию магнитного поля	Проверить равномерность воздушного зазора
	Повышенные люфты ротора вследствие износа или неправильной установки подшипников	Проверить состояние подшипников (п. 5.5)

Окончание табл. 5.2

1	2	3
		Проверить сопротивления фаз обмотки ротора
		Проверить осевой люфт ротора, состояние подшипников (п. 5.5)

Корпус, подшипниковые щиты и крышки не должны иметь нарушения защитного покрытия, коррозии, трещин, вмятин, забоин и других механических повреждений. На подшипниковых щитах не должно быть даже малозаметных трещин. Винты и гайки должны быть затянуты до отказа.

Коллектор (контактные кольца) должен иметь чистую блестящую поверхность без царапин, дорожек от щеток и следов обгорания. Не допускается западание или выступание пластин и изоляции между ними.

Биение коллектора не должно превышать 0,02–0,04 мм, радиальное биение контактных колец – 0,2 мм. Величину биения определять с помощью стрелочного индикатора, закрепленного на стойке. Для этого ножку индикатора подвести к поверхности коллектора (контактного кольца) перпендикулярно к его образующей. Проворачивая рукой вал машины, заметить максимальное и минимальное показания индикатора. Разность этих показаний дает величину биения. Биения проверять в трех-четырёх точках по образующей коллектора.

Биение коллектора машин малой мощности проверять после снятия их с места установки.

Щеткодержатели должны быть установлены правильно. Обойма радиального щеткодержателя должна быть установлена перпендикулярно к поверхности коллектора или колец на расстоянии 2–4 мм от нее. При осмотре щеткодержателей и щеток убедиться в том, что они удовлетворяют требованиям, изложенным в п. 5.5.4.

Таблица 5.3

Перечень наиболее часто встречающихся или возможных неисправностей
в синхронных машинах

Наименование неисправности	Вероятная причина	Метод проверки
1	2	3
1. Генератор на холостом ходу не дает напряжения	Неисправен возбудитель	Проверить напряжение и ток возбуждения
	Короткое замыкание между контактными кольцами или между проводами, соединяющими возбудитель с контактными кольцами	Проверить цепь возбуждения и сопротивление между контактными кольцами
	Обрывы в цепи возбуждения	Проверить цепь возбуждения и надежность контакта в щетках
2. Генератор на холостом ходу дает напряжение только между двумя фазами	Обрыв в одной фазе обмотки статора при соединении звездой или обрыв в двух фазах обмотки при соединении треугольником	Проверить сопротивление фаз обмотки
3. Генератор на холостом ходу дает пониженное напряжение	Неисправен возбудитель (малы напряжение и ток возбуждения)	Проверить напряжение и ток возбуждения
	Скорость вращения ротора генератора ниже номинальной скорости	Проверить скорость вращения генератора
	Замыкание обмотки возбуждения на корпус не менее чем в двух местах	Проверить сопротивление изоляции обмотки возбуждения относительно корпуса (п. 5.5)
	Понижение сопротивления изоляции обмотки статора	Проверить сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса
4. Двигатель выпадает из синхронизма	Неисправен возбудитель (мал ток возбуждения) или плохой контакт в цепи возбуждения	Проверить ток возбуждения и сопротивление цепи возбуждения

Продолжение табл. 5.3

5. Двигатель при асинхронном пуске не увеличивает обороты или не достигает полных оборотов	Обрыв в одной фазе сети питающего напряжения или в обмотке статора	Проверить напряжение питания (все фазы) и сопротивления фаз обмотки статора
	Пониженное напряжение питающей сети	Проверить величину напряжения питающей сети (п. 5.5)
	Велик тормозящий момент нагрузки	Проверить легкость хода вращаемого механизма и токи, потребляемые двигателем
	Плохой контакт в пусковой обмотке	Проверить сопротивление цепи пусковой обмотки
6. Искрение под щетками и обгорание контактных колец	Щетки не притерты к кольцам	Осмотреть и притереть щетки
	Щетки заедают в обоймах щеткодержателей	Проверить легкость скольжения щеток в обоймы щеткодержателей
	Щетки слабо прижаты к кольцам	Проверить нажатие щеток на кольца ротора (п. 5.3)
	Повреждение поверхности контактных колец, повышенное их биение	Осмотреть кольца, проверить их биение (п. 5.3)
	Загрязнение контактных колец и щеток	Осмотреть кольца и щетки, протереть их чистой салфеткой, смоченной спиртом или бензином
	Замыкание между витками обмотки ротора	Проверить, нет ли в обмотке ротора короткозамкнутых витков (п. 5.5)
7. Перегрев всей машины или отдельных ее частей:	Перегрузка машины	Проверить сопротивление, нагрузки генератора, легкость хода вращаемого механизма и ток, потребляемый двигателем
а) перегрев всей машины;	Замыкание между витками обмотки ротора или на корпус не менее чем в двух местах	Проверить сопротивление изоляции обмотки ротора относительно корпуса

Продолжение табл. 5.3

1	2	3
б) перегрев ротора	Замыкание между витками обмотки ротора или на корпус не менее чем в двух местах	Проверить, нет ли в обмотке коротко-замкнутых витков (п. 5.5)
	Скорость вращения ротора генератора ниже номинальной или напряжение выше номинального	Проверить скорость вращения ротора и напряжение генератора
в) перегрев обмотки статора;	Перегрузка генератора	Проверить ток в нагрузке генератора или сопротивление нагрузки
г) перегрев активного железа статора;	Замыкание между пластинами пакета статора или между стяжными болтами и активным железом	Проверить состояние пакета статора (п. 5.5). Осмотреть изоляцию стяжных болтов
д) перегрев контактных колец и щеток;	Щетки слишком сильно прижаты к кольцам	Проверить нажатие щеток на кольца (п. 5.3)
	Замыкание между витками обмотки ротора	Проверить ток возбуждения. Проверить, нет ли в обмотке короткозамкнутых витков (п. 5.5)
8. Вибрация машины	Повреждение поверхности колец	Осмотреть и отшлифовать кольца
	Повышенные люфты ротора вследствие износа или неправильной установки подшипников	Проверить осевой люфт ротора и состояние подшипников (п. 5.5)

При проверке упругости пружины щеткодержателя проверить графмометром силу нажатия щеток на коллектор (контактные кольца). Для этого крючок графмометра петлей из нити соединить с деталью, прижимающей щетку к коллектору (кольцу). Нить не должна соприкасаться с неподвижными деталями щеткодержателя. Между щеткой и поверхностью коллектора (кольца) проложить ленту из папиросной бумаги. Оттягивая нить графмометром так, чтобы усилие было направлено по оси щетки, определить силу нажатия в момент, когда лента из папиросной бумаги при легком ее натяжении начнет протаскиваться между щеткой и коллектором (кольцами). Измерения произвести несколько раз и найти среднюю величину.

Для некоторых машин силу нажатия щетки можно найти в справочниках.

Данные о силе нажатия щеток можно определить по удельному давлению щеток из табл. 5.4. Удельное давление щеток на коллектор должно быть в пределах, приведенных в этой таблице.

Таблица 5.4

Технические характеристики щеток ГОСТ 2332-75, применяемых
в электрических машинах

Группа щеток	Марка	Номинальная плотность тока, А/см ²	Максимальная окружная скорость, м/с	Удельное давление, гс/см ²	Область применения
Графитные	ГЗ	10–11	25	200–250	Для генераторов и двигателей с облегченными условиями коммутации
	611М	10–12	40	200–250	
Электрографитированные	ЭГ2А	10	45	200–250	Для генераторов и двигателей со средними и затрудненными условиями коммутации и для контактных колец
	ЭГ4	12	40	150–200	
	ЭГ8	10	40	200–400	
	ЭГ14	10–11	40	200–400	
	ЭГ71	10–12	40	200–250	
	ЭГ74	10–15	50	175–250	
Угольно-графитные	Т2	6	10	200–250	Для генераторов и двигателей со средними условиями коммутации
Медно-графитные	М1	15	25	150–200	Для низковольтных генераторов и контактных колец
	М3	12	20	150–200	
	М6	15	25	150–200	
	М20	12	20	150–200	
	МГ	20	20	180–230	
	МГ2	20	20	180–230	
	МГ4	15	20	200–250	
	МГ64	20–25	25	150–200	
	МГС5	15	35	200–250	

Чтобы определить, соответствует ли сила нажатия величине удельного давления, требуемого для данной марки щетки, нужно разделить показание граммометра на площадь сечения щетки. Если нажатие пружины невелико (несколько десятков граммов), момент отрыва щетки от поверхности коллектора (кольца) рекомендуется определять с помощью сигнальной лампы или омметра, включенного в цепь проверяемой щетки по методике, изложенной в п. 5.10.2.

В машинах малой мощности нажатие пружины проверять только после снятия машины с места установки.

У серводвигателей типа СЛ и тахогенераторов постоянного тока нажатие щеток измерять граммометром 1 (рис. 70), щуп которого подводить к упору пружины щеткодержателя через отверстие в регулирующей втулке 3. Нажатие пружин у машин этого типа окончательно регулировать под номинальной нагрузкой, добиваясь минимального искрения щеток.

Панели с зажимами (клеммные платы) не должны иметь сколов, трещин, нарушающих электрическую прочность, и следов обгорания или пробоя. Зажимы (клеммы) должны быть исправны. Изоляция выводов не должна иметь повреждений. Маркировка выводов должна быть четкой.

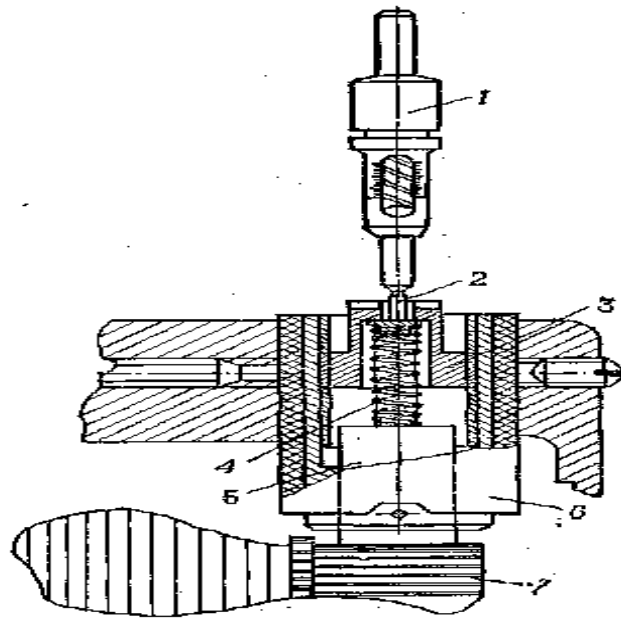


Рис. 70. Измерение силы нажатия щеток серводвигателей, типа СЛ и тахогенераторов постоянного тока: 1 – граммометр; 2 – упор пружины; 3 – регулирующая втулка; 4 – пружина щетки; 5 – щетка; 6 – обойма щеткодержателя; 7 – коллектор

Смазку подшипников проверять после снятия крышек, закрывающих подшипники. При этом осмотреть гнезда подшипников и сами

подшипники. Смазка должна быть чистой, в гнездах не должно быть излишней смазки. Не допускается выступание смазки в местах крепления крышек и через вентиляционные отверстия.

Легкость вращения якоря в случае необходимости проверять после разъединения вала машины и приводного двигателя (для генератора) или вращаемого механизма (для двигателя). Вращение якоря от руки должно быть легким, с равномерным усилием, без заеданий и стуков.

5.3.2. Электрическая проверка

Электрическая проверка машины по месту установки включает измерение сопротивления обмоток, сопротивления изоляции токоведущих частей относительно корпуса и между собой, а также проверку работы машины включением ее под номинальную нагрузку.

Сопротивление обмоток приближенно можно измерять омметром (например, Ц4315, АВО-5М1, мультиметрами и др.).

Сопротивление изоляции измерять, руководствуясь методикой, описанной в п. 5.7.2. Результаты измерения сопротивления изоляции и обмоток должны соответствовать паспортным данным или данным, приведенным в справочниках.

Работу машины проверять включением ее вместе с блоком или узлом, в котором она установлена.

Для проверки работы генератора привести во вращение приводной двигатель и установить номинальное число оборотов. Измерить напряжение генератора, ток нагрузки и частоту. Если генератор трехфазный, проверить симметрию токов и напряжений в фазах, а при необходимости – порядок чередования фаз. Измеренные величины должны соответствовать паспортным данным.

Для проверки работы двигателя подать на его зажимы (на зажимы пусковой схемы) или на блок, в котором он установлен, номинальное напряжение питания и проследить за пуском двигателя.

Прослушать его работу. При нормальной работе не должны прослушиваться повышенное гудение, ненормальные стуки и другие посторонние шумы. На ощупь рукой определить, не перегревается ли электродвигатель. При необходимости проверить ток, потребляемый двигателем.

При проверке внимательно следить за работой машины в целях выявления неисправностей, используя при этом сведения, приведенные в табл. 5.1–5.4.

Если доступ к машине затруднен, необходимо по возможности полнее проверить параметры машины.

5.4. Разборка электродвигателей и генераторов

Количество операций по разборке машины зависит от конструкции, назначения машины и ее размеров. Последовательность разборки машин малой и средней мощности в основном одинакова. Перед разборкой машину следует отсоединить от двигателя или механизма.

Снять машину с места, на котором она установлена. Двигатели вентиляторов снимать вместе с крыльчаткой. Разбирать машину рекомендуется на верстаке или столе, а тяжелые машины – на низкой тележке, подставке или, в крайнем случае, на полу. При разборке руководствоваться основными правилами по технике безопасности.

Снять с вала машины детали сочленения с приводным двигателем или вращаемым механизмом. Детали сочленения (полумуфта, шкив, шестерня, крыльчатка вентилятора и др.) устанавливаются на вал машины напряженной или тугой посадкой, поэтому для их снятия требуются съемники. Конструкция съемников может быть самой различной. На рис. 71 показан съемник в виде двух захватов 3, которые могут скользить по стальной траверсе 4, имеющей резьбовое отверстие. В отверстие ввинчивается винт 5, который упирается в коней вала электродвигателя, а лапы захватывают деталь сопряжения.

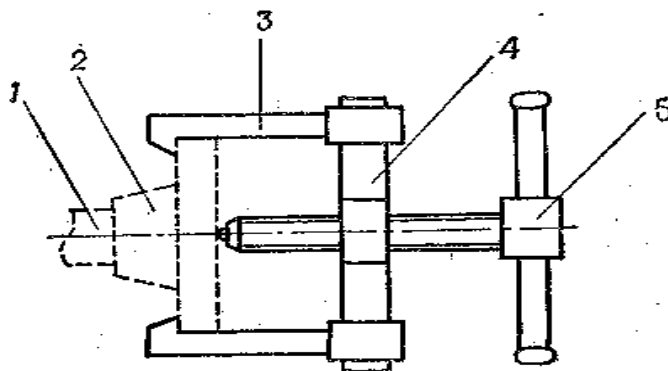


Рис. 71. Съемник: 1 – вал электродвигателя; 2 – полумуфта; 3 – захват; 4 – траверса; 5 – винт

Снять с вала машины детали сочленения с приводным двигателем или вращаемым механизмом. Детали сочленения (полумуфта, шкив, шестерня, крыльчатка вентилятора и др.) устанавливаются на вал машины

напряженной или тугой посадкой, поэтому для их снятия требуются съемники. Конструкция съемников может быть самой различной. На рис. 71 показан съемник в виде двух захватов 3, которые могут скользить по стальной траверсе 4, имеющей резьбовое отверстие. В отверстие ввинчивается винт 5, который упирается в конец вала электродвигателя, а лапы захватывают деталь сопряжения.

На рис. 5.3 показана другая универсальная конструкция съемника. Такой съемник можно применять, если деталь сопряжения имеет два симметричных относительно вала отверстия или три отверстия, расположенных по окружности через 120° . В отверстия детали сопряжения и отверстия на диске съемника вставляются и закрепляются болты. Чтобы съемник можно было применять для снятия деталей сопряжений с различными расстояниями между центрами отверстий, на диске съемника отверстия делают продолговатыми. Вместе с болтами в комплект съемника могут входить захваты; тогда этот съемник может заменить съемник, изображенный на рис. 72.

Разборку машины начинать со снятия переднего подшипникового щита, установленного со стороны коллектора (колец).

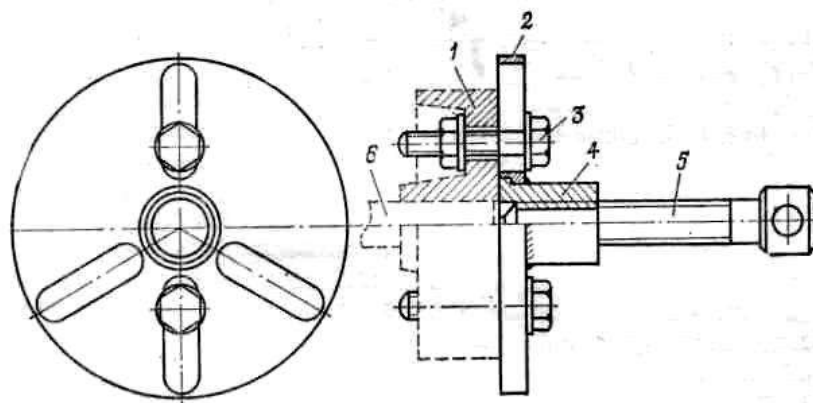


Рис. 72. Съемник: 1 – полумуфта; 2 – диск съемника; 3 – болт; 4 – гайка; 5 – винт; 6 – вал электродвигателя

Для этого отвести (или вывинтить) щеткодержатель, снять щетки и отсоединить выводы обмоток от панели с зажимами. Машины, не имеющие коллектора или колец, начинать разбирать со снятия подшипникового щита, установленного со стороны конца вала, не соединенного с механизмом. Ослабить и вывинтить болты, крепящие щит к станине. Во избежание перекоса щита ослаблять болты равномерно. Затем снять щит, поддерживая ротор и не допуская ударов ротора о статор.

После снятия переднего щита между ротором и статором проложить лист прессшпана или плотного картона для предохранения активного железа ротора и статора от повреждений при дальнейшей разборке. Задний щит снимать аналогично переднему. Как правило, наружные кольца шарикоподшипников устанавливаются в гнездах на скользящей посадке, поэтому снятие щитов не требует значительных усилий.

В некоторых машинах наружные кольца шарикоподшипников крепятся с помощью фланцев и крышек. Перед снятием щитов в таких машинах вывинтить шпильки, стягивающие фланцы, или снять крышки. Передний и задний щиты машин малой мощности во многих случаях крепятся к корпусу машины с помощью стягивающих шпилек, которые проходят снаружи или внутри машины. В таких машинах передний и задний щиты снимают одновременно, после того как будут вывинчены стягивающие шпильки.

После снятия щитов вывести ротор из статора, избегая трения и ударов ротора о статор.

Статор и ротор уложить на подставки.

Шарикоподшипники с вала ротора снимать съемником лишь в случае необходимости подробной проверки, замены подшипников или повреждений шеек вала.

После разборки все узлы и детали прочистить, из гнезд подшипников удалить старую смазку. Затем узлы и детали машины подвергнуть внешнему осмотру и электрической проверке.

5.5. Ремонт узлов и деталей электродвигателей и генераторов после разборки

Неисправности механических узлов и деталей машины определять внешним осмотром и механической проверкой, а токоведущих частей машины – внешним осмотром и электрической проверкой.

5.5.1. Внешний осмотр и электрическая проверка обмотки статора

При внешнем осмотре проверить состояние наружной изоляции статорных катушек и выводов. Изоляция не должна иметь механических повреждений, следов пробоя и обгораний, а также растрескивания слоя защитного лака. Места соприкосновения катушек с железом статора должны быть надежно изолированы.

При электрической проверке проверить:

- сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса и других обмоток;
- сопротивление обмотки.

Сопротивление изоляции обмоток измерять, руководствуясь методикой, описанной в п. 5.7.2. В трехфазной статорной обмотке сопротивление измерять между каждой парой выводов обмотки. Допустимые отклонения величин измеряемых сопротивлений приведены в справочнике.

5.5.2. Внешний осмотр и электрическая проверка обмотки ротора якоря

При внешнем осмотре обмотки ротора (якоря) проверить состояние изоляции лобовых частей обмотки, обратив особое внимание на состояние изоляции обмотки в местах вывода к коллектору (контактным кольцам) и на надежность паяк выводов секций к петушкам (шлицам) коллекторных пластин или к выводам контактных колец. В местах пайки не должно быть излишков припоя, могущих вызвать замыкание между пластинами. Провод обмотки в пазах должен быть надежно укреплен клиньями. Наиболее часто изоляция обмотки повреждается в местах выхода секций из пазов ротора, поэтому следует тщательно проверять состояние изоляции в этих местах, исправность бандажей и плотность их укладки.

При электрической проверке проверить:

- сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса;
- сопротивление обмотки;
- нет ли замыканий между витками.

Сопротивление изоляции и обмоток измерять, руководствуясь методикой, описанной в п.п. 5.7.1. и 5.7.2.

При обнаружении замыкания обмотки на корпус определить место замыкания. В коллекторных машинах определять место замыкания, пользуясь схемой, показанной на рис. 72. Источником постоянного тока может служить аккумуляторная батарея напряжением 12–18 В. Напряжение подвести к диаметрально противоположным пластинам коллектора в якоре с петлевой обмоткой или к пластинам, расположенным на расстоянии одного полюсного деления в якоре с волновой обмоткой.

Ток обмотки регулировать реостатом R , ток не должен превышать 5–10 А, милливольтметром провести измерение падения напряжения между корпусом якоря и пластиной коллектора. Падение напряжения

между пластиной, соединенной с секцией, замкнутой на корпус, и корпусом будет наименьшим. Падение напряжения между пластинами коллектора измерять вольтметром (Ц4312, АВО-5М1 и т. п.), включая его вначале на предел измерения 15–30 В., а затем переключая на более низкие пределы.

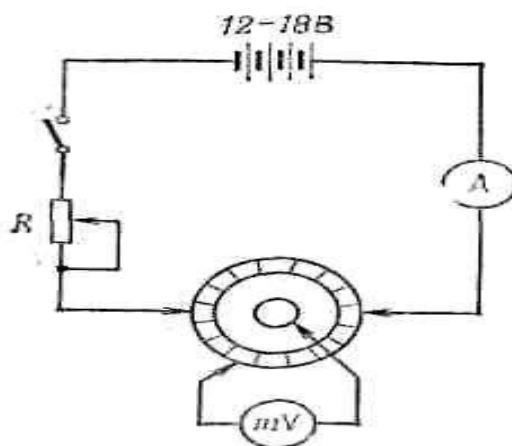


Рис. 73. Схема места определения замыкания обмотки якоря машины постоянного тока методом падения тока на корпус

Обрывы или замыкания между витками обмотки якоря коллекторной машины отыскивать методом падения напряжения (рис. 74).

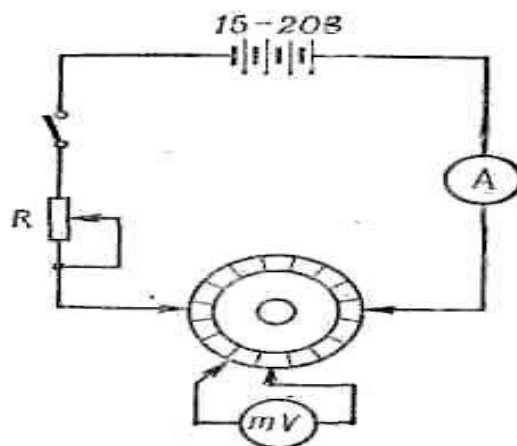


Рис. 74. Схема проверки обмотки якоря машины постоянного напряжения:
R – реостат на 100-200 Ом; А – амперметр кл. 2,5 с пределом измерений 10 А;
mV – милливольтметр кл. 2,5 с пределом измерений 50 мВ

В случае обрыва в одной из секций обмотки падения напряжения между всеми парами соседних пластин данной параллельной ветви будут равными нулю, а падение напряжения между пластинами, к которым

выведена поврежденная секция, будет равно приложенному напряжению. Поэтому вначале вольтметром с пределом измерения на 30 В нужно бегло проверить напряжение между пластинами. Убедившись в отсутствии обрывов в обмотке, милливольтметром измерить падение напряжения между каждой парой соседних пластин коллектора. В исправной обмотке падения напряжения между любой парой коллекторных пластин не должны отличаться больше чем на 10 %. Между пластинами, соединенными с секцией, имеющей замыкание между витками, падение напряжения будет понижено по сравнению с другими парами пластин.

Замыкание между витками в трехфазной обмотке ротора можно обнаружить, подведя к кольцам ротора трехфазное пониженное (25–30 % номинального) напряжение и измерив, линейные токи. Если показание амперметра в одной фазе при соединении фаз звездой больше, чем показания амперметра в двух других фазах, значит, в фазе, по которой проходит больший ток, имеются замыкания между витками. При соединении фаз треугольником поврежденная фаза обнаружится по повышенному показанию амперметра, измеряющего ток в проводах, между которыми включена эта фаза.

5.5.3. Внешний осмотр и электрическая проверка коллектора (контактных колец)

Неисправности коллектора (контактных колец) определять внешним осмотром, механической и при необходимости электрической проверками.

При внешнем осмотре проверить состояние рабочей поверхности коллектора (контактных колец), которая должна быть чистой, блестящей, однородного цвета, без царапин, дорожек от щеток и следов подгорания. Коллектор не должен иметь выступающих или западающих пластин, а также выступающей изоляции между пластинами. Запрессовка пластин должна быть достаточно плотной. Плотность запрессовки проверяется легкими ударами медного молотка по коллектору. У хорошо запрессованного коллектора звук должен быть звонкий.

При осмотре контактных колец обратить внимание на состояние изоляции между кольцами. Изоляция не должна иметь трещин, сколов и следов подгорания или поверхностного пробоя.

Выводные пластины колец не должны быть отогнуты или сломаны.

При механической проверке коллектора (контактных колец) измерить его радиальное биение. Для этого ротор установить в центрах токарного станка (или в настольных центрах). Биение измерять индикатором.

Допустимая величина радиального биения для коллектора – 0,02–0,04 мм, для контактных колец – 0,2 мм.

Электрическую проверку коллектора производить в случае, если при электрической проверке обмотки якоря обнаружены замыкания на корпус. Перед проверкой отпаять выводы секций от пластин коллектора и пометить их биркам. Затем измерить сопротивление изоляции пластин относительно корпуса и между собой.

Если обнаружено замыкание пластин коллектора на корпус, перебрать или заменить коллектор.

5.5.4. Внешний осмотр щеткодержателей и щеток

Дефектацию щеткодержателей и щеток производить внешним осмотром.

При осмотре щеткодержателей открытого типа проверить состояние корпуса щеткодержателей, обоймы и пружины.

Корпус щеткодержателей должен быть прочно закреплен на пальце и не должен иметь погнутостей и забоин, нарушающих правильность его установки. Обойма щеткодержателя не должна иметь механических повреждений, затрудняющих свободное перемещение в ней щетки. Щетка должна скользить в обойме свободно, но без качки. Допустимый зазор между щеткой и стенкой обоймы (слабина щетки) 0,2–0,3 мм.

Токопроводящие жгутики также не должны препятствовать свободному перемещению щетки в обойме. Пружина щеткодержателя должна обладать достаточной упругостью. Упругость пружины проверяется измерением давления щеток на коллектор (кольца).

Силу нажатия щетки в машинах малой мощности измерять, руководствуясь методикой, описанной в п. 5.3.1.

При осмотре щеткодержателей закрытого типа проверить состояние резьбы колпачка щеткодержателя и нет ли сколов и трещин на колпачке.

У серводвигателей типа СЛ и тахогенераторов постоянного тока проверить состояние резьбы обоймы и нажимной гайки.

При осмотре щеток проверить состояние их рабочей поверхности. Щетки должны быть тщательно приточены к коллектору (кольцам) и иметь блестящую, без царапин, сколов и раковин рабочую поверхность. Износ щеток по высоте допускается не более чем на 25–30 % от номинального размера. Токопроводящие жгутики должны быть надежно закреплены в щетках и не должны иметь обрывов жил.

Использование в одной машине щеток разных марок и размеров не допускается.

5.5.5. Внешний осмотр пакетов статора и ротора

При осмотре пакетов статора и ротора проверить их прессовку. Листы пакета должны плотно прилегать друг к другу, стяжные шпильки (болты) должны быть затянуты до отказа. На поверхности пакета не должно быть коррозии, забоин, заусенцев и следов трения ротора о статор. Разъемные полюсы должны быть прочно прикреплены к ярму.

5.5.6. Внешний осмотр механических частей

При отыскании неисправностей механических частей произвести внешний осмотр вала ротора, станины, подшипниковых щитов, крышек, фланцев и крепежных деталей.

Если при осмотре потребовалось снять с вала шарикоподшипники, то при осмотре вала ротора особое внимание обратить на состояние шеек вала. На шейках не должно быть коррозии, раковин, забоин, задиринов и других механических повреждений. Эксцентриситет и овальность шеек проверять стрелочным индикатором при установке ротора в центрах токарного станка. Эта проверка производится только при полной исправности центровых отверстий вала (отсутствие забоин, смятия металла и т.п.). Допустимая овальность шеек 0,2 % от диаметра вала. В случае большего износа шеек или погнутости самого вала, о чем свидетельствует эксцентриситет шеек, машину направить в капитальный ремонт.

При осмотре станины, подшипниковых щитов, крышек и фланцев проверить, не нарушен ли слой защитных покрытий, нет ли коррозии, трещин, вмятин, забоин и других механических повреждений, могущих повлечь за собой нарушение нормальной работы машины. Особенно внимательно проверить, нет ли трещин в подшипниковых щитах и фланцах и каково состояние посадочных поверхностей названных частей.

Крепежные детали не должны иметь забитой резьбы или срыва ее; головки винтов – развороченных шлицев; гайки и шестигранные головки болтов и винтов – смятых граней.

5.6. Устранение неисправностей и сборка электродвигателей и генераторов

5.6.1. Устранение неисправностей механических частей

Устранение неисправностей коллекторов и контактных колец сводится к шлифовке их поверхности, продорозживанию коллекторов и подтягиванию их.

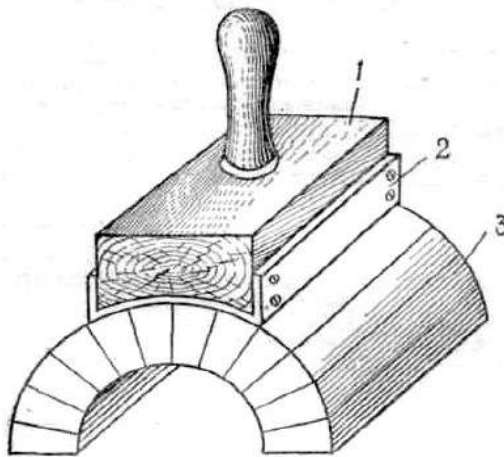


Рис. 75. Колодка для шлифовки коллектора:
1 – колодка; 2 – стеклянная шкурка ГОСТ 6456-75; 3 – коллектор

При наличии мелких царапин, нагара и темных пятен поверхность коллектора (контактных колец) прошлифовать. Шлифовку коллектора (контактных колец) производить мелкой 1 стеклянной шкуркой, натянутой на деревянную колодку (рис. 75), имеющую вырез по диаметру коллектора (контактного кольца), на ходу машины или при установке якоря (ротора) на токарном станке.

При этом частота вращения шпинделя станка должна быть 250–300 об/мин. При шлифовке коллектора на ходу машины не допускается применение наждачной или карборундовой шкурки во избежание попадания абразивной пыли в подшипники.

Окончательная шлифовка коллекторов производится при работающей машине искусственной мелкозернистой пемзой, нанесенной на войлок или фетр, натянутый на колодку. Колодку нужно прижимать к коллектору между щетками. При этом одновременно происходит пришлифовка рабочей поверхности щеток.

После шлифовки коллектор (контактные кольца) и щеткодержатели со щетками очистить от пыли мягкой волосяной щеткой и продуть сжатым воздухом.

Если между пластинами коллектора выступает миканитовая изоляция, удалить ее, продорожив коллектор ручной пилой или на токарном станке.

Ручную пилку (рис. 76) изготовить из ножовочного полотна, обточенного на наждачном круге до толщины, равной толщине изоляции между пластинами или на 0,05-0,1 мм больше.

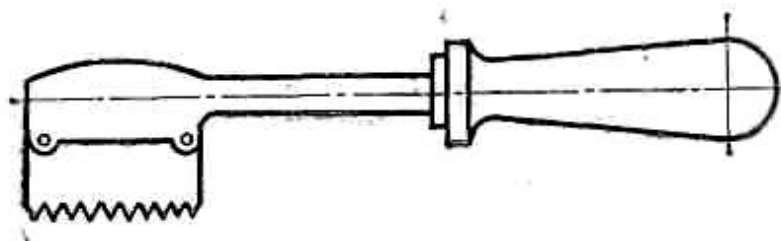


Рис. 76. Ручная пилка для продороживания коллектора

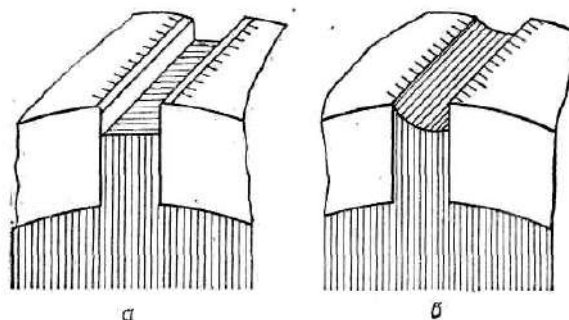


Рис. 77. Продороживание коллектора: а – правильно; б – неправильно

При продороживании пилку водить по линейке, уложенной параллельно краю пластины. При этом выпилить весь миканит на глубину 0,5 мм для машин мощностью менее 5 кВт, 1 мм – для машин мощностью 5–20 кВт и 1,5 мм – для машин мощностью свыше 20 кВт. Затем шабером или бархатным напильником снять фаски под углом 45° с краев пластин на ширину 0,5 мм (рис. 77).

После продороживания шлифовать коллектор способом, описанным выше.

Пришлифовку щеток производить при наличии незначительных сколов, царапин и других мелких повреждений; рабочие поверхности щеток необходимо шлифовать к коллектору (кольцам) стеклянной шкуркой после установки щеток в щеткодержатели. Применять карборундовую или наждачную шкурку не рекомендуется.

Пришлифовку начинать крупнозернистой шкуркой, переходя к более мелкой. При этом шкурка должна прилегать к поверхности коллектора (контактного кольца) обратной стороной (рис. 78). Шкурку протягивать только в направлении вращения машины, а для реверсивных машин – в обоих направлениях.

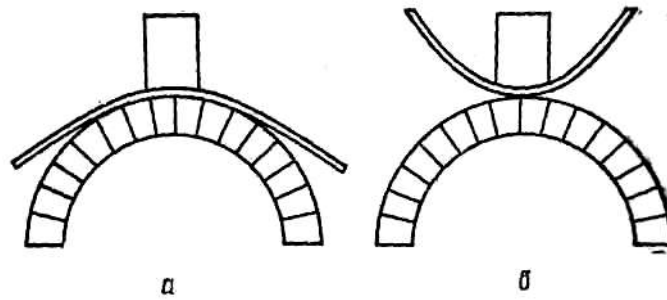


Рис. 78. Пришлифовка щеток: а – правильно; б – неправильно

При шлифовке щетки должны прижиматься только пружиной щеткодержателя. Прижимать щетки рукой **запрещается**.

После шлифовки коллектор и щеткодержатели со щетками очистить от пыли мягкой волосяной щеткой и продуть сжатым воздухом.

Окончательную шлифовку щеток, производить при работе машины под нагрузкой. При этом рабочая поверхность щеток должна быстро становиться блестящей.

Металлические щетки, применяемые в некоторых машинах, в случае повреждения их поверхности опилить личным напильником. Хорошее прилегание металлической щетки к коллектору (контактному кольцу) восстановить опилкой личным, а затем бархатным напильником.

Замену негодных или изношенных щеток, а также щеток с поврежденной арматурой (обрыв жил токопроводящих жгутиков, выкрашивание щетки в месте крепления жгутика) заменять комплектно новыми соответствующих марок, предусмотренных для данной машины. Если щеток требуемой марки нет, разрешается устанавливать щетки других марок, близкие по параметрам к требуемым. Щетки выбирать, пользуясь данными табл. 5.4.

Щетки требуемых марок, но большие по размеру можно пригонять путем опилки личным напильником.

Порядок замены щеток:

- вывернуть пластмассовые пробки и регулировочные втулки;
- вынуть из обойм заменяемые щетки;
- осмотреть новые щетки и убедиться, что нет повреждений;
- вставить новые щетки в обоймы, щетки должны входить в обоймы свободно и выпадать под действием собственной массы.

Перед началом работы электрической машины с замененными щетками произвести притирку щеток в течение 8 ч при работе машины на холостом ходу (при этом для машины с последовательным возбуждением установить напряжение таким, чтобы скорость вращения была номинальной).

Притирка щеток считается удовлетворительной, если искрение при номинальной нагрузке не превышает $1^{1/2}$ балла (слабое искрение под сбегающим краем щетки). Характеристики степени искрения щеток по ГОСТ 183-74 приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Характеристики степени искрения щеток

Степень искрения (класс коммутации)	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения (темная коммутация)	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1^{1/4}$	Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки	
$1^{1/2}$	Слабое искрение под большей частью щетки	Появление следов почернения на коллекторе, легко устранимых протираемостью поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках
2	Искрение под всем краем щетки допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки	Появление следов почернения на коллекторе, не устранимых протираемостью поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках
3	Значительное искрение под всем краем щетки с наличием крупных и вылетающих искр. Допускается только для моментов прямого (без реостатных ступеней) включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы	Значительное почернение на коллекторе, не устранимое протираемостью поверхности коллектора бензином, а также подгорание и разрушение щеток

По мере срабатывания щеток необходимо давление щеток на коллектор регулировать регулировочными втулками. Давление щеток должно быть в пределах, указанных в справочниках.

Устранение неисправностей щеткодержателей сводится к правке погнутых деталей щеткодержателя или к их замене.

Погнутость корпуса или обоймы щеткодержатели исправлять правкой. Править обоймы клиновой оправкой, один из концов которой служит шаблоном, заменяющим щетку и выполненным по ее размерам. Щеткодержатели, имеющие трещины, надломы корпуса или обоймы, заменять новыми.

При пониженном давлении щетки на коллектор (кольцо) осмотреть пружину. Сломанную или потерявшую упругость спиральную пружину заменить новой из ЗИП или изготовленной по образцу из стальной пружинной проволоки ГОСТ 1071-67. Если давление пружины регулируется, попытаться поджать ее до получения требуемого давления щетки.

Устранение неисправностей станин, подшипниковых щитов и крышек сводится к заварке трещин, удалению коррозии, задири и заусенцев на посадочных поверхностях и восстановлению нарушенных защитных покрытий.

Перед заваркой конец трещины засверлить сверлом диаметром 3–5 мм. Диаметр сверла выбирать в зависимости от величины трещины и размеров детали. Трещины в чугуне заваривать чугунным электродом с предварительным нагревом детали или медным электродом в холодном состоянии. Забоины, задиры и заусенцы с посадочных поверхностей удалить острым шабером или напильником. Зачищенную поверхность после этого отшлифовать шкуркой зернистостью № 16, 20 или 25.

Значительно изношенные или поврежденные посадочные поверхности восстанавливать при капитальном ремонте машины.

Коррозию с нерабочих поверхностей деталей удалять вручную металлической щеткой и шлифовальной шкуркой зернистостью № 100–125 ГОСТ 5009-75 с последующим нанесением противокоррозионного лакокрасочного покрытия, а с посадочных поверхностей – шлифовальной шкуркой зернистостью № 16–20, 25 или более мелкой. С детали, имеющей форму тела вращения, коррозию рекомендуется удалять на токарном станке.

Перед удалением коррозии с торцевой поверхности пакета статора (полюсов) или ротора предварительно снять с очищаемой поверхности слой защитного лакового покрытия, для чего протереть ее ветошью, слегка смоченной ацетоном.

При этом следует избегать попадания ацетона на изоляцию обмоток. С очищенной от лака поверхности коррозию удалить шлифовальной шкуркой зернистостью № 100-120. После этого поверхность пакета очистить от пыли мягкой волосяной щеткой, продуть сжатым воздухом, протереть ветошью, смоченной бензином, и покрыть тонким слоем грунта ГФ-021.

5.6.2. Устранение неисправностей обмоток

В обмотках полюсов электрических машин постоянного тока могут быть следующие неисправности:

- общее понижение сопротивления изоляции вследствие ее старения или длительного пребывания в условиях повышенной влажности;
- обрыв провода обмотки;
- замыкание между витками;
- короткое замыкание витков обмотки на корпус вследствие повреждения или пробоя изоляции.

В случае понижения сопротивления изоляции обмоток машину следует просушить способом, описанным в п. 5.6.3.

Неисправности обмоток полюсов машин постоянного тока с поврежденным наружным слоем изоляции катушки (без повреждения изоляции провода) можно восстановить без перематывания. Для этого снять катушку со статора, обернуть поврежденное место киперной лентой в один слой, покрыть электроизоляционным лаком, после чего просушить.

В обмотках, якорей электрических машин постоянного тока, кроме перечисленных выше возможны следующие неисправности:

- плохой контакт в местах пайки выводов секций к пластинам коллектора;
- замыкания между секциями, обусловленные замыканиями между пластинами коллектора.

Контакт в местах пайки выводов секций к пластинам коллектора восстанавливать путем прогрева паек паяльником с небольшим количеством канифоли до полного расплавления припоя.

Замыкания между секциями, обусловленные замыканиями между пластинами коллектора, могут быть вследствие неаккуратной пайки или загрязнения пазов между пластинами угольно-медной пылью от щеток. В первом случае удалить наплывы припоя в местах пайки, во втором – протереть коллектор чистой ветошью, смоченной бензином, а в случае надобности про-дорожить коллектор.

5.6.3. Сушка обмоток

Изоляционные материалы, применяемые для изоляции обмоток электрических машин, должны быть влагостойкими и обладать электрической прочностью и сопротивлением изоляции, обеспечивающими безаварийную работу электрических машин.

Сушку обмоток электрических машин проводить при понижении их сопротивления изоляции. Отсыревание изоляции сильно понижает ее сопротивление и электрическую прочность и может привести к выводу машины из строя со значительными повреждениями обмоток.

Для предотвращения поглощения изоляцией влаги из окружающей среды обмотки пропитывают электроизоляционными влагостойкими лаками. Однако пропитка не может полностью исключить возможность отсыревания изоляции или осаждения влаги на поверхности обмотки.

Для удаления влаги, имеющейся в изоляции, обмотки машин надо просушить горячим воздухом, инфракрасными лучами (сушка внешним нагревом) или током, пропускаемым через обмотки (сушка током).

Сушка обмоток выполняется внешним нагревом.

Сушка обмоток током может производиться от постоянного источника или током, выработанным в самой обмотке (для генераторов). При этом необходимо вести постоянный контроль над температурой обмоток во избежание их перегрева и порчи изоляции. Температура обмоток измеряется только спиртовым термометром, и не должна превышать 70 °С. Применение ртутных термометров не допускается, так как показания их будут завышенными вследствие индуктирования вихревых токов в ртути. При измерении температуры резервуар («шарик») термометра нужно обернуть тонкой алюминиевой или медной фольгой и прижать к обмотке. Снаружи фольгу прикрыть ватой или войлоком для защиты от охлаждения наружным воздухом. Термометры должны быть надежно укреплены на машине. Температуру при сушке следует повышать медленно во избежание перегрева внутренних частей машины. С этой целью рекомендуется начинать сушку при уменьшенных значениях тока, затем постепенно увеличивать его до 60–70 % номинального.

Сушку контролировать измерением (мегомметром на 500 В) сопротивления изоляции не реже одного раза в час при отключенных проводах питания. В начале сушки при повышении температуры сопротивление изоляции обычно понижается до некоторого определенного предела (рис. 78). По мере высыхания сопротивление исправной изоляции растет и, достигнув некоторой величины, при дальнейшей сушке остается неизменным.

Сушку прекратить тогда, когда величина сопротивления изоляции в течение 3–6 ч будет оставаться неизменной или незначительно возрастет (на единицы процентов). Средняя продолжительность сушки малых и средних машин 10–20 ч.

Сильно отсыревшие машины с сопротивлением изоляции ниже 0,4 МОм сушить током не разрешается, так как при этом возможно электрическое разрушение изоляции.

При сушке машин постоянным током, во избежание пробоя изоляции индуктированным напряжением включение и выключение производить при напряжении, составляющем не более 30 % напряжения, при котором сушится машина. Повышать напряжение после включения и понижать его перед выключением нужно плавно.

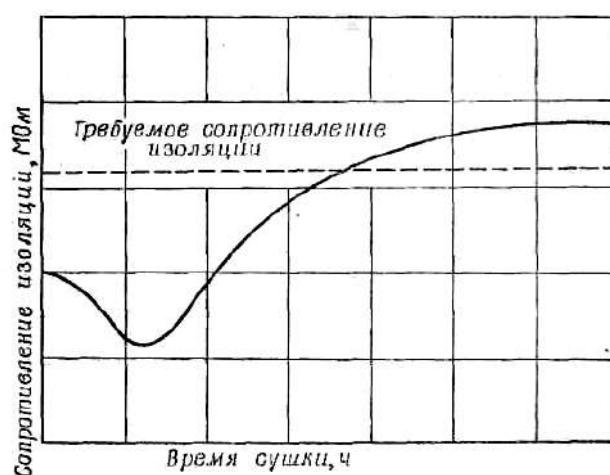


Рис. 79. График зависимости сопротивления изоляции от времени сушки

Сушку обмоток машин постоянного тока производить от постороннего источника или током короткого замыкания.

В первом случае через обмотки якоря и дополнительных полюсов пропускать постоянный ток, составляющий 50–60 % номинального. При этом источник должен иметь напряжение, равное 15–20 % номинального тока. Для предупреждения порчи щеток и коллектора под щетки подкладывать прокладки из медной фольги или медленно проворачивать якорь.

Обмотки возбуждения сушить так же, но от отдельного источника тока.

Сушку током короткого замыкания производить в генераторном режиме. При этом цепи якоря и дополнительных полюсов замкнуть через выключатель, амперметр и предохранитель. Если имеется последовательная обмотка, то отключить ее. Затем якорь привести

во вращение; изменением числа оборотов якоря и сдвигом щеток установить ток короткого замыкания, равный 50–60 % номинального. Если величина тока окажется недостаточной, машину слегка подмагнитить, пропуская через параллельную обмотку возбуждения ток от источника 2–5 В.

Сушку обмоток асинхронных двигателей током можно производить как в собранном, так и в разобранном двигателе.

В собранном двигателе сушить обмотки переменным током нужно при замкнутом и заторможенном роторе. Напряжение на статоре должно быть равно 15–20 % номинального напряжения. При сушке от однофазной сети фазы обмотки статора соединить последовательно. Если так включить обмотки невозможно, то в случае соединения трехфазной обмотки треугольником подключать к сети выводы обмотки попарно, периодически меняя подключаемые выводы для равномерного прогрева всей обмотки. Если обмотки соединены звездой, подключать один провод к одному из выводов обмотки, а другой – к двум другим выводам, также периодически меняя все эти выводы.

Напряжение на статор подавать от регулируемого источника напряжения. Величина тока в обмотке не должна превышать 50–70 % номинального.

Для сушки разобранной машины переменным током напряжение, равное 15 % номинального напряжения, подать отдельно на статор и фазный ротор.

Для сушки постоянным током все обмотки двигателя соединить последовательно и подключить к источнику постоянного тока, обеспечивающему ток в обмотке, равный 50–60 % номинального. Напряжение источника должно быть равно 15–20 % номинального. При невозможности последовательного включения обмоток сушку производить способом, описанным выше.

Сушку обмоток синхронных машин производить от посторонних источников постоянного или переменного тока или током короткого замыкания (для генераторов).

Сушить обмотки постоянным током нужно при неподвижном роторе от регулируемого источника. Обмотки при этом соединить последовательно или подключать поочередно, как описано выше. Величина тока не должна превышать 60–70 % номинального.

Сушку переменным током производить при питании статора от источника питания, обеспечивающего ток в обмотке, равный 60–70 % номинального, и при неподвижном роторе. Напряжение источника должно быть равно 15–20 % номинального.

При питании от однофазной сети фазы статора подключать последовательно или поочередно, как описано выше.

Сушку генераторов током короткого замыкания производить при замкнутом накоротко статоре, причем во все три фазы статора должны быть включены амперметры. Приведя генератор во вращение, регулировать ток в статоре изменением возбуждения. При этом токи в фазах должны быть равны.

При значительном неравенстве токов в фазах сушку необходимо прекратить во избежание повреждений обмоток. Сушку начинать при величине тока статора, равной 50 % номинальной, плавно увеличивая ток. Величина тока в статоре не должна превышать номинального значения.

5.6.4. Намагничивание генераторов постоянного тока

Генератор постоянного тока должен возбуждаться при замыкании цепей питания его обмоток. При разомкнутой цепи возбуждения стрелка вольтметра, подсоединенного к зажимам генератора, должна отклоняться, свидетельствуя тем самым о наличии остаточного магнетизма в активном железе.

Отсутствие напряжения на зажимах генератора постоянного тока при разомкнутой цепи возбуждения свидетельствует об отсутствии в активном железе остаточного магнетизма, вследствие чего генератор не возбуждается. Размагниченный генератор должен быть заново намагничен от постороннего источника тока.

Для намагничивания генераторов необходимо:

1) в генераторах с параллельным возбуждением к обмотке возбуждения подвести постоянное напряжение от постороннего источника питания, например от аккумуляторной батареи. С помощью реостата установить в обмотке ток, равный 50-60 % номинального тока возбуждения. Ток пропускать через обмотку в течение нескольких минут, после чего источник питания отключить. Включение и выключение напряжения производить при полностью введенном реостате во избежание индуктирования ЭДС значительной величины и пробоя изоляции обмотки;

2) в генераторах с последовательным возбуждением обмотку возбуждения отключить от якоря и в течение нескольких минут пропускать через нее ток от постороннего источника питания, равный 50-60 % номинального. Так как сопротивление последовательной обмотки возбуждения обычно бывает мало, последовательно с ней включить реостат для ограничения и регулировки тока.

Если после намагничивания генератор не возбуждается, поменять местами концы обмотки возбуждения или вновь намагнитить его с противоположной полярностью.

5.6.5. Сборка электродвигателей и генераторов

Качество сборки во многом определяет эксплуатационные качества машины и надежность ее работы. Поэтому сборочные работы нужно выполнять тщательно, с соблюдением последовательности операций и правил сборки.

На прессовку подшипников производить легкими ударами молотка по трубе, диаметр которой соответствует диаметру внутреннего кольца подшипника. При на прессовке избегать повреждений шеек вала и перекоса подшипников.

После сборки всех основных узлов установить ротор в статор и поставить на место подшипниковые щиты. В малых машинах передний подшипниковый щит установить на ротор до установки его в статор. Подшипник ротора устанавливать в гнездо щита при вертикальном положении ротора, слегка постукивая медным молотком по концу вала. Затем ротор в сборе с передним щитом осторожно, чтобы не повредить активного железа, установить в статор. Передний щит закрепить на статоре, после чего установить задний подшипниковый щит. При установке тяжелых роторов статор изнутри выложить листами прессшпана или плотного картона.

В больших машинах вначале установить задний подшипниковый щит, который должен достаточно плотно садиться на центрирующие штифты статора. При установке щита равномерно подтягивать все болты (винты) крепления щита к станине. Затем ротор установить в статор, поставить на место и прижать болтами передний подшипниковый щит. Смазать подшипники, установить щеткодержатель со щетками и отрегулировать давление щеток.

При сборке запрещается ударять стальным молотком по поверхности деталей во избежание забоин и смятия металла.

После сборки проверить:

- легкость и равномерность вращения ротора; тугое вращение и заедание указывают на перекося подшипников или подшипниковых щитов в результате неправильной сборки;

- зазор между ротором и статором; величину воздушного зазора измерять с помощью щупов в четырех сдвинутых одна от другой на 90° точках по окружности статора с обеих сторон его расточки; измерив величины зазора, вычислить его среднее арифметическое значение; каждая из измеренных величин воздушного зазора не должна отличаться от среднего арифметического значения более чем на 10 %.

- осевую шаткость ротора; величина осевой шаткости не должна превышать значений, приведенных для шарикоподшипников. Повышенная осевая шаткость, обусловленная износом посадочных мест под подшипники, может быть устранена путем установки прокладок из медной фольги в гнезда крышек под наружные кольца подшипников. Отсутствие осевой шаткости указывает на неправильную сборку машины.

После проверки качества механической сборки выводы обмоток присоединить к панели в соответствии с маркировкой зажимов; в машинах постоянного тока после этого установить щетки на нейтраль.

У машин с дополнительными полюсами щетки должны также находиться строго на нейтрали. Способ установки щеток по заводским рискам на траверсе и подшипниковом щите недостаточно точен, поэтому устанавливать щетки на нейтраль рекомендуется одним из следующих методов:

а) метод наибольшего напряжения генератора. Генератор привести во вращение на холостом ходу с постоянным числом оборотов при независимом и постоянном возбуждении. Щетки передвигать до тех пор, пока вольтметр, подключенный к зажимам якоря, не покажет наибольшего напряжения. Это положение щеток соответствует нахождению их на нейтрали;

б) метод двигателя. Нагруженный двигатель пустить в ход и измерить тахометром скорость вращения якоря. Затем, не изменяя положения щеток, изменить полярность питающего напряжения и пустить двигатель в другом направлении вращения. Для определения нейтрали передвигать щетки до тех пор, пока скорость вращения якоря не будет одинакова при обоих направлениях вращения. При этом подводимое напряжение и величина тока возбуждения должны быть строго неизменны в течение всей регулировки;

в) индуктивный метод. К обмотке возбуждения, неподвижной машины подвести постоянный ток от постороннего источника питания с напряжением 8–12 В. К зажимам якоря присоединить милливольтметр на 45–60 мВ с добавочным сопротивлением для напряжения 1,5–3 В.

Желательно иметь милливольтметр с двусторонней шкалой и нулем посередине. При замыкании и размыкании цепи возбуждения в якоре будет индуцироваться напряжение и стрелка милливольтметра начнет отклоняться в ту или другую сторону в зависимости от положения щеток. При этом щетки передвигать до тех пор, пока при включении и выключении тока возбуждения стрелка милливольтметра не перестанет отклоняться. После этого снять добавочное сопротивление и уточнить положение щеток по отсутствию отклонений стрелки милливольтметра. Это положение и соответствует нахождению щеток на нейтрали. Данный метод является наиболее точным. После установки щеток на нейтраль полностью собранную машину при необходимости окрасить.

5.6.6. Сборка схемы и подсоединение выводов обмоток к панели электромашинного усилителя (ЭМУ)

Большое количество обмоток и выводных концов в электромашинном усилителе вызывает необходимость после ремонта тщательно проверить схемы соединений обмоток и их полярность.

Если выводы обмоток имеют бирки, то выводы подключить к контактным щиткам в соответствии с маркировкой на бирках, в противном случае выводы обмоток следует замаркировать.

Обмотки управления удобнее всего маркировать следующим образом:

- подключить одну из обмоток управления к источнику постоянного тока через реостат и установить такой ток, чтобы при вращении ротора можно было измерить напряжение на выходе электромашинного усилителя;
- обозначить концы обмоток знаками «+» и «-» в соответствии с полярностью источника питания;
- по отклонению вольтметра, подключенного к выходным выводам ЭМУ, определить полярность выходных зажимов усилителя и отметить их знаками «+» и «-»;
- подключить поочередно к источнику постоянного тока остальные обмотки управления и маркировать их аналогично первой обмотке, если стрелка вольтметра, подключенного к выходным зажимам ЭМУ, будет отклоняться в ту же сторону, как и для первой обмотки управления.

Для того чтобы определить, правильно ли подключена компенсационная обмотка к контактам щитка, следует проделать следующее: нагрузить ЭМУ на сопротивление, большее или равное номинальному. Подать на одну из управляющих обмоток плавно изменяющееся напряжение постоянного тока, при этом вольтметр, подключенный к выходу ЭМУ при вращении якоря, должен изменять показания в соответствии с напряжением на входе. Если с увеличением напряжения на входе напряжение на выходе будет стремиться к нулю, то это будет свидетельствовать о том, что компенсационная обмотка подключена неверно и ее концы нужно поменять местами.

Добавочные полюсы продольного поля ЭМУ предназначены для улучшения, коммутации в цепи рабочего тока.

Для того чтобы проверить, правильно ли подключены выводы обмоток добавочных полюсов, следует нагрузить ЭМУ на сопротивление, большее или равное номинальному, включить электродвигатель ЭМУ и подать напряжение постоянного тока на одну из управляющих обмоток.

Если обмотка добавочных полюсов включена неправильно, то выходное напряжение не достигнет номинальной величины, а под щетками продольного поля будет наблюдаться повышенное искрение. В этом случае концы обмоток добавочных полюсов следует поменять местами.

5.6.7. Установка щеток короткозамкнутой (поперечной) цепи ЭМУ на нейтраль

Установка щеток требуется в тех случаях, когда сбита заводская настройка, щетки сильно искрят или после ремонта и разборки ЭМУ.

Щетки устанавливать на нейтраль в таком порядке: в разрыв короткозамкнутой (поперечной) цепи включить микроамперметр 3 (рис. 79) постоянного тока с нулем посередине шкалы; к одной из обмоток 4 управления подключить гальванический элемент 1; при неподвижном якоре ЭМУ размыкать и замыкать цепь гальванического элемента, наблюдая за отклонением стрелки микроамперметра 3; одновременно с замыканием цепи гальванического элемента смещать положение траверсы щеток сначала в одном направлении, а затем в противоположном до тех пор, пока стрелка не изменит направление отклонения и показание будет минимальным.

В этом положении щетки находятся на нейтрали.

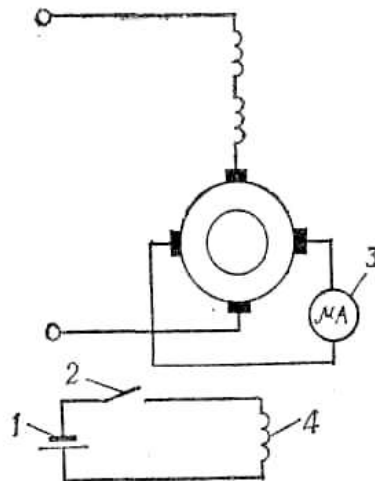


Рис. 80. Схема для установки щеток короткозамкнутой цепи ЭМУ на нейтраль:
1 – гальванический элемент; 2 – переключатель; 3 – микроамперметр
постоянного тока кл. 2,5; 4 – обмотка управления

В некоторых ЭМУ щетки следует сместить с нейтрали на 1–2 мм по направлению вращения коллектора для улучшения коммутации.

Установка степени компенсации ЭМУ. Компенсация продольной реакции якоря с помощью шунтирующей компенсационную обмотку реостата имеет важное значение для получения требуемых статических и динамических характеристик и устойчивости работы ЭМУ.

Под степенью компенсации понимают отношение:

$$\Theta = E_{к0} / E_{рЯ},$$

где $E_{к0}$ – ЭДС, наводимая в якоре магнитным потоком компенсационной обмотки; $E_{рЯ}$ – ЭДС, наводимая в якоре потоком продольной реакции от рабочего тока нагрузки. ЭДС $E_{к0}$ и $E_{рЯ}$ направлены навстречу друг другу и при $\Theta = 1$ взаимно компенсируются.

Регулировать компенсацию ЭМУ в следующем порядке:

- включить вольтметр в разрыв короткозамкнутой (поперечной) цепи ЭМУ;
- отключить от щеток продольной цепи компенсационную обмотку и обмотку добавочных полюсов;
- от постороннего источника при вращающемся якоре пропустить в продольную цепь якоря номинальный постоянный ток, отмечая при этом показания вольтметра (рис. 81, а);

• при той же скорости вращения якоря и разомкнутой продольной цепи его пропустить через компенсационную обмотку с шунтирующим ее реостатом номинальный ток якоря (рис. 81, б) и регулировкой сопротивления реостата добиться первоначального показания вольтметра.

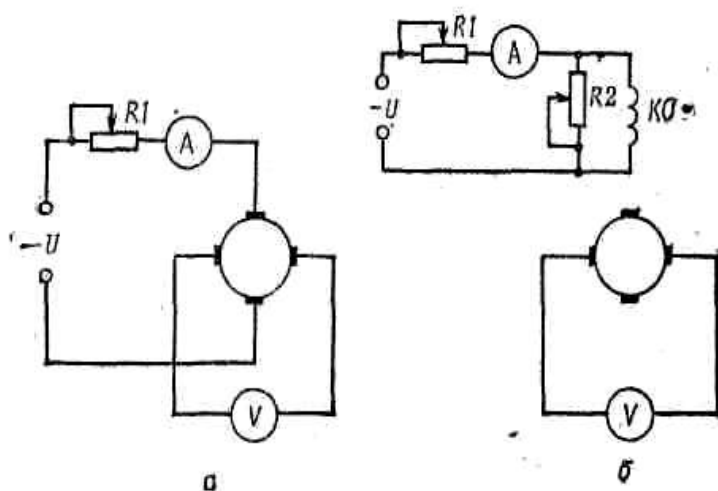


Рис. 81. Схема для установки степени компенсации ЭМУ:

а – ток пропускается через продольную цепь якоря; *б* – ток той же величины, что и в схеме, пропускается через компенсационную обмотку; А – амперметр постоянного тока кл. 2,5; V – вольтметр постоянного тока кл. 2,5; R_1, R_2 – реостаты

Это показание реостата соответствует степени компенсации $\theta = 1$.

Обмотки управления при регулировке компенсации должны быть разомкнуты. Важным условием правильной регулировки степени компенсации является одинаковое направление вращения якоря в обоих случаях эксперимента, при этом отклонение стрелки вольтметра должно быть в одну и ту же сторону.

Для получения устойчивого режима работы ЭМУ должен работать при некоторой компенсации ($\theta < 1$); степень последней можно характеризовать процентным изменением напряжения на выходе ЭМУ от режима холостого хода до полной нагрузки при номинальном токе управления. Обычно устанавливается такая величина сопротивления, шунтирующего компенсационную обмотку, чтобы это изменение напряжения составляло 10–15 %.

Окончательную степень компенсации устанавливать при настройке изделия.

5.7. Испытания электродвигателей и генераторов после сборки

В целях проверки качества ремонта и определения соответствия технических характеристик отремонтированной машины паспортным данным все электрические машины после ремонта подвергаются испытаниям.

Испытания производятся после внешнего осмотра и проверки качества сборки отремонтированной машины и включают:

- измерение сопротивления обмоток;
- измерение сопротивления изоляции токоведущих частей машины относительно корпуса и между собой;
- проверку коэффициента трансформации асинхронных двигателей с фазным ротором;
- испытание машины на холостом ходу;
- испытание машины под нагрузкой.

5.7.1. Измерение сопротивления обмоток

Измерение сопротивления обмоток позволяет судить о правильности их выполнения, исправности обмоток и качестве паяк и соединений. Наиболее точный результат дают измерения сопротивлений с помощью мостов, например моста Е-12-2А. Если моста нет, сопротивление обмоток более 1 Ом можно приближенно измерить комбинированными приборами типов Ц4312, АВО-5М1 или им подобными.

Сопротивления статорных обмоток измерять на зажимах машины, сопротивление обмоток ротора – на его кольцах. Сопротивление обмоток якорей коллекторных машин измерять на двух коллекторных пластинах, отстоящих одна от другой на одно полюсное деление по коллектору для якорей с волновой обмоткой или на двух диаметрально противоположных пластинах для якорей с петлевой обмоткой.

Отклонение измеренного сопротивления обмотки от паспортных данных не должно превышать $\pm 5 \%$.

При измерениях следует иметь в виду, что сопротивление обмоток зависит от их температуры. Обычно паспортные значения сопротивлений соответствуют измерениям при температуре $+ 20^{\circ}\text{C}$. Поэтому результат измерения, производившегося при иной температуре, необходимо привести к $+20^{\circ}\text{C}$. Пересчет производится по формуле:

$$R_{20} = \frac{R_t}{1 + 0.004(t - 20)},$$

где R_{20} – сопротивление, приведенное к температуре 20 °С;
 R_t – сопротивление, измеренное при температуре окружающей среды;
 t – температура, при которой производилось измерение, °С.

Измерение сопротивления многофазных обмоток при наличии выводов начал и концов фаз производить пофазно, а при наличии отдельных выводов от частей фаз – отдельно для каждой части.

Если сопряжение фаз произведено внутри обмотки наглухо, то сопротивление следует измерять между каждой парой линейных выводов.

При сопряжении фаз в звезду сопротивление фазы r_1 , прилегающей к выводу $C1$, следует определять по формуле:

$$r = \frac{r_{31} + r_{12} + r_{23}}{2},$$

где r_{31} , r_{12} , r_{23} – сопротивления, измеренные соответственно между выводами $C3$ и $C1$, $C1$ и $C2$, $C2$ и $C3$ (обозначение выводов по ГОСТ 183-74), Ом.

При сопряжении фаз в треугольник сопротивление фазы r_1 между выводами $C1$ и $C3$ следует определять по формуле:

$$r = \frac{2r_{12}r_{23}}{r_{12} + r_{23} - r_{31}} - \frac{r_{12} + r_{23} - r_{31}}{2}.$$

По аналогичным формулам с круговой перестановкой соответствующих индексов следует подсчитать сопротивления других фаз.

5.7.2. Измерение сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции токоведущих частей машины относительно корпуса и между собой измерять мегомметром на 500 В. Перед измерением отсоединить от зажимов машины все соединительные провода внешней цепи.

При измерении сопротивления изоляции токоведущих частей машины относительно корпуса одну клемму мегомметра подключить

к оголенной поверхности корпуса, другую поочередно подключать к зажимам (выводам) всех обмоток. При измерении сопротивления изоляции между токоведущими частями машин клеммы мегомметра подключать поочередно к двум зажимам (выводам) обмоток, не соединенным между собой электрически.

Измерение сопротивления изоляции производить в холодном состоянии проверяемой машины. Допустимое сопротивление изоляции указано в паспорте машины и в справочниках.

5.7.3. Проверка коэффициента трансформации асинхронного двигателя с фазным ротором

Проверка коэффициента трансформации асинхронного двигателя с фазным ротором позволяет судить о правильности выполнения обмоток статора и ротора и их исправности.

Для проверки к статору подвести номинальное напряжение и при разомкнутой цепи неподвижного ротора измерить напряжение между контактными кольцами ротора при двух-трех его положениях. Напряжения фаз ротора должны соответствовать паспортным данным и могут отличаться одно от другого не более чем на 2 %. Понижение напряжения в одной из фаз ротора указывает на наличие замыканий между витками или на неправильное соединение катушек фазы.

Для проверки статорной обмотки напряжение подвести к кольцам ротора и при разомкнутых обмотках статора измерить напряжение на зажимах обмоток. Напряжения фаз должны соответствовать паспортным данным и могут отличаться одно от другого не более чем на 2 %.

Напряжение, подводимое к ротору, должно регулироваться в пределах от нуля до номинального значения.

5.7.4. Испытание машины на холостом ходу

Перед пуском машины проверить наличие смазки в подшипниках, легкость вращения ротора и нет ли в машине посторонних предметов.

Испытание на холостом ходу позволяет проверить ряд величин, важных для работы машины, и судить о ее исправности. Машины постоянного тока испытывать на холостом ходу в режиме двигателя. Для испытания машину включать по схеме двигателя с независимым возбуждением (рис. 82). Обмотку возбуждения при этом

питать от источника постоянного тока напряжением, обеспечивающим полный рабочий ток в обмотках. Ток и число оборотов холостого хода должны соответствовать паспортным данным. Затем проверить нагрев подшипников и якоря, степень искрения и надежность контакта в щетках, а также убедиться в отсутствии вибрации машины.

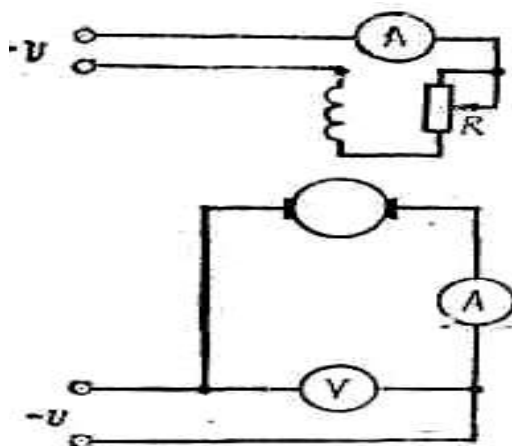


Рис. 82. Схема включения электродвигателя постоянного тока с независимым возбуждением: А – амперметр постоянного тока кл. 2,5; V – вольтметр постоянного тока кл. 2,5; R – реостат

Перегрев подшипников по сравнению с температурой окружающего воздуха при испытании не должен превышать 20–30 °С.

Температуру подшипников определять на ощупь. Якорь не должен иметь местных перегревов, также определяемых на ощупь. Искрение под щетками должно отсутствовать. Допускается наличие слабого точечного искрения под небольшой частью щетки приблизительно у половины всех щеток. Надежность контакта в щетках определять по отсутствию их перегрева.

Продолжительность испытания на холостом ходу должна быть не менее 30 мин.

Асинхронные двигатели испытывать на холостом ходу при питании напряжением номинальной величины и номинальной частоты. При этом измерять токи холостого хода во всех трех фазах и число оборотов двигателя. Измеренные величины должны соответствовать паспортным данным. Асимметрия токов в фазах не должна превышать 5 %. Скольжение при холостом ходе не должно превышать 1–2 %, то есть измеренное число оборотов не должно отличаться более чем на 1–2 % от синхронного числа оборотов, определяемого величиной $\frac{60f}{p}$, где p – число пар полюсов двигателя; f – частота напряжения питания.

Затем проверить нагрев подшипников, надежность контакта в щетках и плавность хода двигателя. Температура подшипников не должна превышать температуру окружающего воздуха больше чем на 20–30 °С. Надежность контакта в щетках определять по отсутствию искрения и перегрева щеток. При работе двигателя не должно быть вибрации и шума.

Продолжительность испытания на холостом ходу должна быть не менее 30 мин. Синхронные машины на холостом ходу не испытываются.

5.7.5. Испытание машины под нагрузкой

Машину под нагрузкой испытывать после установки ее на место в условиях, обеспечивающих номинальную нагрузку машины. При этом на электродвигатель подать номинальное напряжение номинальной частоты. Если испытывается генератор, то привести его во вращение с номинальным числом оборотов.

Испытание проводить в течение 2–3 ч при непрерывной работе машины. В ходе испытания проверить ток, потребляемый двигателем (у асинхронных двигателей проверить токи во всех трех фазах), и число оборотов, напряжение на нагрузке генератора, частоту и ток нагрузки. Измеренные величины должны соответствовать данным, указанным в паспорте машины или в справочнике. Кроме того, в процессе испытания непрерывно контролировать температуру обмоток машины с помощью термометров или методом измерения сопротивления.

Измерение температуры обмоток термометром описано выше. Но это не дает достаточно точных результатов, поэтому рекомендуется измерять температуру обмотки методом измерения сопротивления обмотки. Этот метод основан на зависимости сопротивления меди от температуры и применим для всех обмоток, причем для контроля температуры низкоомных обмоток необходимо измерять их сопротивления с помощью мостовых приборов.

Перед испытанием машины измерить сопротивление и температуру обмотки. Температуру обмотки можно принять равной температуре окружающего воздуха. После испытания машину остановить и сразу же измерить сопротивление проверяемой обмотки. Температуру обмотки определяют по формуле:

$$T = t + \frac{R_T - R_t}{R_t} (235 + t),$$

где t – температура обмотки до испытания, °С; T – температура обмотки после испытания, °С; R_t – сопротивление обмотки, измеренное до испытания, Ом; R_T – сопротивление обмотки, измеренное после

испытания, Ом. Температура обмотки не должна превышать 80–90 °С. Сразу же после окончания измерения проверить сопротивление изоляции.

Величина сопротивления изоляции обмоток, измеренная при рабочей температуре машины, не должна быть меньше величины, приведенной в паспорте на машину или в справочнике.

5.7.6. Регулировка скорости вращения электродвигателей стабилизированной скорости

Для регулировки скорости вращения необходимо:

- проверить скорость вращения электродвигателя;
- ослабить три винта, крепящие кожух;
- снять кожух, повернув его вправо и потянув на себя;
- ослабить стопорный винт распорной пластины рабочего контакта.

Если скорость вращения электродвигателя не соответствует требуемой:

- отрегулировать ее винтом рабочего контакта (один оборот винта рабочего контакта изменяет скорость вращения электродвигателя примерно на 150 об/мин);
- застопорить винт рабочего контакта, завернув стопорный винт;
- проверить скорость вращения электродвигателя, которая должна быть в требуемых пределах;
- надеть кожух (окно выставляется против клеммных колодок);
- закрепить винты кожуха.

5.8. Характерные неисправности сельсинов и вращающихся трансформаторов, порядок и способы устранения неисправностей

В процессе эксплуатации сельсинов и вращающихся трансформаторов вследствие естественного износа их, старения изоляции и нарушения нормальных условий эксплуатации возможно появление различного рода неисправностей, которые могут проявляться в снижении точности работы сельсина или трансформатора, выпадении из синхронизма сельсина, в перегреве машины или отдельных ее частей, в гудении при работе и искрении под щетками и т.д.

Характер некоторых неисправностей, их признаки и способы выявления приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Перечень наиболее часто встречающихся или возможных неисправностей
сельсинов и вращающихся трансформаторов

Наименование неисправности	Вероятная причина	Метод проверки
1. Уменьшение точности установки сельсина-приемника.	Перекося подшпипниковых крышек, вызывающих заедание ротора.	Проверить плавность вращения ротора от руки.
Выпадение сельсина-приемника из синхронизма при быстром вращении датчика	Погнутость валика ротора. Загрязнение подшипников	Проверить валик ротора с помощью индикатора (п. 5.10).
	Чрезмерное нажатие щеток на контактные кольца	Измерить момент трения сельсина (подразд. 5.10). Проверить нажатие щеток (п. 5.10)
2. При вращении сельсина датчика ротор сельсина-приемника не вращается.	Короткое замыкание между двумя фазами трехфазной обмотки датчика или приемника.	Проверить сопротивление трехфазной обмотки.
Наблюдается сильное гудение сельсина	Обрыв однофазной обмотки ротора сельсина	Проверить сопротивление однофазной обмотки
3. При вращении сельсина датчика на 360° ротор сельсина-приемника совершает колебания. Сельсин сильно гудит	Обрыв одной из фаз трехфазной обмотки датчика или приемника	Проверить сопротивление фаз обмотки. Проверить контакт в щетках
4. При вращении сельсина-датчика наблюдаются перескоки сельсина-приемника с явно выраженными полюсами на 180°	Обрыв однофазной обмотки датчика или приемника	Проверить сопротивление обмотки
5. Искрение под щетками контактного сельсина, вращающегося трансформатора	Мало нажатие щеток на кольца. Загрязнение контактных колец или повреждение их поверхности	Проверить давление щеток. Осмотреть и промыть кольца
6. Сильное гудение машины	Повышенный осевой люфт ротора. Асимметрия воздушного зазора	Проверить осевой люфт ротора (п. 5.10). Проверить, не погнут ли валик ротора (п. 5.11)

5.9. Внешний осмотр и электрическая проверка сельсинов и вращающихся трансформаторов по месту установки

При осмотре блока проверить имеющиеся в нем сельсины, вращающиеся трансформаторы. Проверку производить внешним осмотром при включении блока или изделия под напряжение.

При внешнем осмотре проверить крепление машины, состояние корпуса, крышек, клеммной колодки и выступающих концов валика ротора.

У контактных сельсинов и вращающихся трансформаторов проверить состояние контактных колец и щеток, у бесконтактных сельсинов-приемников – крепление и состояние демпфера. При осмотре убедиться в том, что на наружных поверхностях нет вмятин, забоин, коррозии и нарушений защитных покрытий; все крепящие винты и гайки, за исключением клеммных зажимов, завинчены до отказа и покрашены; клеммная колодка не имеет сколов, трещин и следов обгорания; свободные концы валика ротора не имеют коррозии, резьба исправна. У контактных сельсинов и вращающихся трансформаторов контактные кольца должны быть отполированы, не должны иметь механических повреждений поверхности и следов подгорания; изоляция между кольцами не должна иметь следов пробоя; щетки не должны быть прижаты к кольцам.

При включении блока под напряжение проверить работу машины методами, предусмотренными при эксплуатационной проверке блока и описанными в соответствующих руководствах.

В случае выявления ненормальностей в работе машины ее необходимо снять с блока и произвести более подробную дефектацию в целях выяснения причин ненормальной работы.

5.10. Внешний осмотр, механическая и электрическая проверка снятых сельсинов и вращающихся трансформаторов

Перед осмотром снять машину с блока, для чего отсоединить подводящие провода от клеммной колодки и снять накладку, крепящую корпус к шасси блока, затем с валика ротора снять шестерню, сопрягающую ротор с приводным механизмом.

Снятый сельсин (трансформатор) проверять внешним осмотром, механической и электрической проверками.

5.10.1. Внешний осмотр

Внешний осмотр производить аналогично описанному выше при проверке по месту установки.

При осмотре контактных сельсинов, вращающихся трансформаторов убедиться в том, что щетки прижаты к кольцам и касаются их середины. У сельсинов СС-405 и ЭД-101 щетки, одного кольца, должны быть сдвинуты не менее чем ширину щетки (рис. 83). Траверсы щеток не должны быть погнуты, крепление траверс и выводных пластин к клеммной колодке должно быть надежным.

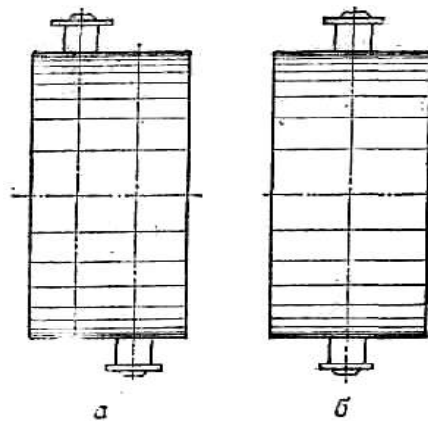


Рис. 83. Установка щеток:

а – сельсинов типов СС-405 и ЭД-10; *б* – сельсинов остальных типов

5.10.2. Механическая проверка

Механическая проверка сельсинов включает:

- измерение радиальных биений концов валика ротора, контактных колец и наружной поверхности корпуса относительно шеек валика ротора;
- измерение осевого люфта ротора;
- измерение у бесконтактного сельсина биения торцевой части буртика со стороны посадочного места сельсина и радиального зазора шарикоподшипников у собранного сельсина;
- измерение момента трения невозбужденного сельсина;
- измерение нажатия щеток на кольца контактного сельсина.

Для измерения радиальных биений концов валика ротора и контактных колец сельсины установить на призму (рис. 83). Бесконтактные сельсины устанавливаются на призму, имеющую канавку для буртика корпуса. Ножку стрелочного индикатора подвести к посадочной поверхности конца валика ротора или к поверхности контактного кольца. Медленно поворачивая ротор сельсина на 360° , определить биение по разности максимального и минимального показаний индикатора.

Величина биения концов валика ротора и контактных колец, вычисленная как среднее значение из трех отсчетов, не должна превышать 0,02–0,05 мм.

Для измерения радиального биения наружной поверхности корпуса, осевого люфта ротора и биения торцевой части буртика установить сельсин центровыми отверстиями валика ротора в центрах токарного станка или в настольных центрах.

При измерении радиального биения наружной поверхности корпуса ножку индикатора подвести к цилиндрической поверхности корпуса и повернуть корпус на один полный оборот при неподвижном роторе. Биение определить, как среднее значение из трех отсчетов; величина биения не должна превышать 0,09 мм.

При измерении осевого люфта ротора ножку индикатора подвести к торцу крышки подшипника (передней или задней). Осевой люфт ротора определить по разности показаний индикатора, соответствующих крайним положениям корпуса сельсина при покачивании его в осевом направлении. Величина осевого люфта не должна превышать значений, приведенных в справочнике.

При измерении биения торцевой части, буртика корпуса бесконтактного сельсина ножку индикатора подвести перпендикулярно к торцевой поверхности буртика. Повернув корпус сельсина при неподвижном роторе на один полный оборот, определить биение по разности максимального и минимального показаний индикатора. Величина биения не должна превышать 0,1 мм. При измерении радиального зазора шарикоподшипников у собранного бесконтактного сельсина установить сельсин центровыми отверстиями валика ротора в центрах токарного станка или в настольных центрах.

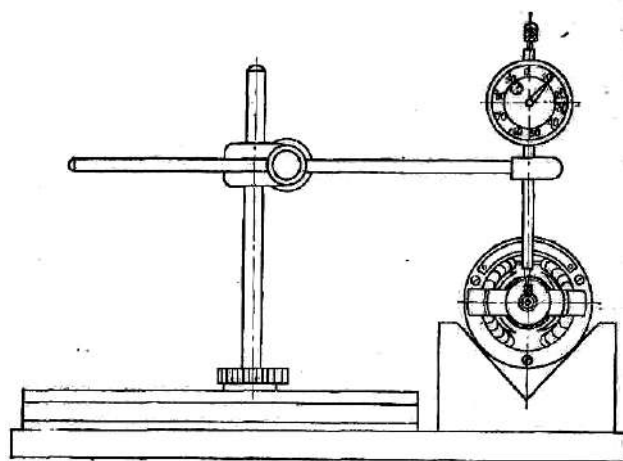


Рис. 84. Установка сельсинов, на призму для проверки радиальных люфтов

Подвести ножку индикатора к поверхности корпуса сельсина. Покачивая корпус сельсина в радиальном направлении, определить радиальный зазор по разности максимального и минимального показаний индикатора. Величина зазора не должна превышать 0,02 мм.

Момент трения сельсина проверять при установке его на призму. При этом закрепить на валик ротора сельсина шкив диаметром 20 мм. Вокруг шкива на 2-3 оборота намотать нить с привязанной к ней чашечкой для груза. Установить груз на чашечку и увеличивать его до тех пор, пока шкив вместе с ротором не начнет вращаться. Произведение радиуса шкива на массу груза (с учетом массы чашечки), при которой нить полностью сматывается со шкива, равно моменту трения невозбужденного сельсина. Величины моментов трения приведены в справочниках.

Нажатие щеток на кольца контактного сельсина измерять с помощью стрелочного граммометра, а если его нет - то пружинным граммометром. В последнем случае накинуть петлю из нити на щеткодержатель у щетки и на крючок граммометра.

Нажатие измерять в момент отрыва щетки от поверхности кольца. Момент отрыва щетки определять с помощью омметра, в качестве которого можно использовать любой комбинированный прибор (АВО-5М1, Ц4312) и др. Омметр включать между клеммой, соединенной с проверяемой щеткой, и любой из двух других клемм ротора (рис. 85). Под щетку 2, касающуюся того же кольца, что и проверяемая, следует подложить изоляционную прокладку. В момент отрыва проверяемой щетки 3 от поверхности кольца омметр покажет разрыва цепи.

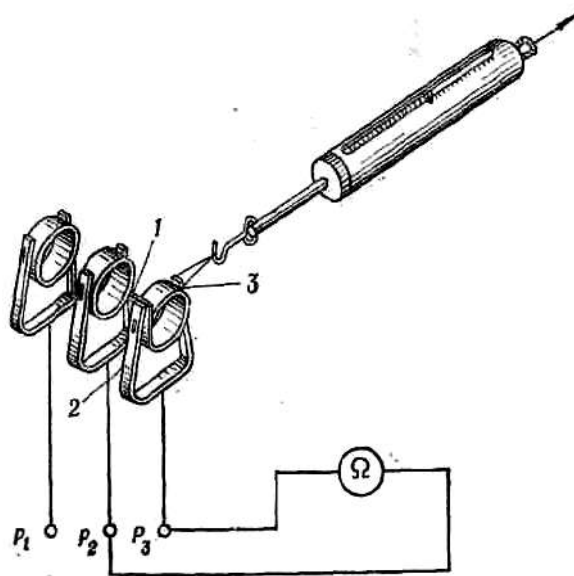


Рис. 85. Измерение нажатия щеток: 1— изоляционная прокладка; 2 — щетка, изолированная от кольца; 3 — проверяемая щетка

Измеренное таким образом нажатие щеток должно соответствовать данным, приведенным в справочнике.

Механическая проверка вращающихся трансформаторов включает:

- измерение радиальных биений по наружному диаметру статора относительно вала ротора и шейки вала в подшипниках;
- измерение давления щеток на контактные кольца.

Измерения радиальных биений и давления щеток проводить аналогично измерениям, приведенным для контактных сельсинов.

Радиальные биения по наружному диаметру статора относительно вала ротора должны быть не более 0,05 мм для вращающихся трансформаторов 1-го и 2-го габаритов и не более 0,06 мм – для 3-го габарита; радиальные биения шейки вала в подшипниках должны быть не более 0,02 мм для вращающихся трансформаторов 1-го и 2-го габаритов и не более 0,03 мм для 3-го габарита.

Величины давления щеток на контактные кольца должны соответствовать данным, приведенным в справочнике.

5.10.3. Электрическая проверка

Электрическая проверка включает:

- измерение сопротивления обмоток;
- измерение сопротивления изоляции обмоток между собой и относительно корпуса;
- проверку надежности контакта в щетках контактных сельсинов и вращающихся трансформаторов.

Измерение сопротивления обмоток производить омметром, в качестве которого можно использовать приборы, АВО-5М1 или Ц4312, подключая выводы прибора к выводам обмоток. При измерении сопротивления трехфазных обмоток омметр подключать поочередно к выводам двух фаз. При этом омметр будет показывать сопротивление двух фаз, включенных последовательно. Результаты измерения должны соответствовать данным, приведенным в справочниках.

По полученным значениям сопротивлений попарно измеряемых фаз трехфазной обмотки определить сопротивление каждой фазы по формулам:

$$R_1 = \frac{R_{12} + R_{13} - R_{23}}{2},$$

$$R_2 = R_{12} - R_1, R_3 = R_{13} - R_1,$$

где R_1 , R_2 , R_3 – сопротивления фаз обмотки; R_{12} , R_{13} , R_{23} – сопротивления, измеренные соответственно между выводами фаз 1–2, 1–3, 2–3.

Вычисленные значения R_1 , R_2 , R_3 не должны отличаться одно от другого более чем на 0,1 Ом у сельсинов БД-501А и БС-501А и на 1 Ом у остальных сельсинов. Большие расхождения величин сопротивления фаз свидетельствуют о наличии в обмотках замыканий между витками.

Измерение сопротивления изоляции обмоток между собой и относительно корпуса производить мегомметром на 500 В в холодном состоянии машины. Мегомметр подключать между корпусом и выводами обмоток при измерении сопротивления изоляции их от корпуса или между выводами статорной и роторной обмоток (между выводами обмотки возбуждения и обмотки статора в бесконтактных сельсинах) при измерении сопротивления изоляции между ними. Величина сопротивления изоляции, измеренная при температуре от + 20 до ± 5 °С и относительной влажности окружающей среды 60-70 %, должна быть не менее 100 МОм.

Проверку надежности контакта в щетках производить с помощью омметра, в качестве которого использовать любой комбинированный прибор (АВО-5М1, Ц4312). Прибор подключать поочередно к выводам P_1 - P_2 , P_1 - P_3 , P_2 - P_3 (или к выводам P_1 - P_2 сельсинов СС-405 и ЭД-101, имеющих однофазный ротор). Ротор вращать с частотой не более 1 об/мин и наблюдать за показаниями прибора, которые не должны отклоняться от средних показаний более чем на 10 %. Превышение указанных отклонений свидетельствует о нарушении контакта в щетках.

Если при проверке сельсина (трансформатора) неисправностей не обнаружено, то перед установкой в блок следует подвергнуть всем испытаниям, перечисленным в п. 5.14, за исключением проверки электрической прочности изоляции.

5.11. Разборка сельсинов и вращающихся трансформаторов, внешний осмотр и механическая проверка узлов и деталей

Если при осмотре машины в сборе не удалось обнаружить причину ненормальной работы, то для выявления этой причины, а также для ремонта отдельных деталей машину следует разобрать.

При вывинчивании винтов необходимо соблюдать осторожность, чтобы отвертка не соскочила и не повредила обмотку.

Контактные сельсины разбирать в следующем порядке:

- отсоединить выводные концы обмотки статора от контактных винтов клеммной колодки;
- вывинтить винты и снять траверсу с клеммной колодкой;
- выбить из валика ротора штифты, крепящие упорные втулки шарикоподшипников;
- вывинтить винты крепления задней крышки к корпусу и осторожно снять заднюю крышку вместе с ротором, слегка постукивая деревянным молотком в торец валика ротора со стороны передней крышки (со стороны колец);
- вывинтить винты крепления передней крышки к корпусу и снять переднюю крышку;
- вывинтить винты на задней крышке и снять крышку шарикоподшипника;
- выбить деревянным молотком ротор с шарикоподшипником из задней крышки.

Шарикоподшипники снимать с валика ротора с помощью съемника (рис. 85) только в случае необходимости их проверки или замены.

Вращающиеся трансформаторы разбирать аналогично контактным сельсинам.

Бесконтактные сельсины БД-404А и БС-404А разбирать в следующем порядке:

- в сельсине БС-404А отвинтить гайку 10 крепления демпфера 7 и снять демпфер с валика ротора;
- вывинтить винты крепления клеммной колодки 13 и отвести колодку от крышки;
- вывинтить винты крепления клемм 12 в колодке, вынуть клеммы из гнезд и отделить колодку;
- вывинтить винты крепления крышки к корпусу 1;
- выбить ротор 6 с шарикоподшипниками и крышкой, осторожно постукивая деревянным молотком по заднему концу валика ротора (со стороны крепления демпфера);
- выбить ротор с передним шарикоподшипником из гнезда крышки, осторожно постукивая деревянным молотком по переднему концу валика ротора;
- вывинтить винты и снять переднюю 15 и заднюю 9 крышки шарикоподшипников.

Шарикоподшипники снимать с валика ротора только в случае необходимости их проверки или замены. Для этого выбить конические штифты крепления колец 14 и снять кольца. Шарикоподшипники снимать с шеек вала с помощью съемника.

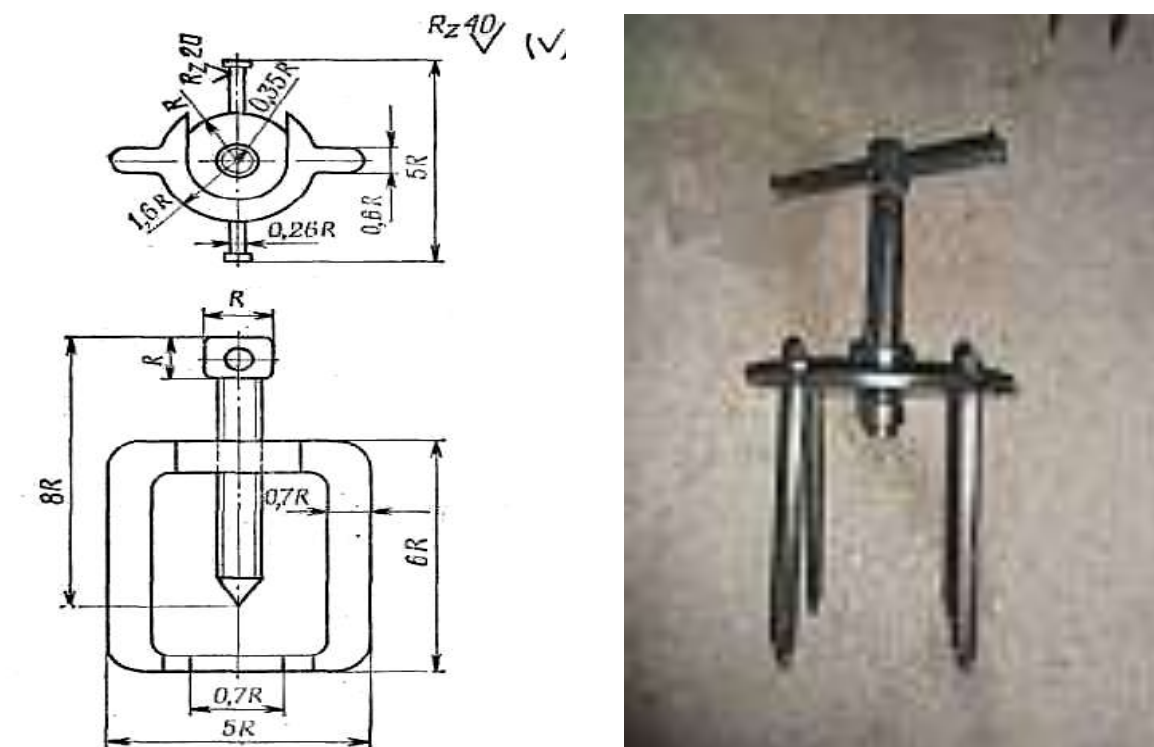


Рис. 86. Съемник для снятия подшипников сельсинов

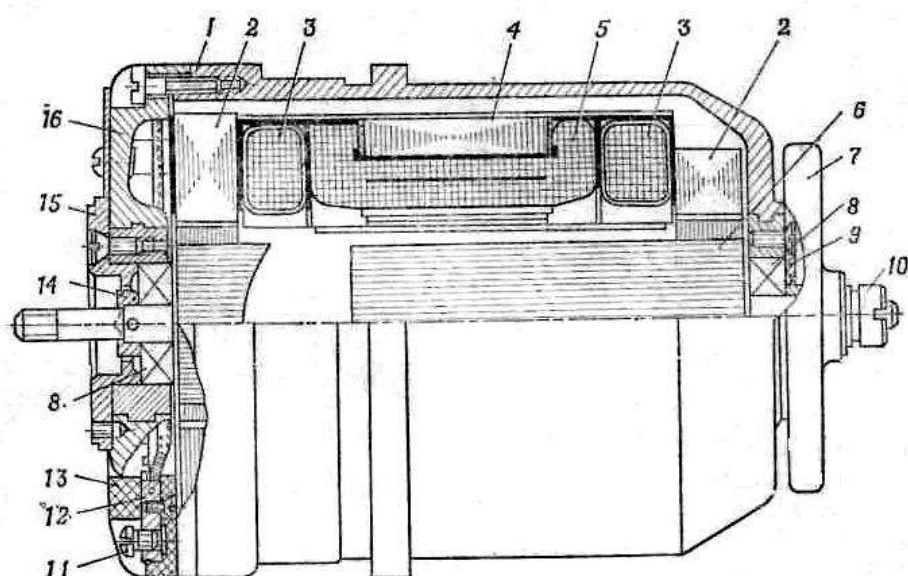


Рис. 87. Бесконтактный сельсин БС-404А:

1 – корпус; 2 – тороид; 3 – катушка обмотки возбуждения; 4 – статор; 5 – обмотка статора; 6 – ротор; 7 – демпфер; 8 – шарикоподшипник; 9 – крышка заднего шарикоподшипника; 10 – гайка; 11 – контактный винт; 12 – клемма; 13 – клеммная колодка; 14 – кольцо; 15 – крышка переднего шарикоподшипника; 16 – крышка

Бесконтактные сельсины БД-501А и БС-501А (рис. 87) разбирать в следующем порядке:

- отвинтить гайки стяжных болтов 6 и вынуть болты;
- выбить ротор 8 с шарикоподшипниками и задней крышкой 7, осторожно постукивая деревянным молотком по концу валика ротора со стороны передней крышки;
- выбить ротор с шарикоподшипниками из задней крышки, осторожно постукивая деревянным молотком по заднему концу валика ротора;
- вывинтить винты крепления клеммной колодки 14 и отвести колодку от передней крышки;
- вывинтить винты крепления клемм 13 к колодке, вынуть клеммы из гнезд и снять колодку;
- снять переднюю крышку;
- вывинтить винты и снять крышки переднего 15 и заднего 10 шарикоподшипников.

Шарикоподшипники для их проверки или замены снимать с валика ротора так же, как в сельсинах БД-404А и БС-501А.

Дальнейшая разборка бесконтактных сельсинов не допускается.

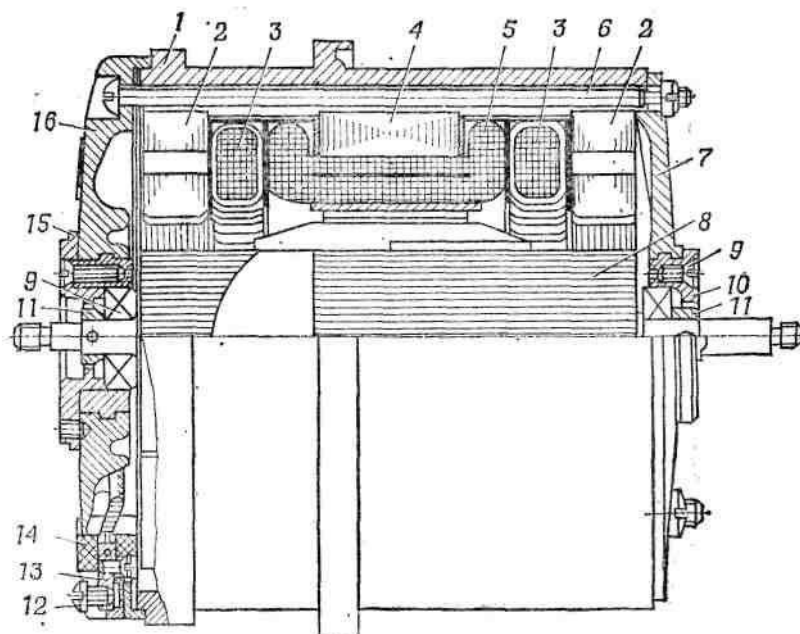


Рис. 88. Бесконтактный сельсин БД-501А: 1 – корпус; 2 – тороид; 3 – катушка обмотки возбуждения; 4 – статор; 5 – обмотка статора; 6 – стяжной болт; 7 – задняя крышка; 8 – ротор; 9 – шарикоподшипник; 10 – крышка заднего шарикоподшипника; 11 – кольцо; 12 – контактный винт; 13 – клемма; 14 – клеммная колодка; 15 – крышка переднего шарикоподшипника; 16 – передняя крышка

После разборки узлы и детали проверить внешним осмотром, механической и электрической проверками.

При внешнем осмотре проверить состояние пакета статора и ротора, посадочных поверхностей крышек и корпуса, а также состояние шарикоподшипников.

В контактных сельсинах и вращающихся трансформаторах проверить, кроме того, состояние траверсы, щеткодержателей, их пружин и щеток; в бесконтактных сельсинах БД-404А и БС-404А проверить исправность демпфера.

При проверке убедиться в том, что пакеты статора и ротора не имеют нарушений слоя противокоррозионного покрытия, забоин, заусенцев и ослабления прессовых пластин, которые должны плотно прилегать одна к другой; шейки валика ротора не имеют коррозии и забоин; на посадочных поверхностях корпуса и крышек нет забоин, вмятин и других механических повреждений.

Шарикоподшипники, снятые с валика ротора, дефектировать в соответствии с указаниями требованиям к ним.

Траверса, контактные пластины и щеткодержатели контактных сельсинов не должны иметь погнутостей, трещин и других механических повреждений. Пружины щеткодержателей усиленных сельсинов должны обладать достаточной упругостью.

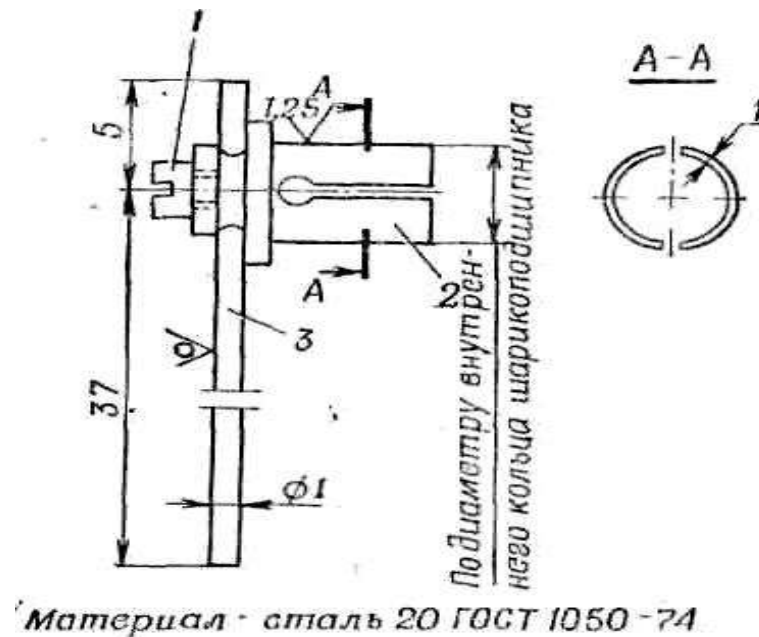


Рис. 89. Оправка для проверки момента трения подшипников:

1 – винт; 2 – оправка; 3 – стрелка

Серебряные щетки должны иметь полированную блестящую поверхность. При нарушении покрытия ротора в процессе разборки, необходимо поврежденные участки обезжирить, протерев их марлевым тампоном, смоченным бензином Б-70, после чего просушить и подкрасить. Посадочные места шарикоподшипников очистить от смазки бязью или марлей, увлажненной бензином.

При осмотре демпфера убедиться в том, что пружина крепления втулки плотно обжимает втулку и лежит в ее желобке, демпферная пружина охватывает втулку, и концы ее удерживаются шайбой. Маховик должен проворачиваться относительно втулки с некоторым усилием. На всех деталях демпфера не должно быть коррозии и механических повреждений.

Механическая проверка включает:

- проверку момента трения подшипников;
- измерение биений пакета ротора и шеек валика.

Для проверки момента трения подшипник надеть внутренним кольцом на оправку со стрелкой (рис. 89). Удерживая шарикоподшипник рукой за наружное кольцо, отклонить стрелку в горизонтальное положение. Размеры стрелки выбираются такими, чтобы создавался момент, равный 0,4 гс-см. Отпущенная стрелка должна вернуться в исходное (вертикальное) положение, свидетельствующее о том, что момент трения подшипника не превышает требуемой величины (0,4 гс-см).

Шарикоподшипники, имеющие момент трения, превышающий величину 0,4, подлежат замене.

Для измерения биения пакета ротора и шеек валика ротор установить в центрах токарного станка или в настольных центрах. Биения измерять с помощью стрелочного индикатора, укрепленного на стойке. Допустимая величина биения пакета ротора и шеек валика 0,05 мм.

5.12. Ремонт узлов и деталей сельсинов и вращающихся трансформаторов после разборки

5.12.1. Устранение неисправностей механических узлов и деталей

Если при проверке машины были обнаружены неисправности, необходимо их устранить согласно указаниям, приведенным ниже:

- нарушено гальваническое покрытие деталей – неисправную деталь заменить;

- нарушена окраска поверхностей – удалить старую краску и произвести окраску вновь;
- имеются трещины в корпусе и крышках статора – неисправную деталь заменить;
- забита резьба на концах вала ротора – прогнать резьбу плашкой М4;
- имеются сколы на пресс-порошковых деталях, не влияющие на механическую прочность, – отремонтировать с помощью стиракрила;
- расколота плата траверсы – плату заменить;
- окислены и имеют механические повреждения (царапины) контактные кольца – полировать кольца до зеркального блеска пастой ГОИ, нанесенной на хлопчатобумажную ленту. При значительных повреждениях колец (глубоких царапинах, вмятинах, трещинах) необходимо сельсин (трансформатор) заменить;
- занижено сопротивление изоляции токоведущих частей относительно корпуса, статорной и роторной обмоток между собой – просушить обмотку; если эта мера не приведет к норме, пропитать ее лаком;
- нарушена изоляция выводных концов проводов – заменить изолирующие полихлорвиниловые трубки;
- имеется коррозия пакетов ротора или статора – удалить коррозию мелкой шкуркой, обезжирить очищенную поверхность марлевым тампоном, смоченным бензином Б-70, и покрыть грунтом ГФ-020;
- имеется коррозия шарикоподшипников – заменить шарикоподшипник на новый;
- повышен момент трения шарикоподшипника – шарикоподшипник промыть бензином Б-70 и смазать смазкой ЦИАТИМ-201;
- имеются забоины и царапины на шейках валика ротора. Допускаются незначительные царапины и забоины до 0,02 мм. В случае глубоких царапин и забоин сельсин (трансформатор) заменить;
- увеличено радиальное биение пакета ротора, шеек вала и контактных колец – произвести рихтовку в центрах, шлифовку и полировку контактных колец;
- нарушена лакировка обмоток ротора (статора) – покрыть лобовые части обмоток лаком БТ-99п.
- нарушена статическая балансировка ротора – отбалансировать ротор закладкой свинца в пазы;
- недостаточная надежность контакта между щетками и контактными кольцами – протереть контактные поверхности щеток и контактные кольца спиртом.

Правку валика ротора производить в том случае, если при дефектации обнаружена его погнутость. Место погнутости установить с помощью индикатора. Если погнуты концы валика, то лучше править его в собранном сельсине. Для этого на конец валика навинтить гайку и легкими ударами молотка из мягкого металла по гайке выправить валик, проверяя его биение индикатором. При повышенном биении шеек валика или пакета ротор уложить шейками на деревянные подкладки и править легкими ударами молотка по пакету ротора через прокладку из твердого дерева или текстолита, не допуская при этом повреждения обмотки или изоляции колец.

При повышенном биении колец проточка их **категорически запрещается**. Биение устранять правкой валика ротора.

После правки вновь проверить биение шеек, пакета, колец и концов валика ротора. Биение не должно превосходить 0,05 мм.

Ремонт щеточных траверс и регулировка давления щеток производятся в случае выявления неисправностей траверс.

Возможны следующие неисправности щеток траверс:

- трещины или поломки изоляционной платы;
- срыв резьбы или поломка клемм;
- поломка щеткодержателей;
- поломка или ослабление пружины щеткодержателя усиленного сельсина.

Сломанную изоляционную плату заменить изготовленной по образцу из гетинакса или текстолита с последующей пропиткой электроизоляционным лаком.



Рис. 90. Регулирующая лапка

Клеммы с сорванной резьбой или сломанные заменить изготовленными по образцу из латуни.

В случае поломки щеткодержателей сельсина малой мощности изготовить новые щеткодержатели из твердокатаной фосфористой бронзы ОФ6-6,5 толщиной 0,15 мм. Щетку вставить в отверстие щеткодержателя и расклепать с нерабочей стороны. После установки щетку отшлифовать тонкой крокусной бумагой и отполировать до зеркального блеска пастой ГОИ, нанесенной на хлопчатобумажную ленту.

Сломанную пружину щеткодержателя усиленного сельсина заменить изготовленной по образцу из стальной углеродистой пружинной проволоки ГОСТ 1071-67. Ослабевшую или растянувшуюся пружину укоротить на 2–3 витка.

Нажатие щеток на кольца в сельсинах, вращающихся трансформаторах малой мощности регулировать подгибанием пружинных щеткодержателей при вынутом роторе, в усиленных сельсинах – путем укорочения или растяжения пружины щеткодержателей. Регулировать нажатие щеток, на кольца с помощью лапки (рис. 90).

5.13. Сборка сельсинов и вращающихся трансформаторов после ремонта

Устойчивость и точность работы отремонтированных сельсинов в значительной степени зависят от качества их сборки.

Детали и узлы, поступающие на сборку, должны быть проверены и очищены от пыли.

Сборку контактных сельсинов производите в такой последовательности:

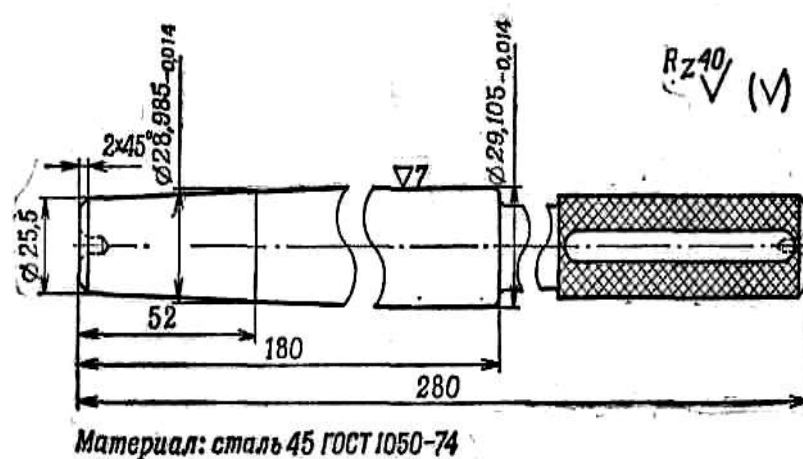


Рис. 91. Оправка для установки полюсов

- насадите на валик ротора защитные шайбы и шарикоподшипники; напрессуйте шарикоподшипники на валик ротора либо на прессе

с помощью оправки, либо в слесарных тисках легкими ударами молотка по торцу трубки;

- в последнем случае пакет (при вертикальном положении ротора) осторожно зажать в тисках через деревянные прокладки; на валик ротора надеть шарикоподшипник и трубку, опирающуюся на внутреннее кольцо подшипника через латунную или медную шайбу;

- в сельсинах с разъемными полюсами установите в ярмо полюсы с насаженными на них статорными катушками и привинтите их винтами; плотно прижать полюсы к ярму с помощью оправки (такая оправка для сельсинов СС-405 показана на рис. 92), затем полюсы окончательно привинтите винтами, оправку с насаженным на нее статором установить в центрах токарного станка и с помощью индикатора проверьте concentricity наружного диаметра статора относительно отверстия полюсов; допустимый эксцентриситет 0,08 мм;

- привинтите заднюю крышку к статору; во избежание перекоса крышки винты затяните равномерно;

- установите ротор в статор и легкими ударами деревянного молотка в торец оси ротора осторожно, чтобы не повредить железа ротора и статора, посадите подшипник в гнездо задней крышки, совмещая при этом отверстия под винты; проверьте легкость вращения ротора от руки;

- установите переднюю крышку, равномерно подтягивая винты ее крепления к статору;

- смажьте подшипники смазкой ЦИАТИМ-201;

- проверьте осевой люфт ротора с помощью индикатора (п. 5.10);

- допустимые величины осевых люфтов сельсинов приведены в справочнике. Если осевой люфт повышен, снимите крышку подшипника в передней или задней крышке сельсина и установите в гнезда шарикоподшипников регулировочные шайбы из медной или латунной фольги толщиной 0,05 мм (не более трех шайб); шайбы изготовьте по диаметру наружного кольца шарикоподшипников; после регулировки осевого люфта проверьте момент трения сельсина; проверку произведите на стенде (рис. 92) аналогично тому, как это делается при проверке момента трения при дефектации сельсина;

- проверьте с помощью индикатора радиальное биение контактных колец наружного диаметра статора и концов оси ротора (п. 5.10).

Сборку бесконтактных сельсинов производить в такой последовательности:

- насадите на валик ротора шарикоподшипники способом, описанным выше;

- установите на валик ротора кольца и заштифтовать их коническими штифтами; концы штифта не должны выступать больше чем на 0,5 мм;
- привинтите винтами крышки шарикоподшипников к крышкам сельсина;

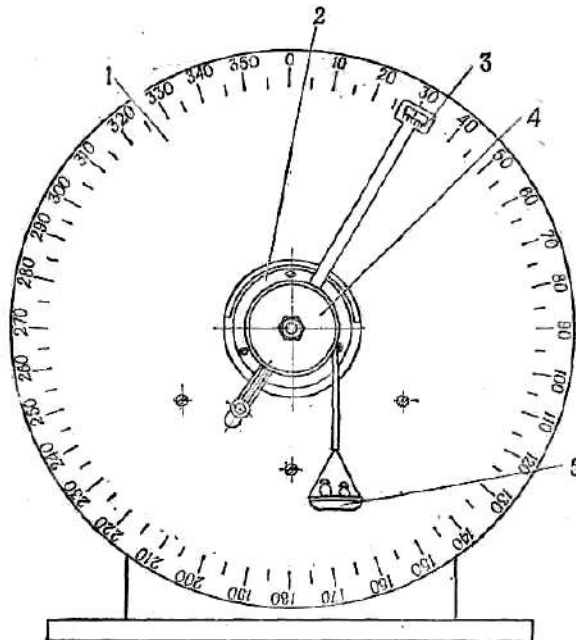


Рис. 92. Стенд для проверки статических моментов сельсина-приемника:
1 – диск со шкалой; 2 – испытуемый сельсин; 3 – стрелка; 4 – шкив; 5 – чашечка с грузом

- в сельсинах БД-501А и БС-501А пропустите выводы обмоток в отверстие передней крышки и уложить их так, чтобы они не попали под замок крышки, поставьте крышку на место и привинтите ее к корпусу;
- посадите ротор с шарикоподшипниками в гнездо крышки (в гнездо задней крышки в сельсинах БД-501А и БС-501А) до упора наружного кольца в крышку шарикоподшипника; установку производите легким постукиванием деревянным молотком по концу валика ротора, не допуская перекоса шарикоподшипника в гнезде крышки;
- введите ротор вместе с крышкой в статор сельсина и, легко постукивая деревянным молотком по концу валика ротора, посадите шарикоподшипник в гнездо корпуса сельсина (в гнездо передней крышки в сельсинах БД-501А и БС-501А) до упора наружного кольца в крышку шарикоподшипника;
- привинтите крышку сельсина к корпусу;
- заведите клеммы выводов в соответствующие гнезда клеммной колодки и закрепите их винтами, при этом не должно быть перекрещивания и резких перегибов выводных концов;

- привинтите клеммную колодку к крышке сельсина;
 - смажьте шарикоподшипники смазкой ЦИАТИМ-201;
 - проверьте осевой люфт ротора и момент трения сельсина (п. 5.10);
- если осевой люфт повышен, снимите крышку переднего шарикоподшипника и установить в гнездо регулировочные шайбы (не больше трех шайб);
- в сельсине БС-404А установите на валик ротора демпфер и закрепить его гайкой;
 - проверьте с помощью индикатора радиальное биение концов валика ротора, наружной поверхности корпуса и торцовое биение буртика корпуса (п. 5.10).

5.14. Испытания сельсинов и вращающихся трансформаторов

После ремонта собранный сельсин или вращающийся трансформатор необходимо испытать в целях проверки качества ремонта и соответствия характеристик отремонтированного сельсина или вращающегося трансформатора паспортным данным.

Перед испытанием должны быть проверены качество сборки и механические параметры (п. 5.10).

Испытания включают следующие проверки:

- сопротивления изоляции токоведущих частей относительно корпуса;
- величины сопротивления обмоток статора и ротора;
- момента трения возбужденного сельсина;
- максимального и удельного статических моментов сельсинов-приемников;
- времени успокоения;
- величин тока возбуждения и максимального вторичного напряжения;
- точности работы сельсинов.

Проверку сопротивления изоляции и сопротивления обмоток производить по методике, описанной в п. 5.10.

5.14.1. Проверка момента трения возбужденного сельсина

Для проверки установите сельсин на призме или в приспособлении (рис. 5.23) и закрепите на валике ротора сельсина шкив диаметром 20 мм. Вокруг шкива на 2–3 оборота надо обернуть нить с привязанной к ней чашечкой для груза и подать номинальное напряжение на обмотку возбуждения.

Установите груз на чашечку и увеличивайте его до тех пор, пока шкив вместе с ротором не начнет вращаться. Произведение радиуса шкива на массу груза (с учетом массы чашечки), при которой нить полностью сматывается со шкива, равно моменту возбужденного сельсина. Полученный момент трения не должен превышать величин, указанных в справочниках.

5.14.2. Проверка максимального и удельного статических моментов сельсинов-приемников

Испытуемый сельсин-приемник закрепите на стенде со шкалой, разделенной на 360° , и с ценой деления 5° , затем подключить к соответствующему сельсину-датчику, ротор которого заторможен (рис. 92). На валике сельсина-приемника закрепите стрелку и шкив диаметром 50 мм. К шкиву на нити подвесьте груз, создающий момент нагрузки. С увеличением груза будет увеличиваться угол рассогласования между сельсином-приемником и сельсином-датчиком. Максимальный статический момент приемника соответствует максимальному углу рассогласования, после достижения, которого сельсин-приемник выходит из синхронизма. Статический момент определяется произведением массы груза на радиус шкива.

Для определения удельного статического момента измерьте статический момент, соответствующий углу рассогласования 5° , и разделить его на число градусов (равное пяти).

Измеренные номинальные величины максимального и удельного статических моментов должны соответствовать данным, указанным в справочниках.

5.14.3. Проверка времени успокоения

Время успокоения проверять следующим способом.

Испытуемый сельсин-приемник подключите к датчику, ротор которого заторможен. На валике сельсина-приемника укрепить стрелку 1 (рис. 93) из листовой стали с нониусом, предварительно уравновешенную грузиком 2.

При включении напряжения отвести стрелку от согласованного положения на угол, равный 179° , и затем отпустите ее. Время колебаний ротора сельсина-приемника от момента отпускания стрелки до установки его в согласованное положение не должно превышать 3 с. Для сельсина ЭД-101 время успокоения не должно превышать 4 с.

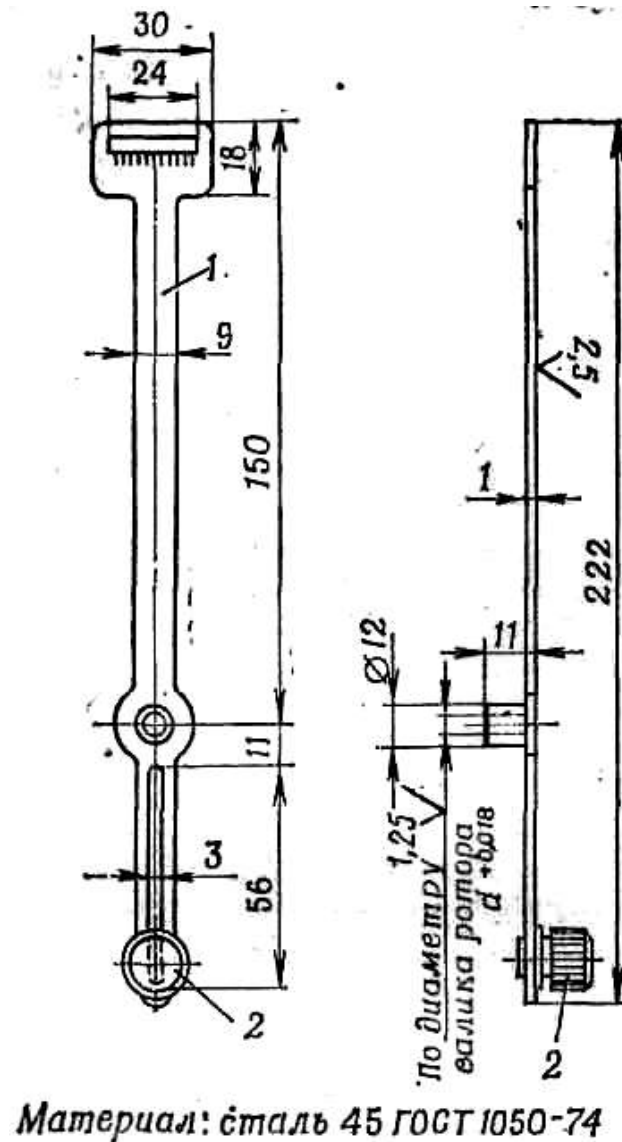


Рис. 93. Стрелка с нониусом: 1 – стрелка; 2 – грузик

Если время успокоения превышает приведенное выше значение, вторично тщательно проверьте сельсин, а также проверить постоянство контакта в щетках (п. 5.10) и величину питающего напряжения.

5.14.4. Проверка величин тока возбуждения и максимального вторичного напряжения

Для измерения тока возбуждения включить в цепь возбуждения амперметр и подать на обмотку возбуждения номинальное напряжение, вторичная обмотка при этом должна быть разомкнута.

Вторичное напряжение измерять поочередно между каждой парой выводов вторичной (трехфазной) обмотки ламповым вольтметром.

При измерении ротор сельсина медленно поворачивать рукой до получения максимального показания вольтметра. Разность линейных напряжений сельсина не должна превышать 0,5 В,

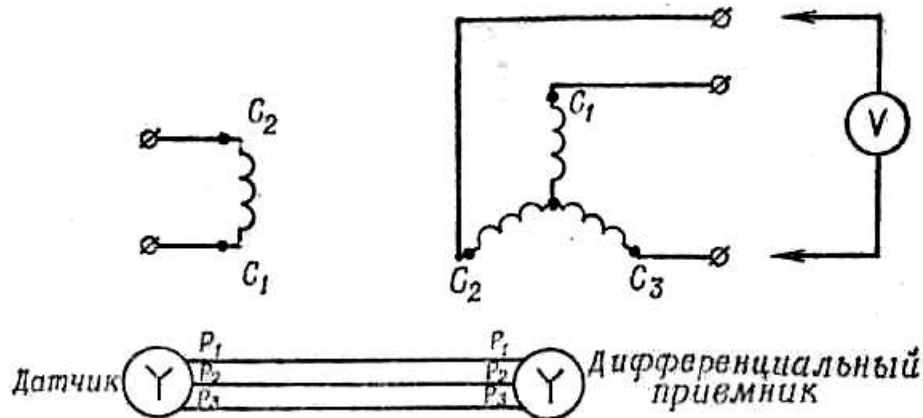


Рис. 94. Схема проверки симметрии линейных напряжений фаз статора дифференциального сельсина-приемника:

V – вольтметр переменного тока кл. 2,5 с пределом измерений 60 В

Измеренные величины тока возбуждения и максимального вторичного напряжения должны соответствовать номинальным значениям, приведенным в справочниках.

В дифференциальных сельсинах-приемниках величину вторичных линейных напряжений фаз ротора не измерять. Разность линейных напряжений фаз статора определять следующим образом: соединить дифференциальный приемник с сельсином-датчиком с заторможенным ротором, как показано на (рис. 94). На обмотку возбуждения сельсина-датчика подать напряжение ПО В, 50 Гц. Вращая ротор сельсина-датчика, измерить максимальные значения напряжения между каждой парой фаз статора. Разность между полученными значениями напряжения не должна превышать 0,5 В.

Контрольные вопросы

1. Характерные неисправности электрических двигателей?
2. Характерные неисправности электрических генераторов?
3. Причины неисправности электрических двигателей?
4. Причины неисправности электрических генераторов?
5. Способы устранения неисправностей двигателей?
6. Способы устранения неисправностей генераторов?

7. Порядок и правила проведения внешнего осмотра?
8. Порядок и правила проведения электрической проверки электрических машин?
9. Последовательность разборки электрических машин?
10. Порядок проверки обмотки статора после разборки машины?
11. Порядок проверки обмотки якоря электрической машины?
12. Порядок проверки коллектора или контактных колец?
13. Порядок проверки щеткодержателей и щеток?
14. Методы устранения неисправностей?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наряду с изложением основных принципов монтажа и основных методов расчета авторы стремились по возможности придать методическому пособию практический прикладной характер, снабдив его примерами и рекомендациями по различным схемным и конструктивным решениям системы электроснабжения.

Кроме этого в пособии имеются ссылки на литературу, где тот или иной вопрос рассмотрен более подробно.

ПРОЦЕСС СНЯТИЯ ШКИВА С ВАЛА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ЛАПЧАТОГО СЪЕМНИКА

На рис. П.1 показана схема конструкции лапчатого съемника, поясняющая процесс снятия шкива 5 с вала электродвигателя. Лапы 4 съемника накладывают на наружную поверхность шкива и, вращая рукоятку захвата 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.

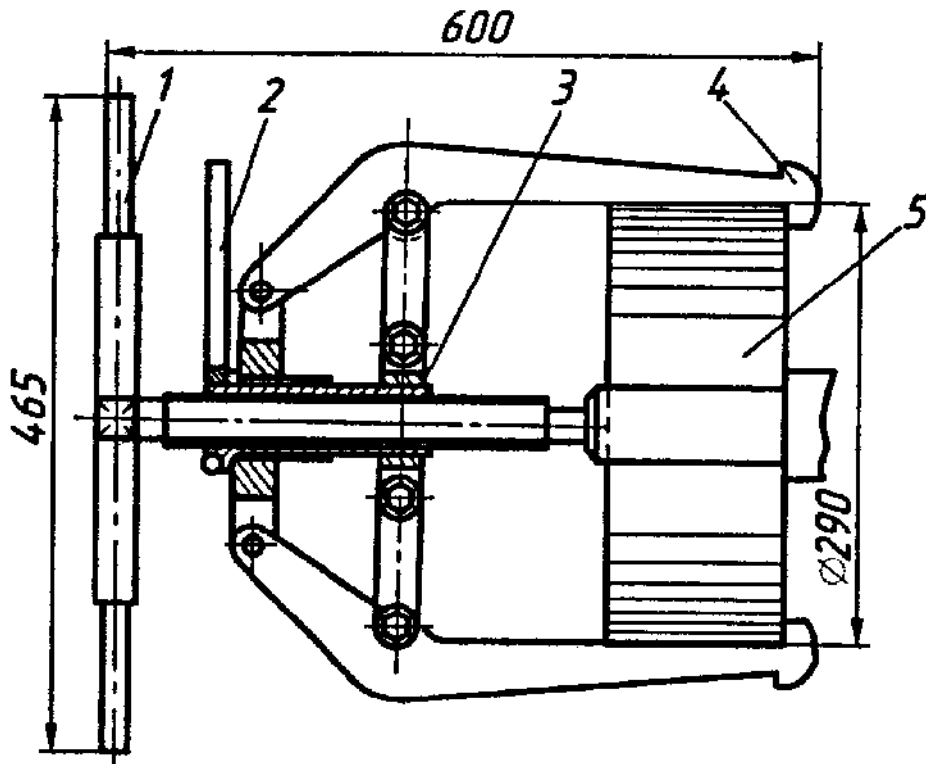


Рис. П.1. Схема конструкции лапчатого съемника:

1 – рукоятка; 2 – рукоятка захвата; 3 – гайка; 4 – лапа; 5 – шкив

УСТРОЙСТВО ДЛЯ СНЯТИЯ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ С АКСИАЛЬНЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ С ВАЛА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

На рис. П.2 показана схема конструкции съемника с траверсой, поясняющая процесс снятия деталей с аксиальными отверстиями с вала электродвигателя. С таким съемником может работать один рабочий.

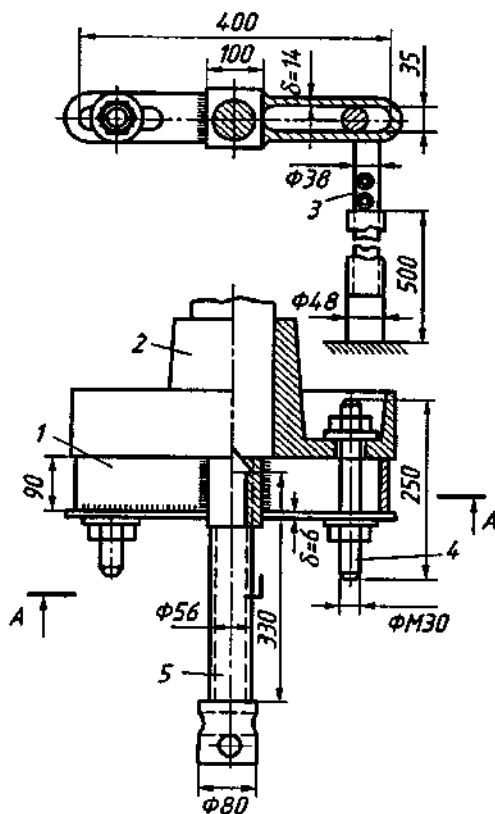


Рис. П.2. Схема конструкции съемника с траверсой:
1 – траверса; 2 – деталь; 3 – раздвижные трубы; 4 – болт

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.

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ВЫЕМА И ВВОДА РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

На рис. П.3 показана схема конструкции приспособления для выема и ввода ротора электродвигателя. Процесс выема и ввода ротора осуществляется следующим образом. 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.

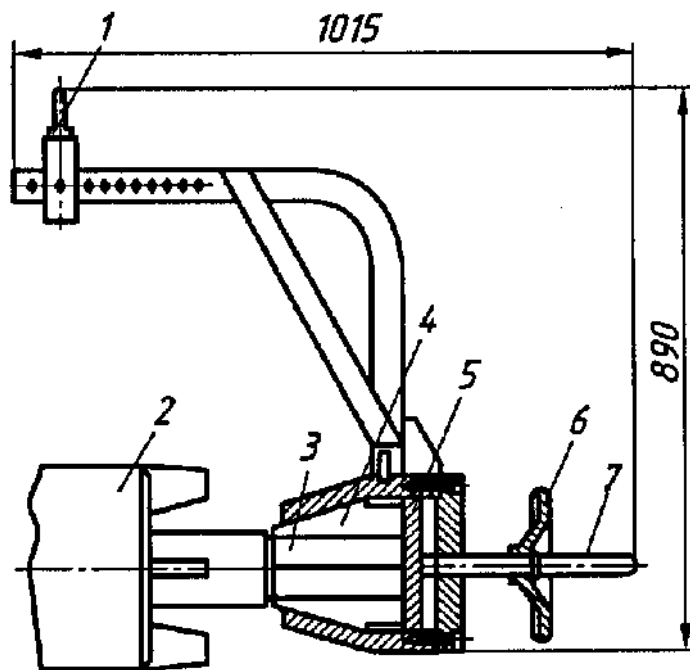


Рис. П.3. Схема конструкции приспособления для выема и ввода ротора электродвигателя: 1 – серьга; 2 – ротор; 3 – вал; 4 – кулачки; 5 – пластина; 6 – рукоятка; 7 – ось

СНЯТИЕ ПОДШИПНИКОВ С ВАЛА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВСТАВОК И ХОМУТА

При снятии подшипников с вала электродвигателя применяют специальные съемники, оснащенные вставками рис. П.4(а) или применяют разъемные хомуты рис. П.4(б), которые соединяются со съемником с помощью тяг.

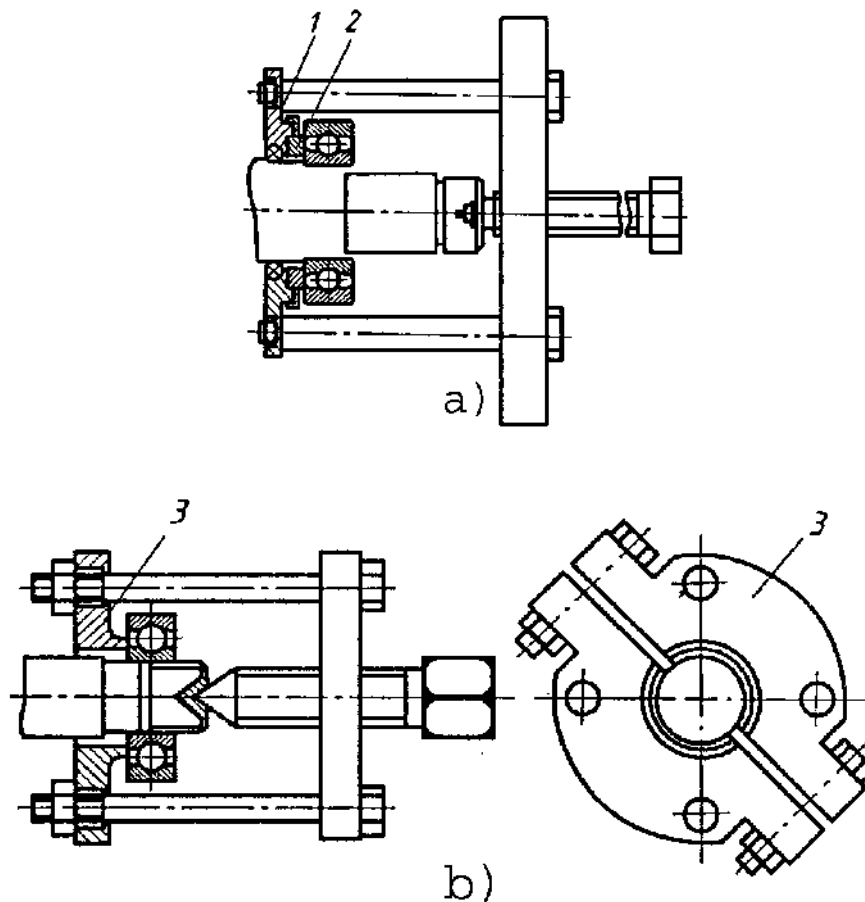


Рис. П.4. Схема снятия подшипников с использованием вставок (а) и хомута (б):
1 – внутренняя крышка подшипника; 2 – прокладки; 3 – хомут

В первом случае (рис. П.4а) между крышкой 1 и подшипником устанавливают специальные прокладки 2. Если имеется место, то для съема подшипников используют разъемный хомут 3.

СНЯТИЕ ПОДШИПНИКОВ С ВАЛА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПОДВЕСНОГО СЪЕМНИКА

При снятии подшипников с вала электродвигателя применяют гидравлические подвесные съемники. Такие съемники позволяют снимать подшипники с валов двигателей с высотой оси вращения 180–280 мм (6–9 габаритов). Процесс снятия подшипников осуществляется следующим образом. На вал двигателя с подшипником одевается скоба 1, имеющая на внутренней части выступ, которым упирается во внутреннее кольцо подшипника. На вал ротора устанавливается цилиндр 3, который соединяется с помощью тяг 2 со скобой 1. Масло под давлением нагнетается во внутреннюю полость цилиндра 3, при этом скоба 1 приводится в движение и подшипник снимается с вала.

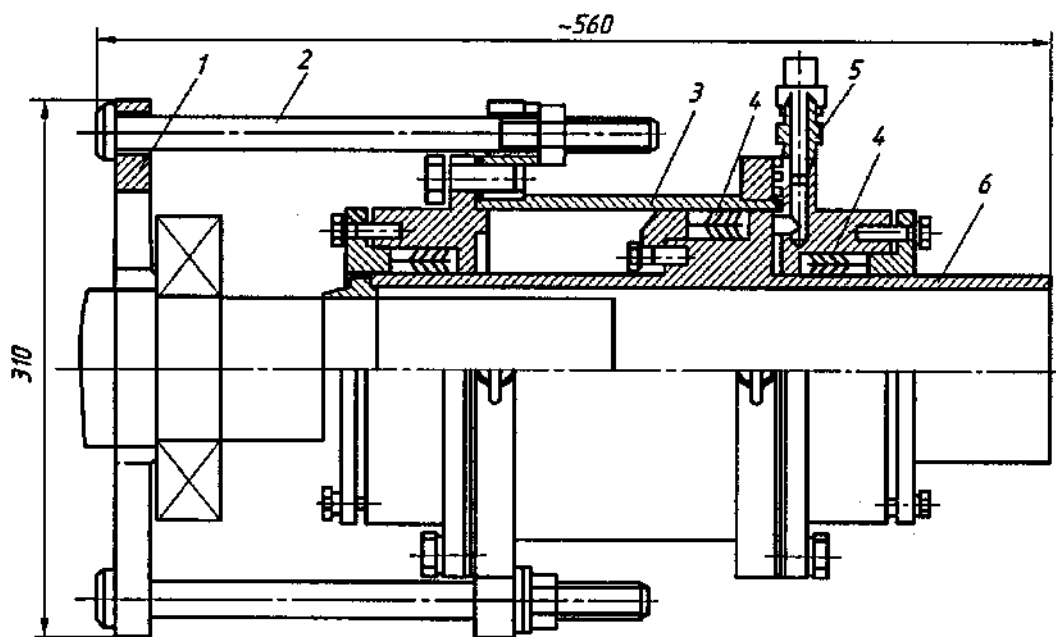


Рис. П.5. Гидравлический подвесной съемник для снятия подшипников с валов двигателей с высотой оси вращения 180–280 мм: 1 – скоба; 2 – тяга; 3 – цилиндр; 4 – уплотнение; 5 – штуцер; 6 – поршень

СТЕНД ДЛЯ РАЗБОРКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

На электроремонтных предприятиях для разборки двигателей с высотой оси вращения 112–280 мм (3–9 габаритов) используют специальный стенд для разборки двигателей (рис. П.6). Перед установкой на стенд с двигателя снимают кожух вентилятора, вентилятор и болты, крепящие крышки подшипников и подшипниковые щиты.

Двигатель устанавливают на стенде рабочим концом вала к подвижной стойке 1 и закрепляют с помощью зажимного устройства 6, находящегося на столе 7, который в свою очередь может передвигаться по направляющим 8. 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).

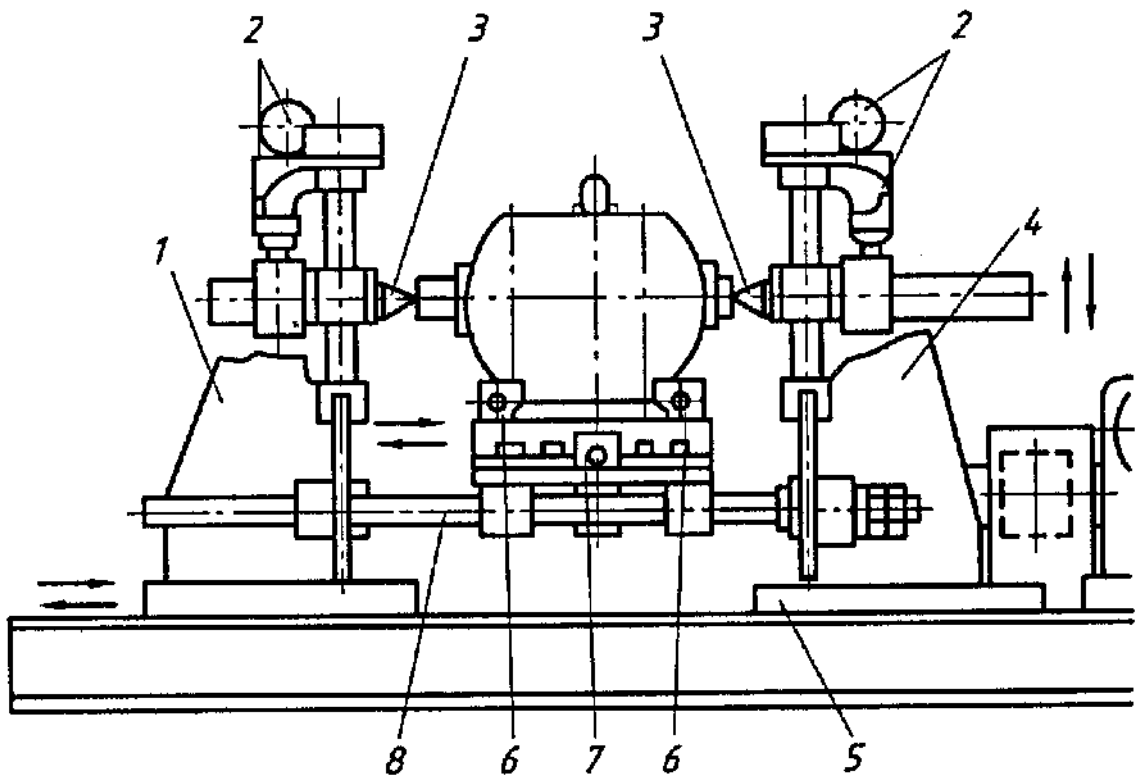


Рис. П.6. Стенд для разборки электродвигателя:

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

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. Устанавливают опорную вилку между левым подшипником и корпусом двигателя и включают движение стола 7 влево, производя выпрессовку левого подшипника с вала. Затем выводят пиноли 3 из центров вала, поворачивают стол 5 с двигателем на угол $60-90^\circ$ 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.

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ВЫВОДА РОТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Приспособление содержит специальные скобы (для роторов массой до 500 кг), пригодных для роторов машин до 19-го габарита включительно. Для выведения ротора на кран подвешивают траверсу 4 (рис. П.7) с двумя регулировочными болтами 3.

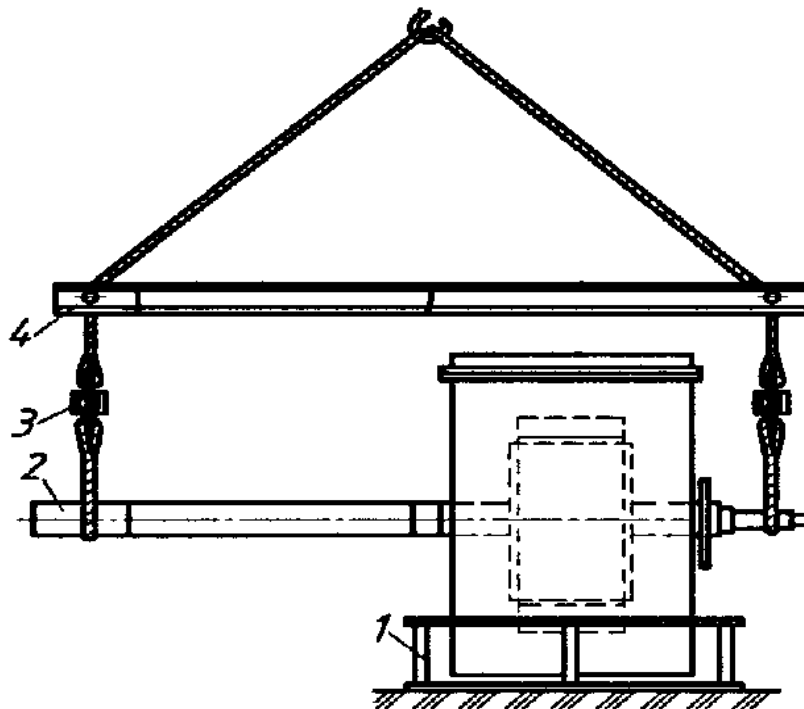


Рис. П.7. Приспособление для вывода ротора из статора:
1 – фундаментная плита; 2 – удлинитель; 3 – регулировочные болты; 4 – траверса

На вал одевают удлинитель 2. Вывесив ротор с помощью крана и 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.

СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ВЫВОДА РОТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

При отсутствии грузоподъемных механизмов для разборки крупных электрических машин используют специальные приспособления, позволяющие выводить ротор из статора (рис. П.8).

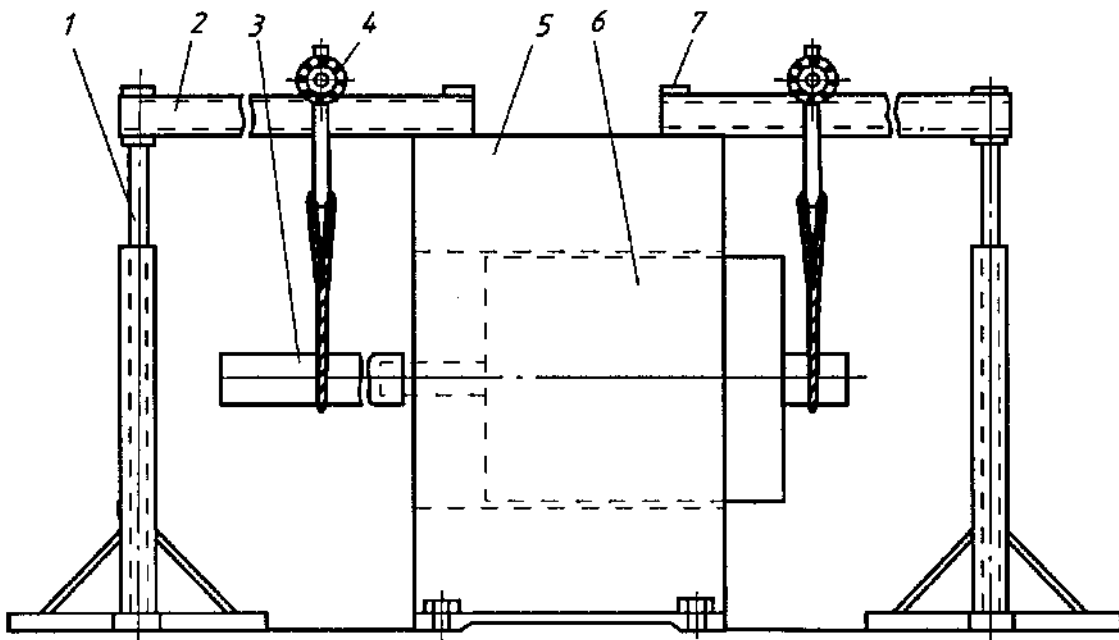


Рис. П.8. Приспособление для вывода ротора из статора: 1 – стойка; 2 – балка; 3 – удлинитель; 4 – грузовой ролик; 5 – статор; 6 – ротор; 7 – накладка – упор

Специальное приспособление состоит из стоек 1, к которым прикреплены балки 2, свободным концом опирающиеся на статор 5. Балки 2 оснащены грузовыми роликами 4 и накладками-упорами 7. При снятии ротора 6 на концы вала надеваются удлинители 3. Грузовые ролики 4 снабжены грузовыми тросами, на которых вывешивается с помощью удлинителей 3 ротор 6.

СПЕЦИАЛЬНЫЙ СТАНОК ДЛЯ ОБРЕЗКИ ЛОБОВОЙ ЧАСТИ ОБМОТКИ

Принципиальная схема станка СО-3М приведена на рис. П.9. 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 6 с помощью электропривода 7 подводится к лобовой части обмотки статора.

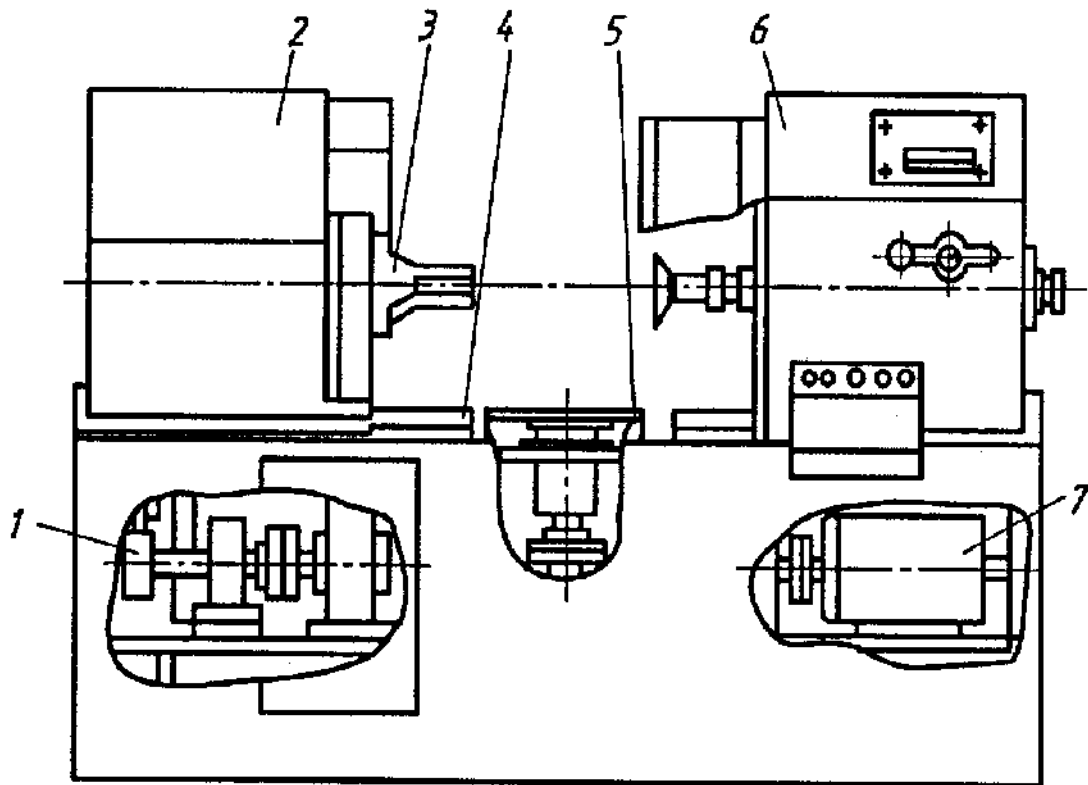


Рис. П.9. Принципиальная схема станка СО-3М:

1 – электропривод подачи задней бабки; 2 – задняя бабка; 3 – патрон;
4 – направляющие; 5 – стол; 6 – передняя бабка; 7 – электропривод передней бабки

КОНСТРУКЦИЯ ОТРЕЗНОГО УСТРОЙСТВА СТАНКА СО-3М

Конструкция отрезного устройства станка СО-3М представлена на схеме рис. П.10.

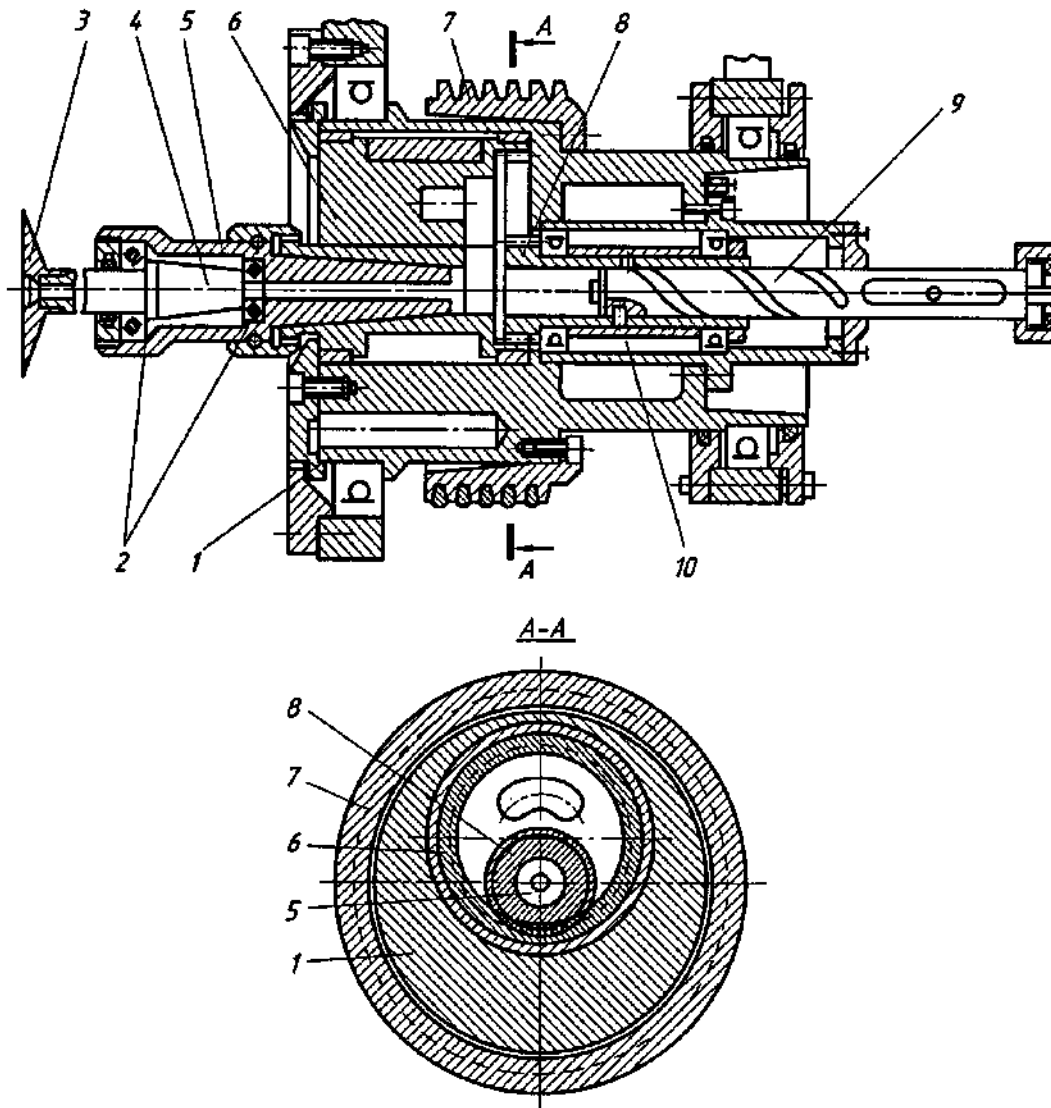


Рис. П.10. Схема конструкции отрезного устройства станка СО-3М:

1 – оправка; 2 – подшипники; 3 – режущий диск; 4 – вал; 5 – державка; 6 – суппорт;
7 – шкив; 8 – гайка-шестерня; 9 – винт; 10 – ролики

Ось вращения, установленного на передней бабке отрезного устройства, 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 (см. рис. П.9) возвращается в исходное положение, сжимаются и возвращаются в исходное положение кулачки 3, а статор перемещается на следующую операцию.

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РАЗОГРЕВА И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОБМОТКИ СТАТОРА

На рис. П.11 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.

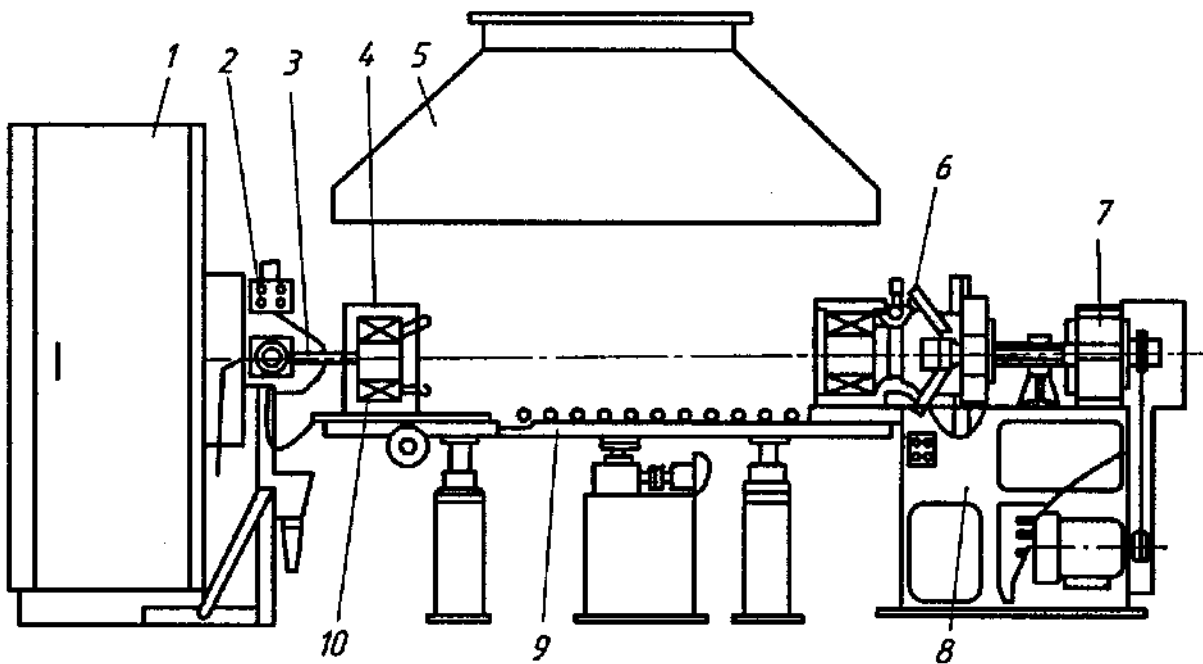


Рис. П.11. Схема высокочастотной установки для разогрева и извлечения обмотки статора: 1 – генератор; 2 – пульт управления; 3 – зажим; 4 – статор; 5 – вытяжной зонт; 6 – крючки; 7 – пневматический цилиндр; 8 – механизм выдергивания; 9 – рольганг; 10 – индуктор

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/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.

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

СТАНОК ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ОБМОТКИ ИЗ СТАТОРОВ

Из сердечников крупных машин обмотку извлекают на специальных станках типа УПО-1, один из которых показан на рис. П.12.

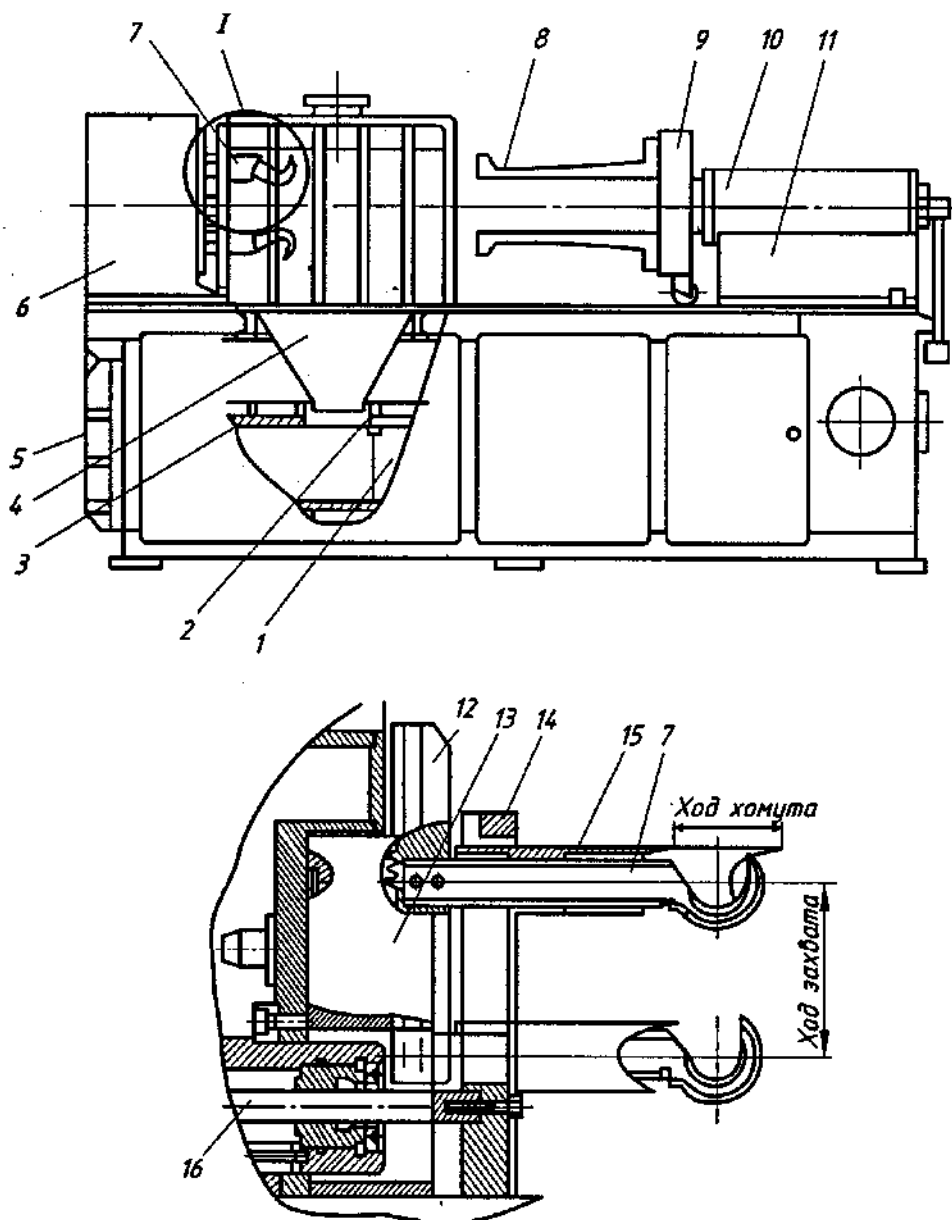


Рис. П.12. Станок типа УПО-1 для удаления обмотки из статоров:
 1 – ползун; 2 – нож; 3 – пакетировочный пресс; 4 – бункер; 5 – шибер;
 6, 11 – передняя и задняя бабки; 7 – захват; 8, 12 – кулачки; 9 – патрон;
 10 – цилиндр; 13 – самоцентрирующийся патрон; 14 – диск с пазами;
 15 – хомуты; 16 – гидроцилиндр

Статор устанавливают на кулачки 8 задней бабки 11 так, чтобы торцевая поверхность сердечника упиралась в буртики верхних кулачков и фиксировалась с помощью механизма зажима и центровки. Патрон 9 задней бабки подводится к захватам 7 (на передней бабке 6), которые проникают в обмотку, прокалывая ее крюками. Механизм внедрения захватов состоит из шестикулачкового самоцентрирующегося патрона 13, на котором установлены кулачки 12 с захватами 7. Механизм зажима обмотки состоит из диска 14 с шестью пазами, связанного с хомутами захвата и гидроцилиндром. Обмотка зажимается в захватах и выдергивается из статора при движении цилиндра 10 вправо.

Извлеченная обмотка сбрасывается с крючков в бункер 4 и затем в пакетирующий пресс 3. После заполнения приемной полости прессы и предварительных подпрессовок удаленных обмоток производится опрессовка ползуном 1, на котором установлен нож 2, отрезающий провода, не попавшие в приемную полость. Спрессованный пакет меди выталкивается из прессы ползуном 4 при одновременном открытиишибера 5. Наибольшее усилие выдергивания обмотки – 38 кН, наибольшее усилие прессования – 300 кН.

Производительность станка по извлечению обмоток из пазов составляет 180 статоров в смену.

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ ИЗ ПАЗОВ РОТОРА

Для извлечения стержней из пазов ротора используют специальное приспособление, показанное на рис. П.13.

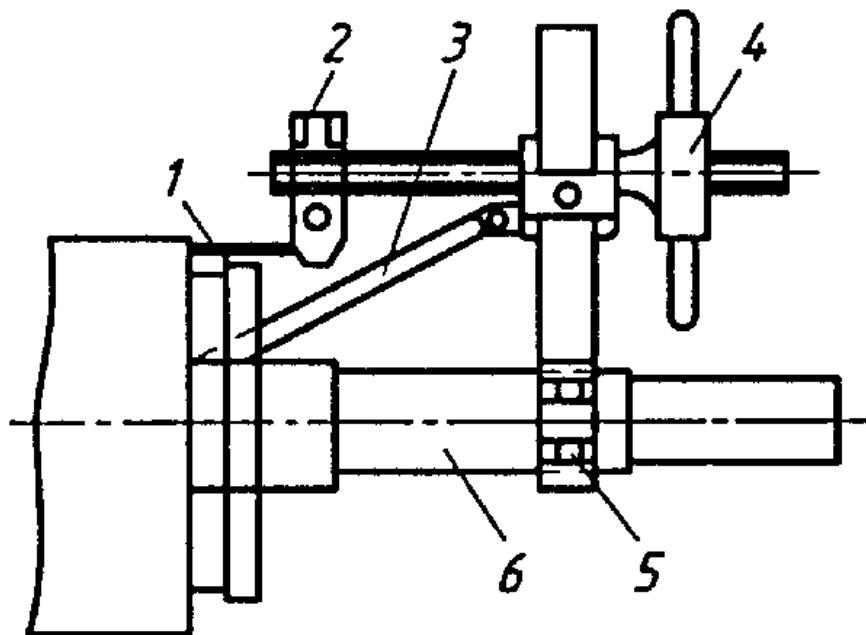


Рис. П. 13. Приспособление для извлечения стержней из пазов ротора:
1 – лобовая часть стержня; 2 – зажим; 3 – распорка; 4 – винт; 5 – хомут; 6 – вал

Для извлечения стержней из пазов ротора необходимо специальное приспособление закрепить на посадочной шейке вала 6. Для этой операции используют хомут 5. После установки приспособления, конец стержня 1 закрепляют в зажиме 2. Вращая винт 4, вытягивают верхний стержень из паза, предохраняя приспособление от смещения распоркой 3. После удаления всех верхних стержней удаляют нижние стержни.

УСТАНОВКА ГАЗОПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Для ремонта валов с использованием газоплазменного напыления разработана установка (рис. П.14), позволяющая наносить покрытия на валы диаметром до 250 мм.

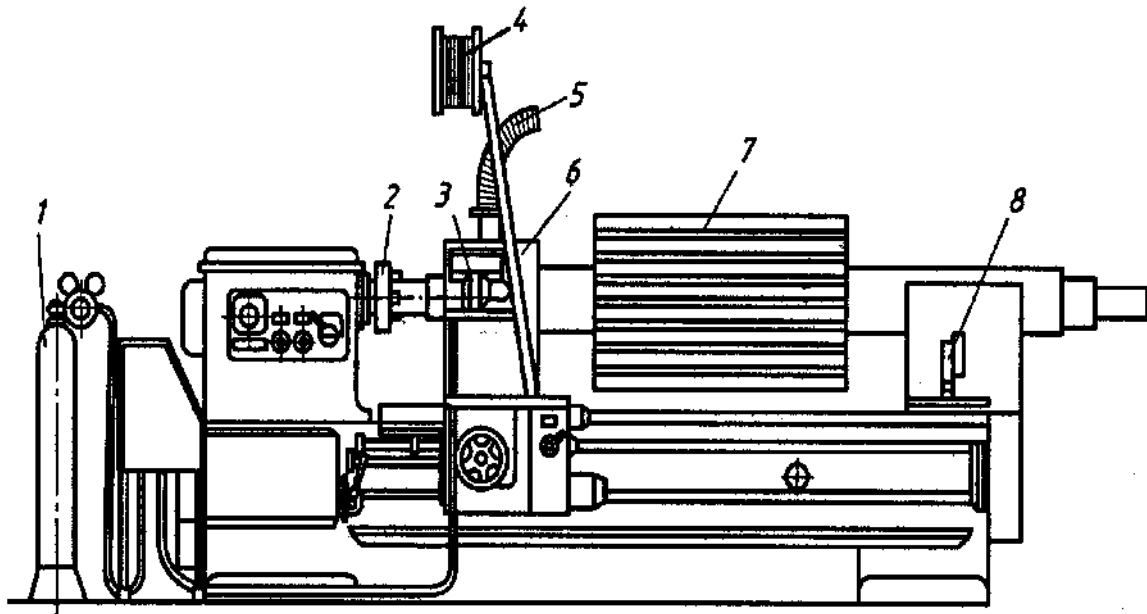


Рис. П.14. Установка газоплазменного напыления:
1 – баллон; 2 – патрон; 3 – распылительная головка; 4 – катушка; 5 – воздуховод;
6 – зонт; 7 – ремонтируемый ротор; 8 – роликовая опора

Установка работает следующим образом. Ремонтируемый ротор 7 одним концом вала зажимается в патрон 2, а другим опирается на регулирующую роликовую опору 8. Распылительная головка 3 газового металлизатора МГИ-4П располагается на суппорте станка. Проволока подается с катушки 4, а питание осуществляется от баллонов 1 с пропан-бутаном и кислородом. Для отсоса аэрозолей металла и токсичных продуктов сгорания газов предусмотрена вытяжная вентиляция (зонт 6, установленный в зоне горелки и воздуховод 5).

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ СНЯТИЯ СЕРДЕЧНИКА С ВАЛА

Для снятия сердечника с короткозамкнутой обмоткой с вала ротора разработано приспособление, представленное на рис. П.15. Приспособление состоит из двух массивных шайб 1, которые соединяются между собой стяжными шпильками. Для предотвращения смещения листов сердечника предусмотрены специальные калибры 3.

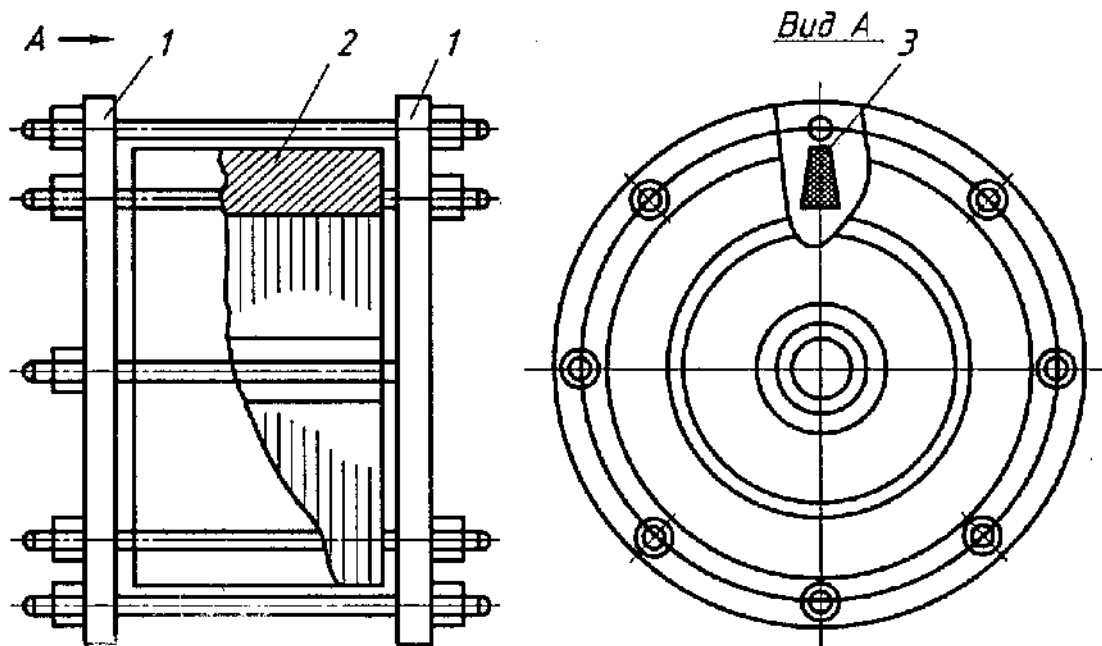


Рис. П.15. Приспособление для снятия сердечника с вала:
1 – массивные шайбы; 2 – сердечник; 3 – стальной калибр

Для снятия сердечников фазных роторов после удаления из них обмотки в два диаметрально расположенных паза устанавливают стальные калибры 3, имеющие форму пазов. Калибры предназначены для предотвращения смещения листов сердечника 2. После этого сердечник зажимают между массивными шайбами 1 и выпрессовывают вал.

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ЗАМЕНЫ КОЛЛЕКТОРНЫХ ПЛАСТИН

Для замены коллекторных пластин применяют приспособление, показанное на рис. П.16.

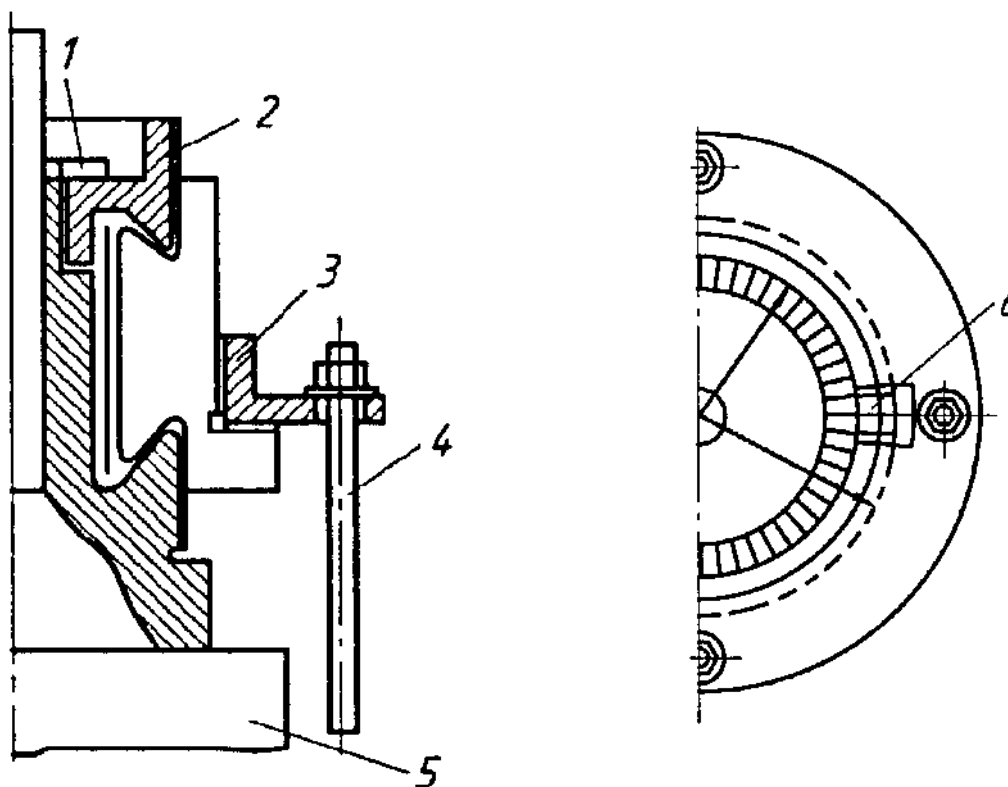


Рис. П.16. Приспособление для замены коллекторных пластин:
1 – гайка; 2 – конус; 3 – диск; 4 – шпилька; 5 – подставка; 6 – вырез

Приспособлением пользуются следующим образом. Коллектор устанавливают на подставку 5, на пластины одевают диск 3 и фиксируют коллектор шпильками 4. Отвертывают стопоры, гайку 1, снимают конус 2 и манжету. Диск 3 имеет вырезы 6 напротив коллекторных пластин, подлежащих замене, через которые выбивают поврежденные пластины. Взамен удаленных устанавливают новые пластины из меди той же марки. Новые пластины вместе с новыми изоляционными прокладками предварительно спрессовывают.

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ НАМОТКИ КАТУШЕК

Для облегчения труда разработаны неунифицированные шаблоны для намотки катушек определенных размеров (рис. П.17). Шаблоны позволяют наматывать равнокатушечную и концентрическую обмотки.

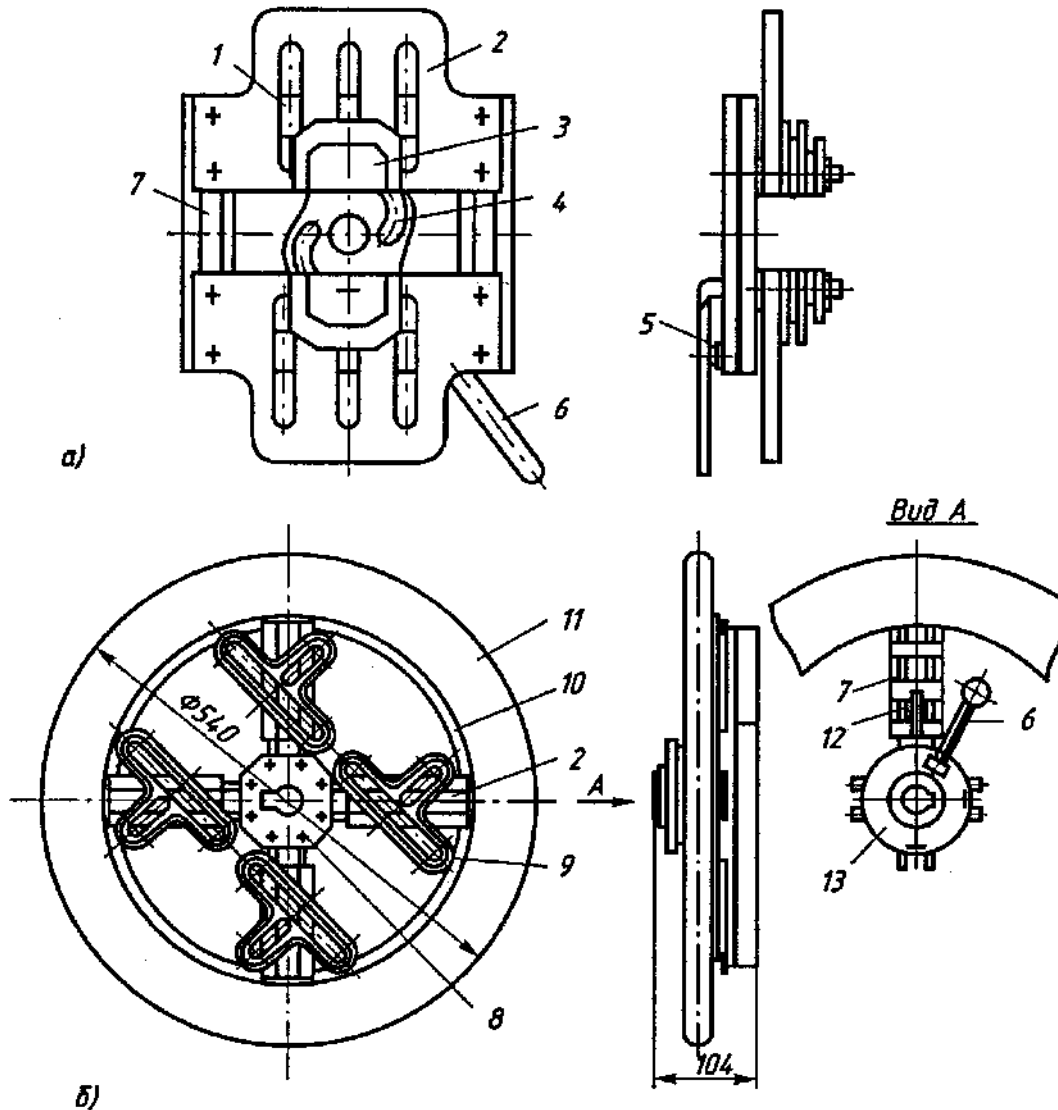


Рис. П.17. Шаблоны для намотки катушек к электродвигателям с высотой оси вращения 56 – 132 мм(а) и 160 – 355 мм (б):

- 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

СТАНОК ДЛЯ УДАЛЕНИЯ КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ КАТУШЕК

Конструкция станка представлена на рис. П 18.

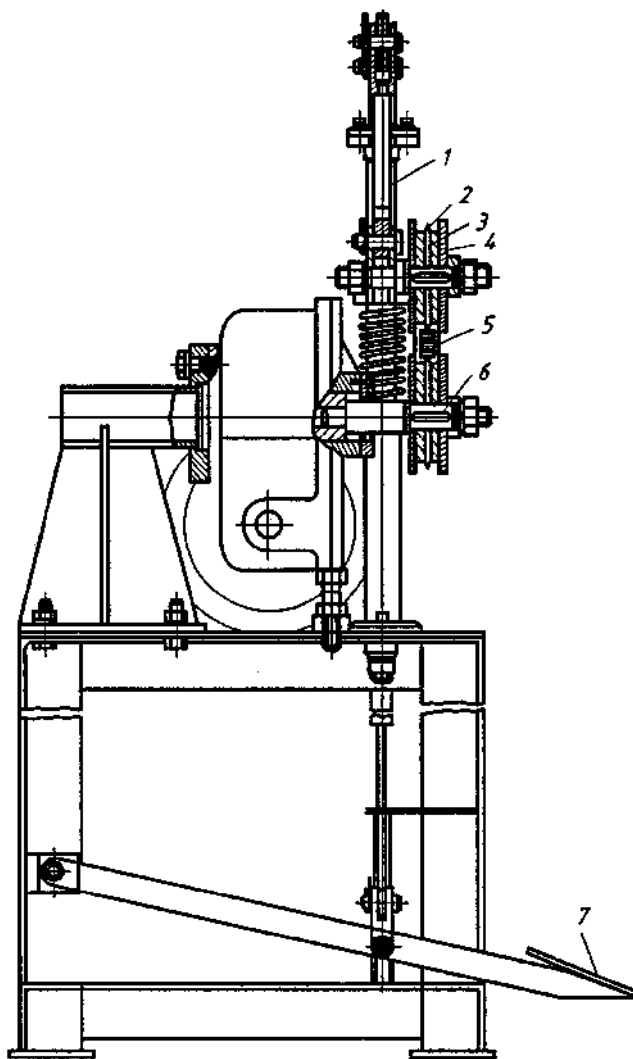


Рис. П.18. Станок для удаления корпусной изоляции катушек:
1 – тяга; 2 – дисковый нож; 3 – сменные диски; 4 – щеки; 5 – катушка;
6 – ведущий вал; 7 – педаль

Процесс удаления корпусной изоляции катушек осуществляется следующим образом. 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.

ПРОПИТОЧНАЯ УСТАНОВКА ТИПА АВБ-4

Конструкция установки типа АВБ-4 представлена на рис. П.19 (а).

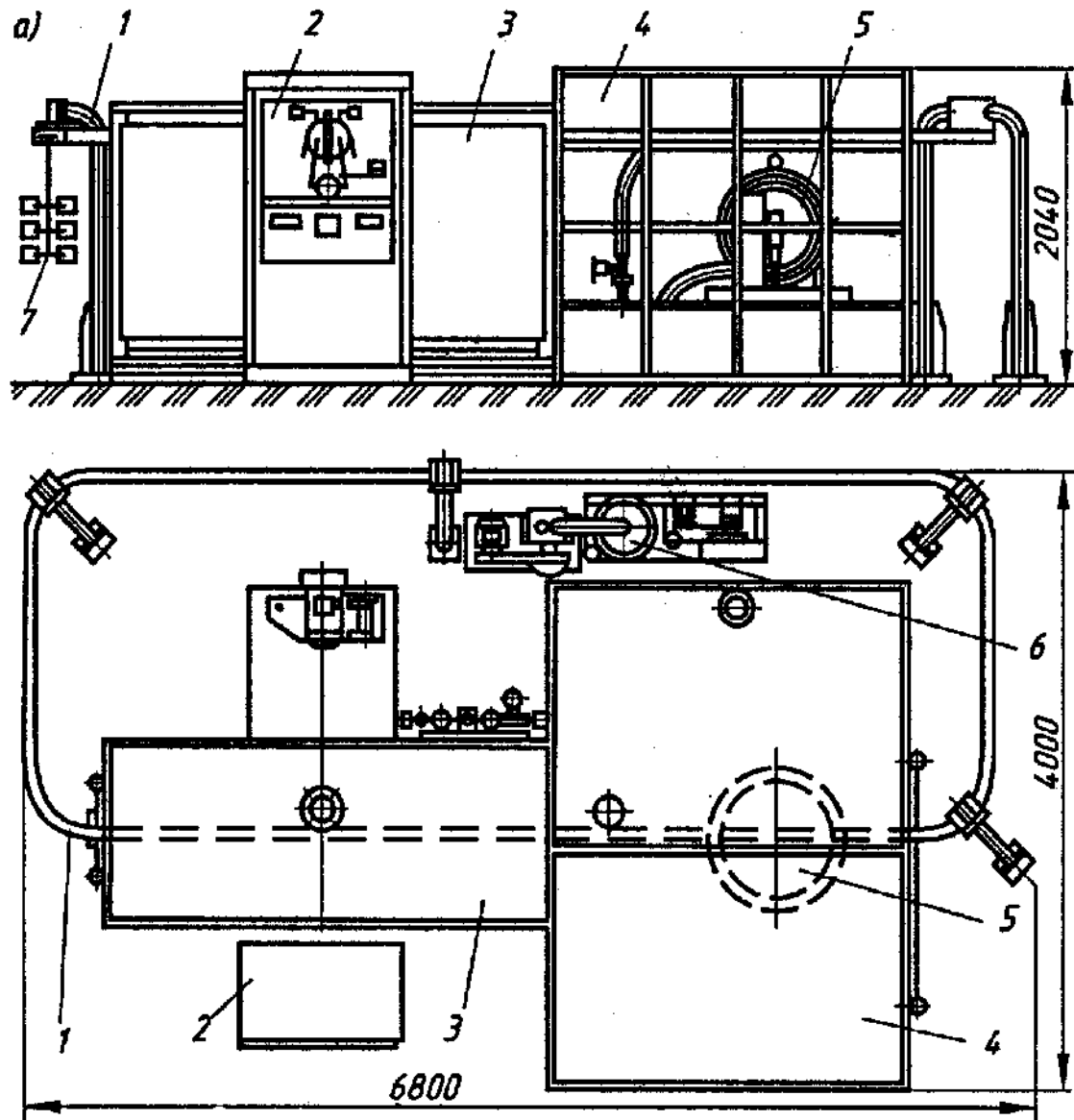


Рис. П.19 (а). Полуавтоматическая установка АВБ-4 для пропитки под вакуумом и давлением: 1 – конвейер; 2 – электрошкаф; 3 – печь для сушки; 4 – выгородка для автоклава; 5, 6 – вакуумный насос

Установка работает следующим образом. Пропитываемые изделия на подвеске 7 по конвейеру 1 транспортируют в печь 3 для сушки. После сушки изделия поступают в автоклав 5, в котором пропитываются лаком в автоматическом цикле, после чего возвращаются в печь 3 для сушки

и запечки лака. Зона автоклава защищена выгородкой 4. В состав установки входят насосы 6 для создания вакуума и давления и электрошкаф 2.

Автоклав представляет собой шаровой сосуд, состоящий из двух частей (рис. П.19, б).

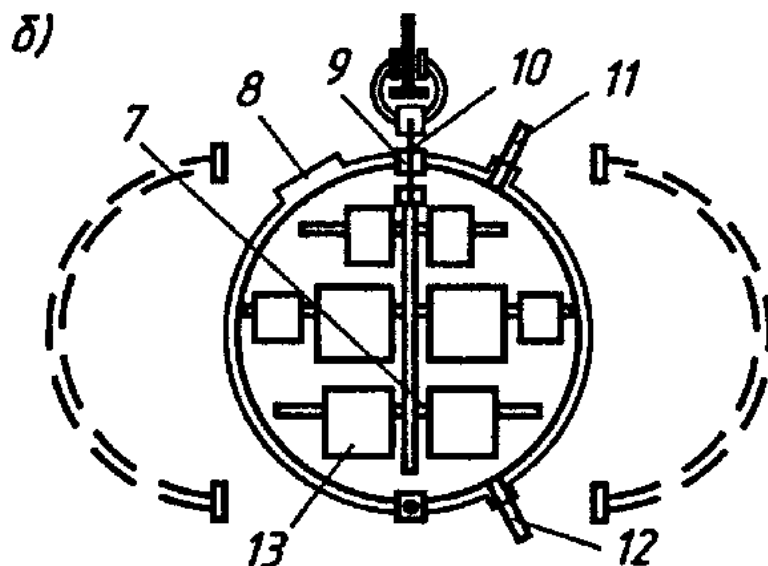


Рис. П.19 (б). Полуавтоматическая установка АВБ-4 для пропитки под вакуумом и давлением схема автоклава и подвески: 7 – подвеска; 8 – смотровое окно; 9 – уплотнения; 10 – металлическая пластина; 11, 12 – штуцера; 13 – предназначенный для пропитки статор (ротор)

Половины автоклава разводятся, и подвеску 7 с навешенными на нее изделиями 13 вводят в зону автоклава. После смыкания автоклава резиновые уплотнения 9 обеспечивают его герметичность. Подвеска висит на металлической пластине 10, имеющей ширину 30–40 мм и толщину 0,5–0,3 мм. Вакуум и давление создаются через штуцер 11, а лак подают через штуцер 12. Смотровое окно 8 позволяет контролировать наличие лака.

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ СТАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ РОТОРОВ

Ротор балансируют на призмах (рис. П.20). Отклонение плоскости призм от горизонтальной плоскости не должно превышать 0,1 мм на 1 м длины призмы. Шероховатость поверхности призм должна быть не хуже $Ra = 0,50$ мкм, а ширина не более $a = M/(2d)$, где a – ширина призмы, мм; M – масса ротора (якоря), кг; d – диаметр шейки вала, расположенной на призме, мм.

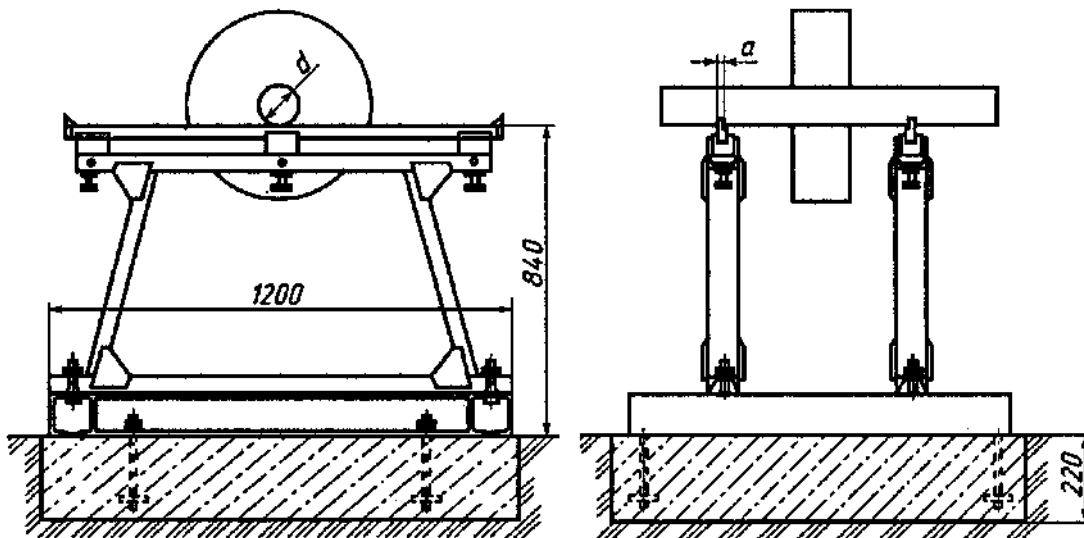


Рис. П.20. Параллельные призмы для статической балансировки роторов

Ротор (якорь) устанавливают на призму или на ролики и легким толчком выводят из равновесия, предоставляя ему возможность катиться по призмам или роликам. После нескольких качаний несбалансированный ротор (якорь) остановится тяжелой стороной вниз. В верхней точке ротора устанавливают пробный груз и повторяют опыт. Ротор считается отбалансированным, если он останавливается без качаний в состоянии безразличного равновесия. Пробный груз взвешивают и на его место устанавливают штатный груз, равный по массе пробному.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ БАЛАНСИРОВОЧНЫЙ СТАНОК

Схема универсального балансировочного станка представлена на рис. П.21. Ротор балансируют на специальном станке при его вращении.

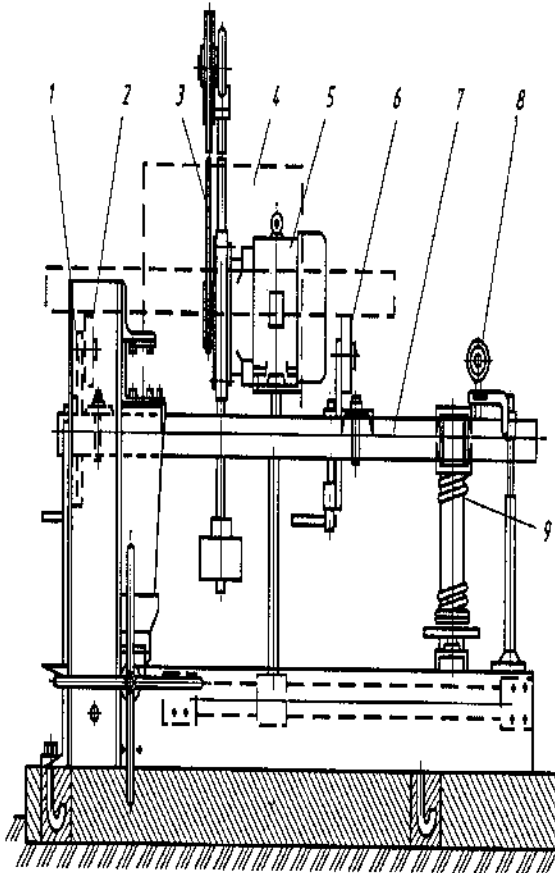


Рис. П.21. Универсальный балансировочный станок:

1 – плоская пружина; 2, 6 – круглые опоры; 3 – ремень; 4 – ротор; 5 – двигатель;
7 – рама; 8 – индикатор; 9 – пружина

Процесс балансировки ротора осуществляется следующим образом. Балансируемый ротор 4 устанавливают на четыре круглые опоры 2 и 6. Опоры расположены на раме 7, состоящей из двух круглых балок. Двигателем 5 через ремень 3 ротор приводится во вращение. Левая сторона рамы крепится к основанию плоской пружиной 1 и при вращении ротора остается неподвижной, а правая сторона опирается на пружины 9 и при вращении ротора начинает колебаться под действием неуравновешенных масс правой стороны ротора.

Амплитуду колебаний показывает стрелочный индикатор 8. После ее определения ротор останавливают и навешивают пробный груз (пластилин) на правую сторону ротора. Если при очередном вращении амплитуда колебаний увеличивается, то это означает, что пробный груз установлен неверно. Передвигая груз по окружности, находят место, где его расположение вызывает наименьшие колебания. Затем начинают изменять массу пробного груза, добиваясь минимума колебаний. Отбалансирав правую часть, снимают пробный и устанавливают постоянный груз. Затем ротор поворачивают и балансируют вторую сторону.

Современные балансировочные станки, оборудованные электронными устройствами и визуальными индикаторами дисбаланса, позволяют сразу определить место установки и массу груза или место удаления излишков массы. Использование таких станков при ремонте весьма желательно, но при большой номенклатуре ремонтируемых машин частая переналадка снижает эффективность станков и их применение не всегда является экономически обоснованным. Использование достаточно примитивного универсального балансировочного станка (рис. П.21) при ремонте позволяет решить эту задачу.

МАСЛЯНАЯ ВАННА ДЛЯ НАГРЕВА ПОДШИПНИКОВ

Для облегчения посадки подшипников на вал, их нагревают до 80–90 °С в масляной ванне. Масляная ванна (рис. П.22) имеет внутренний резервуар 4, подъемную корзину 3 с решетчатым дном, спиральные обогреватели 2, уложенные в керамическую плитку, воздушное распределительное устройство, служащее для управления подъемом и спуском корзины, карман для установки термометра контроля и сливную трубу для спуска масла из ванны. Подъемная корзина 3 сверху прикрыта двумя крышками: задняя закреплена наглухо, а передняя – откидная. Корзина поднимается при помощи пневматического цилиндра двустороннего действия, подвешенного к каркасу ванны. Для уменьшения потерь тепла пространство между стенками кожуха заполнено изоляционной набивкой 1 из асбеста.

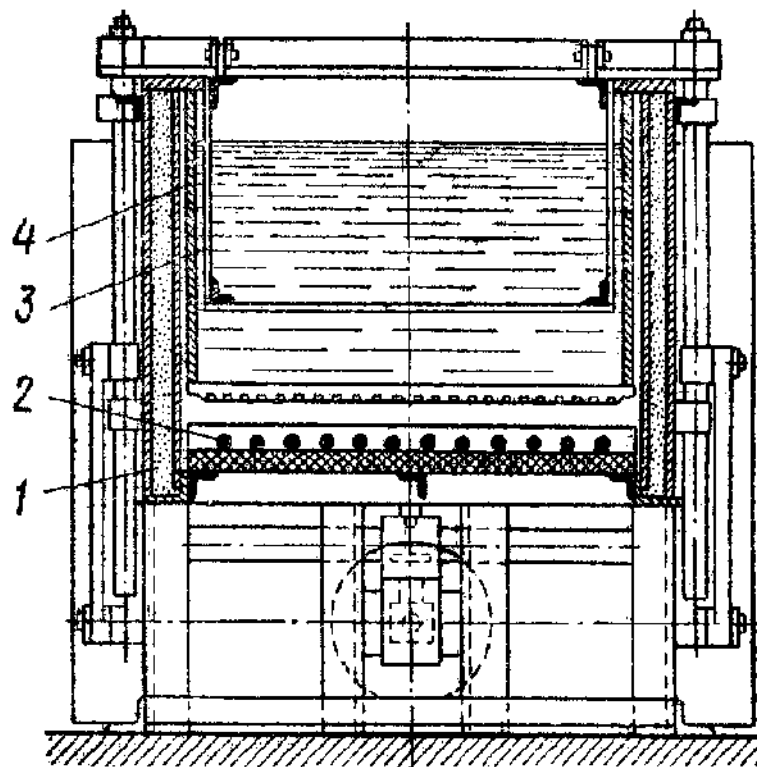


Рис. П.22. Схема масляной ванны для нагрева подшипников:
1 – асбест; 2 - спиральные обогреватели; 3 – подъемная корзина;
4 – внутренний резервуар

УСТАНОВКА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПОДШИПНИКОВ

Установка (рис. П.23) состоит из плиты 1 и кольцеобразного разъемного сердечника 3, набранного из листов трансформаторной стали.

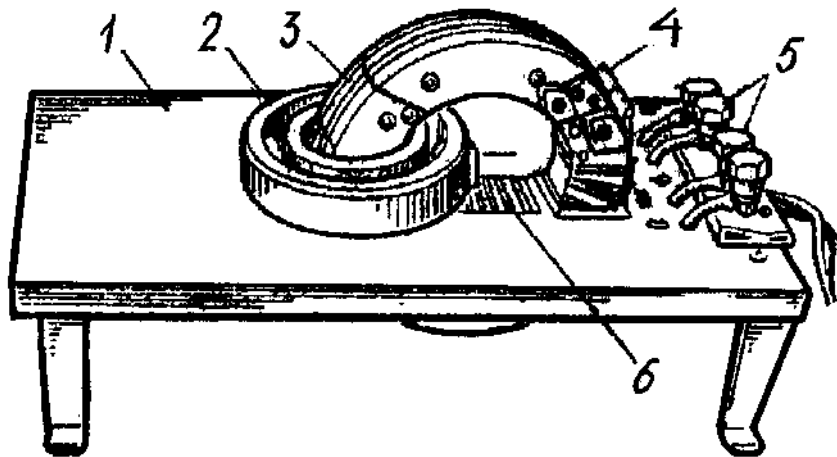


Рис. П.23. Установка индукционного нагрева подшипников:
1 – плита; 2 – подшипник; 3 – кольцеобразный разъемный сердечник;
4 – шарнир; 5 – зажимы; 6 – первичная обмотка

Один сектор сердечника укреплен на латунном шарнире 4 и откидывается при установке подшипника 2 для нагрева в аппарате. Для изготовления сердечника используют сердечники трансформаторов тока. На нижней части сердечника намотана первичная обмотка 6, выполненная проводом ПБД сечением $2,2\text{--}2,5\text{ мм}^2$ с отпайками на 100, 150 и 200 витков. Концы обмотки выведены к зажимам 5. Вторичной обмоткой аппарата служат кольца подшипника, представляющие собой короткозамкнутый виток, надетый на сердечник. Питание на первичную обмотку подается от переносного трансформатора напряжением 380–220/36 – 12 В мощностью 250 Вт. При прохождении тока в первичной обмотке индуцируется ток в кольцах подшипника (вторичная обмотка), который нагревает их до заданной температуры (80–90 °С). Температуру подшипника контролируют при помощи термометров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт электрооборудования и систем электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие / Н.К. Полуянович. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. – 232 с.
2. Соколов В.П. Монтаж электрических аппаратов: учеб. пособие / В.П. Соколов. – Изд-во МЭИ, 2005. – 160с.
3. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. – М, 2004. – 286 с.
4. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М., 2005. – 354с.
5. Акимова Н.А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования / Н.А. Акимова, Н.Ф. Котеленец, Н.И. Сентюрихин; под. общ. ред. Н.Ф. Котеленца. – М.: Мастерство, 2002. – 296 с.
6. Каминский М.Л. Монтаж приборов и систем автоматизации / М.Л. Каминский, В.М. Каминский. – М.: Высш. шк.; Академия, 2001. – 304 с.
7. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий / под ред. М.Г. Зименкова, Г.В. Резенберга, Е.М. Феськова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 480 с.
9. Сибикин Ю.Д. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Высш. шк., Академия, 2001. – 248 с.
10. Соколов Б.А. Монтаж электрических установок / Б.А. Соколов, Н.Б. Соколова. – М: Энергоиздат, 1982. – 598 с.
11. Зюзин А.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок / А.Ф. Зюзин, Н.З. Поконов, А.М. Вишток. – М.: Высш. школа, 1980. – 367 с.
12. Пантелеев Е.Г. Монтаж и ремонт кабельных линий: Справочник электромонтажника / Е.Г. Пантелеев; под ред. А.Д. Смирнова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
13. Справочник по наладке электрооборудования электростанций и подстанций / Н.А. Воскресенский, А.Е. Гомберг, Л.Ф. Колесников и др.; под ред. Э.С. Мусаэляна. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 344 с.
14. Эксплуатация и ремонт электрооборудования и средств автоматизации / А.А. Пястолов, А.Л. Вахрамеев, С.А. Ермолаев и др. – М.: Колос, 1993. 350 с.

15. Баркан Я.Д. Эксплуатация электрических систем / Я.Д. Баркан. – М.: Высш. школа, 1990. – 304 с.

16. Федоров А.А. Эксплуатация электрооборудования промышленных предприятий / А.А. Федоров, Ю.П. Попов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 280 с.

17. Справочник по монтажу силового и вспомогательного электрооборудования на электростанциях и подстанциях / Б.В. Барышев, М.М. Безмогарычный, С.И. Изаксон, А.А. Ключев; под ред. Н.А. Иванова, С.Г. Ляуэра, Н.Г. Этуса. – М.: Энергия, 1980. – 232 с.

18. Справочник по монтажу электроустановок промышленных предприятий. В 2-х кн. / под ред. В.В. Белоцерковца, Б.А. Делибаша. – М.: Энергия, 1976. – 392 с.

19. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий / под ред. М.Г. Зименкова, Г.В. Резенберга, Е.М. Феськова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 480 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
ГЛАВА I. МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	7
1.1. Определение, классификация, конструктивные особенности и краткая характеристика электрических машин	7
1.2. Способы закрепления электрических машин к оборудованию и фундаменту	14
1.3. Подготовка проектной и технической документации перед монтажом	20
1.4. Требования к фундаментам и проверка фундаментов под монтаж	27
1.5. Технология монтажа машин малой и средней мощности	31
1.6. Технология монтажа машин большой мощности	38
 ГЛАВА II. НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	47
2.1. Методика наладки и проверка состояния изоляции	47
2.2. Способы сушки изоляции	48
2.3. Испытание изоляции повышенным напряжением	54
2.4. Измерение сопротивлений постоянному току обмоток	55
2.4.1. Измерение сопротивлений постоянному току обмоток статора асинхронных электродвигателей	56
2.4.2. Измерение сопротивления постоянному току обмоток машин постоянного тока	56
2.5. Определение активных и индуктивных сопротивлений обмоток синхронных машин	58
2.6. Измерение сопротивления переменному току обмоток полюсов синхронных машин	61
2.7. Проверка полярности обмоток и порядок чередования фаз	62
2.8. Проверка и испытания изоляции ступней подшипников и маслопроводов синхронных генераторов, стяжных болтов и термоиндикаторов	73
2.9. Установка щеток машин постоянного тока на нейтраль, проверка пускорегулирующих резисторов	73
2.10. Опробование машин постоянного тока и снятие характеристик	75
2.11. Определение характеристик асинхронных двигателей	77

ГЛАВА III. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	81
3.1. Обслуживание электрических машин	81
3.2. Определение мощности электродвигателей технологического оборудования	83
3.3. Общая характеристика контролируемых параметров	89
3.4. Нагрев электрических машин	91
3.5. Неисправности электрических машин и их проявление	93
3.6. Подшипники электрических машин	97
3.7. Техническое обслуживание коллекторов, контактных колец, щеток и щеточных аппаратов электрических машин	103
3.8. Контроль напряжения питающей сети при пуске и работе электродвигателей	108
3.9. Выбор защиты электрических машин	110
 ГЛАВА IV. РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН	113
4.1. Причины повреждений и износа электрических машин	113
4.2. Методики испытаний машин перед ремонтом	116
4.3. Технология ремонтных работ электрических машин	118
4.4. Технологии разборки электрических машин	121
4.5. Технология разборки обмоток из круглого провода	125
4.6. Разборка обмоток из прямоугольного провода	128
4.7. Мойка деталей и узлов электрических машин	130
4.8. Дефектация деталей и узлов электрических машин	132
4.9. Ремонт сердечников статоров и роторов	134
4.10. Ремонт корпусов электрических машин и их подшипниковых щитов	137
4.11. Ремонт валов электрических машин	141
4.12. Ремонт короткозамкнутых обмоток ротора	146
4.13. Ремонт коллекторов и контактных колец	148
4.14. Изготовление и укладка обмоток в пазы	151
4.15. Ремонт стержневых обмоток роторов и обмоток полюсов	154
4.16. Пропитка обмоток статоров и роторов	155
4.17. Сборка электрических машин после ремонта	157
4.18. Испытания электрических машин после ремонта	161
 ГЛАВА V. ОТЫСКИВАНИЕ И УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ	169
5.1. Общие указания	168
5.2. Характерные неисправности электродвигателей и генераторов, причины неисправностей и способы их устранения	170

5.3. Внешний осмотр и электрическая проверка электродвигателей и генераторов по месту установки	171
5.3.1. Внешний осмотр	171
5.3.2. Электрическая проверка	186
5.4. Разборка электродвигателей и генераторов	187
5.5. Ремонт узлов и деталей электродвигателей и генераторов после разборки	189
5.5.1. Внешний осмотр и электрическая проверка обмотки статора .	189
5.5.2. Внешний осмотр и электрическая проверка обмотки ротора якоря	190
5.5.3. Внешний осмотр и электрическая проверка коллектора (контактных колец)	192
5.5.4. Внешний осмотр щеткодержателей и щеток	193
5.5.5. Внешний осмотр пакетов статора и ротора	194
5.5.6. Внешний осмотр механических частей	194
5.6. Устранение неисправностей и сборка электродвигателей и генераторов	195
5.6.1. Устранение неисправностей механических частей	195
5.6.2. Устранение неисправностей обмоток	200
5.6.3. Сушка обмоток	201
5.6.4. Намагничивание генераторов постоянного тока	204
5.6.5. Сборка электродвигателей и генераторов	205
5.6.6. Сборка схемы и подсоединение выводов обмоток к панели электромашиного усилителя (ЭМУ)	207
5.6.7. Установка щеток короткозамкнутой (поперечной) цепи ЭМУ на нейтраль	208
5.7. Испытания электродвигателей и генераторов после сборки	211
5.7.1. Измерение сопротивления обмоток	211
5.7.2. Измерение сопротивления изоляции	212
5.7.3. Проверка коэффициента трансформации асинхронного двигателя с фазным ротором	213
5.7.4. Испытание машины на холостом ходу	213
5.7.5. Испытание машины под нагрузкой	215
5.7.6. Регулировка скорости вращения электродвигателей стабилизированной скорости	216
5.8. Характерные неисправности сельсинов и вращающихся трансформаторов, порядок и способы устранения неисправностей .	216
5.9. Внешний осмотр и электрическая проверка сельсинов и вращающихся трансформаторов по месту установки	218
5.10. Внешний осмотр, механическая и электрическая проверка снятых сельсинов и вращающихся трансформаторов	218

5.10.1. Внешний осмотр	219
5.10.2. Механическая проверка	219
5.10.3. Электрическая проверка	222
5.11. Разборка сельсинов и вращающихся трансформаторов, внешний осмотр и механическая проверка узлов и деталей	223
5.12. Ремонт узлов и деталей сельсинов и вращающихся трансформаторов после разборки	228
5.12.1. Устранение неисправностей механических узлов и деталей .	228
5.13. Сборка сельсинов и вращающихся трансформаторов после ремонта	231
5.14. Испытания сельсинов и вращающихся трансформаторов	234
5.14.1. Проверка момента трения возбужденного сельсина	234
5.14.2. Проверка максимального и удельного статических моментов сельсинов-приемников	235
5.14.3. Проверка времени успокоения	235
5.14.4. Проверка величин тока возбуждения и максимального вторичного напряжения	236
Заключение	239
Приложения	240
Библиографический список	269

Учебное издание

**Доломанюк Леонид Владимирович,
Маркин Олег Юрьевич,
Сидоров Александр Евгеньевич**

**МОНТАЖ, НАЛАДКА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

Учебное пособие
по дисциплине

«Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем
электрооборудования промышленных предприятий»

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий
и кафедра электрооборудования и электрохозяйства предприятий,
организаций и учреждений КГЭУ

Редактор редакционно-издательского отдела *Н.И. Оморова*
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченкова*

Подписано в печать 03.12.15.

Формат 60 × 84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 16,04. Уч.-изд. л. 17,8. Тираж 500 экз. Заказ № 35/эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ,
420066, Казань, Красносельская, 51