

*Е. К. Иноземцев*

**ПОДШИПНИКОВЫЕ УЗЛЫ  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ,  
ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ  
НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

**(Часть 2. Ремонт  
и модернизация)**

**ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ  
ЭНЕРГЕТИК**

## **Вниманию специалистов**

Вышли в свет следующие выпуски

### **“Библиотечки электротехника”:**

**Воротницкий В. Э. Потери электроэнергии в электрических сетях: анализ и опыт снижения.**

**Овчаренко Н. И. Цифровые вппаратные и программные элементы микропроцессорной релейной защиты и автоматики энергосистем.**

**Шабад М. А. Делительные защиты — автоматика деления при авариях.**

**Панфилов В. А. Аналоговые методы и средства электрических измерений.**

**Удрик А. П. Векторные диаграммы и их использование при наладке и эксплуатации устройств релейной защиты и автоматики (части 1 и 2).**

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

### **Индексы “Библиотечки электротехника” — приложения к журналу “Энергетик”**

**88983** — для предприятий и организаций;

**88982** — для индивидуальных подписчиков.

Адрес редакции  
журнала “Энергетик”:

115280, Москва, ул. Автозаводская, д. 14/23.

Телефон (495) 675-19-06

E-mail: [energetick@mail.ru](mailto:energetick@mail.ru)

# **Библиотечка Электротехника**

*— приложение к журналу “Энергетик”*

*Основана в июне 1998 г.*

**Выпуск 2 (98)**

***E. K. Иноземцев***

## **ПОДШИПНИКОВЫЕ УЗЛЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

**(Часть 2. Ремонт и модернизация)**

Москва

НТФ “Энергопрогресс”, “Энергетик”

2007

УДК 621.313.13.004.67

ББК 30.82

И 67

Главный редактор журнала “Энергетик” А. Ф. ДЬЯКОВ

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

### “Библиоточки электротехника”

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

### Иноземцев Е. К.

И 67 Подшипниковые узлы электродвигателей, эксплуатирующиеся на электростанциях (Часть 2. Ремонт и модернизация). — М.: НТФ “Энергопрогресс”, 2007. — 116 с.: ил. [Библиоточка электротехника. Приложение к журналу “Энергетик”; Вып. 2 (98)].

Описаны диагностика технического состояния и критерии необходимости ремонта подшипников, их дефектация, контроль и испытания. Изложена технология ремонта подшипниковых узлов с подшипниками качения и скольжения, особенности разборочно-сборочных работ электродвигателей взрывозащищенного и вертикального исполнения. Приведены технические требования и рекомендуемые способы восстановления работоспособности подшипниковых узлов. Описаны проверка и приемка подшипниковых узлов после ремонта. Даны характеристики масел и консистентных смазок, применяемых в подшипниковых узлах электродвигателей.

Брошюра может быть использована персоналом электростанций, энергомонтных предприятий, монтажных и пусконаладочных организаций.

## **Предисловие**

Эксплуатационная надежность электростанций в значительной степени зависит от работы вспомогательных механизмов, приводами которых являются электродвигатели. Электродвигатели привода, обеспечивающие бесперебойную работу ответственных механизмов, приравниваются к основному оборудованию. В связи с этим к ним предъявляются повышенные требования по надежности.

Надежность эксплуатации электродвигателей во многом определяется надежностью работы подшипниковых узлов. Подшипниковый узел может надежно работать при условии его эксплуатации в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, технического обслуживания и ремонта согласно установленной технологии с регламентированной периодичностью, при применении качественных смазочных материалов и подшипников.

По данным РАО “ЕЭС России” в настоящее время на электростанциях РФ в эксплуатации находятся электродвигатели, отработавшие более 30 лет. Они устарели, выработали свой ресурс и не обеспечивают необходимой надежности. В ряде энергосистем доля таких электродвигателей составляет 80 – 90 %.

При подготовке брошюры автор использовал свой многолетний опыт ремонта, а также обобщил опыт специалистов электростанций и энергомонтных предприятий, эксплуатирующих и ремонтирующих подшипниковые узлы.

**Замечания и пожелания по брошюре  
просим направлять по адресу:  
115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23.  
Редакция журнала “Энергетик”.**

*Автор*

## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

# Ремонт подшипниковых узлов с подшипниками качения

### 4.1. РАЗБОРКА И ДЕФЕКТАЦИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

Для осмотра подшипников снимают наружную и внутреннюю крышки и корпус капсуля (см. рис. 1.8, ч. 1). Потемневшая и пересохшая смазка свидетельствует о том, что периодичность замены смазки недостаточна. В сопроводительных документах электродвигателя заводы-изготовители указывают тип смазки и периодичность ее замены. Для обеспечения нормальной работы подшипников рекомендуется заменять смазку, как правило, через 4000 ч работы электродвигателя, но не реже 1 раза в год, так как с течением времени свойства смазки ухудшаются.

Если при осмотре в смазке обнаружится стружка от сепаратора, то это — признак неправильной его работы и необходимо заменить подшипник. Для осмотра подшипник очищают от смазки. Чистка подшипника производится на полу. Нецелесообразно для чистки снимать подшипник с вала, так как эта технологическая операция требует значительных трудозатрат и при снятии подшипник может быть поврежден. Смазку из подшипника удаляют лопаткой, после чего подшипник промывают бензином, смешанным с 6 % масла или горячим минеральным маслом. Для слива бензина, масла и смазки под подшипник устанавливают противень. Для обеспечения качественной промывки подшипник врачают за наружное кольцо или сепаратор — сначала медленно, а затем быстро. В этом случае центробежная сила способствует удалению пластичной смазки из тупиковых объемов.

После полного удаления остатков смазки подшипник вытирают чистой салфеткой и осматривают. При осмотре подшипника проверяют:

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

Легкость вращения подшипников проверяют вращением наружных колец. Подшипники должны вращаться легко, свободно, без повышенного шума, торможения, с медленной остановкой без стуков, рывков и заеданий. Рывки свидетельствуют о наличии в подшипниках механических или абразивных частиц, резкое торможение указывает на малую величину радиального зазора, стуки — на вмятины и коррозионные раковины на тела и дорожках качения, на большие зазоры в гнездах сепараторов и их износ. В нагруженной зоне все тела качения должны вращаться.

Не установленные на вал ротора подшипники контролируют, когда они поставлены на образующие наружных колец.

К дальнейшей эксплуатации не допускаются подшипники со следующими дефектами: трещины на кольцах, телах качения и сепараторах; сколы на кольцах, рабочих буртах колец и телах качения; цвета побежалости на кольцах или телах качения; забоины, вмятины и шелушение на дорожках и телах качения; сепараторы с нарушенной клепкой и сваркой, с недопустимым провисанием и неравномерным шагом окон; неполные комплекты шариков или роликов; коррозионные раковины на рабочих поверхностях тел и дорожек качения и вмятины от бриннелирования на дорожках качения, продольные лыски на роликах; тугое вращение или чрезмерно большой зазор; остаточный магнетизм.

При обнаружении хотя бы одного из вышеописанных дефектов подшипник подлежит замене.

Кроме дефектов, вследствие которых необходима замена подшипников, демонтаж подшипников может быть вызван неудачно выполненной установкой нового подшипника, когда требуется ремонтаж его, а также необходимостью ремонта или замены изношенных или поврежденных деталей подшипникового узла, замена которых возможна только после снятия подшипника.

Наиболее распространенный дефект подшипников — коррозия. При обнаружении на подшипнике следов незначительной коррозии подшипник полируют сукном или войлоком с пастой ГОИ до полного удаления ржавчины. Пятна коррозии, образовавшиеся на монтажных поверхностях подшипника, удаляют мелкой шлифовальной бумагой, после чего риски полируют мелкозернистой пастой ГОИ или порошком оксида хрома, смешанного с минеральным маслом. Рабочие поверхности подшипника (дорожки качения, шарики, ролики) защищать шлифовальной бумагой нельзя. Если следы коррозии на рабочих поверхностях глубокие, то подшипники заменяют.

При осмотре проверяют правильность установки стопорящего элемента (кольца, гайки и др.) и плотность посадки внутреннего кольца подшипника на вал. Посадку внутреннего кольца подшипника проверяют следующими двумя способами. Вручную проверяют возможность перемещения кольца: если перемещение не наблюдается, то плотность посадки проверяют легкими ударами молотка через медную выколотку, поставленную на внутреннее кольцо подшипника.

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

## **4.2. ДЕМОНТАЖ ПОДШИПНИКОВ И КОНТРОЛЬ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ**

При демонтаже нового или пригодного к дальнейшей эксплуатации подшипника принимают меры, предупреждающие его повреждение при снятии с вала или выпрессовке из корпуса (капсуля). При снятии подшипника необходимо принять меры, предотвращающие повреждение вала и других деталей подшипникового узла. Осевое усилие при снятии подшипника должно быть приложено к внутреннему кольцу и должно передаваться вдоль оси вала без перекоса колец относительно посадочного места.

Вопрос о хранении и содержании в чистоте демонтированных подшипников решается в зависимости от их технического состояния и назначения. Пригодные к дальнейшей эксплуатации подшипники должны храниться с соблюдением правил содержания подшипников в чистоте, а для остальных подшипников соблюдать эти правила не обязательно. Перед снятием подшипника, пригодного к

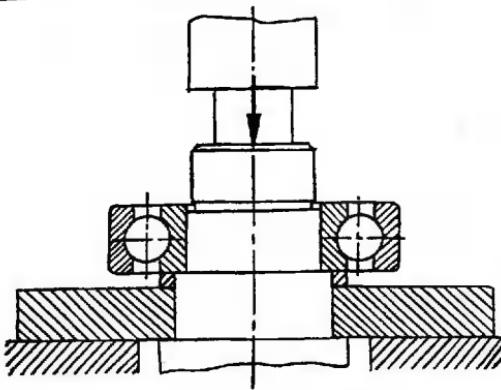


Рис. 4.1. Демонтаж подшипников качения с вала ротора с применением пресса

дальнейшей эксплуатации, принимают меры для сохранения его в надлежащей чистоте. Демонтаж таких подшипников выполняют с применением чистых приспособлений, оснастки и инструмента. После снятия и промывки такие подшипники укладываются на чистую бумагу.

Одним из способов демонтажа подшипников малых размеров является демонтаж с применением пресса. В этом случае подшипник внутренним кольцом укладывается на плоские прокладки одинакового размера, после чего ротор выдавливается прессом вниз (рис. 4.1).

Для снятия подшипников разных размеров используют различного вида съемники (рис. 4.2). Для демонтажа подшипников широкое распространение получили винтовые универсальные съемники. Универсальность съемнику могут придавать комплект тяг различной длины и возможность их радиального перемещения по пазам скобы или шайбы. Для облегчения вращения наконечнику винта придают сферическую форму. Винт в съемнике можно заменить гидравлическим, винтовым или реечным домкратом. Если усилие для снятия нельзя передать через кольцо подшипника, то для этой цели используют детали за подшипником. Широкое распространение получили также гидравлические съемники различного исполнения (рис. 4.3).

В отдельных случаях из-за особенностей конструктивного исполнения подшипникового узла снять подшипник с вала с приложением усилий на внутреннее кольцо не представляется возможным. В этом случае, как исключение, подшипник снимают, прикладывая усилие

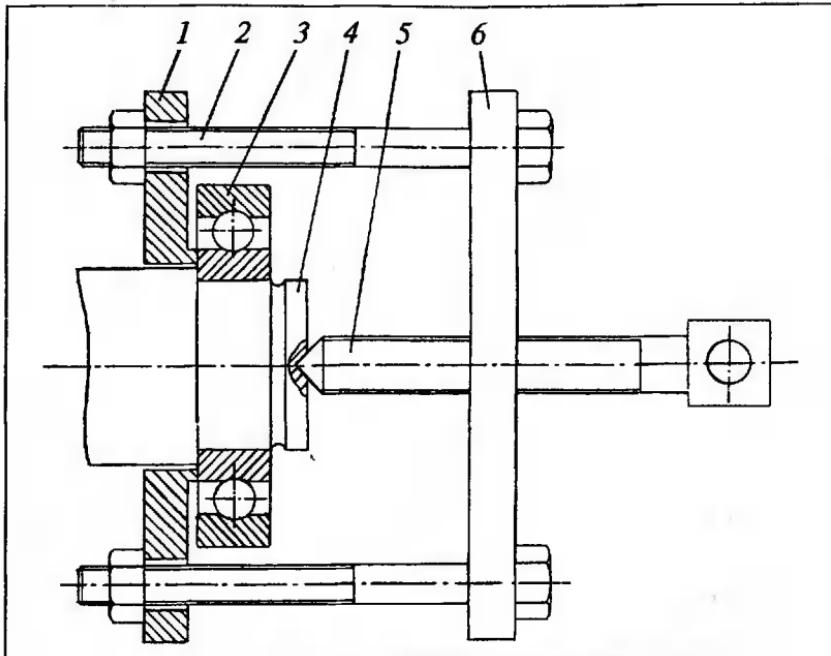


Рис. 4.2. Винтовой съемник для снятия подшипников качения:  
1 — диск; 2 — тяга; 3 — подшипник; 4 — вал; 5 — винт; 6 — плита

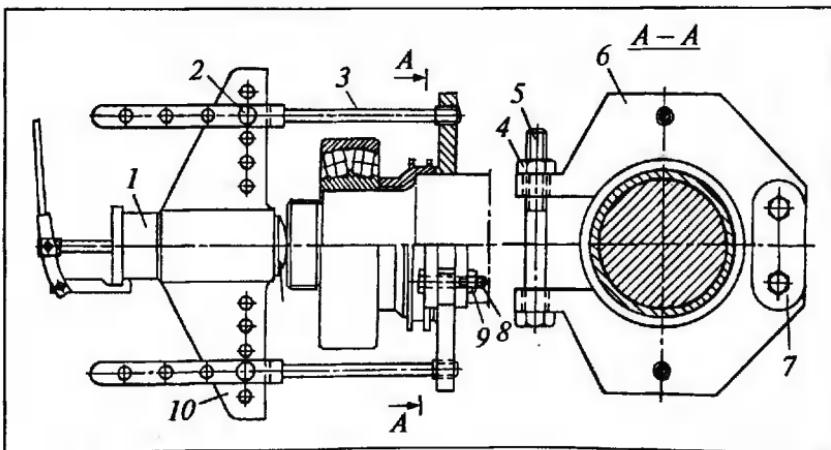


Рис. 4.3. Съемник универсальный с гидроприводом:  
1 — гидропривод ручной; 2 — палец; 3 — тяга; 4, 9 — гайки; 5, 8 — болты; 6 — скоба;  
7 — пластина; 10 — траверса; 11 — пята

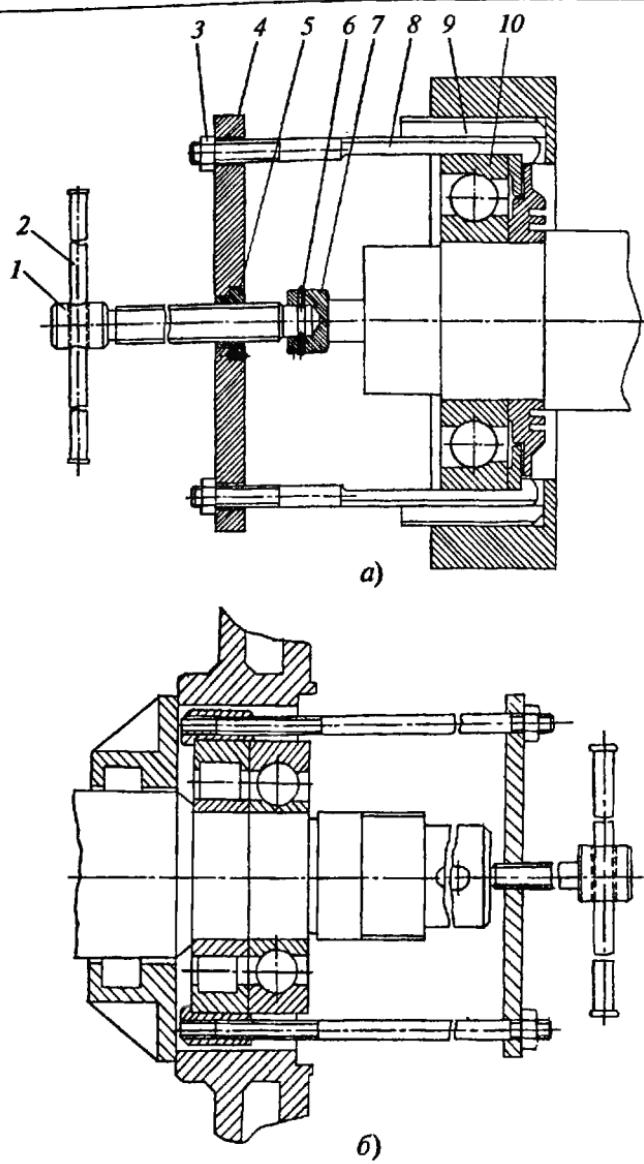


Рис. 4.4. Снятие верхнего подшипника электродвигателя вертикального исполнения типа АВ мощностью 400, 500 – 800 кВт (а) и подшипников со стороны полумуфты электродвигателей серии АТД 2 мощностью 315 – 800 кВт (б):

1 – винт; 2 – рукоятка; 3 – гайка М20; 4 – кольцо; 5 – гайка; 6 – винт М6 × 20; 7 – опора; 8 – шпилька; 9 – упор; 10 – подшипник

к наружному кольцу подшипника, если натяг подшипника на вал незначителен, и соблюдая следующие требования (рис. 4.4, а, б):

- усилие должно быть направлено строго перпендикулярно торцу наружного кольца и должно прикладываться равномерно, без рывков и толчков;
- съемник необходимо вращать вокруг оси подшипника для предотвращения образования на дорожках качения отпечатков от тел качения.

Радиально-упорные шарикоподшипники демонтируют таким способом только тогда, когда усилие можно приложить со стороны высокого борта наружного кольца. Снятие подшипников разборных типов 2000 и 32000 упрощается вследствие их конструктивного исполнения, при этом установка съемника и захват кольца значительно упрощаются.

Перед снятием подшипников, у которых предусмотрена их фиксация на валу в осевом направлении с помощью стопорного кольца или других деталей, эти детали демонтируют.

Снятие внутреннего безбортового кольца подшипника (например, типа 32000) с вала можно выполнять с нагревом, используя приспособление с индукционной катушкой. Катушка должна иметь равномерный по окружности зазор 0,5 – 1,0 мм. На катушке должны быть смонтированы панель управления для включения катушки и две рукоятки. Существуют комбинированные приспособления, состоящие из индукционного нагревателя и винтового съемника. В этом случае сначала снимают наружное кольцо с роликами и сепаратором, а затем после нагрева с помощью катушки снимают внутреннее кольцо вместе с нагревательной катушкой.

У подшипников с закрепительной втулкой перед их снятием необходимо замаркировать положение последней для того, чтобы использовать эти метки при сборке подшипникового узла.

Снятие непригодного к дальнейшей эксплуатации подшипника можно выполнять с нагревом его горелкой, предварительно защищив вал от нагрева асbestosовым полотном.

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

Необходимо также проверить наличие фасок на краях посадочных мест в целях предотвращения перекоса подшипника в начальной стадии установки на посадочное место. Аналогичные технические требования предъявляются к другим сопряженным с подшипником деталям: торцам втулок, крышкам, фланцам, фиксирующим шайбам и др. Эти детали также должны быть тщательно осмотрены,

а острые кромки на них притуплены. При наличии дефектов (раковины, трещины и др.), значительно снижающих прочность деталей, последние заменяют резервными или изготавливают заново. Резьба на деталях должна быть чистой, полной и без заусенцев. Запрещается устанавливать в подшипниковый узел детали с неустранимыми дефектами.

Заусенцы и забоины удаляют личным напильником, надфилем или шабером. При удалении заусенцев и выравнивании краев забоин необходимо следить за тем, чтобы обработка подверглась как можно меньшая площадь вокруг них и переходы к необрабатываемой поверхности были плавными. После удаления заусенцев риски зачищают мелкой нацаждочной бумагой. Пятна коррозии удаляют с применением пасты ГОИ или оксида хрома.

Если конструкцией предусмотрена фиксация в осевом направлении гайкой, то необходимо до начала сборки прогнать ее по резьбе для удаления пыли и других посторонних включений, которые снимаются гайкой и могут попасть в подшипник.

После удалений дефектов посадочные места подшипников, галтели и детали узла очищают от металлических опилок, стружки, промывают и протирают чистыми салфетками.

Необработанные поверхности литьих корпусов очищают от коррозии, дефектов покрытия и покрывают маслостойкой эмалью. Проверяют и прочищают канавки для подачи и удаления смазки. После выполнения этих работ приступают к проверке и измерениям посадочных мест.

Диаметры измеряют в трех сечениях, равномерно распределенных по длине посадочной поверхности, в трех направлениях, расположенных относительно друг друга под углом 120°. Полученные результаты по каждому сечению не должны выходить за пределы допусков, указанных в чертеже. По полученным данным вычисляют среднее значение фактических диаметров посадочных мест. Диаметр вала контролируют микрометром, а диаметр в капсule и в корпусе — индикаторными и микрометрическими нутромерами. Овальность посадочного места вала или корпуса определяется как разность наибольшего и наименьшего диаметров в одном сечении. Конусность посадочной поверхности вала или корпуса определяется как разность диаметров в крайних сечениях посадочного места. Полученные результаты сравнивают с данными табл. 4.1.

Овальность посадочного места на валу ротора может быть также проверена на токарном станке при контроле прямолинейности ротора.

Волнистость посадочных поверхностей роторов проверяют лекальной линейкой по световой щели. Более точно выявить неровности

Таблица 4.1. Допуски овальности и конусности посадочных поверхностей валов и корпусов в радиусном измерении, мкм, не более

Номинальные диаметры, мм	Валы			Отверстия корпусов		
	Классы точности подшипников					
	0 и 6	5 и 4	2	0 и 6	5 и 4	2
3 – 6	2,0	0,8	0,5	3,0	1,3	0,6
6 – 10	2,0	1,0	0,5	4,0	1,5	0,8
10 – 18	3,0	1,3	0,6	4,5	2,0	1,0
18 – 30	3,0	1,5	0,8	5,0	2,0	1,0
30 – 50	4,0	2,0	1,0	6,0	2,5	1,4
50 – 80	5,0	2,0	1,0	7,5	3,0	3,0/1,6
80 – 120	6,0	2,5	1,2	9,0	3,5	2,0
120 – 180	6,0	3,0/3,5	1,5	10,0	4,0	2,2
180 – 250	7,0	3,0/3,5	1,7	11,5	5,0	2,5
250 – 315	8,0	4,0	—	13,0	5,3	3,0
315 – 400	9,0	4,0	—	14,0	6,0	4,0
400 – 500	10,0	—	—	16,0	—	—

Причесание. В числителе приведены значения допуска для овальности, в знаменателе — для конусности.

на поверхности посадочных мест можно с помощью лекальной линейки по краске. Для этого длинную узкую грань лекальной линейки покрывают тонким слоем краски, после чего прикладывают ее к поверхности шейки в продольном направлении и, слегка нажимая на линейку, перемещают ее вдоль посадочной поверхности. Затем линейку снимают и по следам краски определяют состояние посадочной поверхности.

Запрещается устанавливать подшипники с посадочными местами, имеющими овальность, конусность, выпуклость и впадины больше установленного допуском предела, а также посадочные поверхности, чистота обработки которых не соответствует техническим требованиям.

После установки на посадочное место ротора внутреннее кольцо подшипника должно плотно прилегать к ротору для того, чтобы в процессе эксплуатации электродвигателя была обеспечена его необходимая посадка.

Не допускаются к сборке подшипникового узла роторы с ослабленными посадочными местами. Вследствие воздействия нагрузки, вибрации, температуры и других факторов недостаточная посадка подшипника приводит к осевому смешению (при отсутствии фик-

сации от осевого смещения) или проворачиванию внутреннего кольца подшипника при вращении. Это вызывает абразивный износ и пластическую деформацию посадочной поверхности вала ротора и приводит к дальнейшему ослаблению посадки, а также к резкому повышению температуры. Такой режим работы подшипникового узла приводит к быстрому повреждению подшипника, посадочной поверхности вала и деталей подшипникового узла.

Не допускаются к сборке подшипникового узла роторы, посадочные поверхности которых имеют больший диаметр, чем это предусмотрено технической документацией. В этом случае вследствие чрезмерного натяга внутреннее кольцо подшипника из-за сравнительно малой толщины его стенки расширяется, а радиальный зазор между телами качения и кольцами подшипников (внутренним и наружным) соответственно уменьшается, что может привести к заклиниванию. Зазор будет настолько мал, что тела качения (ролики и шарики) окажутся зажатыми между кольцами. Такой подшипниково-ый узел после сборки не дает возможности ротору свободно вращаться, а после пуска приведет к быстрому нагреву и разрушению деталей подшипникового узла. Это явление имеет особое влияние на радиальные шарикоподшипники, которые имеют сравнительно малый радиальный зазор.

По экспериментальным данным в ремонтной практике можно считать, что увеличение диаметра внутреннего кольца подшипника составляет примерно 70 % посадочного натяга, а изменение диаметра вала — 30 % натяга. Уменьшение диаметра наружного кольца подшипника составляет около 40 % натяга, а расширение корпуса — примерно 60 % натяга.

Для доводки посадочного места вала ротора, имеющего больший диаметр, чем предусмотрено чертежом, необходимо выполнить шлифовку, а при наличии ротора меньшего диаметра необходимо восстановить его методами, изложенными в § 4.3.

Вследствие нарушения режимов работы электродвигателей, а также в результате неправильной транспортировки и хранения роторов могут иметь место случаи искривления валов. Установка подшипников на искривленные валы ротора вызывает нарушение работы подшипникового узла в процессе эксплуатации и приводит к быстрому его повреждению.

Одним из обязательных условий надежной и длительной эксплуатации подшипниковых узлов является совпадение осей посадочных мест с осью вращения. Поэтому в процессе ремонта при необходимости проверяют прямолинейность вала ротора. Если при проверке установлено, что вал не отвечает требованиям прямолинейности

или посадочное место имеет эксцентризитет, то роторы с такими дефектами вала подвергают исправлению или замене. В зависимости от габаритов роторов и наличия оборудования их проверяют путем установки в центрах токарного станка или в люнетах.

Для проверки к посадочным местам вала ротора подводят измерительный стержень индикатора и, вращая вал, фиксируют отклонение стрелки. При эксцентризите посадочной поверхности в проверяемом сечении по отношению к оси в процессе одного оборота вала стрелка индикатора отклонится 1 раз, а затем вернется в первоначальное положение. Если при одном обороте вала стрелка отклонится и возвратится в первоначальное положение дважды, то это свидетельствует об овальности поверхности посадочного места. Если по длине вала эксцентризитет будет меняться, увеличиваясь к середине вала, то это свидетельствует о том, что вал искривлен. В процессе измерений индикатор должен быть надежно закреплен, а его ось должна быть перпендикулярна оси вала.

При осмотре упорных заплечиков, а также галтелей необходимо убедиться в том, что в этих местах отсутствуют следующие дефекты: ступенчатые переходы, увеличенные радиусы галтели, завал и подрезка заплечика. Проверяют также высоту заплечиков вала и корпуса, которая должна быть достаточна для надежного упора колец подшипников и для обеспечения снятия подшипников. Чрезмерно высокий заплечик затрудняет демонтаж подшипника, так как для захвата кольца съемником не остается достаточной площади.

На торце заплечика не должно быть рисок и забоин, а кольцо подшипника должно плотно прилегать к нему по всей плоскости. Заплечики должны быть строго перпендикулярны оси посадочного места. Перпендикулярность заплечика имеет большое значение, поскольку заплечик фиксирует прижатое к нему кольцо подшипника. Перпендикулярность к оси особенно важна для подшипников особо легкой и легкой серий вследствие того, что кольца подшипников этих серий имеют сравнительно небольшую ширину. При несоблюдении этих требований может появиться перекос колец на посадочных поверхностях.

Биение заплечиков проверяют индикатором часового типа (рис. 4.5). Для этого индикатор устанавливают так, чтобы его измерительный стержень касался торца заплечика. Вращая вал, отмечают показания индикатора. Полученные данные торцевого биения упорных заплечиков валов сравнивают с данными табл. 4.2.

Торцевое биение заплечиков корпусов не должно превышать значений, указанных в табл. 4.3.

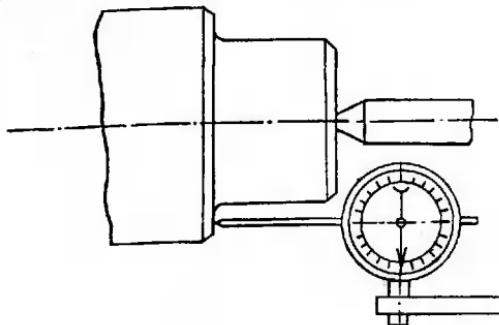


Рис. 4.5. Проверка торцевого биения упорных заплечиков к оси посадочного места на валу

Неперпендикулярность заплечиков к посадочным поверхностям вала и корпуса вызывает дополнительные напряжения в деталях подшипников даже без внешней нагрузки, поэтому сборка подшипникового узла с заплечиками, неперпендикулярными к оси вала, недопустима.

Для правильной установки подшипника и нормальной его работы необходимо, чтобы между фаской внутреннего кольца подшипника и галтелью посадочной поверхности вала и корпуса был зазор. В связи с этим радиусы галтелей упорных заплечиков вала и корпуса

Таблица 4.2. Допуски торцевого биения заплечиков валов, мкм, не более

Номинальные диаметры, мм	Классы точности подшипников				
	0	6	5	4	2
3 – 6	12	8	4	2,5	1,5
6 – 10	15	9	4	2,5	1,5
10 – 18	18	11	5	3	2
18 – 30	21	13	6	4	2,5
30 – 50	25	16	7	4	2,5
50 – 80	30	19	8	5	3
80 – 120	35	22	10	6	4
120 – 180	40	25	12	8	5
180 – 250	46	29	14	10	7
250 – 315	52	32	16	—	—
315 – 400	57	36	18	—	—
400 – 500	63	40	—	—	—

Таблица 4.3. Допуски торцевого биения заплечиков корпусов, мкм, не более

Номинальные диаметры, мм	Классы точности подшипников				
	0	6	5	4	2
3 – 6	18	12	5	4	2,5
6 – 10	22	15	6	4	2,5
10 – 18	27	18	8	5	3
18 – 30	33	21	9	6	4
30 – 50	39	25	11	7	4
50 – 80	46	30	13	8	5
80 – 120	54	35	15	10	6
120 – 180	63	40	18	12	8
180 – 250	72	46	20	14	10
250 – 315	81	52	23	16	12
315 – 400	89	57	25	30	13
400 – 500	97	63	27	–	–

всегда должны быть меньше радиусов фасок колец подшипников. Радиусы галтелей упорных заплечиков вала и корпуса выбираются в зависимости от размеров монтажник фасок подшипников. При неправильной обработке галтели (когда радиус галтели больше радиуса подшипника) подшипник не будет касаться заплечика вала. В этом случае при больших нагрузках подшипник не обеспечит длительную и надежную эксплуатацию. Радиусы галтелей валов и корпусов проверяют радиусомерами. Результаты сравнивают с данными табл. 4.4.

Посадочные места под подшипник на валу и в корпусе, а также опорные торцевые поверхности заплечиков должны быть тщательно обработаны. Чистоту поверхности посадочных мест поверхностей валов, отверстий корпусов и упорных заплечиков проверяют сравнением с соответствующей чистотой поверхности эталонов.

Таблица 4.4. Радиусы галтелей вала и корпуса

Номинальный размер фаски подшипника $r_{\text{ном}}$ , мм	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
Наибольший радиус галтели вала или корпуса $r$ , мм	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,0	1,5
Номинальный размер фаски подшипника $r_{\text{ном}}$ , мм	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0	15,0	18,0
Наибольший радиус галтели вала или корпуса $r$ , мм	2,0	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0

Таблица 4.5. Параметр шероховатости  $R_a$  поверхностей под подшипники на валах и в корпусах, а также опорных торцевых поверхностей заплечников для подшипников классов точности 0, 6, 5, 4 и 2

Посадочные поверхности	Классы точности подшипников	$R_a$ , мкм, не более, для номинальных диаметров подшипников	
		до 80 мм	свыше 80 до 500 мм
Валов	0	1,25	2,50
	6 и 5	0,63	1,25
	4	0,32	0,63
	2	0,16	0,32
Отверстий корпусов	0	1,25	2,50
	6, 5 и 4	0,63	1,25
	2	0,32	0,63
Опорных торцов заплечников валов и корпусов	0	2,50	2,50
	6, 5 и 4	1,25	2,50
	2	0,63	0,63

Примечание. Параметр шероховатости  $R_a$  посадочных поверхностей валов для подшипников на закрепительных или стяжных втулках не должен превышать 2,5 мкм.

Параметры шероховатости  $R_a$  посадочных поверхностей валов и корпусов, а также опорных торцевых поверхностей заплечников для подшипников классов точности 0, 6, 5, 4 и 2 приведены в табл. 4.5.

Соосность посадочных мест для подшипников качения в общем корпусе обычно обеспечивается технологией их обработки, т.е. растачиванием с одной установки. После контроля посадочные места вала и корпуса обрабатывают минеральным маслом или пластичной смазкой.

#### 4.3. РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ

**Подготовка и ремонт деталей подшипникового узла.** Перед осмотром деталей подшипникового узла их очищают от пыли, грязи и масла. При наличии толстого слоя смеси смазки с пылью ее удаляют скребками. Форма и размеры скребков должны обеспечить чистоту деталей подшипникового узла в труднодоступных местах. Затем детали продувают сухим сжатым воздухом. Окончательную чистку деталей можно производить с применением специальных негорючих моющих жидкостей, таких, как: Лабомид-201, Лабомид-202, Лабомид-203, МС-6, МС-8, МС-15, МЛ-51, МЛ-52, МЛ-72 и др. В зависимости от объема ремонтных работ, количества ремонтируемых

Таблица 4.6. Размеры зазоров и канавок в щелевых уплотнениях, мм

Диаметр вала, $d$	$r$	$e$	Диаметр вала, $d$	$r$	$e$
10	1,5	0,2	80	2,0	0,3
15	1,5	0,2	85	2,0	0,4
20	1,5	0,2	90	2,0	0,4
25	1,5	0,2	95	2,0	0,4
30	1,5	0,2	100	2,0	0,4
35	1,5	0,2	105	2,0	0,4
40	1,5	0,2	110	2,0	0,4
45	1,5	0,2	120	2,5	0,5
50	2,0	0,3	130	2,5	0,5
55	2,0	0,3	140	2,5	0,5
60	2,0	0,3	150	2,5	0,5
65	2,0	0,3	160	2,5	0,5
70	2,0	0,3	170	2,5	0,5
75	2,0	0,3	180	2,5	0,5

подшипниковых узлов, а также наличия технологического оборудования мойку выполняют струйным или погружным способом.

После мойки детали промывают горячей водой в течение 1 – 5 мин, сушат и осматривают. По окончании мойки детали можно продуть сухим сжатым воздухом для ускорения сушки и удаления остатков моющей жидкости из труднодоступных мест.

Обнаруженные в процессе осмотра дефекты деталей подшипникового узла устраняют. При обнаружении неустранимых дефектов непригодные детали заменяют резервными или изготавливают новые. Наиболее часто повреждаются уплотнения подшипниковых уз-

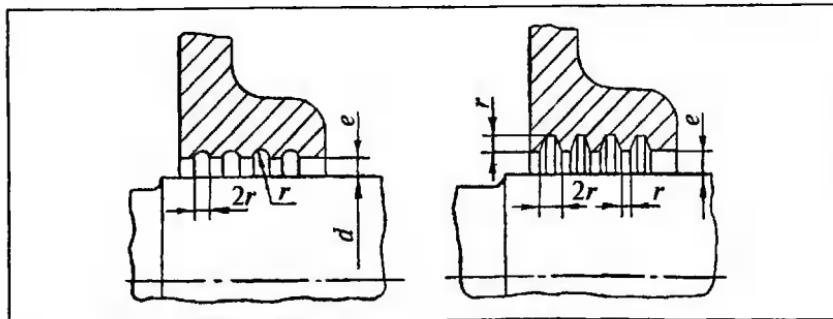


Рис. 4.6. Размеры зазоров и канавок в щелевых уплотнениях

Таблица 4.7. Размеры лабиринтных уплотнений, мм

$d_0$	$d_1$	$h \pm 1$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$	$D_6$	$D_7$	$D_8$	$D_9$
25	40	2,5	40,6	54,4	55,0	69,4	70,0	—	—	—	—
30	45	2,5	45,6	59,4	60,0	74,4	75,0	—	—	—	—
35	50	2,5	50,6	64,4	65,0	79,4	80,0	—	—	—	—
40	55	2,5	55,6	69,4	70,0	84,4	85,0	—	—	—	—
45	60	2,5	60,8	74,2	75,0	89,2	90,0	—	—	—	—
50	65	2,5	65,8	79,2	80,0	94,2	95,0	—	—	—	—
55	70	2,5	70,8	84,2	85,0	99,2	100,0	—	—	—	—
60	80	2,5	80,8	94,2	95,0	109,2	110,0	—	—	—	—
65	85	2,5	85,8	99,2	100,0	114,2	115,0	129,2	130,0	144,2	145,0
70	90	2,5	90,8	104,2	105,0	119,2	120,0	134,2	135,0	149,2	150,0
75	95	2,5	95,8	109,2	110,0	124,2	125,0	139,2	140,0	154,2	155,0
80	100	2,5	100,8	114,2	115,0	129,2	130,0	144,2	145,0	159,2	160,0
90	110	2,5	110,8	124,2	125,0	139,2	140,0	154,2	155,0	169,2	170,0
95	120	3,0	121,0	134,0	135,0	149,0	150,0	164,0	165,0	179,0	180,0
100	130	3,0	131,0	144,0	145,0	159,0	160,0	174,0	175,0	189,0	190,0
110	140	3,0	141,0	159,0	160,0	179,0	180,0	199,0	200,0	219,0	220,0
120	150	3,0	151,0	169,0	170,0	189,0	190,0	209,0	210,0	229,0	230,0
130	160	3,0	161,0	179,0	180,0	199,0	200,0	219,0	220,0	239,0	240,0
140	170	3,0	171,0	189,0	190,0	209,0	210,0	229,0	230,0	249,0	250,0
150	180	3,0	181,0	199,0	200,0	219,0	220,0	239,0	240,0	259,0	260,0
160	190	3,0	191,0	209,0	210,0	229,0	230,0	249,0	250,0	269,0	270,0
170	200	3,0	201,0	219,0	220,0	239,0	240,0	259,0	260,0	279,0	280,0

Примечание. Глубина кольцевых пазов примерно 8 мм.

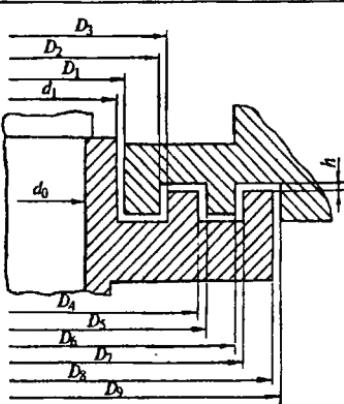


Рис. 4.7. Лабиринтные уплотнения для подшипников качения, заполненных консистентной смазкой

лов, масленки, стопорные элементы, предупреждающие осевое смещение подшипников, а также гайки и стопорные детали для закрепительных втулок.

При изготовлении новых бесконтактных щелевых канавочных уплотнений подшипников необходимо руководствоваться данными, приведенными в табл. 4.6 и на рис. 4.6, а для лабиринтных уплотнений — данными табл. 4.7 и рис. 4.7.

Контактные уплотнения, выполненные в виде сальниковых колец, изготавливаются в зависимости от окружных скоростей вала из грубошерстного, полугрубошерстного и тонкошерстного войлока (см. рис. 1.4, ч. 1). Кольца из грубошерстного войлока (ГОСТ 6418 "Войлок технический грубошерстный и детали из него для машиностроения. Технические условия") и полугрубошерстного войлока (ГОСТ 6308 "Войлок технический полугрубошерстный и детали из него для машиностроения. Технические условия") применяют при окружных скоростях до 2 м/с, из тонкошерстного войлока (ГОСТ 288 "Войлок технический тонкошерстный и детали из него для машиностроения. Технические условия") — при окружных скоростях до 5 м/с. Перед установкой кольца пропитывают нагретой смесью из 85 % универсальной среднеплавкой смазки и 15 % чешуйчатого графита. Стандартизированная конструкция войлочных уплотнений представлена на рис. 4.8, а размеры сальниковых колец и канавок — в табл. 4.8 [4, ч. 1].

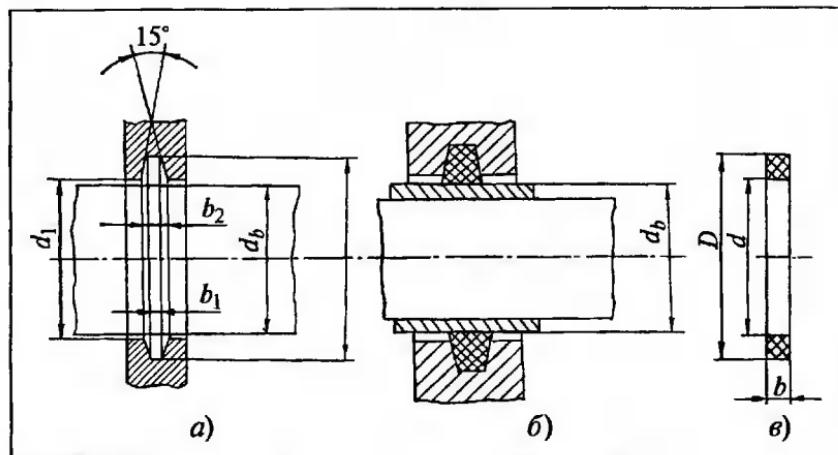


Рис. 4.8. Конструкция войлочных уплотнений:

а — канавка для войлочного кольца; б — уплотнение с установленной на вал втулкой; в — кольцо из войлока

Таблица 4.8. Размеры сальниковых колец и канавок, мм

Диаметр вала в местах уплотнений $d_a$	Кольцо			Канавка			
	$d$	$D$	$b$	$d_1$	$D_1$	$b_1$	$b_2$
10	9	18	2,5	19	11	2	3,0
12	11	20	2,5	21	13	2	3,0
14	13	22	2,5	23	15	2	3,0
15	14	23	2,5	24	16	2	3,0
16	15	26	3,5	27	17	3	4,3
17	16	27	3,5	28	18	3	4,3
18	17	28	3,5	29	19	3	4,3
20	19	30	3,5	31	21	3	4,3
22	21	32	3,5	33	23	3	4,3
25	24	37	5,0	38	26	4	5,5
28	27	40	5,0	41	29	4	5,5
30	29	42	5,0	43	31	4	5,5
32	31	44	5,0	45	33	4	5,5
35	34	47	5,0	48	36	4	5,5
36	35	48	5,0	49	37	4	5,5
38	37	50	5,0	51	39	4	5,5
40	39	52	5,0	53	41	4	5,5
42	41	54	5,0	55	43	4	5,5
45	44	57	5,0	58	46	4	5,5
48	47	60	5,0	61	49	4	5,5
50	49	66	6,0	67	51	5	7,1
52	51	68	6,0	69	53	5	7,1
55	54	71	6,0	72	56	5	7,1
58	57	74	6,0	75	59	5	7,1
60	59	76	6,0	77	61	5	7,1
65	64	81	6,0	82	66	5	7,1
70	69	88	7,0	89	71	6	8,3
75	74	93	7,0	94	76	6	8,3
80	79	98	7,0	99	81	6	8,3
85	84	103	7,0	104	86	6	8,3
90	89	110	8,5	111	91	7	9,6
95	94	115	8,5	116	96	7	9,6
100	99	124	9,5	125	101	8	11,1
105	104	129	9,5	130	106	8	11,1
110	109	134	9,5	135	111	8	11,1
115	114	139	9,5	140	116	8	11,1

При применении войлочного уплотнения в запыленной окружающей среде, которая может привести к повышенному износу вала, целесообразно на валу установить защитные втулки. Поверхность вала, которая находится в контакте с уплотнением, должна иметь твердость не ниже 45 HRC, биение шейки вала должно быть не более 0,1 мм (при окружной скорости менее 4 м/с) и не более 0,06 мм (при окружной скорости более 4 м/с). Поверхность в зоне контакта должна быть отполирована и иметь параметр шероховатости  $R_a \leq 1 \text{ мкм}$ .

Манжетные уплотнения — широко распространенный вид контактных уплотнений. Уплотняющая кромка и сопряженный с ней участок поверхности вала образуют важнейшую функциональную область манжетного уплотнения. Форма может обеспечивать дополнительный уплотняющий эффект. Манжетные уплотнения могут иметь дополнительную уплотняющую кромку, предотвращающую проникновение твердых загрязняющих частиц и пыли. Консистентная смазка, размещаемая в полости между кромками, может уменьшить износ и исключить коррозию вала ротора электродвигателя. Однако загрязнения, проникающие в полость между кромками, и

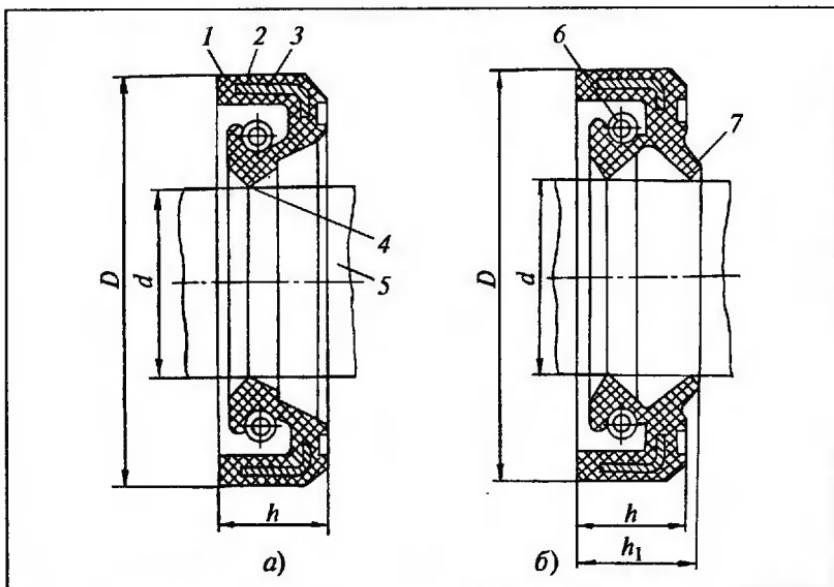


Рис. 4.9. Манжетные уплотнения типа 1 (а) и типа 2 с пыльником (б):  
 1 — резина; 2 — посадочная поверхность; 3 — каркас; 4 — рабочая кромка; 5 — вал; 6 — пружина; 7 — пыльник

Таблица 4.9. Основные размеры манжетных уплотнений первого ряда, мм

Диаметр вала $d$	$D$	$h$	$h_1$ , не более	Диаметр вала $d$	$D$	$h$	$h_1$ , не более
6 – 9	22	7	10	48 – 50	70	10	14
10 – 11	26	7	10	52	75	10	14
12 – 14	28	7	10	55 – 58	80	10	14
18	30, 32	7	10	60	85	10	14
15	30, 35	7	10	63 – 65	90	10	14
17	32	7	10	70 – 71	95	10	14
18 – 20	35	7	10	75	100	10	14
20 – 22	40	10	14	80	105	10	14
24	40	7	10	85	110	12	16
25	42	10	14	90 – 92	120	12	16
26	45	10	14	100	125	12	16
28	50	10	14	105	130	12	16
30 – 32	52	10	14	110	135	12	16
35 – 36	58	10	14	115	146	12	16
38	52	7	10	120	145, 150	12	16
38	58	10	14	125	155	12	16
40	60, 62	10	14	130	160	15	20
42	62	10	14	140	170	15	20
45	65	10	14				

выделяющееся в этой зоне тепло могут вызвать интенсивное изнашивание вала.

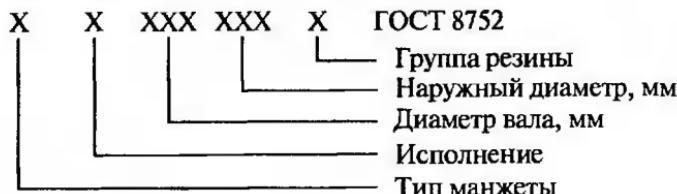
В подшипниковых узлах электродвигателей нашли применение стандартные армированные резиновые манжетные уплотнения первого ряда для валов по ГОСТ 8752 "Манжеты резиновые армированные для валов. Технические условия" (рис. 4.9). Для обеспечения надежного прилегания уплотняющей части манжетного уплотнения к валу в конструкции предусмотрена кольцевая пружина. Манжетные уплотнения могут быть двух типов: однокромочные, предназначенные для предотвращения вытекания смазки, и однокромочные с пыльником, предназначенные для предотвращения вытекания смазки и защиты от пыли. Основные размеры манжетных уплотнений первого ряда общего применения для всех отраслей промышленности приведены в табл. 4.9.

Для узлов, находящихся в эксплуатации, разрешается изготавливать манжеты с размерами, отличающимися от указанных в ГОСТ 8752,

Таблица 4.10. Параметры элементов подшипникового узла, сопрягаемых с манжетой

Параметр	Вал	Гнездо корпуса
Параметр шероховатости поверхности $R_a$ , мкм, при скорости скольжения, м/с:		
до 5	0,63 – 0,32	2,5 – 1,25
более 5	0,32 – 0,16	–
Твердость поверхности HRC, не менее, при скорости скольжения, м/с:		
до 4	30	–
более 4	50	–
Предельное радиальное биение поверхности вала, контактирующей с манжетой, мм, при частоте вращения, мин <sup>-1</sup> :		
до 1000	0,18	–
1000 – 2000	0,15	–
2000 – 3000	0,12	–
Отклонение от соосности посадочной поверхности под манжету относительно оси вращения вала, мм, не более, при диаметре вала, мм:		
до 55	–	0,10
55 – 120	–	0,15
120 – 140	–	0,20

по утвержденным чертежам. Манжетные уплотнения имеют следующие обозначения:



**Пример обозначения:** Манжета 1.1-26×45-1 ГОСТ 8752 — манжета первого типа, первого исполнения для вала диаметром 26 мм и наружным диаметром 45 мм из резины группы 1.

После демонтажа требующего замены манжетного уплотнения проверяют соответствие параметров деталей, сопрягаемых с манжетой (шеек валов и гнезд корпусов), требованиям табл. 4.10 [4, ч. 1].

При необходимости изготовления новых торцевых крышек корпусов подшипников руководствуются рис. 4.10 – 4.13 и табл. 4.11 – 4.14.

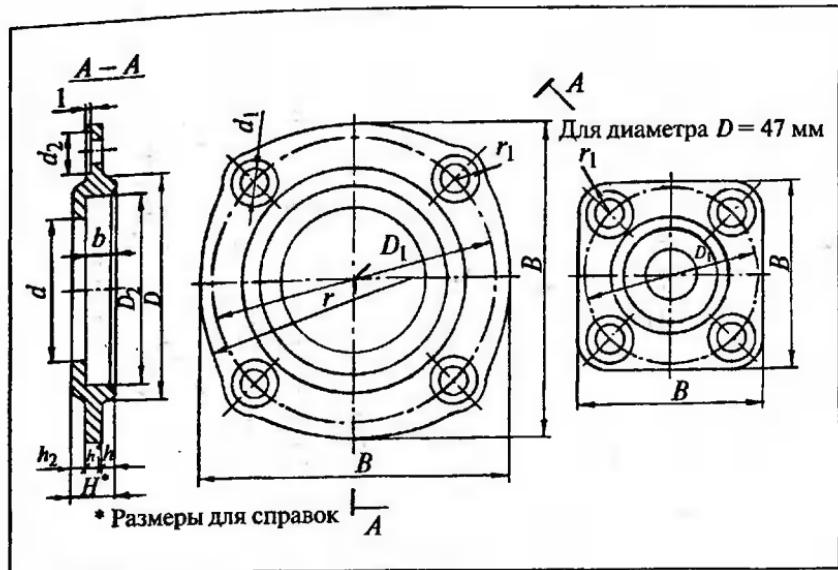


Рис. 4.10. Крышки торцевые с манжетным уплотнением низкие диаметром от 47 до 100 мм корпусов подшипников

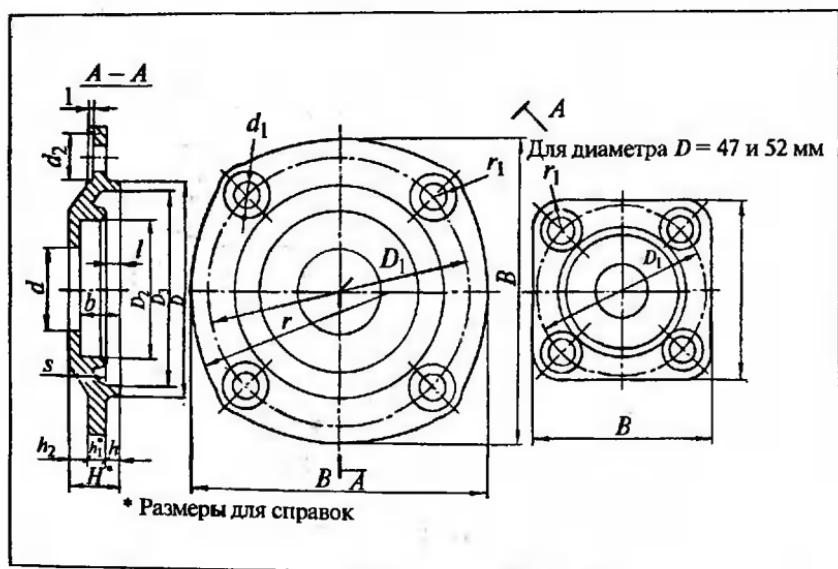


Рис. 4.11. Крышки торцевые с манжетным уплотнением средние диаметром от 47 до 100 мм корпусов подшипников

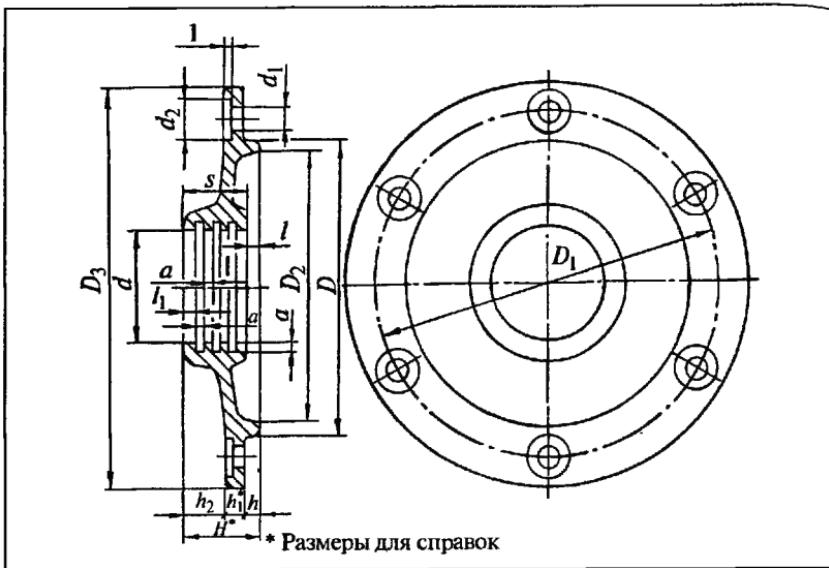


Рис. 4.12. Крышки торцевые с канавками средние диаметром от 170 до 400 мм корпусов подшипников

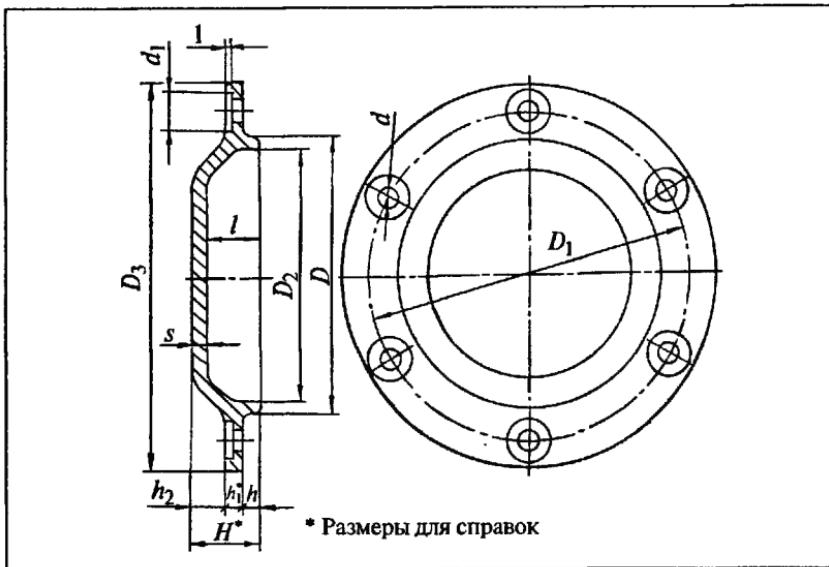


Рис. 4.13. Крышки торцевые глухие высокие диаметром от 110 до 270 мм корпусов подшипников

*Пример условного обозначения низкой торцевой крышки с манжетным уплотнением диаметром  $D = 80$  мм, диаметром  $d_{\text{ном}} = 45$  мм: Крышка МН 80 × 45.*

*Пример условного обозначения средней торцевой крышки с манжетным уплотнением диаметром  $D = 80$  мм,  $d_{\text{ном}} = 35$  мм: Крышка МС 80 × 35.*

Таблица 4.11. Крышки торцевые с манжетным уплотнением низкие диаметром от 47 до 100 мм корпусов подшипников, мм

Обозначение крышки	$D$	Диаметр вала или втулки $d_{\text{ном}}$	$d$	$D_1$	$D_2$	$d_1$	$d_2$	$B$	$b$	$H$	$h$	$h_1$	$h_2$	$r$	$r_1$	
МН 47 × 24	47	24	25	63	40			65						—	10,5	
МН 62 × 32	62	32	33	80	52			85						70		
МН 72 × 38	72	38	39	90	58	9	18	98	11,0	17	4	6	7	75	11,0	
МН 72 × 45		45	46		65			110								
МН 80 × 45	80			100												
МН 80 × 50		50	51		70			125						5	80	12,0
МН 90 × 50	90			110										9	85	12,5
МН 100 × 55	100	55	56	120	80	11	20	135	13,6	21	5	7				
МН 100 × 65		65	66		90											

Таблица 4.12. Крышки торцевые с манжетным уплотнением средние диаметром от 47 до 100 мм корпусов подшипников, мм

Обозначение крышки	$D$	Диаметр вала или втулки $d_{\text{ном}}$	$d$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$d_1$	$d_2$	$B$	$b$	$H$	$h$	$h_1$	$h_2$	$l$	$s$	$r$	$r_1$	
МС 47 × 17	47		17	18	63	41			65	11	15				5	3	12	—	10,5
МС 52 × 17	52				70	45			72										
МС 52 × 20		20	21		40				85									70	
МС 62 × 20	62			80		55			98	15	19								
МС 62 × 25		25	26		42		9	18				4	6		9	4	15		
МС 72 × 25	72			90		65			110										
МС 72 × 30		30	31		52				115										
МС 80 × 30	80			100		72													
МС 85 × 35		35	36		58														
МС 85 × 40	85	40	41	105	60	78													
МС 90 × 35		35	36		58				20			8			16		80	12,0	
МС 90 × 45	90	45	46	110	65	80	11	20	20	24		5	7		12	9			
МС 100 × 40		40	41		60				135	17	21				9	6	15		
МС 100 × 50	100	50	51	120	70	90				22	26				14	11	85	12,5	

Таблица 4.13. Крышки торцевые с прямоугольными канавками средние диаметром от 170 до 400 мм корпусов подшипников

Обозначение крышки	<i>D</i>	Диаметр вала или втулки <i>d<sub>ном</sub></i>	<i>d</i>	<i>D<sub>1</sub></i>	<i>D<sub>2</sub></i>	<i>D<sub>3</sub></i>	<i>d<sub>1</sub></i>	<i>d<sub>2</sub></i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>h<sub>1</sub></i>	<i>h<sub>2</sub></i>	<i>I</i>	<i>I<sub>1</sub></i>	<i>s</i>	<i>a</i>	
ЖС 170 × 70	170	70	70	200	158	230			37			22	7				
ЖС 170 × 85		85	85						40			25	10			5	30
ЖС 180 × 75	180	75	75	210	165	240	13	24		38		23	8				
ЖС 180 × 90		90	90						39				9				
ЖС 190 × 80	190	80	80	220	175	250			40			24	8				
ЖС 190 × 95		95	95						40				8				4
ЖС 200 × 85	200	85	85	230	185	260	15	26				10			6	32	
ЖС 200 × 100		100	100						39			23	7				
ЖС 215 × 90	215	90	90	250	200	285			40			22	8				
ЖС 215 × 110		110	110						44			26	12				
ЖС 225 × 95	225	95	95	260	210	295			42			22	8			34	
ЖС 230 × 115	230	115	115	270	216	305			48			28	9				
ЖС 240 × 100	240	100	100	280	225	315			47			27	8			7	39
ЖС 250 × 125	250	125	125	290	236	325			50			30	11				
ЖС 260 × 110	260	110	110	300	245	335			49			29	10				
ЖС 270 × 135	270	135	135	310	256	345			57			37	18				
ЖС 280 × 115	280	115	115	320	262	355				30							
ЖС 300 × 125	300	125	125	340	282	380	17	30	52			28	11		8	41	
ЖС 320 × 135	320	135	135		360	302	400					36	19				
ЖС 320 × 160		160	160						60								5
ЖС 340 × 140	340	140	140		380	315	420			54		28	11				
ЖС 340 × 170		170	170						62			36	19			9	43
ЖС 360 × 150	360	150	150		400	335	440			54		28	11				
ЖС 360 × 180		180	180						63			37	20				
ЖС 380 × 160	380	160	160	430	352	470	22	36		56		28	11		10	45	
ЖС 400 × 170	400	170	170	450	372	490			57			29	12				

Примечание. Количество отверстий для всех крышек равно 6.

Таблица 4.14. Крышки торцевые глухие высокие диаметром от 110 до 270 мм  
корпусов подшипника

Обозначение крышки	<i>D</i>	<i>D<sub>1</sub></i>	<i>D<sub>2</sub></i>	<i>D<sub>3</sub></i>	<i>d</i>	<i>d<sub>1</sub></i>	Количество отверстий <i>n</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>h<sub>1</sub></i>	<i>h<sub>2</sub></i>	<i>l</i>	<i>s</i>	
ГВ 110	110	130	100	155	11	20	4	28	5	7	16	22	6	
ГВ 120	120	145	110	175	13	24		29		9	15		7	
ГВ 125	125	150	116	180				34			20	27		
ГВ 130	130	155	118	185				36	6	19				
ГВ 140	140	165	128	195				37		21	29			
ГВ 150	150	180	138	210						22	30			
ГВ 160	160	190	148	220				36			21	29		
ГВ 170	170	200	158	230					10	20	28		8	
ГВ 180	180	210	165	240						24	34			
ГВ 190	190	220	175	250	15	26		42	8	12	17	28	9	
ГВ 200	200	230	185	260				37		21	32			
ГВ 215	215	250	200	285	17	30		41			18	29		
ГВ 225	225	260	210	295				38			24	35		
ГВ 230	230	270	216	305				44			21	32		
ГВ 240	240	280	225	315				41		33	44			
ГВ 250	250	290	236	325				53						
ГВ 260	260	300	245	335										
ГВ 270	270	310	256	345										

Пример условного обозначения высокой торцевой крышки с манжетным уплотнением диаметром  $D = 90$  мм,  $d_{\text{ном}} = 45$  мм: Крышка МВ 90 × 45.

Пример условного обозначения средней торцевой крышки с канавками диаметром  $D = 170$  мм,  $d_{\text{ном}} = 70$  мм: Крышка ЖС 170 × 70.

#### Примеры условного обозначения:

высокой глухой торцевой крышки диаметром  $D = 130$  мм: Крышка ГВ 130;

низкой глухой торцевой крышки диаметром  $D = 140$  мм: Крышка ГН 140.

В рассматриваемых электродвигателях наиболее распространенными способами крепления внутреннего кольца подшипника на валу являются:

- крепление с применением пружинного разрезного упорного кольца круглого или прямоугольного сечения, которое вставляется в кольцевую проточку вала (см. рис. 1.8, ч. 1);

- крепление с помощью гайки и стопорной шайбы, внутренний лепесток которой входит в паз в валу, а один из наружных зубцов загибается в прорезь гайки (см. рис. 1.10, ч. 1);
- крепление с применением плоской торцевой шайбы, которая прикрепляется к торцу вала болтами, которые фиксируются от самоотвинчивания стопорными пружинными шайбами, проволокой или парными шайбами, изготовленными из листового материала (см. рис. 1.2, в).

Для удобства монтажа и демонтажа подшипников с коническим отверстием их закрепляют на валу с помощью закрепительной втулки (см. рис. 1.9, ч. 1). Закрепительная втулка — это разрезная втулка с комплектом деталей, которые необходимы для фиксации на цилиндрическом валу подшипника с коническим отверстием. В комплект деталей входят гайки круглые шлицевые и шайбы.

Для фиксации наружного кольца подшипника в капсule (корпусе) наиболее широкое распространение получили точеные крышки (см. рис. 1.8, ч. 1).

После чистки и осмотра устраниют обнаруженные дефекты на деталях крепления от осевого смещения. При невозможности устранения обнаруженных дефектов детали заменяют резервными или изготавливают новые.

Для крепления закрепительных втулок используют круглые шлицевые гайки. На рис. 4.14 приведено одно из конструктивных исполнений, а в табл. 4.15 — размеры этих гаек.

Конструкция и размеры стопорных шайб для гаек (рис. 4.14, табл. 4.15) и закрепительных втулок представлены на рис. 4.15, а, б и в табл. 4.16 и 4.17.

Конструкция другого исполнения круглых гаек для крепления закрепительных втулок и внутренних колец подшипников представлена на рис. 4.16, а размеры — в табл. 4.18.

Конструкция и размеры стопорных шайб для гаек (см. рис. 4.16 и табл. 4.18) представлены на рис. 4.17 и в табл. 4.19.

В процессе ремонта выполняют осмотр пружинных упорных колец. Обнаруженные забоины, царапины, заусенцы и деформации устраниют зачисткой и рихтовкой. Размеры плоских пружинных упорных колец должны соответствовать данным табл. 4.20 и рис. 4.18, а канавок на валу ротора — табл. 4.21 и рис. 4.19.

При изготовлении пружинных упорных колец применяют рессорно-пружинную сталь марки 65Г, стальную холоднотянутую проволоку, стальную легированную проволоку, проволоку, листы и ленты из бериллиевой бронзы БрБ2, кремнемарганцевой бронзы

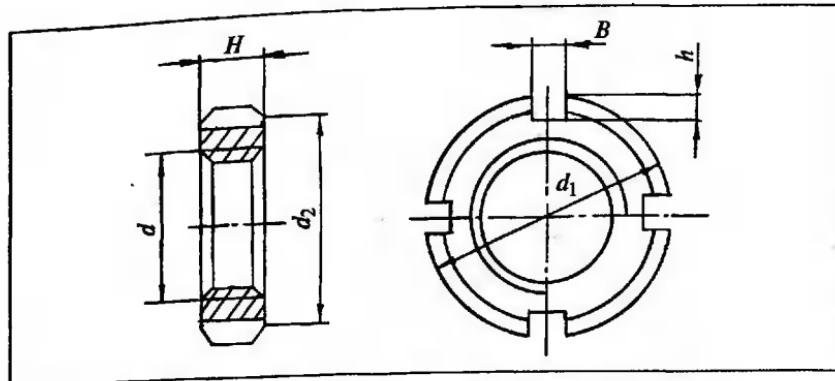


Рис. 4.14. Гайки для закрепительных втулок (табл. 35)

БрКМц3-1, оловянно-цинковые бронзы БрОЦ4-3 и другие материалы с высокими упругими свойствами.

Данными, приведенными в табл. 4.22, необходимо руководствоваться также при восстановлении канавок на валу ротора после восстановления посадочных мест, технология которого изложена ниже.

В подшипниковых узлах с периодическим добавлением пластичной смазки с применением пресс-масленок в отдельных случаях

Таблица 4.15. Размеры гаек для закрепительных втулок, мм

Диаметр отверстия закрепительной втулки	Обозначение резьбы $d$	$d_1$	$d_2$	$H$	$B$	$h$
20	M25 × 1,5	38	32,8	7	6	2,5
25	M30 × 1,5	44	38,8	7	6	2,5
30	M35 × 1,5	52	44,7	8	6	2,5
35	M40 × 1,5	57	49,7	9	6	3
40	M45 × 1,5	64	56,7	10	6	3
45	M50 × 1,5	68	61,7	11	6	3
50	M55 × 2	74,5	67,7	11	8	3,4
55	M60 × 2	80	73,7	11	8	3
60	M65 × 2	85	78,6	12	8	3
65	M75 × 2	98	89,6	13	10	3,5
70	M80 × 2	105	94,6	15	10	4
75	M85 × 2	110	101,6	16	10	4
80	M90 × 2	118	109,6	16	10	4

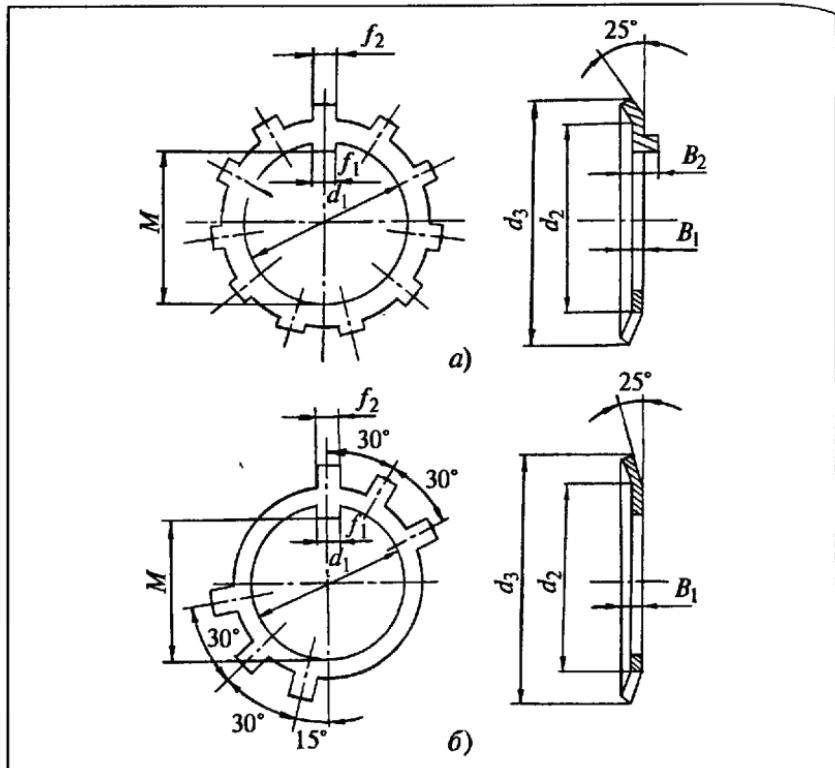


Рис. 4.15. Стопорные шайбы (табл. 36, 37)

возникает необходимость их замены. В этих случаях необходимо руководствоваться рис. 4.20, 4.21 и табл. 4.22, 4.23.

Пример условного обозначения пресс-масленки типа 1, № 2: Масленка 1.2, ГОСТ 19853 "Пресс-масленки. Технические условия".

*Пример условного обозначения пресс-масленки типа 2, № 1 с углом  $\alpha = 45^\circ$  с покрытием Ц6: Масленка 2.1.45.Ц6 ГОСТ 19853.*

Восстановление изношенных и поврежденных посадочных поверхностей валов и корпусов подшипников качения в период ремонта может быть выполнено с применением прогрессивных технологий и методов восстановления деталей (электродуговой, плазменной, электроконтактной наплавкой, газопламенным, плазменным напылением, применением композитных материалов и др.). В условиях электростанций и энергомонтных предприятий недостаточный натяг восстанавливают электродуговой наплавкой, электроискровой

Таблица 4.16. Стопорные шайбы для закрепительных втулок, мм (рис. 4.15, а)

Диаметр отверстия закрепительной втулки	Обозначение резьбы $d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$M$	$f_1$	$f_2$	Число зубцов по наружной поверхности $N$	$B_1$	$B_2$
20	M25 × 1,5	25,5	33	44	23	5,0	5,8	11	1,5	5
25	M30 × 1,5	30,5	39	49	28	5,8	5,8	11	1,5	5
30	M35 × 1,5	35,5	45	58	33	5,8	5,8	11	1,5	5
35	M40 × 1,5	40,5	50	62	38	5,8	5,8	11	1,5	5
50	M55 × 2	55,5	68	83	53	5,8	7,8	11	2	5
60	M65 × 2	65,5	79	93	63	5,8	7,8	11	2	6

Таблица 4.17. Стопорные шайбы для закрепительных втулок, мм (рис. 4.15, б)

Диаметр отверстия закрепительной втулки	Обозначение резьбы $d$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$M$	$f_1$	$f_2$	Число зубцов по наружной поверхности $N$	$B_1$
40	M45 × 1,5	45,5	57	69	43	7,8	5,8	6	1,25
45	M50 × 1,5	50,5	62	74	48	7,8	5,8	6	1,25
55	M60 × 2	60,5	74	84	58	7,8	7,8	6	1,5
65	M75 × 2	76	90	103	71	9,8	9,8	6	1,5
75	M80 × 2	81	95	113	76	9,8	9,8	6	1,8
75	M85 × 2	86	102	118	81	9,8	9,8	6	1,8
80	M90 × 2	91	110	124	86	11,8	9,8	6	1,8

вым методом или установкой втулки, а также применением композитных материалов.

Электродуговая наплавка заключается в том, что под действием высокой температуры электрической дуги, горящей между электродом и посадочным местом вала, к которому подведен ток, электродный и основной металлы расплавляются, создавая на поверхности изделия общую ванну. С отдалением электрической дуги расплавленный металл затвердевает, образуя наплавленный валик. Для получения минимальной глубины проплавления основного металла электрод наклоняют в сторону, обратную направлению наплавки. Ручную наплавку выполняют электродами диаметром 2 – 6 мм на постоянном токе обратной полярности.

Перед наплавкой посадочное место протачивают на токарном станке, снимая слой металла. Наплавку производят путем нанесения сварочных швов вдоль вала. Эти швы, перекрывая друг друга, создают слой металла и увеличивают диаметр посадочного места.

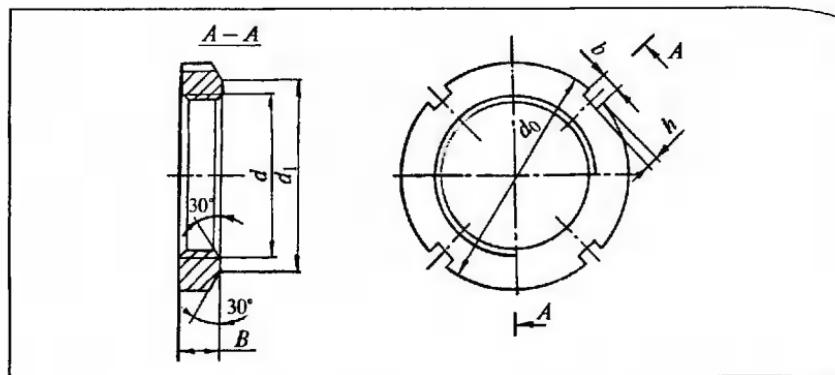


Рис. 4.16. Круглые шлицевые гайки для закрепительных втулок (табл. 38)

Таблица 4.18. Гайки для закрепительных втулок и внутренних колец подшипников, мм (рис. 4.16)

$d$	$d_0$	$d_1$	$B$	$b$	$h$
M10 × 0,75	18	13,5	4	3	2,0
M12 × 1	22	17,0	4	3	2,0
M15 × 1	25	21,0	5	4	2,0
M17 × 1	28	24,0	5	4	2,0
M20 × 1	32	26,0	6	4	2,0
M25 × 1,5	38	32,0	7	5	2,0
M30 × 1,5	45	38,0	7	5	2,0
M35 × 1,5	52	44,0	8	5	2,0
M40 × 1,5	58	50,0	9	6	2,5
M45 × 1,5	65	56,0	10	6	2,5
M50 × 1,5	70	61,0	11	6	2,5
M55 × 2	75	67,0	11	7	3,0
M60 × 2	80	73,0	11	7	3,0
M65 × 2	85	79,0	12	7	3,0
M70 × 2	92	85,0	12	8	3,5
M75 × 2	98	90,0	13	8	3,5
M80 × 2	105	95,0	15	8	3,5
M85 × 2	110	102	16	8	3,5
M90 × 2	120	108	16	10	4,0
M95 × 2	125	113	17	10	4,0
M100 × 2	130	120	18	10	4,0
M110 × 2	145	133	19	12	5,0
M120 × 2	145	135	20	12	5,0
M125 × 2	160	148	21	12	5,0
M130 × 2	165	149	21	12	5,0

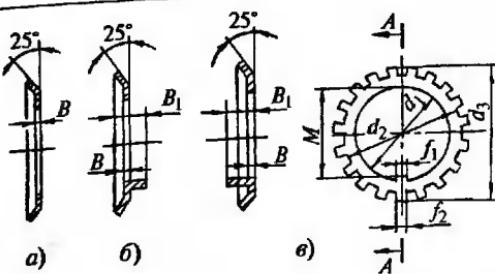


Рис. 4.17. Стопорные шайбы для закрепительных втулок и внутренних колец подшипников (табл. 39):  
 а — с прямым внутренним лепестком; б — с лепестком, отогнутым наружу; в — с лепестком, отогнутым внутрь

Таблица 4.19. Стопорные шайбы для закрепительных втулок и внутренних колец подшипников, мм (рис. 4.17)

$d_1$	$d_2$	$d_3$	$f_1$	$f_2$	Рис. 4.17, а, б		Рис. 4.17, в		$B_1$	Число зубцов по наружной поверхности $N$
					$B$	$M$	$B$	$M$		
10	13,5	21	3	3	1,0	8,5	—	—	3	9
12	17,0	25	3	3	1,0	10,5	—	—	3	11
15	21,0	28	4	4	1,0	13,5	1,5	12,1	4	11
17	24,0	32	4	4	1,0	15,5	1,5	14,1	4	11
20	26,0	36	4	4	1,0	18,5	1,5	17,2	4	11
25	32,0	42	5	5	1,25	23,0	1,5	21,8	4	13
30	38,0	49	5	5	1,25	27,5	1,5	26,8	4	13
35	44,0	57	6	5	1,25	32,5	1,5	31,7	4	13
40	50,5	62	6	6	1,25	37,5	1,8	36,4	5	13
45	56,0	69	6	6	1,25	42,5	1,8	41,4	5	13
50	61,0	74	6	6	1,25	47,5	1,8	46,4	5	13
55	67,0	81	8	7	1,5	52,5	1,8	51,0	5	17
60	73,0	86	8	7	1,5	57,5	2,0	55,8	6	17
65	79,0	92	8	7	1,5	62,5	2,0	60,8	6	17
70	85,0	98	8	8	1,5	66,5	2,0	65,8	6	17
75	90,0	104	8	8	1,5	71,7	2,5	70,4	6	17
80	95,0	112	10	8	1,8	76,5	2,5	75,0	6	17
85	102,0	119	10	8	1,8	81,5	2,5	80,0	6	17
90	108,0	126	10	10	1,8	86,5	3,0	84,0	8	17
95	113,0	133	10	10	1,8	91,5	3,0	89,5	8	17
100	120,0	142	12	12	1,8	96,5	3,0	94,5	8	17
110	133,0	154	12	12	1,8	100,5	3,0	99,5	10	17
120	135,0	148	14	12	2,0	115,0	3,5	109,0	10	19
125	148,0	170	14	12	2,0	120,0	4,0	118,0	10	17
130	149,0	175	14	12	2,0	125,0	4,0	123,0	10	17

Таблица 4.20. Кольца пружинные упорные плоские наружные концентрические, мм (рис. 4.18)

Диаметр вала $d$	$d_2$	$d_3$	$s$	$b$	$l$
4	3,5	—	0,4	0,8	0,8
5	4,5	—	0,6	0,8	0,8
6	5,4	—	0,7	1,2	0,8
7	6,4	—	0,8	1,2	0,8
8	7,2	—	1,0	1,7	2
9	8,2	—	1,0	1,7	2
10	9,2	—	1,0	1,7	2
12	11,0	—	1,0	2,0	3
14	12,9	—	1,0	2,0	4
15	13,8	—	1,0	2,0	4
16	14,7	—	1,2	2,5	4
18	16,5	—	1,2	2,5	5
19	17,5	—	1,2	2,5	5
20	18,2	—	1,2	3,2	5
22	20,2	—	1,2	3,2	5
23	21,1	—	1,2	3,2	5
24	22,1	—	1,2	3,2	5
25	23,1	—	1,2	3,2	5
26	24,0	—	1,2	3,2	5
28	25,8	—	1,2	4,0	6
30	27,8	—	1,2	4,0	6
32	29,8	—	1,2	4,0	6
34	31,4	—	1,2	4,0	6
35	32,2	—	1,7	5,0	6
36	33,0	—	1,7	5,0	8
37	34,0	—	1,7	5,0	8
38	35,0	—	1,7	5,0	8
40	36,5	—	1,7	5,0	8
42	38,5	—	1,7	5,0	8
45	41,5	—	1,7	5,0	8
46	42,5	—	1,7	5,0	8
48	44,5	—	1,7	5,0	8
50	45,8	2,0	2,0	6	8
52	47,8	2,0	2,0	6	8
54	49,8	2,0	2,0	6	8
55	50,8	2,0	2,0	6	8

Диаметр вала $d$	$d_2$	$d_3$	$s$	$b$	$l$
56	51,8	2,0	2,0	6	8
58	53,8	2,0	2,0	6	8
60	55,8	2,0	2,0	6	10
62	57,8	2,0	2,0	6	10
65	60,8	2,5	2,5	7	10
68	63,6	2,5	2,5	7	10
70	65,6	2,5	2,5	7	10
72	67,6	2,5	2,5	7	10
75	70,6	2,5	2,5	7	10
78	73,5	2,5	2,5	8	10
80	75,0	2,5	2,5	8	10
82	77,0	2,5	2,5	8	10
85	79,5	2,5	2,5	8	10
88	82,5	3,0	3,0	9,5	10
90	84,5	3,0	3,0	9,5	10
92	86,5	3,0	3,0	9,5	10
95	89,5	3,0	3,0	9,5	12
100	94,5	3,0	3,0	9,5	12

Примечание. Радиус закрутления  $r_1 = 0,1$  мм для  $d = (4 \div 7)$  мм; 0,2 мм для  $d = (8 \div 34)$  мм; 0,3 мм для  $d = (35 \div 62)$  мм; 0,4 мм для  $d = (65 \div 100)$  мм.

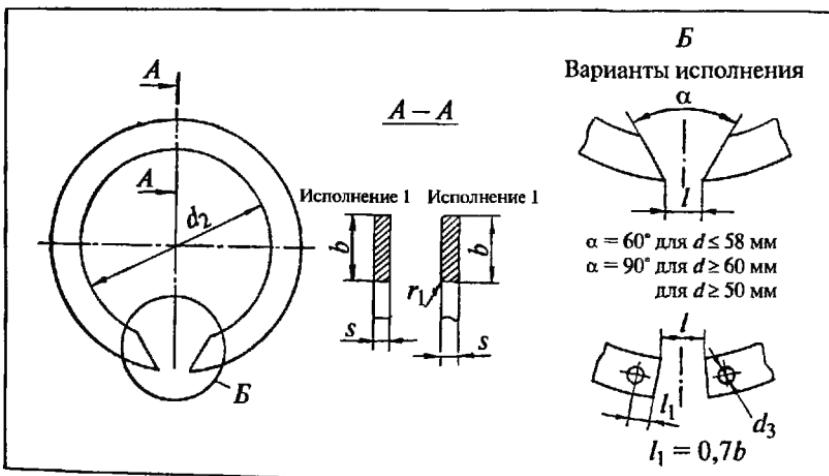


Рис. 4.18. Плоские пружинные упорные наружные кольца (табл. 40)

Таблица 4.21. Размеры канавок на валу ротора под пружинные упорные плоские наружные концентрические кольца, мм (рис. 4.19)

Диаметр вала $d$	$d_1$	$b_1$									
4	3,6	0,5	16	15,0	1,4	34	32,2	1,4	60	57,0	2,2
5	4,6	0,7	18	16,8	1,4	35	33,0	1,9	65	62,0	2,8
6	5,6	0,8	20	18,6	1,4	36	34,0	1,9	70	67,0	2,8
7	6,6	0,9	22	20,6	1,4	40	37,5	1,9	75	72,0	2,8
8	7,5	1,2	24	22,5	1,4	42	39,5	1,9	80	83,5	2,8
9	8,5	1,2	25	23,5	1,4	45	42,5	1,9	85	81,5	2,8
10	9,5	1,2	26	24,5	1,4	48	45,5	1,9	90	86,5	3,5
12	11,3	1,2	28	26,5	1,4	50	47,0	2,2	95	91,5	3,5
14	13,2	1,2	30	28,5	1,4	52	49,0	2,2	100	96,5	3,5
15	14,1	1,2	32	30,2	1,4	55	52,0	2,2	—	—	—

Примечание. Радиус закругления  $r = 0,1$  мм для  $d = (4 \div 7)$  мм; 0,2 мм для  $d = (8 \div 34)$  мм; 0,3 мм для  $d = (35 \div 62)$  мм; 0,4 мм для  $d = (65 \div 100)$  мм.

При наплавке вала изменяется структура поверхности основного металла, могут возникнуть местные напряжения и деформации вала. Поэтому работа должна выполняться высококвалифицированным электросварщиком, имеющим опыт выполнения такой работы.

Перед наплавкой необходимо проверить плавность перехода мест с разными диаметрами, так как неправильно выполненный переход (отсутствие закругления в месте перехода) способствует концентрации напряжений.

При наложении валика сварочного шва этот участок вала, нагреваясь, удлиняется и вызывает деформацию изгиба вала. Для предотвращения изгиба вала последовательно наплавляемые швы должны располагаться диаметрально.

После наплавки группы швов зачищают от шлака и производят последовательную наплавку до получения толщины наплавленного металла, обеспечивающей проточку вала до необходимого диаметра. Часть валиков выполняют длиннее.

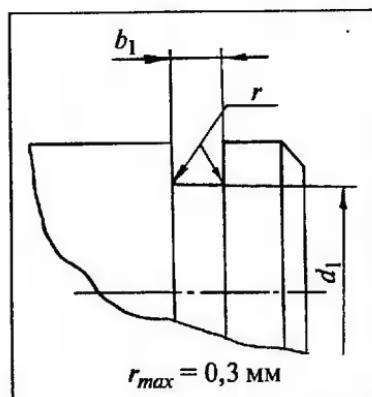


Рис. 4.19. Канавки на валу ротора под упорные кольца (табл. 41)

чем посадочное место, и располагают по окружности равномерно. Эта дополнительная мера позволит уменьшить напряжения в металле и придаст плавный характер структурным изменениям. Строгое соблюдение технологии позволяет получить наплавленный вал без резких изменений в структуре металла. После наплавки производят токарную обработку и шлифовку ремонтируемого участка вала.

“Методическими рекомендациями по восстановлению деталей энергетического оборудования методами наплавки и газотермического напыления” СО-34.03.151-2004, утвержденными Департаментом технического перевооружения и совершенствования энергомонтажа ОАО РАО “ЕЭС России” 03.03.04, для восстановления посадочных мест под подшипники качения рекомендовано применение электродугового и плазменного напыления. При электродуговом напы-

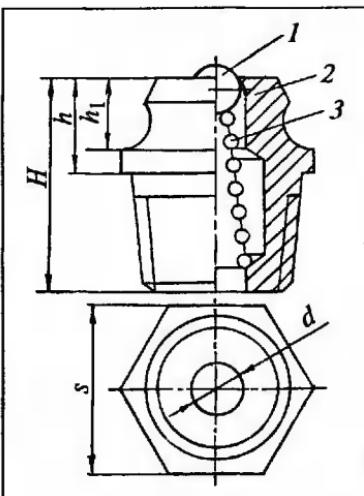


Рис. 4.20. Пресс-масленка прямая для пластичных материалов типа 1:  
1 — запорный элемент; 2 — корпус масленки; 3 — пружина

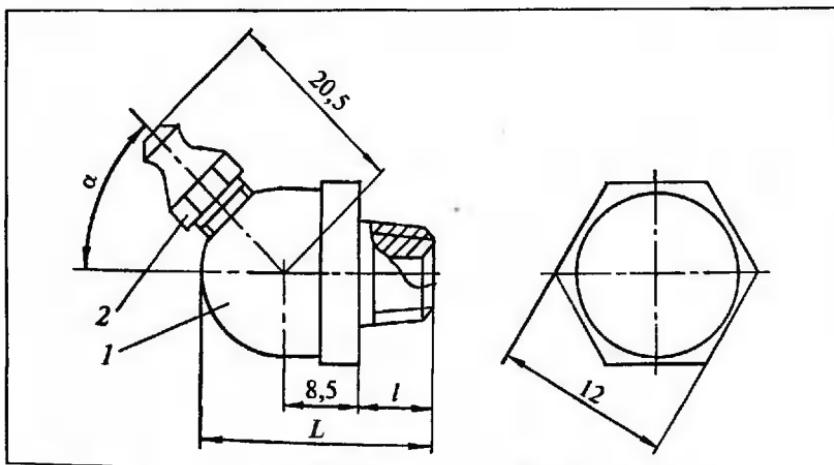


Рис. 4.21. Пресс-масленка угловая для пластичных материалов типа 2:  
1 — вставной элемент; 2 — переходной штуцер

Таблица 4.22. Масленка прямая для пластичных материалов типа 1, мм

Номера (типоразмеры) масленок	Резьба	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>h<sub>1</sub></i>	<i>s</i>	<i>d</i>
1	M6 × 1 коническая	13	8	6,0	8	
2	M10 × 1	18	10	7,0	10	2,0
3	K 1/8" ГОСТ 6111					
4	K 1/4" ГОСТ 6111	24	12	7,5	14	4,5

Таблица 4.23. Масленка угловая для пластичных материалов типа 2, мм

Номера (типоразмеры) масленок	Резьба	<i>L</i>	<i>l</i>	<i>α</i> , град.
1	M6 × 1 коническая	19	6	
2	M10 × 1	22	8	45,90
3	K 1/8" ГОСТ 6111			

лении рекомендуется использовать стальную наплавочную проволоку марки Нп-65 и Нп-80 (ГОСТ 10543 "Проволока стальная наплавочная. Технические условия"), а при плазменном напылении — материалы ПГ-10Н-04 (ТУ 48-19-383-91), ПГ-12Н-01 (ТУ 48-19-383-91), ПН-77Х15С3Р2 (ТУ 14-127-185-82), ПТ-НА-01 (ТУ 48-19-383-91), ПН-55Т45 (ТУ 14-1-3282-81).

При использовании метода электроискрового восстановления посадочное место восстанавливают с помощью переносной установки "Элитрон-22", состоящей из генератора и вибратора. Генератор служит для генерирования технологического тока, питания обмоток вибратора, контроля и управления технологическим процессом и выполнен в виде настольного прибора. Вибратор предназначен для коммутирования разрядной цепи выбирирующим электродом. При его нормальной работе обеспечиваются оптимальная производительность и высокое качество обработанной поверхности вала.

Перед началом работы с обрабатываемой поверхности удаляют смазку, ржавчину, загрязнения. Переключатель режима работы устанавливают в одно из девяти положений, которые регламентируют толщину накладываемого металла. Установка обеспечивает наложение слоя металла толщиной от 0,03 до 0,12 мм. Восстановление посадочной поверхности производят электродом из материала, близкого по составу к материалу наплавляемого вала.

Процесс восстановления натяга целесообразно совместить с одновременным упрочнением поверхности. Для этого в качестве электрода используют сплав Т15К6, металлокерамические сплавы группы ВК и др. Если натяг подшипника соответствует норме, следует выполнить только упрочнение посадочной поверхности без увеличения ее диаметра с применением графита в качестве электрода. В этом случае упрочнение происходит за счет науглероживания и одновременно своеобразной закалки поверхностных слоев металла. В качестве электрода для упрочнения или увеличения диаметра можно применять также хром, феррохром, вольфрам и др.

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

Втулку в корпус подшипника (капсуля) устанавливают аналогично изложенному выше. Для исключения возможности проворачивания втулки в корпусе последняя стопорится тремя шпильками, равномерно расположеннымными по окружности касания.

В настоящее время для сокращения простоеев электродвигателей в ремонте, сокращения трудозатрат и стоимости ремонтных работ в РФ и за рубежом для восстановления посадочных мест применяют технологию ускоренного ремонта с использованием трехмерной молекулярной структуры в виде композита, состоящего из основы и отвердителя. Основные компоненты содержат высокомолекулярные вещества, а также частицы специально подобранных материалов. Смесь компонентов в пастообразном состоянии наносят шпателем или кистью на подготовленную посадочную поверхность ротора. Для улучшения сцепления композита с посадочной поверхностью на последней выполняют винтовую нарезку. Основа и отвердитель композита имеют разные цветовые гаммы, это позволяет улучшить оптический контроль при смешивании компонентов. Композиты имеют высокую ударную вязкость, прочность при изгибе и сжатии, быстрое холодное отверждение. Хорошая адгезия к посадочной поверхности обеспечивает выполнение аварийного ремонта в сжатые сроки. Отсутствие усадки и расширения материала

гарантирует соблюдение точной геометрии посадочной поверхности подшипника без последующей механической обработки (при аварийном ремонте).

Эластичность композитов обеспечивает надежность соединения разнородных материалов с разными коэффициентами линейного расширения. Отремонтированное с применением композитов посадочное место обрабатывают на токарном станке обычным инструментом, за исключением керамических материалов, для которых применяют алмазный инструмент.

Отдельные материалы применяются в виде ремонтного карандаша, в капсулах которого размещены два компонента композита. Необходимое количество компонентов материалов отрезают ножом, смешивают вручную и наносят на посадочную поверхность. Композит затвердевает в течение короткого времени. Это время зависит от типа применяемого композита.

Для восстановления поврежденных и изношенных посадочных мест под подшипники качения целесообразно использовать материалы фирмы "Бельзона" серии 1000: 1111, 1121, 1221. Высокоэффективные материалы этой серии состоят из базы, включающей частицы металла, и отвердителя, которые легко смешиваются и наносятся на поверхность. По данным фирмы "Бельзона" восстановленная поверхность соответствует долговечности нового вала. Время использования композитов фирмы "Бельзона" при температуре 15 °C составляет 25 мин для состава 1111, 60 мин для состава 1121, 4 мин для состава 1221. Полная механическая нагрузка на восстановленную поверхность может быть приложена для композита 1111 через 36 ч, для композита 1121 через 72 ч, для композита 1221 через 1,5 ч. Время использования уменьшается с повышением температуры и увеличивается с ее понижением. Время до полного отверждения также сокращается при повышении температуры и увеличивается при ее понижении. В целях ускорения процесса отверждения целесообразно выполнить местный нагрев посадочного места вала ротора электродвигателя.

После выполнения технологических операций по восстановлению посадочной поверхности вала одним из изложенных выше способов и ее механической обработки проводят измерения ее диаметра и длины (от торца вала до упорного заплечика), радиуса галтельного перехода, высоты заплечика, определяют шероховатость поверхностей. Результаты измерений сравнивают с данными ремонтных чертежей, чертежей заводов-изготовителей, а также техническими требованиями, которые изложены выше.

Характер сопряжения подшипника с валом и корпусом (капсулой) во многом определяется видом нагрузок, действующих на подшипник. Нагрузки дорожек качения внутреннего и наружного колец различны. Наружное кольцо подшипника при вращении ротора испытывает местное нагружение (т.е. общую нагрузку, приложенную к валу только на ограниченном нижнем участке), а внутреннее кольцо — циркуляционное нагружение (т.е. за один оборот последовательно нагружена вся дорожка качения).

В связи с этим сопряжение местнонагруженного наружного кольца с корпусом подшипника (капсулой) должно допускать медленное проворачивание кольца под действием вибраций и толчков, чтобы зона нагружения дорожки качения постепенно изменяла свое положение по окружности и меньше изнашивалась. Внутреннее кольцо, на которое действует циркуляционная нагрузка, необходимо установить на валу неподвижно. Наличие зазора в этом соединении приведет к развалыванию более мягкой посадочной поверхности вала.

При ремонте подшипниковых узлов необходимо руководствоваться чертежами и рекомендациями заводов-изготовителей. При их отсутствии руководствуются следующим. При частоте вращения ротора электродвигателя  $1500 \text{ мин}^{-1}$  и ниже применяют посадку I подшипников на валу и посадку II в капсule или в корпусе (торцевом щите) (табл. 4.24). При частоте вращения  $3000 \text{ мин}^{-1}$  применяют посадки, обеспечивающие меньший натяг, — посадку III на вал и

Таблица 4.24. Посадки подшипников качения при частоте вращения роторов электродвигателей  $1500 \text{ мин}^{-1}$  и ниже

Номинальный диаметр вала, мм	Отклонение внутреннего диаметра подшипника, мкм, для класса точности подшипника 0		Посадка I				Посадка II				Натяг, мкм	Зазор, мкм		
	верхнее	нижнее	верхнее	нижнее	Предельное отклонение диаметра вала, мкм		верхнее	нижнее	верхнее	нижнее				
					макс.	мин.								
10 – 18	0	–8	+14	+2	22	2	+6	–6	14	6				
18 – 30	0	–10	+17	+2	27	2	+7	–7	17	7				
30 – 50	0	–12	+20	+3	32	3	+8	–8	20	8				
50 – 80	0	–15	+23	+3	38	3	+10	–10	25	10				
80 – 120	0	–20	+26	+3	46	3	+12	–12	32	12				
120 – 180	0	–25	+30	+4	55	4	+14	–14	39	14				
180 – 250	0	–30	+35	+4	65	4	+16	–16	46	16				

Таблица 4.25. Посадки подшипников качения при частоте вращения роторов электродвигателей  $3000 \text{ мин}^{-1}$

Номи- нальный диаметр вала, мм	Отклонение внутреннего диаметра подшипника, мкм, для класса точности подшипника 0		Посадка III				Посадка IV			
			Предельное отклонение диаметра отверстия, мкм		Наибольшая разница в диаметрах от- верстия и подшипника		Предельное отклонение диаметра отверстия, мкм		Наибольшая разница в диаметрах от- верстия и подшипника, мкм	
	верхнее	нижнее	верх- нее	ниж- нее	натяг	зазор	верх- нее	ниж- нее	натяг	зазор
30 – 50	0	-11	+18	-8	8	29	+28	0	0	39
50 – 80	0	-13	+20	-10	10	33	+30	0	0	43
80 – 120	0	-15	+23	-12	12	38	+35	0	0	50
120 – 150	0	-18	+27	-14	14	45	+40	0	0	58
150 – 180	0	-25	+27	-14	14	52	+40	0	0	65
180 – 250	0	-30	+30	-16	16	60	+45	0	0	75

посадку IV в капсule или в корпусе (торцевом щите) (табл. 4.25). В отдельных случаях используют посадку III на вал и посадку IV в торцевом щите при частоте вращения ротора электродвигателя  $1500 \text{ мин}^{-1}$  и ниже.

#### 4.4. СБОРКА ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

**Проверка технического состояния подшипников.** Перед установкой подшипников на вал и в корпус (капсule) их проверяют, предварительно тщательно промыв. В объем проверки входят визуальный осмотр, проверка наличия маркировки, измерение зазоров, проверка легкости вращения подшипника. При осмотре проверяют отсутствие дефектов поверхностей колец, тел качения и сепаратора.

При проверке маркировки подшипника обращают внимание на наличие и соответствие клейм на кольцах, содержащих информацию об условном обозначении подшипника, заводе-изготовителе и др.

Легкость вращения и его шумность обычно проверяют вращением от руки в горизонтальной плоскости одного из колец подшипника при неподвижном другом кольце. Подшипники должны вращаться плавно, без заеданий и торможения.

Для оценки технического состояния подшипников качения в последние годы находят применение стенды и станки для проверки и проведения входного контроля. Фирма “Вибро-Центр” (г. Пермь) разработала станок СВК-А для проведения входного контроля и определения технического состояния подшипников качения. Этот

станок целесообразно использовать для оценки пригодности подшипников качения перед установкой их в подшипниковый узел.

В процессе оценки технического состояния подшипника качения на станке СВК-А контролируют и измеряют радиальные зазоры в подшипнике, анализируют состояние рабочих поверхностей и тел качения по вибрации, регистрируемой в радиальном и осевом направлениях с помощью вибродатчиков. При применении этого станка измерение радиальных зазоров выполняют микрометром с созданием определенного усилия от нижнего узла нагружения подшипника. В процессе вибрационной проверки подшипник нагружают радиальным усилием, а для радиально-упорных подшипников — осевым усилием на двух частотах вращения. По результатам выполненной диагностической программы подшипники делятся на три категории качества: годен без ограничений, годен для тихоходного оборудования или непригоден в эксплуатации.

Станок СВК-А является универсальным, в нем для установки и демонтажа подшипников применяются самоцентрирующиеся разрезные цанги для каждого диаметра подшипника. В состав станка СВК-А входят сам станок с набором цанг, компьютер с принтером, датчики и программное обеспечение. Программное обеспечение состоит из базы данных по подшипникам качения и базы данных по радиальным зазорам.

Компанией "Балтех" (г. Санкт-Петербург) разработан стенд для проверки подшипников "Протон-СПП", который предназначен для оценки технического состояния подшипников качения. Стенд "Протон-СПП" предназначен для автоматической диагностики технического состояния подшипников качения, регистрации и анализа вибросигналов с датчиков, установленных на подшипниках с целью определения технического состояния подшипников качения. В процессе диагностики совместно со стендом "Протон-СПП" используют компьютер Pentium IV или др.

Радиальный зазор (рис. 4.22) между кольцами и телами качения обуславливает некоторую свободу взаимного перемещения колец относительно друг друга в радиальном направлении, а осевая игра (рис. 4.23) — осевое перемещение кольца подшипника из одного крайнего положения в другое при неподвижном первом кольце. У радиальных двухрядных сферических подшипников зазор в радиальном направлении не совпадает по величине с зазором в направлении контакта. Однако разностью этих зазоров можно пренебречь, так как она не превышает 3 % поля допуска.

У подшипников качения нерегулируемого типа существуют следующие виды радиальных и осевых зазоров:

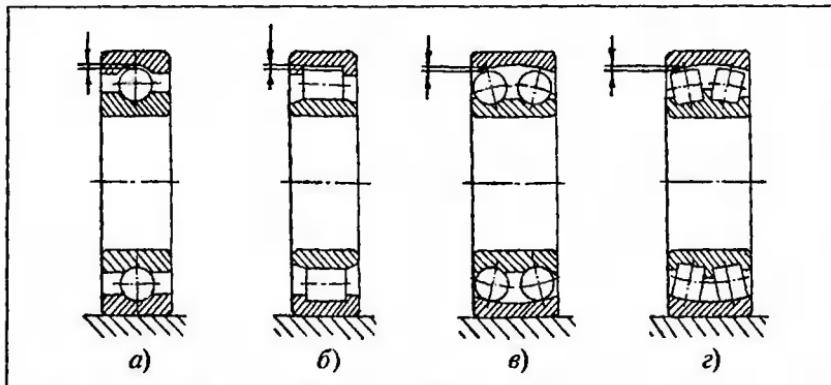


Рис. 4.22. Радиальные зазоры в радиальных подшипниках:

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

- контрольный, который определяют в собранном подшипнике;
- начальный, который имеет место в подшипнике до его монтажа. Начальный зазор принимают равным контрольному, пренебрегая влиянием небольших упругих деформаций, возникающих при измерении зазора (см. табл. 14 – 18, ч. 1);
- посадочный (монтажный) зазор, который образуется после установки подшипника на вал;
- эксплуатационный (рабочий) зазор, который существует в подшипнике при работе под нагрузкой.

Измерение радиального зазора можно производить пластинчатым шупом, пластину которого заводят между телом качения и поверхностью внутреннего кольца в нижней его части. При измерении индикатором радиального зазора подшипника ножку индикатора помещают на точку наружного кольца, затем рычагом или рукой перемещают наружное кольцо в радиальном направлении (рис. 4.24).

При измерении осевой игры ножку индикатора упирают в торец вала или наружного кольца подшипника и аксиально перемещают вал или кольцо в обе стороны. Штатив с

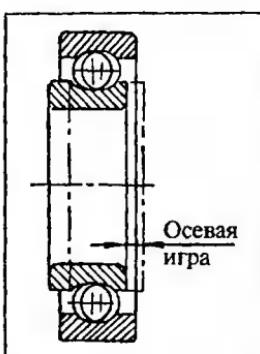


Рис. 4.23. Осьвая игра в подшипнике шариковом радиальном однорядном

жестко закрепленной на нем головкой индикатора должен быть устойчивым.

Шупом радиальные зазоры измеряют независимо от того, установлены или не установлены подшипники на вал. Измеренная величина зазора достоверна, если шуп свободно с небольшим усилием (от руки) проходит между телами и дорожками качения по всей длине ролика или по большей его части. У радиальных сферических двухрядных роликоподшипников зазоры измеряют в обоих рядах, когда ролики прижаты к среднему борту. Радиальный зазор равен среднеарифметическому значению зазоров обоих рядов. Если подшипники опираются на наружное кольцо, то радиальные зазоры измеряют шупом обычно в верхней зоне.

У безбортовых роликовых подшипников и подшипников с боргами на наружном кольце, установленных на валу, нет необходимости приподнимать наружное кольцо: радиальный зазор измеряют в нижней зоне между дорожкой качения внутреннего кольца и нижним роликом. У не установленных на вал роликоподшипников перед измерением зазора в нижней зоне необходимо рукой приподнять внутреннее кольцо вверх до контакта роликов с дорожкой качения наружного кольца; тогда шуп необходимо пропускать под роликами с некоторым усилием (от руки), так как на него действует масса ролика. В нижней зоне можно измерять зазоры и у двухрядных сферических роликоподшипников, установленных на валах. При измерении запрещается накатывание роликов на пластины шупа.

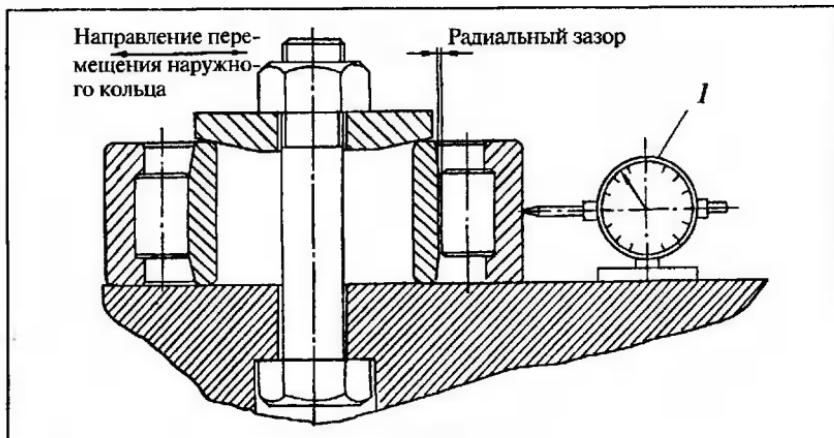


Рис. 4.24. Измерение радиального зазора подшипника качения:  
1 — индикатор часового типа

Замеры выполняют в четырех – шести положениях через каждые  $120 - 180^\circ$  поворота колец, на полном обороте сепаратора, чему соответствуют примерно два оборота внутреннего кольца. За результат измерения принимают максимальное значение. Радиальный зазор равен среднеарифметическому значению измерений. Измеренный зазор сравнивают с допустимым. Если зазоры в подшипниках соответствуют допустимым, то подшипник пригоден к дальнейшей эксплуатации. Если зазоры превышают допустимые, то рассматривают вопрос о необходимости и целесообразности его замены.

**Установка подшипников.** Для соблюдения технологии установки подшипников на вал и в корпус (или капсул, или щит) монтаж необходимо выполнять с применением приспособлений. Наиболее простой способ установки подшипников на вал – напрессовка с применением наставок (рис. 4.25), изготовленных из мягкого металла, с отверстием диаметром несколько большим, чем диаметр отверстия устанавливаемого подшипника, и толщиной стенок, не превышающей толщину внутреннего кольца подшипника. Торец трубы с одной стороны заглушают пробкой, а вблизи от другого конца трубы приваривают фланец, предохраняющий подшипник от попадания в него в процессе установки посторонних частиц. Необходимое усилие создают с помощью молотка или ручного пресса.

Подшипники средних и больших размеров, монтируемые на посадочное место с натягом, предварительно прогревают в масле. В ре-

зультате нагревания внутреннее кольцо подшипника расширяется и сравнительно легко устанавливается на посадочную шейку вала. Подшипники можно нагревать различными способами, из которых наиболее рациональным является нагрев в горячем масле или с помощью электрических индукционных установок.

Бак для масла изготавливают из листовой стали толщиной 2 – 3 мм. На высоте 50 – 70 мм от дна бака устанавливают решетку, на которую укладывают подшипники. Для подвески подшипников в баке могут быть использованы крючки. Подшипники укладывать на дно бака не рекомендуется, так как в них может попасть осевшая на дне грязь. При

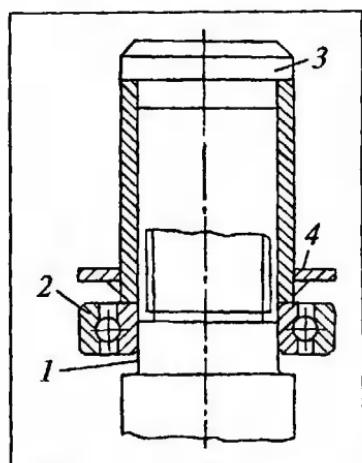


Рис. 4.25. Напрессовка подшипника на вал с помощью трубы:

1 – посадочное место; 2 – подшипник; 3 – пробка; 4 – фланец

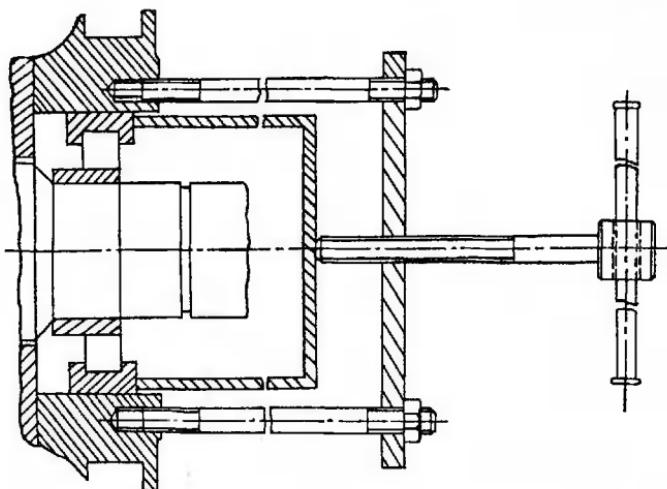


Рис. 4.26. Установка наружного кольца роликоподшипника типа 32000 электродвигателей серии АТД 2 мощностью 315 – 800 кВт с подшипниками качения

применении для нагрева масла горелок температура бака будет значительно выше температуры масла, что может привести к недопустимым температурным перепадам и перегреву подшипника. В процессе нагрева должен быть обеспечен температурный контроль.

Для установки на вал подшипник нагревают до температуры не выше 100 °C. У разборных подшипников нагревают только внутреннее кольцо. Наружное кольцо устанавливают только после полного остывания внутреннего. На рис. 4.26 показана конструкция одного из возможных приспособлений для установки наружного кольца роликоподшипника типа 32000.

При замене подшипников для их нагрева применяют ванны с электроподогревателями. В этом случае нагрев осуществляется с помощью проволочных спиралей из никрома или трубчатых нагревателей. Для предотвращения перегрева применяют автоматическое регулирование температуры масла в заданном температурном режиме.

Подшипник также нагревают с помощью специального трансформатора с разъемным магнитопроводом (рис. 4.27). В качестве вторичной обмотки трансформатора используют кольца подшипника, установленные на сердечник. При посадке подшипников в капсулу или корпус со значительным натягом рекомендуется нагревать капсулу или корпус.

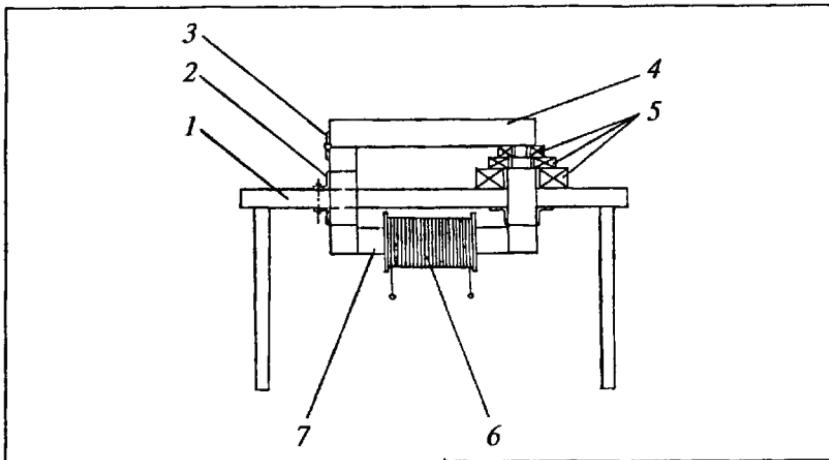


Рис. 4.27. Установка для индукционного нагрева подшипников конструкции предприятия “Североэнергоремонт”:

1 — стол; 2 — хомут; 3 — шарнир; 4 — съемный магнитопровод; 5 — подшипники; 6 — катушка; 7 — неподвижный магнитопровод

Компанией “Балтех” разработана индукционная установка “ИН-04” для нагрева внутренних колец подшипников.

Магнитопровод имеет вертикальное исполнение и не соприкасается с нагреваемым кольцом, тем самым исключается возможность механического повреждения нагревательного элемента, образования задиров и царапин. Нагрев осуществляется равномерно по всей поверхности кольца. В состав установки входят индуктор с подвижным магнитопроводом, щит питания с конденсаторной батареей и система контроля температуры. Кольцо подшипника устанавливается для нагрева на стол индукционной установки и вводится под полюс неподвижной магнитной системы. Подвижная часть магнитной системы замыкается, и производится нагрев. По сигналу термодатчика нагрев отключается. Питание установки осуществляется от сети напряжением 380 В частотой 50 Гц.

Фирма СКФ выпускает технологическую оснастку для установки подшипников качения на валы. Подшипники небольших размеров фирма СКФ рекомендуется нагревать на специальной электрической плате с термостатом [4, ч. 1].

Для установки внутренних колец цилиндрических роликоподшипников можно использовать нагревательные кольца из алюминиевого сплава конструкции фирмы СКФ. В этом случае нагретое до 250 °С алюминиевое кольцо устанавливают на внутреннее кольцо

подшипника и закрепляют его с использованием фиксаторов. При достижении температуры кольца подшипника 80 °С его устанавливают на вал и ослабляют крепление нагревательного кольца. Внутреннее кольцо подшипникадерживают в рабочем положении до его полного остывания. Стандартные нагревательные кольца фирма СКФ выпускает для широкого ряда размеров подшипников качения.

Портативный индукционный нагреватель "Scorpio" ТМВН1 фирмы СКФ предназначен для нагрева подшипников с отверстием диаметром от 20 до 100 мм и массой до 5 кг. В этом нагревателе применен импульсный высокочастотный метод нагрева.

Для нагрева подшипников с большей массой выпускаются индукционные установки типов TiH 025, TiH 030, TiH 060, TiH 120 и TiH 120 и др.

После установки подшипника и его остывания необходимо проверить плотность прилегания внутреннего кольца подшипника к заплечику вала. Эту проверку можно выполнить путем осмотра места касания внутреннего кольца подшипника с заплечиком на просвет с помощью переносной электролампы напряжением 12 В. При правильной установке подшипника свет не должен проникать по всей поверхности. Такую проверку можно выполнить также пластинчатым щупом толщиной 0,02 мм. В процессе проверки пластину щупа заводят по окружности между внутренним кольцом и заплечиком вала. При обнаружении зазора его необходимо устраниить допрессовкой внутреннего кольца подшипника. Если сделать это не удается, подшипник снимают, устраниют обнаруженный дефект и вновь устанавливают подшипник на место.

В зависимости от конструкции закрепления колец подшипников от осевого смещения на посадочном месте устанавливают пружинное стопорное кольцо в разведенном состоянии и кольцевые канавки на валу. Торцевые шайбы прикрепляют к торцу вала болтами. Упорные гайки после завинчивания предохраняют от самоотвинчивания стопорной шайбой.

В процессе сборки подшипниковых узлов не допускается использование деталей резьбовых соединений, имеющих следующие дефекты: забоины, задиры, надломы, выкрашивания и срывы резьбы, коррозионные изъязвления рабочей части резьбы на длине более одного витка; повреждения граней на гайках и головках болтов более 5 % номинального размера, повреждения шлицев в винтах, препятствующие завинчиванию с необходимыми усилиями; уменьшение диаметра ненарезанной части болтов или шпилек более чем на 3 % номинального.

Допускается повторно использовать пружинные шайбы, при этом концы шайб должны быть разведены на ширину не менее ее полуторной толщины. Допускается повторно использовать стопорные шайбы с загибом на головку болта или гайки другого угла. Шплинты повторно использовать нельзя. Крепежные изделия с резьбовыми поверхностями подлежат ремонту при повреждении резьбы более 10 % длины витка. Дефект устраняют прогонкой резьбонарезным инструментом. Болты или гайки фланцевых соединений должны быть затянуты равномерно.

Цилиндрические и конические штифты заменяют новыми, если на их рабочей поверхности имеются задиры, забоины, коррозионные изъязвления на площади, превышающей 20 % площади сопряжения, или резьбовая часть имеет повреждения, указанные выше.

После установки подшипника на вал, его остыивания и установки деталей крепления проверяют легкость его проворачивания от руки. В подшипнике не должно быть заметного торможения, он должен вращаться легко и плавно.

У электродвигателей вертикального исполнения с радиально-упорными подшипниками и у электродвигателей, конструкция крепления корпусов подшипников которых не обеспечивает самостановку наружного кольца, необходимо проверить точность его установки (рис. 4.28). Для этого с помощью хомута устанавливают на валу индикатор часового типа так, чтобы его измерительный стержень упирался в торцевую поверхность наружного кольца подшипника. Вместо рабочей устанавливают технологическую крышку. Проворачивая ротор, измеряют осевое биение наружного кольца относительно оси вала. Допустимое значение последнего зависит от габаритов и типа подшипника и должно лежать в пределах 0,03 – 0,08 мм. Допустимые значения углов взаимного перекоса колец для подшипников различных типов следующие:

• радиальных шариковых однорядных	
с нормальным радиальным зазором . . . . .	8'
по ряду 7 . . . . .	12'
по ряду 8 . . . . .	16'
• радиально-упорных шариковых однорядных	
с углами контакта $\alpha$ , град.:	
12 . . . . .	6'
26 . . . . .	5'
36 . . . . .	4'
• радиальных однорядных с короткими цилиндрическими роликами . . . . .	4'
• радиальных шариковых двухрядных сферических . . . . .	4'
• радиальных роликовых сферических двухрядных . . . . .	2,5'

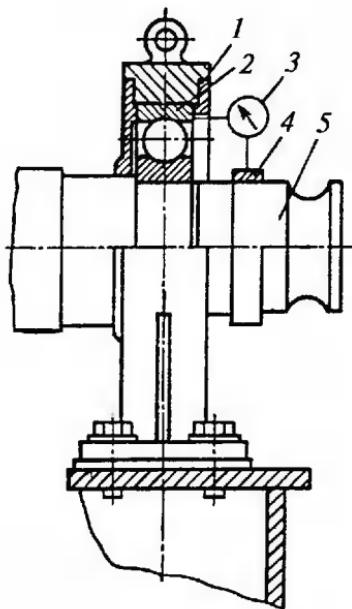


Рис. 4.28. Проверка торцевого биения наружного кольца шарикоподшипника:  
 1 — технологическая крышка; 2 — подшипник; 3 — индикатор часового типа;  
 4 — хомут; 5 — вал ротора

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

У электродвигателей серии ДАЗО 14-го и 15-го габаритов для предотвращения смещения стойка подшипника со стороны свободного конца вала вследствие смятия и повреждения изоляционных втулок крепящих болтов и фиксирующих штифтов целесообразно установить упоры с фиксирующими болтами (рис. 4.29).

При установке подшипников с коническим отверстием на коническую шейку вала или на закрепительную втулку внутреннее кольцо, перемещаясь по конусу, расширяется и обжимает (непосредственно или через втулку) посадочное место на валу. В этом случае создается необходимый посадочный натяг внутреннего кольца подшипника и соответственно уменьшается радиальный зазор между роликами и дорожками качения.

В процессе установки необходимо правильно определить величину, на которую следует затянуть внутреннее кольцо подшипника,

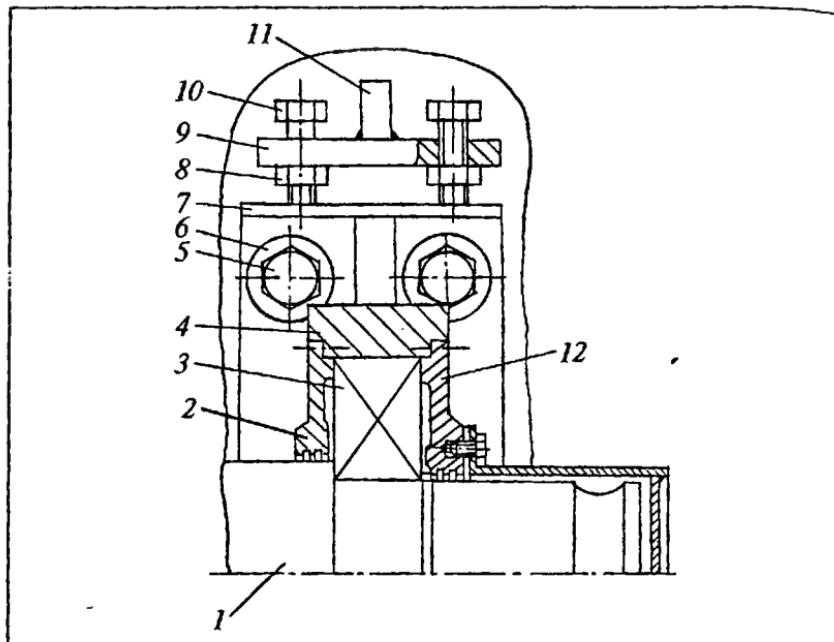


Рис. 4.29. Установка упоров подшипника со стороны свободного конца вала электродвигателей 14-го и 15-го габаритов:

1 — вал ротора; 2 — внутренний маслоуловитель; 3 — подшипник; 4 — корпус подшипника; 5 — болт; 6 — шайба; 7 — изоляционная прокладка; 8 — гайка М20; 9 — упорная планка; 10 — болт М20 × 70; 11 — упорный уголок; 12 — наружный маслоуловитель

чтобы обеспечить одновременно нужный радиальный зазор и натяг на вал. Перед установкой на вал необходимо измерить начальный радиальный зазор в подшипнике и смазать коническую поверхность шейки или втулки. У сферических роликоподшипников зазор изменяют щупом между верхним роликом и дорожкой качения наружного кольца. Осевое перемещение внутреннего кольца подшипника с отверстием, имеющим конусность 1:12 относительно шейки вала или втулки, вызывает уменьшение начального радиального зазора, равное примерно 1/15 величины перемещения. Для нормальной работы подшипников типов 13000 и 113000 требуемое уменьшение начального радиального зазора соответствует примерно 0,05 мм на 100 мм диаметра отверстия подшипника. У электродвигателей ДАЗО 14-го и 15-го габаритов при затяжке закрепительной втулки подшипника 13532 радиальный зазор между роликом и сферической поверхностью наружного кольца должен составлять 70 — 90 мкм. Для нор-

мальной посадки роликоподшипника 13532 в корпус (см. рис. 1.9, ч. 1) разрезную закрепительную втулку необходимо укоротить на 15 – 18 мм.

Закрепительные гайки подшипников затягивают специальными ключами различных конструкций. После окончания установки подшипника на вал и добившись необходимого уменьшения радиального зазора, надо загнуть контровочную шайбу во избежание ослабления затяжки втулки.

В табл. 4.26 указаны значения уменьшения начального радиального зазора двухрядных сферических роликоподшипников с коническим отверстием (типов 13000 и 113000) в зависимости от осевого перемещения подшипника относительно конической шейки вала или втулки.

После окончания установки подшипника подшипниковый узел заполняют смазкой (промежутки между шариками, роликами, крышку и канавки уплотнений в крышке подшипника). Подшипники должны быть заполнены смазкой, рекомендованной заводом-изготовителем или указанной в гл. 7. Поскольку предельно допустимая рабочая температура подшипников качения равна 100 °C [“Объем и нормы испытания электрооборудования” СО 34.45-51.300-97 (РД 34.45-51.300-97) и др.], применяется смазка с допустимой рабочей температурой не ниже указанной. Смазка должна заполнять не более 2/3 свободного объема капсуля подшипника при частоте вращения  $750 \text{ мин}^{-1}$  и менее и 1/3 – 1/2 объема при частоте вращения от 1000 до  $3000 \text{ мин}^{-1}$ , т.е. большим частотам должно соответствовать меньшее количество смазки. Смешивать смазки разных марок не рекомендуется, так как полученная смесь, как правило, обладает худшими эксплуатационными свойствами, чем каждая смазка в отдельности.

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

При установке в подшипниковый узел уплотняющей манжеты особое внимание обращают на сохранение ее геометрической формы, предотвращение повреждения рабочей кромки и др. Перед установкой наружную поверхность и рабочую кромку манжеты смазывают, а установку выполняют с применением специальной оправки (рис. 4.30, а), обеспечивающей равномерное нажатие и установку манжеты. Диаметр оправки должен быть немного меньше диаметра посадочного места. Для предотвращения повреждения рабочей кромки при перемещении по валу (особенно через шпоночный паз, резьбу и др.) вал необходимо изолировать или установить защитную втулку (рис. 4.30, б). В процессе установки обращают внимание на

Таблица 4.26. Изменение начального зазора в двухрядных сферических роликоподшипниках при их затяжке на закрепительных втулках или на конической шейке вала

Номинальный диаметр отверстия подшипника $d$ , мм		Уменьшение начального радиального зазора, мкм	Осьное перемещение закрепительной втулки, мм
Свыше	До		
14	24	12/17	0,25/0,3
24	30	15/20	0,3/0,35
30	40	20/25	0,35/0,4
40	50	25/30	0,4/0,45
50	65	30/40	0,45/0,6
65	80	40/50	0,6/0,75
80	100	45/60	0,7/0,9
100	120	50/70	0,75/1,1
120	140	65/90	1,1/1,4
140	160	75/100	1,2/1,6
160	180	80/110	1,3/1,7
180	200	90/130	1,4/2,0
200	225	100/140	1,6/2,2
225	250	110/150	1,7/2,4
250	280	120/170	1,9/2,7

Причина. В числителе даны значения наименьшего радиального зазора, в знаменателе — наибольшего.

расположение рабочей кромки, которая должна быть направлена против уплотняющей среды.

**Особенности разборочно-сборочных работ подшипниковых узлов электродвигателей взрывозащищенного исполнения.** Разборку подшипниковых узлов электродвигателей ВАО и ВАО 2 выполняют в следующей последовательности. Снимают полумуфту, кожух наружного вентилятора (со стороны свободного конца вала) и вентилятор (рис. 4.31). Вывернув термобаллоны термосигнализаторов из обоих отверстий в бобышках подшипниковых щитов, отворачивают гайку со стороны привода. Отворачивают болты крепления наружной крышки подшипника и с помощью отжимных болтов снимают ее и маслосбрасывающее кольцо (рис. 4.32). С помощью двух болтов отжимают узел взрывозащиты и подшипникового щита.

Отворачивают болты, крепящие подшипниковый щит, и демонтируют его. При этом наружное кольцо подшипника со стороны привода вместе с роликами и сепаратором снимают вместе с щитом,

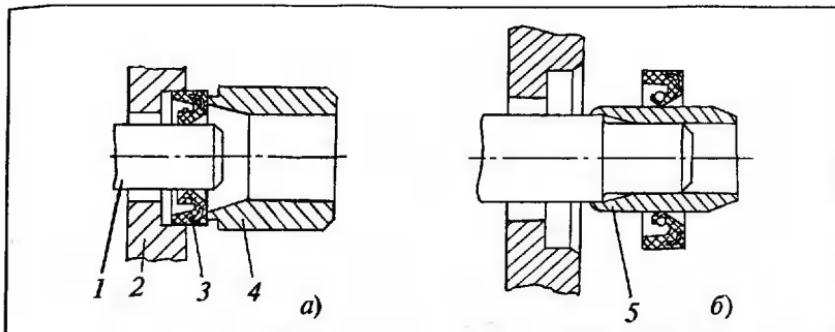


Рис. 4.30. Установка манжеты с применением оправки (а) и защитной втулки (б): 1 — вал; 2 — крышка; 3 — манжета; 4 — оправка; 5 — защитная втулка

а внутреннее кольцо оставляют на валу. Аналогично разбирают подшипниковый узел со стороны свободного конца вала.

Перед сборкой проверяют состояние резьбы крепежных деталей. Особое внимание обращают на элементы крепления деталей взрывонепроницаемой оболочки корпуса электродвигателя и коробки выводов. Технические требования к деталям крепления изложены выше.

Сборку производят в последовательности, обратной разборке. Перед сборкой проверяют целостность деталей взрывонепроницаемой оболочки, состояние всех обработанных поверхностей взрывозащищенных узлов и деталей, на которых не допускаются царапины, вмятины, задиры и другие дефекты.

Перед осмотром удаляют старую смазку со всех взрывозащитных посадочных поверхностей, а перед сборкой их покрывают тонким слоем консистентной смазки Литол-24. Узлы взрывозащиты также заполняют смазкой Литол-24. При сборке и разборке повреждения взрывозащитных поверхностей не допускаются.

После сборки подшипниковых узлов резервных электродвигателей для предотвращения повреждения посадочных мест под полумуфту и исключения возможности ложного бриннелирования подшипников устанавливают защитный кожух и фиксируют внутреннее кольцо гидшипника относительно наружного (рис. 4.33) болтом для фиксации ротора.

На ряде типов и серий электродвигателей конструкцией не предусмотрен цитатный температурный контроль подшипниковых узлов. В связи с этим эксплуатационный и ремонтный персонал не имеет объективных данных о температуре подшипниковых узлов

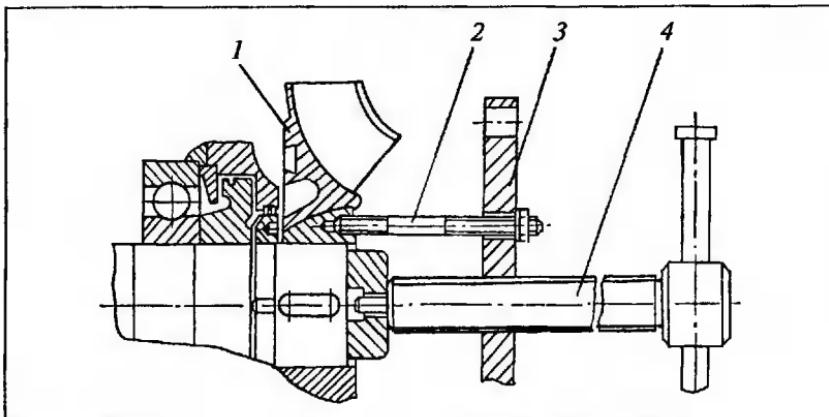


Рис. 4.31. Демонтаж наружного вентилятора электродвигателей ВАО и ВАО 2:  
1 — вентилятор; 2 — шпилька М12; 3 — упорная плита; 4 — винт

этих электродвигателей, что значительно снижает надежность их работы.

На Ново-Рязанской ТЭЦ предложена простая и надежная конструкция устройства — индикатора контроля температуры подшипниковых узлов [1] с применением постоянных магнитов и ферромагнитных элементов с соответствующей температурой точки Кюри. Точка Кюри определяет температуру, при достижении которой ферромагнитный материал теряет магнитные свойства. Для

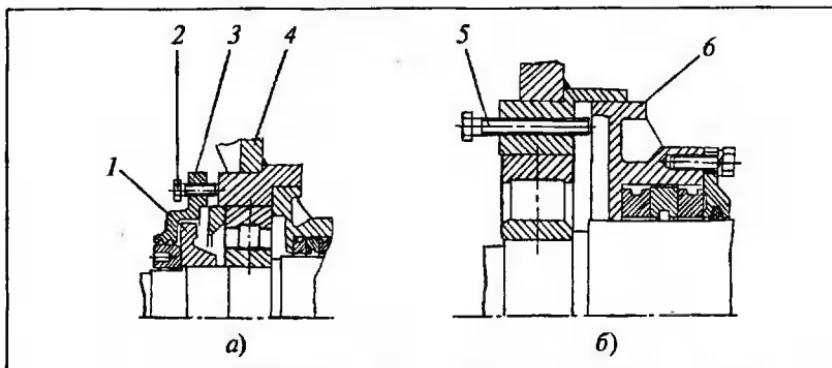


Рис. 4.32. Разборка взрывозащищенных электродвигателей ВАО 2:  
а — снятие наружной крышки подшипника; б — демонтаж узла взрывозащиты из подшипникового щита; 1 — маслосбрасывающее кольцо; 2, 5 — отжимные болты; 3 — наружная крышка; 4 — подшипниковый щит; 6 — узел взрывозащиты

контроля температуры подшипников может быть использован сплав из 70 % железа и 30 % никеля, температура точки Кюри для него составляет примерно 70 °C, что может быть предупредительным сигналом для оперативного персонала.

Устройство-индикатор устанавливают в просверленное отверстие корпуса подшипника (подшипника качения или подшипника скольжения) (рис. 4.34). Гильза может быть изготовлена из алюминия, пласти массы или других материалов. Постоянный магнит с высокой магнитной индукцией (магнит типа НЖБ из материала НЕО-МАКС) имеет форму диска. Выше постоянного магнита установлен магнитопровод из указанного материала, который закреплен в гильзе вплотную к магниту. Над магнитопроводом расположены спиральная пружина, подвижный стальной цилиндр, окрашенный сигнальный маяк. Индикатор сверху закрыт прозрачным колпаком, на котором предусмотрен упор, ограничивающий перемещение стального цилиндра вверх.

При нормальной температуре подшипникового узла магнитопровод имеет температуру ниже температуры точки Кюри. В этом режиме магнит через магнитопровод воздействует на подвижный элемент и притягивает его к магнитопроводу, сжимая пружину. Сигнальный маяк находится в непрозрачной гильзе, поэтому снаружи его не видно. Если температура магнитопровода повышается до температуры точки Кюри, он теряет свойства ферромагнетика, притяги-

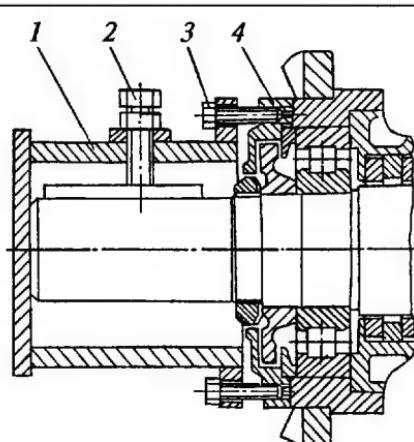


Рис. 4.33. Приспособление для защиты рабочего конца вала и фиксации ротора:  
1 — защитный кожух; 2 — болт для фиксации ротора; 3 — болт M12; 4 — крышка подшипника

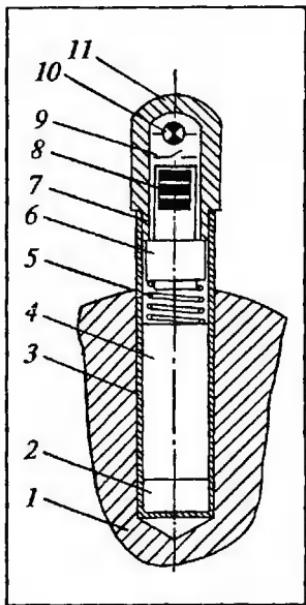


Рис. 4.34. Устройство для контроля температуры подшипников:

1 — корпус подшипника; 2 — постоянный магнит; 3 — гильза; 4 — магнитопровод; 5 — пружина; 6 — подвижный элемент; 7 — упор; 8 — сигнальный маячок; 9 — электрический сигнальный контакт; 10 — миниатюрная сигнальная лампочка (светодиод); 11 — прозрачный колпачок из пластмассы

вающее усилие постоянного магнита в этом случае не передается магнитопроводу. Пружина отжимает подвижный элемент до упора, окрашенный маяк смещается вверх и оказывается в прозрачном колпаке, что дает возможность оперативному персоналу получить соответствующую информацию и принять необходимые меры.

Индикатор может быть усовершенствован. Для этого в верхней части должен быть установлен электрический сигнальный контакт, который замыкается маяком в момент нагрева магнитопровода до температуры точки Кюри и отжимается цилиндрической пружиной подвижного элемента. При замыкании контакта по кабелю связи подается сигнал на щит управления. Под колпаком могут быть также смонтированы миниатюрная сигнальная лампа или светодиод, включающийся в электрическую цепь с помощью маяка при повышении температуры магнитопровода до температуры точки Кюри. При необходимости изменения температуры срабатывания индикатора следует подобрать материал с соответствующей температурой точки Кюри.

В [2] рассмотрены конструкции сигнализаторов отклонения температуры, которые могут быть использованы для информирования оперативного персонала о достижении температурой подшипниковых узлов предельно допустимых значений (рис. 4.35). В этих сигна-

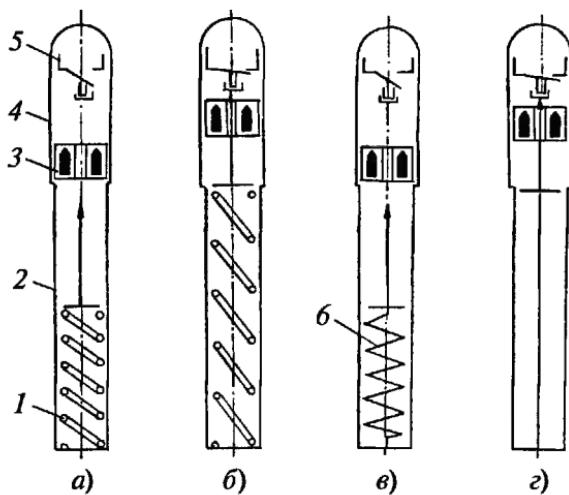


Рис. 4.35. Сигнализатор отклонения температуры на основе сплава нитинол:

а, б — с пружиной из нитинола; в, г — с зигзагообразной полоской из нитинола; а, в — положение при температуре ниже предельно допустимой; б, г — при температуре выше предельно допустимой; 1 — пружина из нитинола; 2 — цилиндрический корпус; 3 — индикатор-маячок; 4 — прозрачный колпачок; 5 — электрический контакт; 6 — зигзагообразно согнутая полоска из нитинола

лизаторах используются чувствительные элементы из металлических сплавов с памятью формы. Один из таких сплавов — никелид титана (нитинол) — представляет собой сплав никеля с титаном примерно в равных пропорциях. Особенностью этого сплава является его способность скачкообразно изменять форму при нагреве до определенной температуры, а при охлаждении — принимать первоначальную форму. Существуют таблицы процентного содержания компонентов в таких сплавах с указанием соответствующих значений температур, при которых имеет место эффект памяти формы. В рассматриваемом сигнализаторе температуры используется пружина, изготовленная из нитинола, которая при номинальной температуре подшипника сохраняет свою форму, а при нагреве до температуры перехода разжимается, удлиняясь в несколько раз. При охлаждении пружина вновь сжимается и принимает прежнюю форму, которую она имела в холодном состоянии. Температуру перехода выбирают в пределах 70 — 80 °C, изменяя процентное содержание компонентов сплава, из которого изготавливают пружину. Для дистанционной передачи сигнала о повышении температуры подшипника в сигнализаторе предусмотрен электрический контакт, а для

визуального контроля — маяк, который находится в прозрачном колпаке.

Другим вариантом сигнализатора отклонения температуры (рис. 4.35) может быть устройство, в котором в качестве чувствительного элемента применена зигзагообразно согнутая полоска нитинола, которая при повышении температуры выпрямляется. В этом случае маяк выдвигается в прозрачную часть колпака, контакты замыкаются — информация поступает на щит управления.

#### **4.5. ПРОВЕРКА, ИСПЫТАНИЯ И ПРИЕМКА ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ С ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ**

Перед пуском электродвигателя проверяют степень затяжки крепежа, фундаментных болтов, заземления, крышек коробки выводов, болтов, крепящих подшипниковые узлы. Затем выполняют проверку вращения ротора электродвигателя вручную, с помощью приспособлений или с использованием крана. При этом проверяют свободное вращение ротора, отсутствие каких-либо задеваний, ударов, посторонних звуков и шумов в работе подшипников. Первый пуск выполняют для проверки направления вращения ротора, пускового тока, отсутствия посторонних шумов в электродвигателе и в подшипниковых узлах с помощью стетоскопа или металлического стержня, тока холостого хода, вибрации, температуры подшипниковых узлов, работы шеток у электродвигателей с фазным ротором и др.

При отсутствии штатного температурного контроля подшипниковых узлов в качестве бесконтактного термометра (пиromетра) можно использовать “Термо-лазер”, выпускаемый компанией “Балтх”. “Термо-лазер” снабжен лазерным целеуказателем, имеет широкий температурный диапазон, незначительную массу, автономное питание, жидкокристаллический дисплей. Для контроля температуры подшипниковых узлов можно использовать также контактные цифровые термометры этой же компании типов “Термометр-Ц” 1002, 1003, 1004.

Для прослушивания подшипниковых узлов целесообразно использовать электронный стетоскоп “Эстет” компании “Балтх”. С помощью этого стетоскопа можно снимать характеристики звукового сигнала посредством записи его в память компьютера и дальнейшего выведения на экран монитора с анализом частот, амплитуд и гармоник сигнала, сравнения его с эталонным сигналом, проверки технического состояния и качества ремонта подшипникового узла.

Для диагностирования технического состояния подшипникового узла можно использовать аппаратуру, рассмотренную в § 3.3 (ч. 1).

Фирма СКФ выпускает портативные приборы типа CMVP и "MARLIN" для диагностики подшипников качения [4]. С помощью этих приборов измеряют уровень вибрации и частотные характеристики производимого подшипником шума. Эти приборы диагностируют такие дефекты, как нарушение режима смазки, повреждение дорожек и тел качения. Фирма СКФ выпускает также непрерывно работающие диагностические приборы с программным обеспечением для оперативной диагностики и оценки полученных результатов.

Если в начале испытаний электродвигателя на холостом ходу замечаний нет, то электродвигатель оставляют в работе. В начальный период испытаний подшипниковых узлов электродвигателя температура их может повыситься вследствие приработки элементов качения. Температуру подшипниковых узлов контролируют приборами штатного температурного контроля или как изложено ранее — термометром, термошупом, тепловизором или наощупь. В период испытаний и приработки допускается превышение температуры подшипников до 40 °C по отношению к окружающей среде. При больших превышениях температуры электродвигатель останавливают, выясняют и устраниют причину повышенного нагрева. При нормальной работе подшипников их шум должен быть ровный, жужжащий, без посторонних стуков. Наличие в шуме составляющих высокого тона свидетельствует об отсутствии или недостатке смазки или указывает на недостаточный зазор. Стук при работе подшипников свидетельствуют, как правило, о повышенных зазорах между телами качения, наружным и внутренним кольцами и сепаратором. Скрепеж свидетельствует о наличии в смазке пыли и абразивных частиц. Периодически изменяющийся шум свидетельствует о неудовлетворительном вибрационном состоянии электродвигателя.

В процессе испытаний электродвигателя на холостом ходу измеряют ток холостого хода и сравнивают его с заводскими данными или данными каталога. После испытаний электродвигателя при установившихся параметрах в системе смазки, охлаждения и других при отсутствии отклонений в этих параметрах от заводских данных электродвигатель отключают от сети. Согласно "Объему и нормам испытаний электрооборудования" наибольшее допустимое значение температуры подшипников качения при тепловизионном контроле должно быть не более 100 °C.

Затем собирают полумуфту и испытывают подшипниковые узлы электродвигателя с механизмом под нагрузкой до 100 % номиналь-

ной (но не менее 50 % номинальной) с тем же регламентом и контролем параметров.

У низковольтных электродвигателей серий А и RA, изготовленных ЯЭМЗ (“ELDIN”), занижение минимального радиального усилия на конце вала в течение нескольких часов работы может привести к повреждениям подшипников. Поэтому в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя пробные пуски в ненагруженном состоянии электродвигателей серий А и RA могут производиться только кратковременно.

Согласно “Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации” СО 153-34.20.501-2003 вертикальная и поперечная составляющие вибрации (среднее квадратическое значение виброскорости или удвоенная амплитуда колебаний), измеренные на подшипниках электродвигателей, сочлененных с механизмами, не должны превышать значений, указанных в заводских инструкциях. При отсутствии таких указаний в технической документации вибрация подшипников электродвигателей, сочлененных с механизмами, не должна быть выше следующих значений:

Синхронная частота вращения, мин <sup>-1</sup> .....	3000	1500	1000	менее	750 и
Удвоенная амплитуда колебаний подшипников, мкм .....	30	60	80	95	

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

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

Синхронная частота вращения, мин <sup>-1</sup> .....	3000	1500	1000	менее	750 и
Удвоенная амплитуда колебаний подшипников, мкм .....	50	100	130	160	

Причины вибрации электродвигателей могут быть различные: нарушение закрепления электродвигателя на фундаменте, дефекты в полумуфтах или расцентровка полумуфт роторов электродвигателя и механизма, неуравновешенность ротора, дефекты подшипников и др. Если вибрация превышает норму, то исследуют причины и

устраняют их. Если обследованием установлена неуравновешенность ротора, то приступают к балансировке [3, 4]. С этой целью проводят пробные пуски электродвигателей и виброизмерительным прибором БИП-9, БИП-7, виброизмерительными приборами фирмы "ДИАМЕХ" ("КВАРЦ", "ТОПАЗ-В", "ТОПАЗ", "АГАТ", "АГАТ-В", "ЯНТАРЬ", "ОПАЛ") и другими измеряют значение и фазу вибрации. По данным измерений рассчитывают массу груза, разбирают электродвигатель и на ротор в специально предназначенном месте устанавливают балансировочный груз. При установке груза необходимо предусмотреть меры, предотвращающие отрыв груза при вращении ротора. Балансировку считают законченной, если измеренная вибрация меньше или равна допустимой.

После испытаний при работе электродвигателя в течение нескольких часов при установленных параметрах в системах смазки, охлаждения и других при отсутствии отклонений в этих параметрах от норм электродвигатель может быть введен в эксплуатацию.

Основные правила приемки оборудования из ремонта определены "Правилами организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанции и сетей" СО 34.04.181-2003.

Приемку электродвигателя (в объем которого входит и ремонт подшипниковых узлов) из ремонта производит комиссия в составе начальника электроцеха, представителя от электростанции и руководителя ремонта. Назначенный от электростанции представитель принимает участие во входном контроле запасных частей и материалов, дефектации, подготовке технических решений, контроле качества, приемке из ремонта и др.

Приемочная комиссия осуществляет контроль документации, составленной до, в процессе и после ремонта. Эта документация должна отражать техническое состояние электродвигателя и подшипниковых узлов, а также качество выполненных работ. Комиссия уточняет техническое состояние электродвигателя и его подшипниковых узлов по данным эксплуатации в течение месяца после включения под нагрузку, а также по данным послеремонтных испытаний. Приемочная комиссия выставляет предварительную и окончательную (после месяца эксплуатации) оценку качества отремонтированного электродвигателя и его подшипниковых узлов, а также оценку качества выполненных ремонтных работ. По результатам контроля электродвигателя и подшипниковых узлов, испытаний и опробования, проверки и анализа отчетной документации приемочная комиссия устанавливает возможность пуска и ввода электродвигателя в эксплуатацию.

## ГЛАВА ПЯТАЯ

# Ремонт подшипниковых узлов с подшипниками скольжения

## 5.1. РАЗБОРКА И ДЕФЕКТАЦИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

До разборки подшипниковых узлов необходимо ознакомиться с ремонтными эксплуатационными документами и определить наличие дефектов, подготовить все необходимые приспособления, инструмент и материалы. При разборке подшипникового узла отворачивают болты и снимают крышку подшипника, затем отворачивают болты и снимают верхнюю, а затем нижнюю половину вкладыша, предварительно приподняв ротор. После разборки подшипникового узла детали промывают в керосине и протирают. Осмотр и оценку состояния вкладыша и других деталей подшипника выполняют в следующем объеме (рис. 5.1). Проверяют отсутствие следов наклена на опорных поверхностях вкладыша и расточки корпуса подшипника под вкладыш. Следы наклена удаляют, с помощью краски проверяют плоскости прилегания вкладыша в корпусе и устанавливают натяг в соответствии с требованиями технической документации завода-изготовителя. При отсутствии технической документации следует руководствоваться данными табл. 5.1.

Проверяют расположение следа работы шейки вала на баббите вкладыша. На нижней половине должен располагаться след работы шейки вала равномерно по всей длине вкладыша, в поперечном сечении — на дуге  $60^\circ$ . Если след дуги немного более  $60^\circ$ , то при удовлетворительной работе подшипника нет необходимости уменьшать дугу контакта; если след дуги значительно больше  $60^\circ$  и подшипник работает неудовлетворительно, то дугу контакта доводят до  $60^\circ$  путем шабрения заливки за счет развития вглубь бокового зазора. При удовлетворительном контакте для удаления шероховатости зачищают поверхность баббита вкладыша, на которой работает вал. На по-

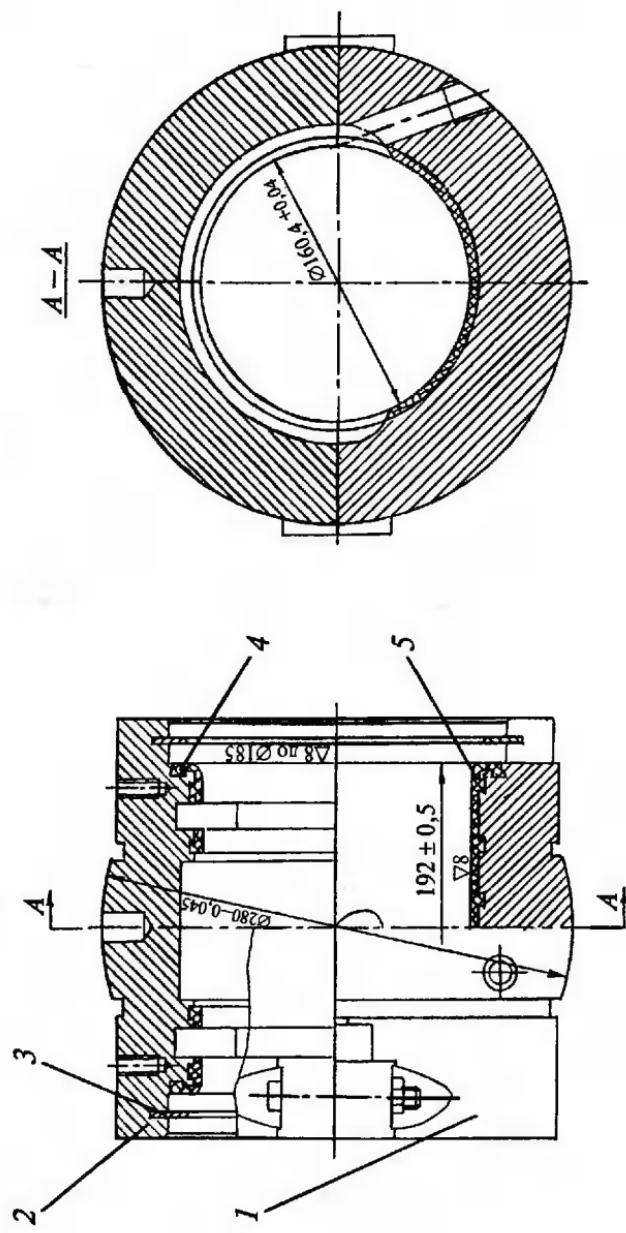


Рис. 5.7. Вкладыш подшипника электродвигателей АС-5000 и 2АЗМ-5000/6000:  
 1 — нижняя половина вкладыша; 2 — верхняя половина вкладыша; 3 — полукольцо; 4 — баббит Е-16; 5 — баббит Е-83

Таблица 5.1. Натяги подшипников скольжения

Диаметр шейки вала, мм	Натяг на самоустанавливающийся вкладыш, мм		Натяг на жесткий вкладыш, мм	
	минимальный	максимальный	минимальный	максимальный
100	0,05	0,1	—	0,03
125	0,05	0,1	—	0,03
150	0,07	0,15	0,03	0,05
200	0,07	0,15	0,03	0,05
250	0,1	0,2	0,05	0,05
300	0,1	0,2	0,05	0,05

верхности касания должно быть не менее двух-трех пятен на 1 см<sup>2</sup>. Неправильный контакт по длине вкладыша устраняют подгонкой вкладыша к шейке.

Проверяют плотность прилегания разъема верхней и нижней половин вкладыша, а также их неконцентричность. Плотность прилегания половин вкладыша проверяют щупом толщиной 0,05 мм, который не должен проходить в разъем.

Верхнюю и нижнюю половины вкладыша соединяют контрольными штифтами. Проверяют соответствие диаметров отверстий в половинах вкладыша диаметрам штифтов. При обнаружении ослабления выполняют райберовку отверстий и изготавливают новые штифты. Неконцентричность половин вкладыша более 0,05 мм устраняют шабровкой.

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

Для повышения достоверности проверки вкладыша керосиновой пробой целесообразно после смачивания керосином и протирки

салфетками на сухую плоскость, на которую выходит линия стыка баббита со сталью, нанести тонкий слой меловой обмазки. В местах, где отсутствует сцепление, на белой поверхности высыхающего мела появляются тонкие темные полоски керосина. Проверку на отсутствие дефектов оцепления баббита со стальным корпусом вкладыша можно выполнять также ультразвуковым методом с применением ультразвукового дефектоскопа.

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

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

## 5.2. РЕМОНТ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

После проверки и, при необходимости, шабровки разъемов изменяют зазоры между верхней половиной вкладыша подшипника и шейкой вала ротора, а также боковые зазоры (рис. 5.2). Зазоры между верхней половиной вкладыша и валом, а также боковые зазоры должны соответствовать требованиям технической документации завода-изготовителя, а при ее отсутствии — данным табл. 5.2. Боковой зазор должен составлять половину верхнего зазора.

Согласно гидродинамической теории смазки, при увеличении зазора против необходимого для заданных условий работы уменьшается подъемная сила масляного клина, а также толщина смазочного слоя. Это уменьшает нагрузочную способность подшипника и увеличивает потери на трение. Поэтому при небольших скоростях шеек, т.е. в тихоходных электродвигателях, зазор делают меньше, чем в быстроходных, так как в этом случае для получения необходимой подъемной силы масляного клина нужен меньший зазор, при-

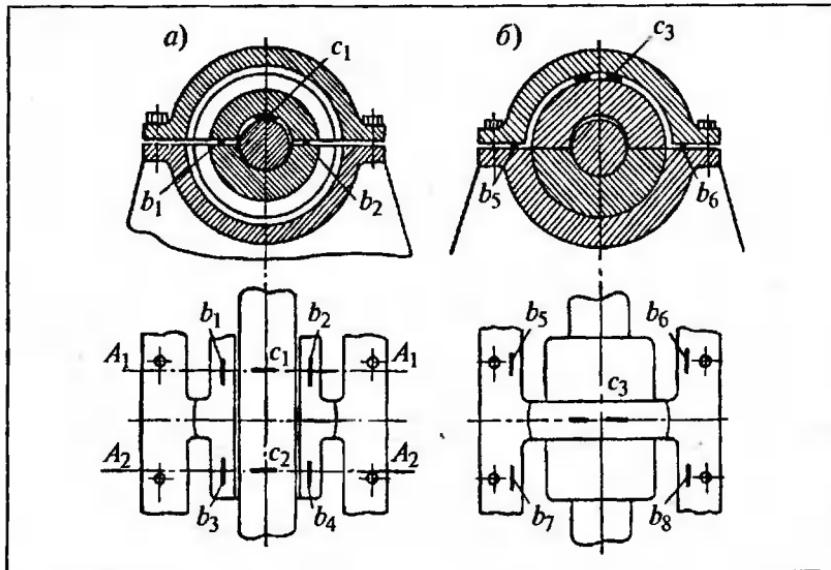


Рис. 5.2. Измерение зазоров и натягов:

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

чем тем меньший, чем большее нагрузка шейки. При больших скоростях шеек условия для образования масляного клина более благоприятны, и поэтому зазоры в быстроходных электродвигателях могут быть сделаны большими, чем в тихоходных.

Таблица 5.2. Допустимые зазоры в подшипниках скольжения

Номинальный диаметр вала, мм	Зазор, мм, при частоте вращения, мин <sup>-1</sup>		
	до 1000	от 1000 до 1500 (включительно)	свыше 1500
18 – 30	0,04 – 0,093	0,06 – 0,13	0,14 – 0,28
31 – 50	0,05 – 0,112	0,075 – 0,16	0,17 – 0,34
51 – 80	0,065 – 0,135	0,095 – 0,195	0,2 – 0,4
81 – 120	0,08 – 0,16	0,12 – 0,235	0,23 – 0,46
121 – 180	0,10 – 0,195	0,15 – 0,285	0,26 – 0,53
181 – 260	0,12 – 0,225	0,18 – 0,3	0,3 – 0,6
261 – 360	0,14 – 0,25	0,21 – 0,38	0,34 – 0,68
361 – 600	0,17 – 0,305	0,25 – 0,44	0,38 – 0,76

Согласно “Объему и нормам испытаний электрооборудования” зазоры в подшипниках скольжения электродвигателей должны соответствовать требованиям табл. 5.2.

Зазор измеряют с помощью свинцовой проволоки диаметром 1 мм длиной 40 – 50 мм. Кусочки проволоки укладывают на плоскости разъемов нижней половины вкладыша с обеих сторон, а также на вал. Установив верхнюю половину вкладыша и крышку подшипника, затягивают болты, в результате чего проволока сплющивается. По толщине сплющенной проволоки, измеренной микрометром, определяют верхний зазор между шейкой вала и верхней половиной вкладыша. Эти зазоры  $a_1$  и  $a_2$  в поперечной плоскости  $A_1A_1$  и  $A_2A_2$  будут соответственно равны:

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

где  $c_1, c_2, b_1, b_2, b_3, b_4$  – толщины соответствующих проволок.

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

Боковые зазоры при необходимости увеличивают шабрением. Для уменьшения боковых зазоров вкладыш нужен наплавить или перезаливать.

Если при осмотре поверхности вкладыша и шаровой поверхности обнаружены дефекты, то после промывки и протирки вкладыша и расточки корпуса поврежденные места зачищают для удаления следов наклена. На шаровую поверхность вкладыша наносят тонкий слой краски и собирают подшипник. Во вкладыш устанавливают бобышку с наружным диаметром, равным размеру внутренней расточки вкладыша, с рычагом длиной 0,8 – 1,0 м. Вкладыш проворачивают с помощью рычага и проверяют наличие отпечатков краски на крышке. Если вкладыш не зажат и следы краски на крышке отсутствуют, то проверяют зазор между вкладышем и крышкой с помощью свинцовых оттисков (рис. 5.2). Он может быть определен и с помощью таких же отрезков свинцовой проволоки, укладывающейся между крышкой подшипника и верхней половиной вкладыша и в плоскости разъема между верхней крышкой подшипника и корпусом.

сом подшипника. Зазор между крышкой подшипника и вкладышем будет равен:

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

где  $c_3$ ,  $b_5$ ,  $b_6$ ,  $b_7$ ,  $b_8$  — толщины соответствующих сплющенных проволок.

После измерений при необходимости шабрят разъем крышки до получения нужного натяга. Сначала шабрят разъем крышки по плите, затем подгоняют разъем крышки к корпусу по краске, проверяя натяг. Исправление считается законченным, если получен необходимый натяг.

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

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

Проверяют состояние рабочей поверхности вала ротора (шейки) на отсутствие коррозии, наклепа, глубоких рисок и других повреждений поверхности, а также прямолинейность шейки вала ротора путем наложения линейки и определяют величину и характер износа поверхности. Обнаруженные дефекты устраняют шабровкой и шлифовкой рабочей поверхности.

В процессе ремонта проводят ревизию смазочных колец с измерением эллипсности, которая должна быть не более 0,05 мм (рис. 5.3). Обнаруженные забоины и царапины удаляют зачисткой и рихтовкой. Проверяют кольца на нарушение концентричности в местах разъема. Неконцентричность допускается не более 0,05 мм. Проверяют надежность соединения половин колец. Для предотвращения самопроизвольного вывинчивания соединительных винтов их закернивают. Внешним осмотром проверяют отсутствие трещин, забоин и вмятин в лабиринтных уплотнениях. Обнаруженные дефекты устраняют. При невозможности устранения обнаруженно-

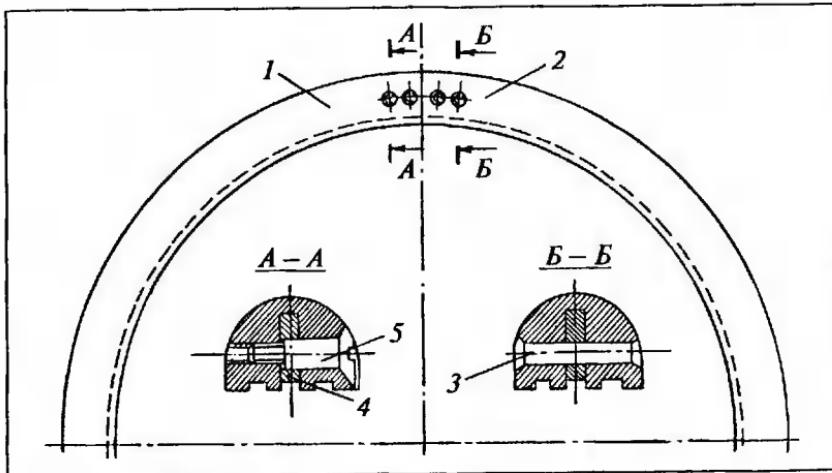


Рис. 5.3. Смазочное кольцо подшипников скольжения:

1, 2 — половины колец; 3 — заклепка; 4 — сегментная вставка; 5 — винт

го дефекта устанавливают новые уплотнения с подгонкой по месту. Измеряют диаметры расточки уплотнения. Профиль канавок восстанавливают продораживанием зубцов фасонным шабером. При значительном износе усиков, выходящем за пределы допуска, лабиринтное уплотнение заменяют. Проверяют плотность прилегания половин уплотнения между собой и их прилегание к корпусу подшипника. Обнаруженные дефекты устраняют шабровкой поверхностей.

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

Отбракованный вкладыш для сокращения срока ремонта электродвигателя заменяют резервным, который промывают керосином, осматривают и выполняют необходимые измерения. Проверяют отсутствие дефектов и повреждений во вкладыше, а также соответствие его размеров данным чертежа (см. рис. 1.14, ч. 1).

Проверяют прилегание нового вкладыша к поверхности расточки корпуса, при необходимости восстанавливают нужный натяг. Проверяют совпадение отверстий для подвода масла во вкладыше и корпусе подшипника.

Верхнюю половину вкладыша устанавливают на нижнюю и проверяют прилегание разъема вкладыша, а также совпадение расточек обеих половин. Проверяют правильность положения стопорного пальца в гнезде вкладыша, расточку вкладыша путем наложе-

ния последнего на шейку вала. Если припуск на подгонку более 0,2 – 0,3 мм на диаметр, вкладыш необходимо расточить на токарном станке.

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

В случае перезаливки вкладыша для удаления из последнего старого баббита половины вкладыша поочередно укладывают в противень и нагревают пламенем ацетиленовой горелки до размягчения баббита. Затем вкладыш встряхивают или ударяют киянкой и освобождают его корпус от баббита.

Для обеспечения надежного сцепления баббита корпус вкладыша очищают от остатков старого баббита, поверхность зачищают стальной щеткой и продувают сжатым воздухом. Затем вкладыш подвергают травлению, предварительно протерев салфетками, смоченными в бензине, и концентрированной соляной кислотой с помощью кисти до полного растворения слоя оксидов. После травления вкладыш протирают стальной щеткой до полного удаления налета и промывают проточной водой для удаления кислоты. Для обезжиривания вкладыш опускают на 10 – 12 мин в ванну с 10 %-ным раствором едкого натра или кипящим 25 – 30 %-ным раствором кальцинированной соды. Для удаления остатков щелочи вкладыш промывают горячей водой.

Половины вкладыша облучивают при температуре 370 – 400 °С. После нагрева поверхность покрывают флюсом — раствором хлористого цинка. Его изготавливают путем добавления в концентрированную соляную кислоту стружки металлического цинка до прекращения выделения пузырьков водорода.

Поверхность посыпают хлористым аммонием, натирают припом ПОС-30 и протирают до получения однородного блестящего покрытия. Отдельные необлученные участки вкладыша вторично зачищают металлической щеткой, производят местный нагрев горелкой, пропаривают хлористым цинком и хлористым аммонием и облучивают до полной ликвидации необлученных участков.

Желтоватая окраска полуды свидетельствует об ее окислении и необходимости повторного лужения. Для предохранения полуды от окисления луженную поверхность перед заливкой покрывают водным раствором хлористого аммония.

Чушку баббита погружают в тигель, нагретый до 400 – 500 °С, и расплавляют. В тигель загружают количество баббита, необходимое для заливки половины вкладыша. Верхнюю половину вкладыша заливают баббитом марки Б-16, нижнюю — марки Б-83. Марка

применяемого баббита должна соответствовать конструкторской и технологической документации на электродвигатель. Необходимое количество баббита Б-16 и Б-83 подсчитывают, исходя из геометрических размеров вкладыша и толщины слоя баббита с учетом припуска на обработку (3 – 5 мм), прибыли к массе баббита (10 %), литейной усадки (0,6 %) и угара (2 %). Температуру баббита доводят до 400 °С и в тигель добавляют хлористый аммоний в количестве 5 – 7 % массы расплавленного баббита.

Баббит перемешивают, с поверхности удаляют шлаки и оксиды и покрывают ее слоем измельченного сухого древесного угля для защиты от окисления. Верхнюю и нижнюю половину вкладыша заливают отдельно, поэтому половину вкладыша в горячем состоянии закрепляют в приспособлении и устанавливают в вертикальное положение. Под вкладыш подкладывают листовой асбест. Приспособление для заливки состоит из шаблона с приваренными планками и хомутом для крепления сердечника. Сердечник изготавливают из стального листа, выгнутого по радиусу расточки с учетом припуска на механическую обработку. Приваренные к шаблону планки должны иметь отверстия для установки болтов. Крепление шаблона выполняют двумя хомутами, выгнутыми по внешнему диаметру вкладыша. Приспособление собирают с помощью болтов. Шаблон устанавливают с внутренней стороны вкладыша на расстоянии, равном толщине баббита с учетом припуска на механическую обработку. Для предотвращения утечки расплавленного баббита место соединения приспособления с вкладышем уплотняют асбестовым шнуром. Со стороны верхнего торца укладывают листовой асбест для обеспечения прибыли баббита высотой 7 – 8 мм. Температура вкладыша, подготовленного к заливке, должна быть 260 – 280 °С. Контроль температуры осуществляется термошупом, термопарой или другими приборами. Контроль температуры можно осуществлять прикосновением баббитовой палочки. При трении о стенки вкладыша баббитовая палочка плавится при 250 – 260 °С. При необходимости прогревают вкладыш и приспособление пламенем ацетиленовой горелки. Температура баббита Б-16 и Б-83 перед заливкой должна быть равна соответственно 440 – 460 и 400 – 420 °С. Перед заливкой баббит перемешивают, с поверхности удаляют уголь, шлак и оксиды. Заливку баббита производят ковшом непрерывной, короткой и широкой струей. Чтобы включения и пузырьки всплывали на поверхность, необходимо, чтобы остывание баббита шло снизу. Для этого верхнюю часть вкладыша подогревают горелкой. Для от-

деления пузырей от стенок и выхода их наружу залитый баббит перемешивают стальной проволокой в вертикальном направлении.

После полного остывания вкладыша приспособление разбирают, проверяют качество заливки и приступают к механической обработке. Контроль заливки выполняют после остывания баббита, а также при механической обработке.

Заливку вкладышей можно выполнять также центробежным способом с использованием токарного станка. Для этого вкладыш устанавливают в патрон токарного станка. Для предотвращения образования трещин в процессе охлаждения баббита перед установкой на токарный станок вкладыш нагревают до температуры 260 °C. В центральную часть вкладыша вводят воронку, в которую с помощью ковша заливают расплавленный баббит. При вращении вкладыша за счет центробежных сил расплавленный баббит равномерно распределяется по внутренней поверхности вкладыша. Вкладыш врачают до полного отвердения баббита.

По сравнению с вышеописанными способами перезаливки вкладышей метод газопламенного напыления является более простым, уменьшающим срок ремонта, а также снижает трение и износ в подшипниках на 25 – 30 % за счет изменения структуры и упрочнения антифрикционного слоя, что подтверждено длительной эксплуатацией восстановленных напылением подшипников скольжения.

Залитые вкладыши должны удовлетворять следующим требованиям:

- толщина залитого баббита должна соответствовать чертежу с припуском на механическую обработку:
- поверхность по всей площади баббита должна быть ровной;
- раковины и шлаковые включения на поверхности залитого баббита не должны превышать припуска на механическую обработку;
- баббит не должен иметь спаев и недоливов.

После механической обработки допускаются следующие дефекты в баббите вкладыша, не требующие устранения:

- до пяти раковин диаметром 0,5 мм и глубиной 0,5 мм;
- возникающие при механической обработке местные отставания (отрывы) баббита по периметру на глубину не более 1 мм длиной до 5 мм в количестве не более 3 шт.

Подлежат исправлению следующие дефекты:

- поры диаметром до 1,5 мм в количестве, не превышающем 1 % площади залитого баббита на вкладыше, которые наплавляют баббитом той же марки;

- местные отставания и выломы баббита по периметру вкладыша на глубину до 3 мм длиной до 1,5 мм в количестве 3 шт.;
- обнаруженные после механической обработки отдельные черноты из-за недолива баббита суммарной площадью не более 0,5 %.

Цвет баббита должен быть однородным, тускло-серебристым, допускается местный золотистый цвет. Желтый цвет свидетельствует о перегреве баббита. Излом баббита должен иметь однородное мелкозернистое строение. Если при осмотре обнаружены отставания баббита, посторонние включения, большие раковины или желтый цвет заливки, то вкладыш перезаливают. Дефекты наплавляют баббитом. Дефектные места высверливают или вырубают до металла корпуса вкладыша и зачищают до блеска. Поверхность, подлежащую наплавке, смазывают хлористым цинком и облучивают припоеем ПОС-30. При наплавке применяют пропан-бутановое или ацетиленовое пламя. Предпочтительнее применять пропан-бутановое пламя, обеспечивающее лучшую структуру наплавленного слоя благодаря более низкой температуре пламени ("мягкое пламя").

Участок, требующий наплавки, нагревают горелкой до начала оплавления поверхности баббита или полуды и вводят баббитовый пруток марки Б-83 или Б-16. Для наплавки применяют баббитовые прутки с катетом 15 – 20 мм, длиной 400 – 500 мм с чистой поверхностью, без пор, одинакового сечения по длине и однородным составом.

При применении пропан-бутана пламя должно быть восстановительное, т.е. с небольшим избытком горючего газа, при применении ацетилена — нормальное. Запрещается вносить присадочный пруток в ядро пламени горелки. При наплавке следят за качеством соединения наплавляемого баббита с луженой поверхностью. Признаком качественного соединения является хорошее смачивание баббитом луженой поверхности. При наплавке нагрев подшипника не должен превышать 80 – 100 °С. Перегретый баббит имеет высокую текучесть по наплавляемой поверхности и кристаллизуется с образованием усадочных впадин и шероховатой поверхности.

Допускается наплавлять до требуемой толщины несколько слоев баббита. Перед наплавкой последующего слоя предыдущий зачищают до блеска металлической щеткой. Общая толщина наплавляемого слоя баббита должна быть не менее чем на 2 мм больше чистового размера. Наплавленная поверхность должна быть гладкой, с небольшими гребешками, появляющимися при переходе от одного слоя к другому. Наплывы баббита на поверхности разъема вкладыша удаляют, проверяют по краске и пришабривают, не допуская зазора более 0,05 мм.

Собирают вкладыш для установки на токарный станок. Проверку установки вкладыша в станке производят индикатором часового типа, при этом контролируют наружную посадочную поверхность и торец вкладыша. Вкладыш устанавливают на станок. Размеры расточки контролируют штихмасом. Чистовую расточку заливки вкладыша выполняют под необходимый размер. Шероховатость поверхности после обработки 0,64. Чистовую обработку выполняют резцом с радиусом закругления 4,0 мм при подаче 0,1 мм и частоте вращения 15 – 30 мин<sup>-1</sup>. При последнем проходе снимают слой баббита толщиной 0,2 мм.

После механической обработки вкладыш промывают, устанавливают нижнюю половину в корпус подшипника и проверяют прилегание к шейке вала. Для проверки вкладыша ротор устанавливают на подшипники и проворачивают. Проверку выполняют по краске или по натиркам баббитовой поверхности. При необходимости вкладыш пришабривают. Прилегание окончательно пригнанной нижней половины вкладыша к шейке вала должно удовлетворять требованиям, изложенным выше. Значения зазоров и натягов заносят в формуляр.

Электроизоляционные детали подшипниковых узлов и маслопроводов промывают в бензине и осматривают, проверяя отсутствие механических повреждений: разрывов, трещин, деформаций, пустот, сколов, смятия и нарушения поверхностного лакового покрытия. Изоляционные детали просушивают в печи. После дефектации заменяют изоляционные детали новыми, а, если они отсутствуют, изготавливают шайбы различного профиля, изоляционные втулки, прокладки и др.

Для изготовления детали вначале нарезают заготовки из пропитанной стеклоткани ПСК/ЭП, телефонной бумаги, предварительно рассчитав размеры и необходимое число. Количество слоев пропитанной стеклоткани или бумаги определяют по формуле

$$n = \frac{kb}{b_1},$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий уплотнение материала при опрессовке, равный 1,15;  $b$  — номинальная односторонняя толщина стенки изделия или изоляции детали с плюсовым допуском, мм;  $b_1$  — толщина пропитанной стеклоткани или бумаги, мм.

Длину заготовки рассчитывают по формуле, мм:

$$A = \pi D_2 n,$$

где  $D_2$  — средний размер трубки, мм.

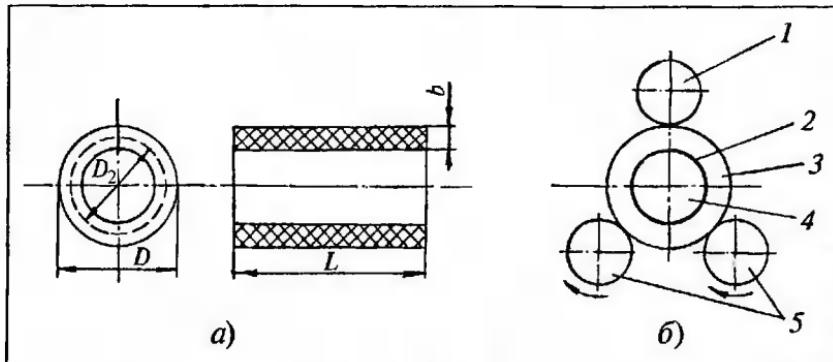


Рис. 5.4. Изготовление изоляционных втулок:

а — изоляционная втулка; б — установка втулки на обкаточном станке; 1 — верхний нажимной валик; 2 — парафинированная бумага; 3 — заготовка материала; 4 — оправка; 5 — обкаточные валики

Ширину заготовки рассчитывают по формуле, мм:

$$B = L + 2p,$$

где  $L$  — длина трубки, мм;  $p$  — допуск на обрезку краев изоляции, мм. Допуск принимают равным 7,5 мм для деталей длиной до 200 мм и 10 мм для деталей большей длины (рис. 5.4).

Вырезают необходимое количество заготовок из пропитанной стеклоткани или бумаги согласно расчету с учетом допуска. Для изготовления трубок или цилиндров вручную оберывают оправку одним слоем парафинированной бумаги или триакетатной пленки. Под слой триакетатной пленки заправляют заготовку пропитанной стеклоткани или бумаги и оберывают вручную двумя-тремя слоями. Включают электрообогрев обкаточного станка и нагревают валики до температуры 50 — 60 °С для эпоксидно-резольного лака и 80 — 90 °С для бакелитового лака. Подняв нажимной валик обкаточного станка, устанавливают деталь между нагретыми валиками. Опустив нажимной валик станка, наматывают необходимое количество слоев стеклоткани или бумаги, намотанные детали обкатывают между нагретыми валиками в течение 5 — 10 мин в зависимости от толщины стенки изоляции. Выключив станок, поднимают верхний валик, снимают деталь и проверяют геометрические размеры. При отсутствии специального станка для этих целей можно использовать станок для намотки катушек, токарный станок, а также любое приспособление для намотки с ручным или электроприводом. На

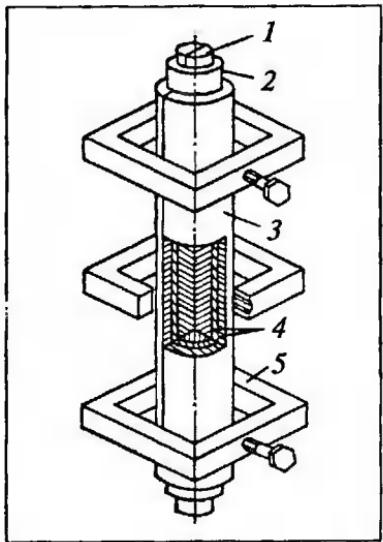


Рис. 5.5. Приспособление для изготавления изоляционных втулок (2-й вариант):

1 — стержень разъемный; 2 — стеклополотно на лаке ЭР1-30; 3 — обойма; 4 — триацетатная пленка; 5 — струбцина

рис. 5.5 – 5.7 показаны приспособления и пресс-формы для изготовления изоляционных деталей.

Для изолирования крепежных деталей (болтов, шпилек и др.) поверхность деталей, подлежащих изолированию, покрывают эпоксидно-резольным лаком ЭР1-30 или бакелитовым лаком, которым пропитан изоляционный материал, и сушат его при температуре окружающего воздуха в течение 15 – 20 мин.

Уложив на стол заготовку из пропитанной стеклоткани или бумаги, обворачивают деталь вручную двумя слоями фторопластовой пленки для предохранения резьбы от наплыков лака. Дальнейшие технологические операции выполняют аналогично изложенному выше. Подготовленные и

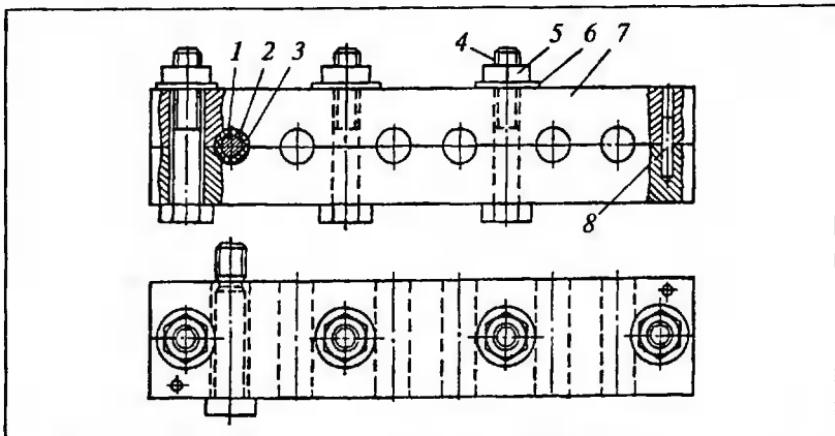


Рис. 5.6. Приспособление для запечки изоляции на болтах:

1 — болт изолированный; 2 — стеклополотно на лаке ЭР1-30; 3 — триацетатная пленка; 4 — болт М16 × 80; 5 — гайка М16; 6 — шайба; 7 — пресс-планка; 8 — штифт Ø 6 × 35

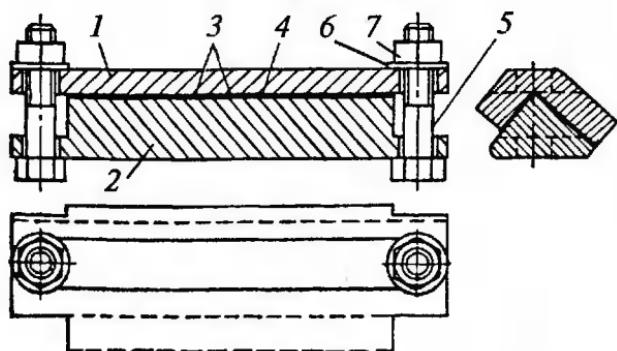


Рис. 5.7. Пресс-форма для изготовления изоляционных шайб:

1 — пuhanсон; 2 — матрица; 3 — триацетатная пленка; 4 — стеклополотно на лаке ЭР1-30; 5 — болт M20 × 80; 6 — шайба; 7 — гайка M20

установленные в приспособления и пресс-формы детали загружают впечь и выдерживают:

- пропитанные эпоксидно-резольным лаком при температуре 150 °C в течение времени из расчета 2 ч на 1 мм толщины изоляции;
- пропитанные бакелитовым лаком при температуре 120 °C в течение времени из расчета 2 ч на 1 мм толщины изоляции;
- изготовленные из прогиточной бумаги при температуре 120 °C в течение 12 ч.

После термообработки детали очищают от парафинированной бумаги, обрезают изоляцию до необходимых размеров и для получения влагостойкости покрывают лаком МЛ-92 или ЛЭТФ-245 окунанием, обливом или с помощью кисти. Вязкость лака МЛ-92 по вискозиметру В3-4 при температуре 20 °C для пневматического распыления составляет 20 — 22 с, для окунания — 14 — 16 с; вязкость лака ЛЭТФ-245 для пневмокраскопителя — 15 — 16 с, для окунания — 13 — 15 с. Вязкость лаков доводят до рабочего значения толуолом.

После первого покрытия лаком детали сушат на воздухе в течение 30 мин до прекращения отлипа и в сушильном шкафу при температуре 120 °C в течение 4 ч. Повторно детали покрывают лаком и сушат при температуре 120 °C в течение 5 ч. В процессе и после изготовления осматривают внутреннюю и наружную поверхности деталей, которые должны быть гладкими, без отслоения изоляции. На наружной поверхности допускаются незначительные морщины и следы стыков пресс-формы, а на внутренней — следы парафинированной бумаги. При применении для пропитки стеклоткани эпоксид-

но-резольного лака ЭР1-30 перед началом работы его готовят, используя исходные материалы в следующих соотношениях, мас.ч.:	
Эпоксидная смола ЭД-16 . . . . .	32,6
Лак бакелитовый ЛСБ-1 . . . . .	28
Дициандиамид . . . . .	0,4
Толуол . . . . .	17
Спирт этиловый технический. . . . .	22

Смолу ЭД-16 нагревают до температуры 50 – 70 °С и растворяют ее в толуоле. Затем смесь охлаждают. Необходимое количество бакелитового лака вливают в раствор эпоксидной смолы. Влив этиловый спирт и дициандиамид, смесь перемешивают до получения однородной массы.

### 5.3. СБОРКА ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

После выполнения ремонтных работ приступают к оборке подшипниковых узлов. Перед сборкой подшипника и установки в него ротора осматривают корпус подшипника (см. рис. 1.11, ч. 1) на отсутствие повреждений, чистоту поверхностей и исправность масляных каналов. Сборку подшипникового узла выполняют в соответствии с маркировкой, которая была выполнена при разборке узла. Затяжка болтов и шпилек должна быть равномерной.

Перед установкой нижней половины вкладыша в корпус необходимо смазочные кольца сместить в обе стороны относительно попечной оси подшипника (см. рис. 5.3). После установки нижней половины вкладыша в корпус опускают ротор и выполняют подгонку вкладыша к валу. Для этого ротор проворачивают и по натиркам на баббитовой поверхности производят пришабривание. После установки смазочных колец монтируют верхнюю половину вкладыша, крышку подшипника и уплотнение. Сборку подшипниковых узлов, встроенных в щиты электродвигателя, выполняют аналогично изложенному выше с учетом конструктивных особенностей (см. рис. 1.15, 1.16, ч. 1). В процессе сборки измеряют натяги и зазоры и полученные данные заносят в формуляр (рис. 5.8).

Для правильной работы торцевых частей подшипников необходимо знать осевой разбег ротора в обе стороны от положения, которое ротор занимает на холостом ходу электродвигателя. Это положение обусловлено магнитной симметрией ротора и статора. Оно определяется при работе электродвигателя на холостом ходу. Также можно проводить измерения аксиального положения ротора и статора. Проще и целесообразнее эти измерения выполнять в период

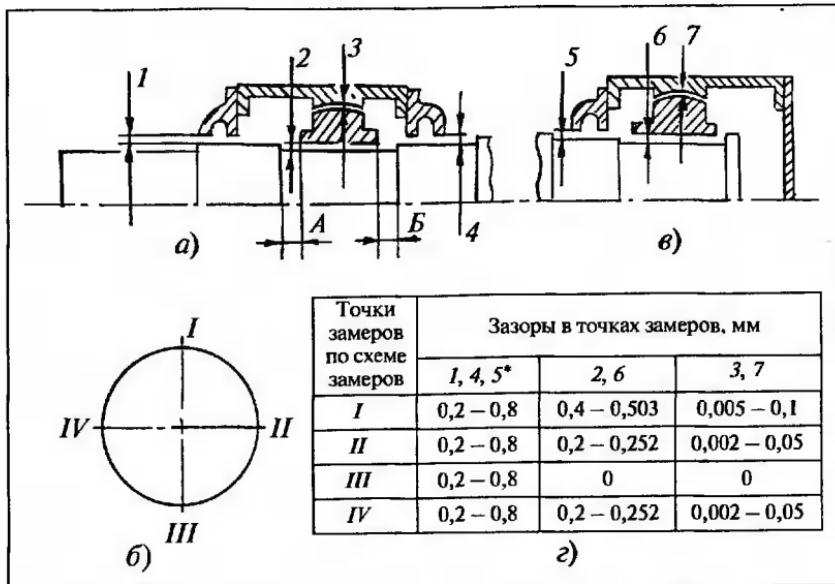


Рис. 5.8. Формуляр сборки подшипников электродвигателя 4АЗМ-4000/6000 со стороны полууфиты (а), со стороны свободного конца вала (б), схема замера зазоров в подшипниках и уплотнениях (в), чертежные значения зазоров (г)

\* Точки 1, 4, 5: сумма зазоров в двух любых диаметрально расположенных точках окружности должна быть не более 1 мм. Фактические зазоры А и Б (осевой разбег ротора) проверяют при номинальной частоте вращения электродвигателя на холостом ходу путем приложения осевого усилия к торцу вала. Допустимый разбег ротора в каждую сторону должен быть от 5 до 10 мм

ремонта следующим образом. В собранном на подшипниках электродвигателе со снятыми верхними половинами щитов (для встроенных подшипников) или с полностью снятыми щитами (для выносных стояковых подшипников) устанавливают активную сталь ротора в аксиальном положении симметрично относительно торцов активной стали статора. Это положение ротор будет занимать при работе электродвигателя на холостом ходу. Сдвинув ротор в одну и другую сторону до упора, измеряют осевой разбег. Желательно, чтобы эти расстояния были равны. При большой разнице в разбегах принимают меры к изменению положения вкладыша. Для щитовых подшипников электродвигателей серий АТД, 4АЗМ такое смещение достигается за счет установки (или снятия) дополнительных прокладок на фланцах подшипниковых щитов (см. рис. 1.15, 1.16, ч. 1). Отрегулированное положение ротора должно быть проверено при пробных пусках электродвигателя и, при необходимости, от-

корректировано. Фактический осевой разбег ротора должен соответствовать требованиям инструкции завода-изготовителя. В соответствии с "Объемом и нормами испытаний электрооборудования" осевой разбег ротора электродвигателя, не соединенного с механизмом, должен составлять от 2 до 4 мм на сторону от нейтрального положения, определяемого действием магнитного поля при вращении ротора в установленном режиме и фиксируемого меткой на валу. После окончания сборки электродвигателя картер подшипника тщательно промывают керосином, затем маслом от остатков керосина и заливают свежее масло до отметки на маслоуказателе. В процессе ремонта подшипниковых узлов должна быть выполнена ревизия маслоуказателя, заключающаяся в чистке масляных каналов, замене резиновых прокладок и, при необходимости, стекла. Прокладки изготавливают из маслобензостойкой резины. Сорт масла должен соответствовать рекомендациям заводов-изготовителей.

Максимальное отклонение уровня масла от нормального  $\pm 10$  мм. Перед закрытием картера осматривают скребки (если они предусмотрены конструкцией подшипникового узла). Скребки надежно закрепляют, а конец каждого из них прижимают к смазочному кольцу. При легком покачивании кольца прижатый конец скребка должен следовать за кольцом, не задевая вкладыша.

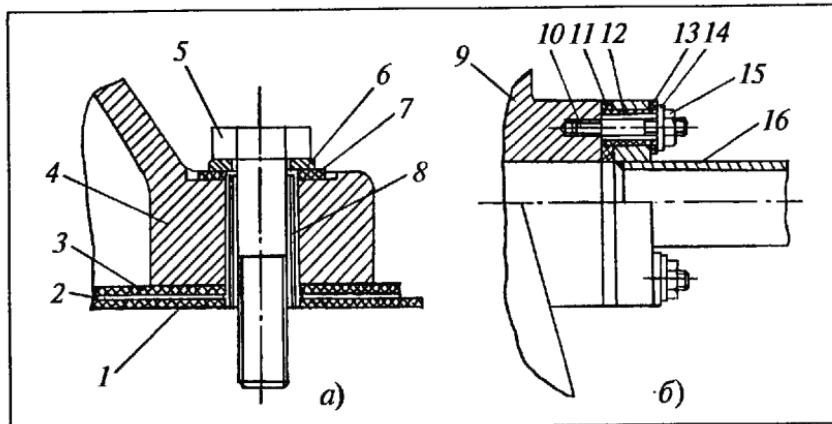


Рис. 5.9. Установка изоляции выносных подшипников скольжения:  
 а — установка подстуловой изоляции; б — установка изоляции фланца маслопровода к корпусу подшипника; 1, 3, 11, 13 — изоляционная прокладка; 2 — металлическая прокладка; 4, 9 — корпус подшипника; 5 — болт; 6, 14 — стальная шайба; 7 — изоляционная шайба; 8, 12 — втулка изоляционная; 10 — шпилька; 15 — гайка; 16 — патрубок

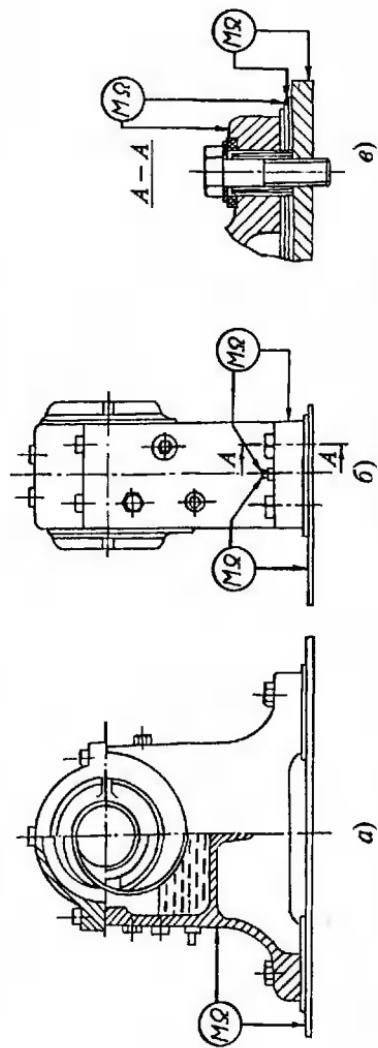


Рис. 5.10. Измерение сопротивления изоляции корпуса подшипника относительно фундаментной плиты (а), штифтов, фиксирующих положение подшипника на плите относительно фундаментной плиты (б), стальных прокладок относительно корпуса подшипника и фундаментной плиты (в)

В процессе сборки подшипниковых узлов, имеющих изоляцию подшипника со стороны свободного конца вала, устанавливают ее и измеряют сопротивление изоляции (рис. 5.9, 5.10). Согласно “Объему и нормам испытания электрооборудования” сопротивление изоляции подшипников электродвигателей напряжением 3 кВ и выше, подшипники которых имеют изоляцию относительно корпуса, измеряют мегомметром напряжением 1000 В (сопротивление изоляции не нормируется). Согласно рекомендациям заводов-изготовителей сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм. Измерение выполняют при поднятом роторе со стороны полумуфты.

В процессе ремонта должна быть выполнена чистка внутренних поверхностей маслопроводов. Эту чистку выполняют следующими способами: механическим, гидродинамическим, с применением водных растворов биологически разлагаемых моющих средств и др. При гидродинамическом способе очистки руководствуются требо-

ваниями “Инструкции по очистке маслосистем турбоагрегатов гидродинамическим способом” СО 34.37.601-96 (М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1973), а при способе с применением растворов биологически разлагаемых моющих средств — “Инструкцией по проведению эксплуатационных очисток маслосистем турбоагрегатов с применением водных растворов биологически разлагаемых моющих средств” СО 34.30.609-2003.

#### **5.4. ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА ПОДПЯТНИКОВ И ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ**

У электродвигателей ДВДА 260/99-20-24У4 отсоединяют и демонтируют маслоохладитель 3, щит 9, днище 4 и перегородку нижней крестовины 2 (рис. 5.11). Отсоединив термодатчики 6, снимают сегменты нижнего направляющего подшипника 5 и кожух. Нижнюю крестовину 7 снимают при демонтаже насоса. Затем демонтируют маслоохладитель 17 верхней крестовины 16 и верхний щит 21. Отсоединив термодатчики направляющего подшипника верхней крестовины, демонтируют его сегменты 19 и гнездо направляющего подшипника. Застропив с помощью приспособления ротор 1 и приподняв его на 5 – 10 мм, устанавливают ротор на домкраты 10 и снимают приспособление. Отсоединив и сняв стопорное кольцо 23, спрессовывают с помощью съемника втулку подпятника 22, снимают сегменты подпятника 18, затем верхнее перекрытие крестовины 16, устанавливают приспособление для строповки ротора и выводят ротор из расточки статора.

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

Осматривают и проверяют сегменты подпятника. При осмотре опорных винтов подпятника обращают внимание на сферическую поверхность опорного винта и состояние резьбы. При невозможности восстановления сферической поверхности и резьбы дефектные винты подпятника заменяют. При осмотре медных прокладок проверяют отсутствие вмятин, трещин и изломов. В случае обнаружения таких дефектов прокладки заменяют.

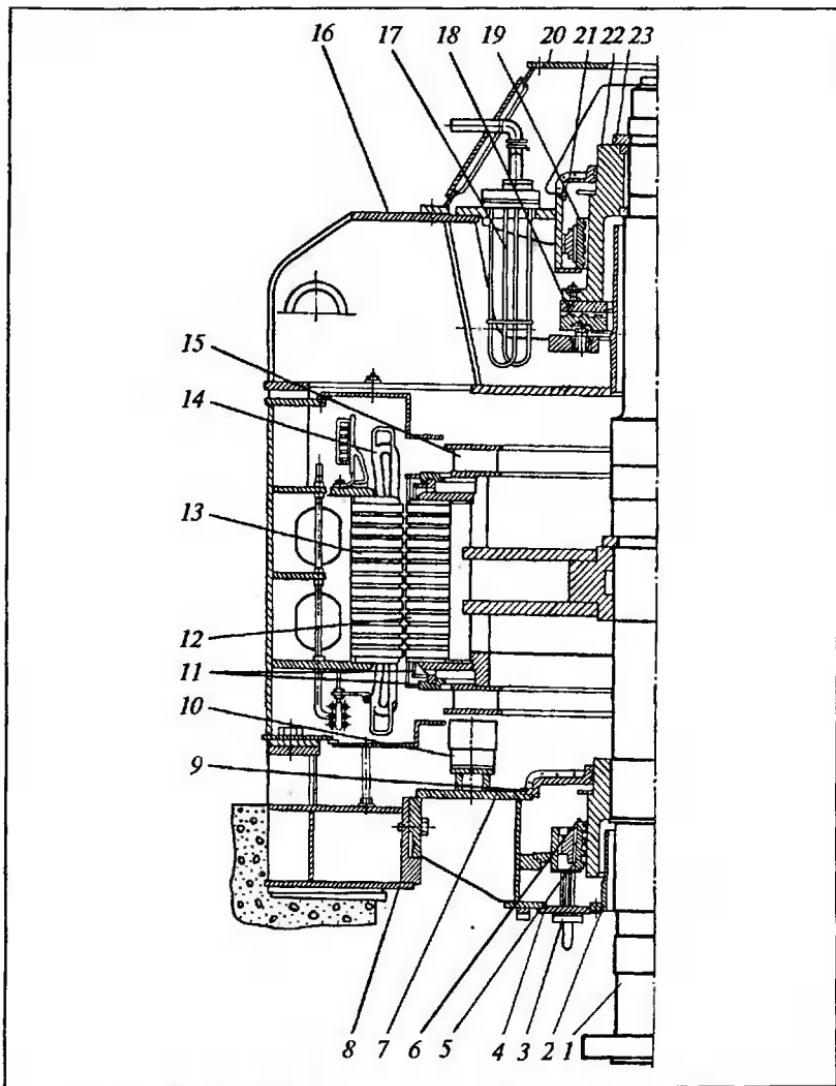


Рис. 5.11. Двухскоростной электродвигатель ДВДА 260/99-20-24У4:

1 — вал; 2 — перегородка; 3 — маслоохладитель нижней крестовины; 4 — днище нижней крестовины; 5 — нижний направляющий подшипник; 6 — датчик термоконтроля; 7 — нижняя крестовина; 8 — плита фундаментная; 9 — щит нижней крестовины; 10 — домкрат; 11 — короткозамкнутая двухрядная обмотка ротора; 12 — сердечник ротора; 13 — сердечник статора; 14 — обмотка статора; 15 — вентилятор; 16 — верхняя крестовина; 17 — маслоохладитель; 18 — подпятник; 19 — верхний направляющий подшипник; 20 — кожух; 21 — щит верхней крестовины; 22 — втулка подпятника; 23 — кольцо стопорное

Втулку подпятника проверяют на отсутствие забоин и рисок на рабочих поверхностях, верхнем и нижнем торце. Осматривают и проверяют поверхность вращающегося диска. Обнаруженные дефекты устраняют. Забоины и риски зачищают наждачной бумагой, смоченной турбинным маслом, и прошлифовывают пастой ГОИ. При значительных повреждениях необходима проточка диска на станке.

Измеряют сопротивление изоляции сегментов направляющего подшипника и втулки подпятника. При снижении сопротивления изоляции определяют и устраняют причину разборкой узла, промывкой бензином или заменой дефектных электроизоляционных деталей.

После окончания ремонта узлов и деталей собирают электродвигатель в последовательности, обратной разборке. Втулку подпятника устанавливают на вал, предварительно нагрев горелками до температуры 100 °C и смазав посадочные места вала техническим вазелином ВТВ-1. До нагрева устанавливают направляющую щпонку и напрессовывают втулку подпятника с вращающимся диском до упора на вал с помощью приспособления, поставляемого заводом "Уралэлектротяжмаш".

## **5.5. ПРОВЕРКА, ИСПЫТАНИЯ И ПРИЕМКА ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ПОСЛЕ РЕМОНТА**

После окончания ремонта электродвигатель устанавливают на фундамент и закрепляют гайками фундаментных болтов. Затягивают гайки равномерно, желательно одновременно в нескольких местах, или многократным обходом всех болтов с затяжкой каждого на небольшое значение. Для электродвигателей серии 4АЗМ завод-изготовитель "Сибэлектротяжмаш" (ОАО "ЭЛСИБ") рекомендует со стороны, противоположной приводу, между гайкой и лапами электродвигателя установить тарельчатые пружины. Тарельчатые пружины исключают возможность ослабления крепления электродвигателя к фундаментной плите в процессе эксплуатации, которое может произойти при осевых перемещениях лап электродвигателя за счет тепловых удлинений сердечника статора. В этом случае гайки со стороны, противоположной приводу, затягивают первоначально до полного выпрямления тарельчатых пружин, а затем отворачивают на пол-оборота. Нарушение этого требования может привести к тепловой деформации электродвигателя при работе и увеличению вибрации выше допустимых норм. Все лапы электродвигателя должны

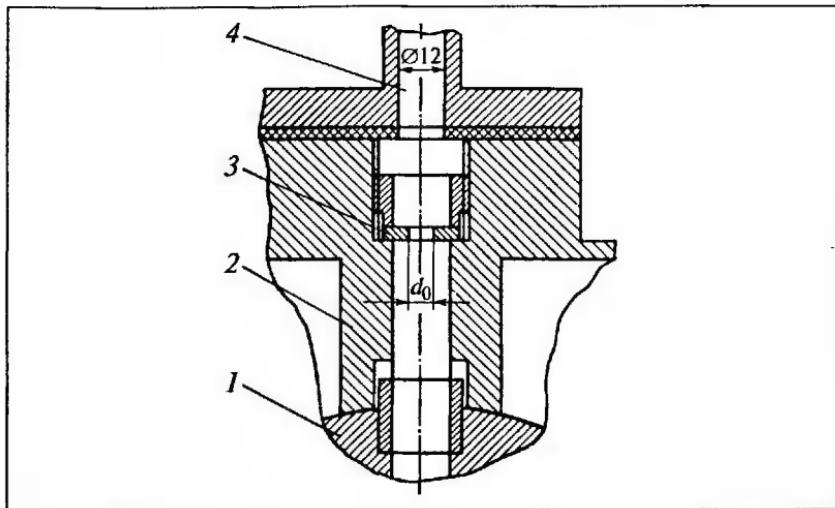


Рис. 5.12. Сужающее устройство в крышке подшипника электродвигателей серии 4АЗМ:

1 — вкладыш подшипника; 2 — крышка подшипника; 3 — диафрагма; 4 — подводящий маслопровод

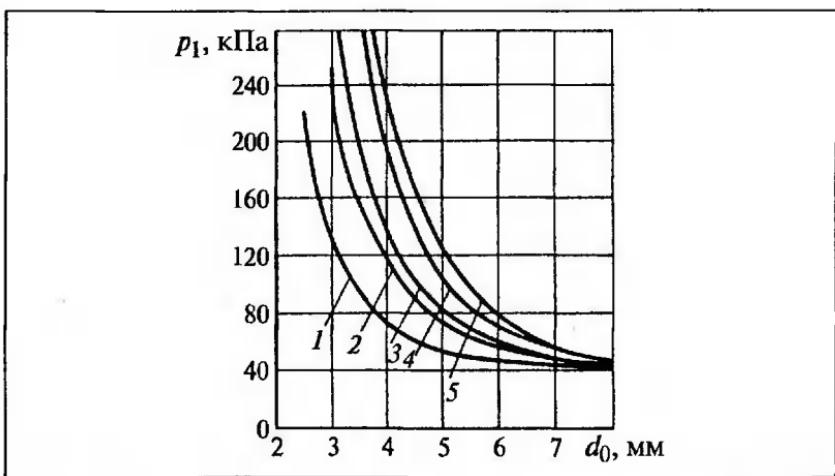


Рис. 5.13. Зависимость избыточного давления перед сужающим устройством  $p_1$  от диаметра отверстия  $d_0$  при избыточном давлении на входе в подшипник  $p_2 = 40$  кПа:

1 — при расходе масла 0,085 л/с для электродвигателей 315 – 1000 кВт для районов с тропическим климатом; 2 — 0,135 л/с, 1250 – 1600 кВт; 3 — 0,16 л/с, 2000 – 3150 кВт; 4 — 0,2 л/с, 4000 – 6300 кВт; 5 — 0,225 л/с, 8000 кВт

быть установлены на контрольные шпильки, а у электродвигателей 4АЗМ штифтуются лапы только со стороны механизма.

К подшипникам электродвигателей с принудительной смазкой подсоединяют напорные и сливные маслопроводы и регулируют напор масла диафрагмой, установленной между фланцем напорного маслопровода и крышкой подшипника, таким образом, чтобы расход масла на каждый подшипник был равен для электродвигателей серии 4АЗМ (рис. 5.12) мощностью 315 – 1000 кВт (для районов с тропическим климатом) 0,085 л/с; 1250 – 1600 кВт – 0,135 л/с; 2000 – 3150 кВт – 0,16 л/с; 4000 – 6300 кВт – 0,2 л/с; 8000 кВт – 0,225 л/с.

Избыточное давление масла на входе в подшипник должно поддерживаться в пределах 30 – 50 кПа при заданном расходе. Отверстие  $d_0$  в диафрагме сужающего устройства высверливают при наладке схемы маслоснабжения и выбирают в зависимости от давления в маслопроводе системы в соответствии с графиками (рис. 5.13). Температура масла на входе в подшипники должна быть равна от 15 до 40 °С.

Перед пуском проверяют наличие и уровень масла в подшипниках; подачу и слив масла из подшипника и его температуру; состояние уплотнений, препятствующих вытеканию масла из подшипников; свободное вращение и наличие осевого разбега ротора; отсутствие заеданий или ударов. При пуске и испытаниях при номинальной частоте вращения контролируют нагрев подшипников и скорость нарастания, наличие вращения колец и достаточности поступающего масла. Длительность испытаний определяется временем, необходимым для приработки тел скольжения, температурной стабильностью подшипников и других узлов и систем электродвигателя и др.

В соответствии с “Объемом и нормами испытаний электрооборудования” наибольшее допустимое значение температуры подшипников скольжения электродвигателей равно 80 °С.

В остальном при проверке, испытаниях и приемке подшипниковых узлов с подшипниками скольжения необходимо руководствоваться рекомендациями, изложенными в § 4.5.

## ГЛАВА ШЕСТАЯ

# Повышение надежности подшипниковых узлов электродвигателей

### 6.1. НАДЕЖНОСТЬ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Расчетная долговечность подшипников по ГОСТ Р 51689-2000 “Двигатели асинхронные мощностью от 0,12 до 400 кВт включительно. Общие технические требования”, введенному с 01.01.02, должна быть не менее 20 000 ч.

В соответствии с ГОСТ Р 51757-2001 “Двигатели трехфазные асинхронные напряжением выше 1000 В для механизмов собственных нужд тепловых электростанций. Общие технические условия”, введенным с 01.01.02, расчетный срок службы подшипников качения должен быть не менее 20 000 ч для двухполюсных двигателей, 30 000 ч для вертикальных и не менее 50 000 ч для остальных типов двигателей. В соответствии с этим же ГОСТ подшипники электродвигателей должны быть оснащены датчиками температурного контроля, а электродвигатели мощностью 630 кВт и более, предназначенные для эксплуатации в тяжелых условиях (углеразмольные механизмы, дымососы и т.п.), по согласованию должны быть оснащены датчиками вибрации.

Одним из наименее надежных узлов электродвигателей в процессе эксплуатации является подшипниковый узел. Экспериментальные методы оценки надежности мощных высоковольтных электродвигателей являются важным источником получения достоверных данных об эксплуатационной надежности отдельных узлов и электродвигателей в целом.

По результатам испытаний и эксплуатационным отказам определяют наименее надежные элементы конструкции. Испытания и

Таблица 6.1. Типы электродвигателей и характеристики надежности подшипниковых узлов электродвигателей блока 300 МВт

Механизм	Тип электродвигателя, мощность, кВт	Место установки подшипника	Номер подшипника	Число отказов — замен, %	Параметр распределения Вейбулла	
					b	λ
Дутьевой вентилятор (ДВ)	ДАЗО-15-69-8/10, 800/400	Св. вал	8Н330Л	82 (52,2)	1,79	0,1928
		Привод	7Н32328	75 (47,8)	1,64	0,2167
Насос регулирования турбины (НРТ)	А-112-4, 200	Св. вал	322	42 (29,4)	1,55	0,2047
		Привод	2322	101 (70,6)	1,33	0,5128
Мельничный вентилятор (МВ)	ДАЗО-13-50-4, 550	Св. вал	326	106 (40,8)	1,61	0,1854
		Привод	2326	154 (59,2)	1,62	0,2534
Конденсатный электронасос (КЭН)	ВА-12-41-4, 500	Св. вал	46330Л	114 (59,7)	1,37	0,3138
		Привод	2322	77 (40,3)	1,75	0,1295
Вентилятор горячего дутья (ВГД)	ДАЗО-12-55-8, 250	Св. вал	324	51 (44,3)	1,75	0,1174
		Привод	2324	64 (55,7)	2,14	0,0809
Насос слива дренажа (НСД)	АВ-113-4М, 250	Св. вал	66322	71 (55,0)	1,64	0,2080
		Привод	32322	58 (45,0)	2,09	0,0679
Бустерный питательный насос (БПН)	АР-500, 500	Св. вал	Скольжение	31 (44,3)	1,70	0,1662
		Привод	Скольжение	39 (55,7)	1,60	0,1276
Насос пускового эжектора (НПЭ)	А-112-4, 200	Св. вал	322	16 (36,4)	1,92	0,1139
		Привод	32322	28(63,6)	1,48	0,2792

опыт эксплуатации являются исходным моментом для разработки рекомендаций по повышению надежности, планированию сроков технического обслуживания и испытаний, номенклатуры и объема запасных частей, электроизоляционных материалов для ремонта и др.

Далее анализируются надежность и долговечность подшипников 216 электродвигателей напряжением 6 кВ, находящихся в эксплуатации от 7 до 14 лет и используемых в качестве привода механизмов собственных нужд электростанций с энергоблоками мощностью 300 МВт. Типы электродвигателей и параметры распределения Вейбулла подшипников приведены в табл. 6.1.

Рассматриваемые типы электродвигателей имеют различное исполнение и широкий диапазон частот вращения. В зависимости от конструктивного исполнения, частоты вращения и нагрузки в электродвигателях применены подшипники качения следующих типов: радиальные однорядные шариковые подшипники, радиальные роликовые подшипники с короткими цилиндрическими роликами, радиальные сферические двухрядные роликовые подшипники, радиально-упорные шариковые подшипники.

По конструктивному исполнению в электродвигателях применены подшипники скольжения щитовые и выносные (стояковые), с разъемным и неразъемным вкладышами, сферические самоустанавливающиеся и с узкоцилиндрической жесткой посадкой.

Смазка труящихся поверхностей подшипников скольжения выполняется посредством свободно висящих колец на валу ротора, за счет циркуляции масла, подаваемого под давлением, или комбинированная (кольца и циркуляция).

В подшипниках качения применяют пластичные (консистентные) смазки, в подшипниках скольжения — жидкое масло.

Надежность и срок службы подшипников мощных электродвигателей энергоблоков в процессе эксплуатации зависит от многих факторов. К их числу следует отнести: вибрацию, качество соединения электродвигателя с приводным механизмом, запыленность, влажность, наличие агрессивных примесей в окружающей среде, температуры подшипников, тип применяемой смазки и периодичность ее замены, принятую стратегию технического обслуживания и соблюдение технологии ремонта. Эти факторы в значительной степени влияют на срок службы и надежность работы подшипников в процессе эксплуатации.

Долговечность подшипников скольжения зависит также от частоты пусков и остановов, так как на частоте вращения ниже номинальной износ подшипников больше.

Подшипники качения, как правило, не оснащены датчиками и аппаратурой для теплового, вибрационного и других видов контроля. Подшипники скольжения имеют только температурный контроль. По изложенным соображениям, а также из-за отсутствия диагностической аппаратуры эксплуатационный персонал имеет крайне ограниченную информацию о состоянии подшипникового узла. В связи с этим значительный интерес представляет определение показателей надежности и срока службы подшипников существующего парка электродвигателей.

Обработка результатов эксплуатационных наблюдений методами математической статистики и теории вероятностей дает возмож-

ность анализировать и прогнозировать надежность подшипников с учетом всей совокупности изложенных факторов. Обработка статистического материала наблюдений дает мощный инструмент исследователю и практику в планировании сроков замен подшипников, корректировке стратегии технического обслуживания и ремонта и т.д.

Для анализа надежности и срока службы подшипников электродвигателей использованы  $N$ ,  $R$ ,  $T$ -планы. Наблюдению подлежали  $N$  объектов — электродвигателей, отказавшие элементы — подшипники заменялись новыми, наблюдения прекращались по истечении времени  $T$ . Подшипниковый узел с новым подшипником рассматривался как новый, т.е. полностью восстановивший работоспособность.

Весь рассматриваемый период времени эксплуатации каждого подшипника разбит на интервалы продолжительностью 1 год, причем после замены подшипника начинается новый отсчет времени. В анализ включены все замены подшипников: аварийные и сделанные в период плановых ремонтов. Это сделано по следующим соображениям. Принятая стратегия ремонтов электродвигателей за рассматриваемый период эксплуатации предусматривала замену подшипников только при наличии браковочных признаков, которые не обеспечивали бы дальнейшую их эксплуатацию до следующего ремонта, т.е. состояние подшипника, если он не был заменен в плановый ремонт, было бы близко к предельному состоянию. В этой связи можно объединить наработки до предельного состояния, вызвавшего отказ подшипника, и наработки, предшествовавшие предельному состоянию. На рис. 6.1 построены гистограммы срока службы подшипников до замены электродвигателей типов ДАЗО-13-50-4, ВА-12-41-4 и АР-500.

По виду гистограммы можно предположить, что срок службы до замены подчиняется распределению Вейбулла. При последующих расчетах сделано предположение, что параметр сдвига в распределении Вейбулла в рассматриваемых совокупностях подшипников равен 0. Это допущение сделано в связи с тем, что во всех рассматриваемых типах подшипников имело место значительное число отказов-замен уже в первом интервале от 0 до 1 года.

Функция плотности вероятности для распределения Вейбулла представляется в виде

$$f(t) = b\lambda t^{b-1}e^{-\lambda t^b} \quad \text{при } t \geq 0,$$

где  $\lambda$  — параметр, определяющий масштаб;  $b$  — параметр асимметрии распределения (параметр формы).

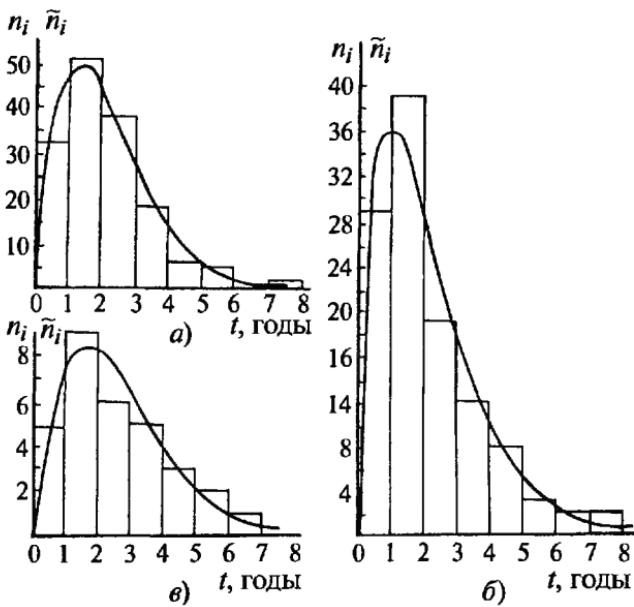


Рис. 6.1. Гистограммы и теоретические кривые плотности вероятности срока службы подшипников электродвигателей:

а — роликовый подшипник № 2326 со стороны привода электродвигателя ДАЗО-13-50-4; б — шариковый подшипник № 46330Л со стороны свободного конца вала вертикального электродвигателя ВА-12-41-4; в — подшипник скольжения со стороны свободного конца вала электродвигателя АР-500;  $n_i$  — эмпирические частоты;  $\tilde{n}_i$  — теоретические частоты

Следовательно, распределение Вейбулла характеризуется в данном случае двумя параметрами  $\lambda$  и  $b$ , которые необходимо определить по данным эксплуатационных наблюдений. Методика определения  $\lambda$  и  $b$  состоит в следующем. Известно, что

$$a = \frac{\Gamma(1 + 1/b)}{\lambda^{1/b}}; \quad \sigma^2 = \frac{\Gamma(1 + 2/b) - \Gamma^2(1 + 1/b)}{\lambda^{2/b}},$$

где  $a$  — среднеарифметическое значение;  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение;  $\Gamma$  — гамма-функция;  $(1 + 2/b)$ ,  $(1 + 1/b)$  — аргумент гамма-функции.

Значения  $b$  и  $\lambda$  для рассматриваемых типов подшипников определяем графоаналитическим методом (см. табл. 6.1).

Для проверки гипотезы о возможности применения распределения Вейбулла при определении вероятности срока службы подшипников электродвигателей используем критерий согласия Колмогорова для подшипников со стороны привода № 2326 электродвигателя ДАЗО-13-50-4.

Согласие эмпирического распределения с распределением Вейбулла для доверительных вероятностей более 0,01 проверено. В результате этой проверки доказано, что срок службы подшипников до замены подчиняется распределению Вейбулла.

Зная  $b$  и  $\lambda$ , определяем теоретические частоты:

$$\tilde{n}_i = n\Delta\lambda b t^{b-1} e^{-\lambda t^b},$$

где  $n$  — число отказов-замен подшипников;  $\Delta$  — временной интервал, равный 1 году.

Подставляя ряд значений  $t$ , определяем соответствующие им теоретические частоты и строим кривые плотности вероятности срока службы подшипников (рис. 6.1).

Для проверки гипотезы о возможности применения распределения Вейбулла в целях определения вероятности срока службы подшипников и вычисления его параметров можно применять также графоаналитический метод с использованием вероятностных сеток. Этот метод целесообразно применять, если объем выборки не превышает 50. Масштаб вероятностной сетки выбирают так, чтобы график распределения Вейбулла был представлен на графике в виде прямой линии (рис. 6.2). При построении этой прямой использован метод наименьших квадратов. Из рис. 6.2 следует, что эмпирические точки мало отклоняются от проведенной прямой. Следовательно, опытные данные срока службы подшипников не противоречат распределению Вейбулла.

Вероятность безотказной работы подшипников до первого отказа определяется формулой

$$P(t) = e^{-\lambda t^b}.$$

Определив экспериментально  $b$  и  $\lambda$ , можно рассчитать вероятность безотказной работы подшипников для различных периодов эксплуатации. На рис. 6.3 показаны зависимости вероятности безотказной работы обоих подшипников электродвигателей НРТ и БПН.

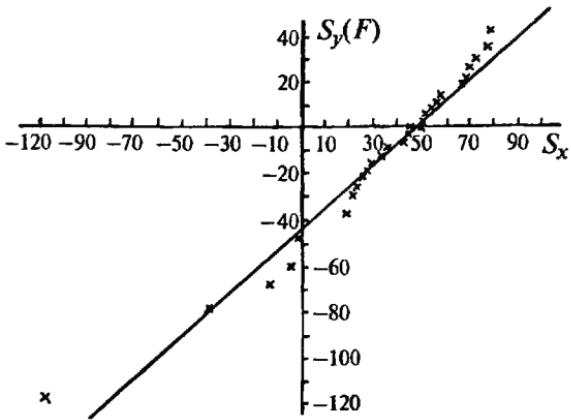


Рис. 6.2. Графическая проверка согласия эмпирического распределения с теоретическим сроком службы подшипника скольжения со стороны свободного конца вала электродвигателя АР-500

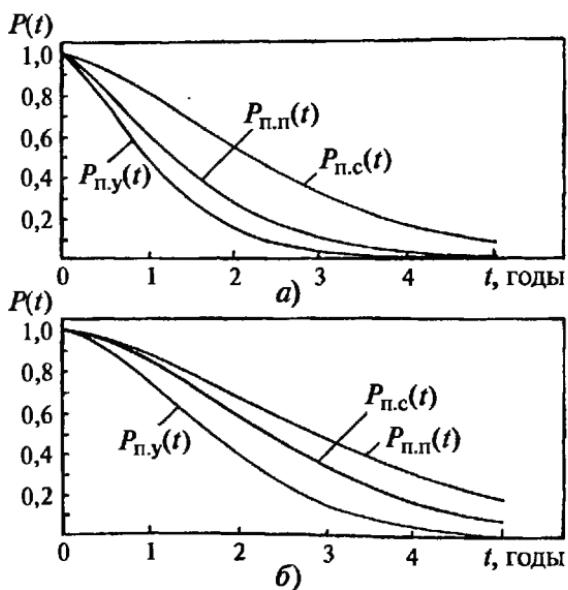


Рис. 6.3. Кривые вероятности безотказной работы подшипниковых узлов:  
а — электродвигателя типа А-112-4 (НРТ); б — электродвигателя АР-500 (БПН)

Таблица 6.2. Вероятность безотказной работы подшипников электроприводов блока 300 МВт

Механизм	Тип электроприводов, мощность, кВт	Вероятность безотказной работы двух подшипников за время, лет				
		1	2	3	4	5
Дутьевой вентилятор (ДВ)	ДАЗО-15-69-8/10, 800/400	0,8246/ 0,8052	0,5134/ 0,5090	0,2522/ 0,2690	0,0997/ 0,1218	0,0321/ 0,0481
Насос регулирования турбины (НРТ)	А-112-4, 200	0,8149/ 0,5988	0,5491/ 0,2755	0,3251/ 0,1096	0,1729/ 0,0391	0,0837/ 0,0128
Мельничный вентилятор (МВ)	ДАЗО-13-50-4, 550	0,8308/ 0,7762	0,5678/ 0,4589	0,3372/ 0,2226	0,1777/ 0,0912	0,0842/ 0,0322
Конденсатный электронасос (КЭН)	ВА-12-41-4, 500	0,7307/ 0,8785	0,4444/ 0,6469	0,2433/ 0,4125	0,1229/ 0,2310	0,0581/ 0,1147
Вентилятор горячего дутья (ВГД)	ДАЗО-12-55-8, 250	0,8892/ 0,9223	0,6738/ 0,7001	0,4480/ 0,4278	0,2649/ 0,2077	0,1405/ 0,0794
Насос слива дренажа (НСД)	АВ-113-4М, 250	0,8122/ 0,9344	0,5230/ 0,7490	0,2835/ 0,5094	0,1326/ 0,2921	0,0543/ 0,1406
Бустерный питательный насос (БПН)	АР-500, 500	0,8469/ 0,8802	0,5828/ 0,6792	0,3410/ 0,4771	0,1730/ 0,3096	0,0770/ 0,1872
Насос пускового эжектора (НПЭ)	А-112-4, 200	0,8923/ 0,7564	0,6498/ 0,4589	0,3911/ 0,2419	0,1957/ 0,1139	0,0818/ 0,0487

Примечание. В числителе приведены данные для подшипников, установленных с обеих сторон конца вала, в знаменателе — со стороны механизма.

Вероятность безотказной работы обоих подшипников электродвигателя как системы из двух последовательно соединенных элементов определяется по формуле

$$P_{\text{п.у}}(t) = P_{\text{п.с}}(t)P_{\text{п.п}}(t),$$

где  $P_{\text{п.у}}(t)$  — вероятность безотказной работы обоих подшипников;  $P_{\text{п.с}}(t)$  — вероятность безотказной работы подшипника со стороны свободного конца вала;  $P_{\text{п.п}}(t)$  — вероятность безотказной работы подшипника со стороны привода.

Вероятность безотказной работы подшипников электродвигателей блока 300 МВт представлена в табл. 6.2.

Из анализа отказов подшипников и данных табл. 6.1 и 6.2 следует, что срок службы подшипников качения со стороны привода электродвигателей с горизонтальным расположением вала значительно меньше. За рассматриваемый период количество замен подшипников со стороны привода в 1,6 раза больше, чем со стороны свободного конца вала. Это является следствием того, что подшипник со стороны привода несет большие механические нагрузки, связанные с передачей врачающего момента, и влияния качества центровки валов электродвигателя и механизма.

Исключение составляет электродвигатель ДАЗО-15-69-8/10, у которого количество замен подшипника со стороны свободного конца вала больше, чем со стороны привода, на 9 %. Это связано с тем, что подшипниковый узел со стороны свободного конца вала изолирован с помощью изоляционных прокладок и втулок. Недостаточно жесткое крепление этого узла из-за наличия изоляционных деталей, имеющих прочность ниже, чем сталь, приводит к его смещению и нарушению установки подшипника, ухудшает условия его работы и ускоряет процесс износа.

У электродвигателей АР-500 с горизонтальным расположением вала и подшипниками скольжения количество замен подшипников со стороны привода больше на 25 %. Это объясняется теми же причинами, это и для подшипников качения.

У электродвигателей с вертикальным расположением вала меньший срок службы имеет подшипник, расположенный со стороны свободного конца вала. Это связано с тем, что кроме радиальной нагрузки он нагружен осевым усилием от массы ротора электродвигателя. Срок службы верхнего подшипника в среднем меньше на 37 %.

Подшипник № 2322 электродвигателя КЭН имеет больший срок службы, чем электродвигателя НРТ, по причине различного исполнения электродвигателей: электродвигатель КЭН — вертикального

исполнения, а электродвигатель НРТ — горизонтального. На подшипник № 2322 электродвигателя НРТ действует масса ротора электродвигателя, а подшипник электродвигателя КЭН разгружен от действия массы ротора. По этой же причине срок службы подшипников № 32322 электродвигателей НСД и НПЭ различный.

Больший срок службы подшипников электродвигателя НПЭ по сравнению с подшипниками электродвигателя НРТ объясняется меньшей среднегодовой наработкой этого электродвигателя.

Наибольший срок службы имеют подшипники электродвигателя ВГД. Это связано с тем, что он имеет сравнительно небольшую частоту вращения по сравнению с другими электродвигателями. Средний срок службы подшипников качения электродвигателей с синхронной частотой вращения  $750 \text{ мин}^{-1}$  выше (ВГД, ДВ), чем подшипников электродвигателей с синхронной частотой вращения  $1500 \text{ мин}^{-1}$  (НРТ, КЭН, НСД, НПЭ, МВ). Это объясняется тем, что процесс износа дорожек, сепараторов и тел качения ускоряется с увеличением частоты вращения.

Из изложенного выше следует, что независимо от конструкции и типа подшипника и электродвигателя время до замены подшипников (срок службы, вероятность безотказной работы до первого отказа) подчиняется распределению Вейбулла.

Замена подшипников должна производиться с учетом обеспечения оптимального уровня надежности электродвигателей.

## 6.2. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

С учетом анализа преобладающих воздействий на срок службы подшипников разрабатываются мероприятия, повышающие эксплуатационную надежность конкретного типа электродвигателя и подшипника. Предпосылкой повышения надежности подшипников качения мощных электродвигателей является создание стабильного гидродинамического режима смазки между телами и дорожками качения в течение всего срока эксплуатации. При этом уменьшается износ рабочих поверхностей подшипника из-за отсутствия взаимодействия микронеровностей.

В процессе эксплуатации в смазке происходят кристаллизация и агрегация частиц дисперсной фазы, химическое взаимодействие компонентов смазки или смазки и внешней среды, процесс испарения и др. Работоспособность смазки в зависимости от температуры определяется уравнением

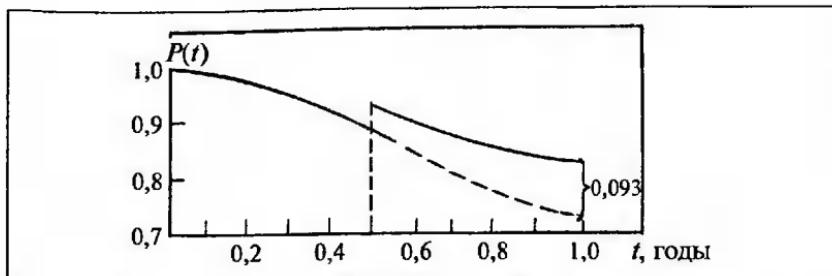


Рис. 6.4. Кривые вероятности безотказной работы радиально-упорного подшипника № 46330Л со стороны свободного конца вала электродвигателя типа ВА-12-41-4 при периодичности замены смазки 0,5 и 1 год

$$\lg \tau = A + B/T,$$

где  $A$  и  $B$  — постоянные коэффициенты;  $T$  — абсолютная температура узла трения, К;  $\tau$  — ресурс смазки, ч.

Отсюда следует, что для увеличения ресурса смазки целесообразно снижать рабочую температуру подшипникового узла. Частой причиной значительного повышения температуры и перегрева подшипника является избыток смазки в узле, что может привести к ее вытеканию на обмотку.

Замена смазки в некоторой степени восстанавливает работоспособность подшипникового узла, и, следовательно, периодичность замены влияет на эксплуатационную надежность узла. Если принять, что подшипниковый узел восстанавливает свою работоспособность при замене смазки на 5 %, то можно определить надежность подшипникового узла при различной периодичности замены смазки.

На рис. 6.4 построены кривые вероятности безотказной работы радиально-упорного подшипника № 46330Л со стороны свободного конца вала электродвигателя типа ВА-12-41-4 (500 кВт, 6 кВ, 1500 мин<sup>-1</sup>) привода конденсатного насоса при периодичности замены смазки 0,5 и 1 год. В зависимости от периодичности замены смазки вероятность безотказной работы подшипника изменяется на 0,093 (9,3 %). Следовательно, изменив график технического обслуживания подшипников в зависимости от назначений и степени ответственности механизма, можно повысить надежность эксплуатации электродвигателей.

В отдельных случаях причинами низкой эксплуатационной надежности подшипниковых узлов являются конструктивные и технологические недоработки при изготовлении электродвигателей. В

качестве привода насоса технической воды используют электродвигатели типа А13-62-8УЗ (630 кВт, 6 кВ,  $750 \text{ мин}^{-1}$ ). Подшипниковый узел со стороны свободного конца вала с подшипником качения № 326 имеет наружную штампованную крышку, которая не обеспечивает плотность прилегания к фланцу корпуса подшипника. Значительные зазоры (до 3 мм) нарушают герметичность узла, что приводит к вытеканию смазки при рабочих температурах подшипника. Изготовленная путем токарной обработки новая крышка не имеет указанных недостатков и обеспечивает надежную работу электродвигателей.

У двухскоростного электродвигателя типа ДАЗО-15-69-8/10 (800/400 кВт, 6 кВ,  $743/595 \text{ мин}^{-1}$ ) привода дутьевого вентилятора энергоблока мощностью 300 МВт число замен подшипника со стороны свободного конца вала больше на 9 %, чем со стороны привода. Причиной низкой надежности подшипниковых узлов является то, что они расположены внутри корпуса электродвигателя и проведение их ревизий, регулировок и осмотров затруднено, а отсутствие теплового контроля практически исключает возможность своевременного выявления нарушений режима работы подшипников. В связи с этим было принято решение о выполнении реконструкции подшипниковых узлов с вынесением их наружу, замене подшипников 8Н330Л на подшипники 13532, установке температурного контроля и специальных упоров с фиксирующими болтами.

Анализ работы подшипников качения свидетельствует о том, что в тяжелонагруженных опорах важными факторами являются повышение и сохранение смазочных свойств рабочих смазок в местах касания тел качения с беговыми дорожками и гнездами сепараторов [6].

Для повышения эффекта безызносности материалов при граничном трении ОАО "ВТИ" предлагает создание на поверхности трения тел качения смазочного олеофильного слоя с помощью полимерного покрытия или нового маслосъемного покрытия типа "Композит" (на основе монофосфатов и оксидов цинка, меди и молибдена). Для неразборных подшипников качения применяют химический метод нанесения на все поверхности трения коррозионно-стойкого антифрикционного покрытия "Химкомпозит" толщиной до 3 мкм с последующей гидрофобизацией всех поверхностей кремнийорганическим полимером.

Для разборных подшипников применяют метод электрохимического нанесения полимерного покрытия (фторопласта) толщиной 1 – 3 мкм на дорожки качения и 20 – 30 мкм – на сепараторы. Процесс нанесения покрытий идет по механизму химического взаимодействия металла с химическими реагентами растворов, и поэтому

толщина покрытия не изменяет геометрические размеры деталей подшипников.

Проведенные лабораторные и стендовые испытания, а также испытания в условиях эксплуатации на ТЭС показали, что применение поверхностных олеофильных полимерных пленок и покрытий на деталях подшипников качения повышает смазочные свойства и несущую способность серийных смазок (Литол-24), тем самым обеспечивая надежность и повышение работоспособности подшипникового узла.

Проведенные в условиях ТЭС ресурсные испытания подшипников типа 3530, 46416, 3518, дорожки качения которых покрыты полимером, показали увеличение ресурса подшипников не менее чем в 2 раза.

### **6.3. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОПЛАСТМАССОВЫХ СЕГМЕНТОВ ДЛЯ ПОДПЯТНИКОВ МОЩНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

Одним из наиболее ответственных узлов мощных вертикальных электродвигателей циркуляционных насосов является подпятник. Несмотря на то что электромашиностроительные заводы создали подпятники различных конструкций для всего разработанного ими парка мощных вертикальных электродвигателей, задача обеспечения надежной работы подпятников остается актуальной. Одним из путей ее решения может быть замена сегментов подпятников с баббитовым покрытием сегментами эластичными металлопластиковыми (СЭМП). Эти сегменты имеют положительный опыт применения в подпятниках гидрогенераторов на ряде гидроэлектростанций [7, 8]. На основе этих положительных результатов СЭМП применены в синхронном электродвигателе типа ВДС-325/44-18 (5000 кВт, 6 кВ, 333 мин<sup>-1</sup>). Конструкция электродвигателя, подпятника и подшипников аналогична описанной в гл. 1.

Самоустанавливающиеся сегменты подпятника и направляющих подшипников регулируются. Каждый сегмент устанавливается на своей регулируемой опоре. Вращающийся диск подпятника — стальной со шлифованной поверхностью. Система смазки подпятника и подшипников — замкнутая внутри масляных ванн верхней и нижней крестовин, без внешней циркуляции. Сегменты подпятника погружены в масло полностью, а направляющих подшипников — частично. Масло в ванне циркулирует за счет насосного действия вращающегося диска и этим обеспечивает смазку поверхностей трения и охлаждения сегментов. Масло в масляной ванне охлаждается с по-

мощью маслоохладителей. К числу недостатков подпятников с баббитовым покрытием можно отнести следующие:

- перед пуском электродвигателя необходимо осуществить подъем ротора для подачи масла между поверхностями трения подпятника;
- значительный коэффициент трения при трогании;
- при сборке электродвигателя выполняется шабровка рабочей баббитовой поверхности сегментов подпятника по рабочей поверхности опорного диска.

Для обеспечения подъема ротора перед пуском необходима установка дополнительного оборудования (домкратов, насосов высокого давления, соединительных трубопроводов, вентилей и т.п.), которое ухудшает маневренность агрегата.

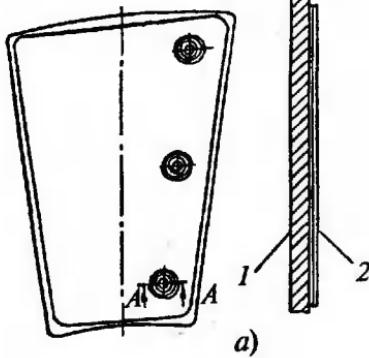
Применение СЭМП дает возможность снизить местные контактные напряжения на поверхности трения и осуществить более равномерную нагрузку по всей площади сегмента. Использование фторопласта обеспечивает низкий коэффициент трения при трогании и высокие противозадирные свойства. Эти технические характеристики СЭМП обеспечивают надежность работы подпятника в наиболее неблагоприятных условиях (например, при высокой волнистости зеркальной поверхности диска и большой удельной нагрузке).

При применении фторопластового покрытия сегментов подпятника пуск насосного агрегата можно выполнять без предварительного подъема ротора. Фторопластовое покрытие обеспечивает электрическую изоляцию опорного диска ротора от сегментов подпятника (исключает возможность возникновения подшипниковых токов). Основные технические данные СЭМП следующие:

Наибольшая удельная нагрузка, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) . . . . .	6,5 (65)
Наибольшая температура масла в ванне, °С . . . . .	60
Наибольшая окружная скорость, м/с . . . . .	40
Количество пусков в год . . . . .	1200

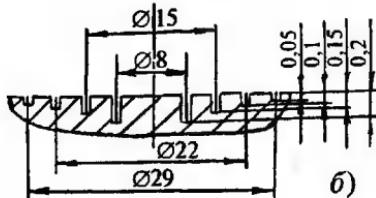
Время выстоя агрегата, после которого возможен пуск без подъема ротора, не ограничивается.

Эластичный металло пластиковый сегмент состоит из металлического корпуса и композитного антифрикционного элемента. Антифрикционный элемент включает в себя подушку (основу) из медных (бронзовых) спиралей и напрессованный слой из листового фторопласта (рис. 6.5). Толщина антифрикционного элемента равна 8 – 10 мм. Поверхность трения сегментов имеет специальную форму, обеспечивающую условия для возникновения режима гидродинамического трения в период пусков, оптимальный профиль



*a)*

*A - A*  
увеличенено



*б)*

*Рис. 6.5. Основные элементы конструкции СЭМП:*

*а* — вид сверху на фторопластовый слой и осевое сечение сегмента; *1* — стальной корпус; *2* — композитный антифрикционный (металлопластмассовый) элемент; *б* — геометрические размеры рисок, мм, на поверхности фторопластового слоя

смазочного слоя при номинальной частоте вращения и сохранение его в процессе останова агрегата.

Для контроля износа на поверхности фторопластового слоя четырех из восьми сегментов со стороны сбегающей кромки наносят специальные риски различной глубины.

Установку СЭМП в под пятник выполняют способом, принятым для сегментов с баббитовым покрытием. В процессе сборки под пятника обращают особое внимание на сохранность поверхности трения. Недопустимы механические деформации и изменения геометрии поверхности трения, нарушающие гидродинамику трения под пятника. Изготовленные сегменты не требуют проведения дополнительных операций по обработке на месте установки (исключается шабровка).

Опыт применения СЭМП в электродвигателях ВДС-325/44-18 показал, что в процессе сборки необходимо:

- перед монтажом сегментов выполнить осмотр масляной ванны, ее очистку и анализ химического состава масла;
- при монтаже сегментов проверить наличие зазоров между их защелочками и Т-образными головками ограничительных винтов;
- после монтажа сегментов выполнить регулировку равномерности нагрузки на сегменты подшипника.

Некачественное выполнение сборки может привести к неравномерному повышенному износу и повреждениям поверхностного фторопластового слоя. Существующий штатный термоконтроль электродвигателей с расположением датчиков в 20 – 30 мм от рабочей поверхности подшипника является достаточным для своевременного определения необходимости ревизии поверхности сегментов.

Применение СЭМП в подшипниках имеет ряд преимуществ, отличающих их от сегментов с баббитовым покрытием, и может улучшить их эксплуатационные характеристики.

## 6.4. ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО АНТИФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

В ОАО “ВТИ” совместно с ЛМЗ и другими организациями разработан модифицированный баббит (антифрикционный материал на основе баббита марки Б-83), который прошел лабораторные и стендовые испытания, а также успешно эксплуатируется в течение ряда лет на вспомогательном и основном оборудовании ТЭС [5, 9 – 11]. Технология газотермического напыления подшипников скольжения с применением модифицированного баббита в процессе ремонта утверждена ЛМЗ, ХТГЗ, ОАО “ВТИ” и НПО “ЦКТИ”. Опыт ремонта и эксплуатации восстановленного оборудования методами газопламенного напыления свидетельствует о перспективах его при ремонте деталей и узлов основного и вспомогательного оборудования электростанции.

При первичном внедрении были использованы штатные подшипники скольжения с кольцевой смазкой дутьевых вентиляторов блоков 300 МВт ТЭС, имеющие диаметр шейки вала 220 мм. На подготовленную поверхность имеющейся баббитовой заливки верхней и нижней половин вкладышей плазменным напылением был нанесен слой модифицированного баббита, после этого детали расточили до размера, соответствующего чертежу завода-изготовителя. Масло подавалось к поверхности трения опоры двумя смазочными

кольцами, расположенными на валу и погруженными в картер, заполненный маслом.

После эксплуатации подшипниковых узлов в течение 10 000 ч при 15 пусках и остановах оборудования износ модифицированного баббита составил 60 мкм, что в 1,4 раза меньше износа баббита Б-83 (85 мкм) штатных подшипников, работающих в аналогичных условиях. Эти данные свидетельствуют о стабильном состоянии опытных подшипников в нормальных условиях эксплуатации.

Далее были проведены испытания подшипника со слоем модифицированного баббита при ограниченной смазке, которая была достигнута поочередным торможением одного из двух смазочных колец, а также ступенчатым снижением уровня масла.

В процессе осмотра подшипника после испытаний не обнаружено ни натяга, ни подглаживания, ни выкрашивания антифрикционного материала, рабочая поверхность нижней половины вкладыша имела полированный вид с износом напыленного слоя не более 0,04 мм.

Технология газотермического напыления подшипников скольжения порошками баббита состоит из следующих операций. На токарном станке внутреннюю поверхность подшипника растачивают на глубину 0,3 – 6 мм на сторону относительно номинального размера. После обезжиривания рабочей поверхности ацетоном вкладыши нагревают до температуры 85 °С горелкой или в печи. Прогрев и обезжиривание выполняют до полного отсутствия на поверхности масляных пятен с соблюдением такого же температурного режима.

На нагретую до 70 – 85 °С рабочую поверхность вкладыша с применением специальной горелки наносят порошок баббита толщиной 0,5 – 6 мм на сторону. Наличие в порошке баббита дисульфида молибдена дает возможность уменьшить трение и износ в подшипниках. Газотермическое напыление может быть выполнено при вращении вкладыша, установленного в расточном станке, или вручную. При небольших размерах вкладыша и незначительных дефектах эту операцию можно выполнять на неподвижной половине вкладыша. Затем выполняют чистовую механическую обработку напыленной баббитовой поверхности подшипника.

По результатам опытно-промышленной эксплуатации подшипников со слоем модифицированного баббита на основном и вспомогательном энергетическом оборудовании Департаментом стратегии развития и научно-технической политики РАО "ЕЭС России" выпущено информационное сообщение о возможности использования опыта ОАО "ВТИ" в области применения современных технологий восстановления и модернизации подшипников скольжения.

## ГЛАВА СЕДЬМАЯ

# Жидкие масла и консистентные смазки

### 7.1. ЖИДКИЕ МАСЛА

Для смазки подшипников скольжения обычно применяется масло, рекомендованное заводом — изготовителем электродвигателя. Основное назначение масла — уменьшение степени износа и снижение потерь на трение скольжения. Подбор масла влияет на износ, надежность и долговечность подшипниковых узлов. Масло охлаждает тела качения, снижает шум, защищает от коррозии. Жидкие масла малой вязкости более стабильны при эксплуатации и могут быть полностью заменены без разборки подшипникового узла, однако их применение требует более сложных уплотняющих устройств.

Минеральные масла изготавливают из нефтяного сырья. Минеральные масла классифицируются по области применения: турбинные, моторные, индустриальные и др. В электродвигателях собственных нужд электростанций используются минеральные турбинные масла Т-22, Т<sub>п</sub>-22, Т<sub>п</sub>-22С, Т-30, Т<sub>п</sub>-30, Т<sub>п</sub>-22Б. Цифры 22 и 30 обозначают кинематическую вязкость,  $\text{мм}^2/\text{с}$ , при температуре 50 °С. Для смазки подшипников могут быть использованы огнестойкие синтетические масла типа ОМТИ. Масла ОМТИ имеют такие же токсикологические характеристики, как и минеральные турбинные масла, однако обеспечивают пожарную безопасность.

Турбинные масла по физико-химическим и эксплуатационным характеристикам должны отвечать требованиям, обеспечивающим надежную эксплуатацию систем маслоснабжения и длительный срок их службы. Физико-химические свойства масел определяются вязкостью, температурой вспышки, отсутствием механических примесей, воды и др. Вязкость масла определяет его текучесть. Чем больше вязкость масла, тем меньше его текучесть. Недостаточная вязкость масла приводит к повышенному трению, нагреву и ускорен-

ному износу баббита. Большая вязкость приводит к увеличению потерь мощности на трение и соответственно к снижению КПД электродвигателя. Поэтому одним из важнейших свойств турбинных масел является вязкость — объемное свойство жидкости оказывать сопротивление относительному перемещению ее слоев. Вязкость масла влияет на несущую способность масляного слоя в подшипниках; она определяет потери мощности на трение в подшипниках скольжения, утечку масла через уплотнения, пропускную способность

Таблица 7.1. Физико-химические характеристики масел Тп-22С и Тп-22Б

Показатель	Тп-22С		Тп-22Б
	Марка 1	Марка 2	
Вязкость кинематическая, $\text{мм}^2/\text{с}$ , при температуре:			
40 °С		28,8 – 35,2	
50 °С		20,0 – 23,0	
Индекс вязкости, не менее	95	90	95*
Кислотное число, мг КОН/г	0,04 – 0,07		Не более 0,07
Стабильность против окисления, не более:			
кислотное число, мг КОН/г	–/0,15	0,10/–	0,08/0,15
массовая доля осадка, %	–/0,01	0,005/–	0,005/0,01
содержание летучих низкомолекулярных кислот, мг КОН/г	–/0,15	0,02/–	0,005/0,15
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже		186	185
Температура застывания, °С, не выше			– 15
Коррозия на стальных стержнях			Отсутствует
Время деэмульсации, с, не более			180
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	pH = = 6,0 ± 8,5		Отсутствует
Массовая доля механических примесей, %, не более			0,005
Содержание воды, %, не более			Отсутствует
Массовая доля серы, %, не более		0,5	0,4*
Плотность при 15 °С, $\text{кг}/\text{м}^3$ , не более		903	–
Цвет на колориметре ЦНТ, ед. ЦНТ, не более	1,5	2,5	2,0

\* Приведенные нормы не являются браковочными.

Примечание. Числитель — стабильность против окисления при 130 °С, 24 ч и расходе кислорода 5  $\text{дм}^3/\text{ч}$ , знаменатель — при 150 °С, 16 ч и расходе кислорода 3  $\text{дм}^3/\text{ч}$ .

собность маслопроводов. Вязкость турбинного масла растет с понижением температуры и уменьшается с повышением температуры. Безразмерная величина, характеризующая по стандартной шкале повышение вязкости с понижением температуры, называется индексом вязкости. Значения индекса вязкости, равные 80 – 100 и более, характеризуют хорошие вязкостно-температурные свойства масла.

В процессе эксплуатации залитое в маслосистему или в картер подшипника турбинное масло со временем претерпевает значительные изменения, которые вызывают старение масла. Старение турбинного масла – это изменение его химических и физических свойств, которое происходит в результате контакта углеводородов с кислородом воздуха, стимулируется каталитическим действием воды, металлов и быстро прогрессирует с ростом температуры. Вследствие окисления турбинного масла повышаются его плотность и вязкость, ухудшается деэмульгирующая способность, образуются растворимые в масле и летучих кислые продукты, определяющие коррозионную агрессивность масла. Плотные продукты окисления выпадают в осадок. Образование смол приводит к помутнению масла.

Способность масла противостоять окислительному воздействию кислорода воздуха при повышенной температуре называется термоокислительной стабильностью или стабильностью. Особым загрязнителем масла является сера. Сера вызывает коррозию деталей подшипников и системы маслоснабжения. Поэтому для улучшения эксплуатационных характеристик базовых масел вводят композицию присадок.

Департамент научно-технической политики и развития РАО “ЕЭС России” разрешил к применению на ТЭС России турбинные масла следующих марок: Т<sub>п</sub>-22С (ТУ 38.101821-2001) и Т<sub>п</sub>-22Б (ТУ 38.401-58-48-92) [12]. Гарантийный срок хранения турбинных масел 5 лет с дnia изготовления. Физико-химические характеристики турбинных масел Т<sub>п</sub>-22С и Т<sub>п</sub>-22Б представлены в табл. 7.1.

## 7.2. КОНСИСТЕНТНЫЕ СМАЗКИ

Консистентные смазки обладают большей вязкостью, что позволяет применять простые уплотнения. Недостатками консистентных смазок являются зависимость их вязкости от температуры и способность густеть в процессе эксплуатации, что приводит к ухудшению их смазывающих характеристик.

Смазка состоит из жидкого масла, загустителя и присадок, улучшающих их стабильность, водостойкость и другие характеристики.

Таблица 7.2. Основные характеристики консистентных смазок

Тип смазки	Температура каплепадения, °С	Предел прочности, Па, при 80 °С	Вязкость, Па · с, при 80 °С	Пенетрация при 25 °С	Температурный интервал применения, °С	Гарантийный срок, лет
Консталин УТ-1	≥ 130	150 – 300	15 – 30	225 – 275	–20 до +120	5
Консталин УТ-2	≥ 150	820	15 – 60	175 – 225	–20 до +120	5
ВНИИ НП-242	170 – 205	≥ 100	140 – 240 при 20 °С	225	–30 до +110	5
ЦИАТИМ-201	≥ 175	130 – 250	45 – 120 при 20 °С	265 – 310	–60 до +90	4
ЦИАТИМ-202	≥ 170	100 – 150	50 – 100 при 20 °С	265 – 325	–40 до +120	5
ЦИАТИМ-221	≥ 200	60 – 150	10 – 30	280 – 320	–60 до +150	5
ЛЗ-31	≥ 188	250 – 400	75	220 – 250	–40 до +130	5
Литол-24	≥ 185	≥ 200	80 – 100 при 20 °С	220 – 250	–40 до +120	5

В зависимости от применяемого загустителя пластичные смазки делятся на кальциевые, натриевые, натриево-кальциевые и литиевые.

Для смазки подшипников качения обычно применяют смазку, рекомендованную заводом — изготовителем электродвигателя. В табл. 7.2 приведены основные характеристики консистентных смазок, используемых в подшипниковых узлах электродвигателей.

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

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

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

В последние годы среди смазочных материалов получили распространение смазки с добавками, состоящими из порошка ультрадисперсного алмазографита (УДПАГ) [13, 14]. В процессе комплексных экспериментов определена оптимальная доля добавки из порошка ультрадисперсного алмазографита, которая находится в пределах 0,25 – 2,0 % массы стандартной смазки Литол-24.

Испытания подшипников качения, смазываемых смазкой Литол-24, наполненной порошком ультрадисперсного алмазографита, показали уменьшение момента трения на 10 – 30 % по сравнению с подшипником, смазывающимся базовой смазкой Литол-24, рабочая температура подшипника снижается на 12 – 18 %, износ уменьшается в 1,5 – 2,0 раза.

Применение алмазографитовых ультрадисперсных материалов увеличивает твердость стальных поверхностей в результате диффузии атомарного углерода. В процессе износа поверхностей трения происходит постоянная подпитка в зоне трения ультрадисперсных частиц из объема смазочной композиции и впадин между поверхностями.

Комплекс экспериментальных исследований триботехнических характеристик подтвердил положительные свойства смазки Литол-24 с добавками из порошка ультрадисперсного алмазографита.

Шведская фирма СКФ в сотрудничестве с европейскими производителями смазочных материалов разработала пластичные смазки широкого ассортимента для подшипников качения [15]. Иностранными фирмами разработаны новые смазки для подшипников качения с повышенной несущей способностью, например типа "Arcanol", которую успешно применяют фирмы FAG, GMN, TIMKEN и др. Фирма KLUBER LUBRICATION создала новые смазки с высокими смазочными свойствами за счет введения в них дополнительных полимерных антифрикционных присадок. Эти смазки обладают улучшенными противоизносовыми и демпфирующими свойствами [6].

## Список литературы

1. Новожилов Ю. Н. Устройство для контроля температуры подшипников // Промышленная энергетика. 2002. № 10. С. 28 – 29.
2. Новожилов Ю. Н. Сигнализатор отклонения температуры // Промышленная энергетика. 2004. № 11. С. 36 – 37.
3. Гольдин А. С. Вибрация роторных машин. М.: Машиностроение, 2000.
4. Гусаров А. А. Балансировка роторных машин. М.: Наука, 2004.
5. Опыт работ по повышению надежности подшипников мощных паровых турбин / А. С. Лисянский, Н. П. Егоров, М. И. Шкляров и др. // Электрические станции. 2005. № 10. С. 41 – 45.
6. Михайлова А. Н., Атрас Н. В., Белов В. А. Создание гарантированного смазочного слоя, обеспечивающего повышение срока службы рабочей смазки в подшипниках качения // Энергетик. 2000. № 10. С. 21 – 23.
7. Григорьев Ю. Д., Марков В. Е. О применении металлокластмассовых сегментов для упорных подшипниковых узлов крупных вертикальных электродвигателей // Электротехника. 1997. № 6. С. 29 – 31.
8. Папер А. С., Пестряков Г. А. Сегменты с ЭМП-покрытием для подпятников и подшипников гидрогенераторов // Электросила. 2000. № 39. С. 68 – 71. [Сб. статей; СПб.].
9. Опыт эксплуатации подшипников со слоем нового антифрикционного материала / Н. М. Первушина, А. Е. Языков, Т. Н. Куликовская и др. // Энергетик. 1999. № 3. С. 23 – 24.
10. Ремонт подшипников скольжения и элементов роторов турбомашин методами газопламенного напыления / Н. П. Егоров, В. Н. Егоров, И. А. Ковалев и др. // Энергетик. 2000. № 2. С. 28 – 29.
11. Егоров Н. П., Егоров В. Н., Прудников С. В. Опыт восстановления деталей энергооборудования газотермическим напылением // Энергетик. 2001. № 12. С. 29 – 30.
12. Вайнштейн А. Г., Первушина Н. М. Эксплуатация минеральных турбинных масел // Электрические станции. 2004. № 11. С. 35 – 41.
13. Терентьев В. Ф. Применение смазочных композиций в подшипниках качения // Машиностроитель. 2003. № 12. С. 32 – 34.
14. Терентьев В. Ф. Трибонадежность подшипниковых узлов в присутствии модифицированных композиций. Новосибирск: Наука, 2003.
15. Никитин А. В. Смазка — это важно // Машиностроитель. 1995. № 12. С. 19 – 22.

# Содержание

## Часть 1

Предисловие . . . . .	3
<b>ГЛАВА ПЕРВАЯ. Конструкция подшипниковых узлов электродвигателей . . . . .</b>	4
1.1. Общие сведения о подшипниковых узлах . . . . .	4
1.2. Подшипниковые узлы электродвигателей с горизонтальным валом . . . . .	6
1.3. Подшипниковые узлы электродвигателей с вертикальным валом . . . . .	26
1.4. Подшипниковые узлы электродвигателей взрывозащищенного исполнения . . . . .	30
1.5. Конструкция уплотняющих устройств подшипниковых узлов . . . . .	36
1.6. Контроль температуры подшипниковых узлов . . . . .	37
<b>ГЛАВА ВТОРАЯ. Подшипники качения, применяемые в электродвигателях . . . . .</b>	40
2.1. Классификация и условные обозначения подшипников качения . . . . .	40
2.2. Подшипники качения, применяемые в электродвигателях . . . . .	48
2.3. Входной контроль, хранение и переконсервация подшипников качения . . . . .	70
<b>ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Неисправности подшипников качения и скольжения . . . . .</b>	76
3.1. Неисправности подшипников качения . . . . .	76
3.2. Неисправности подшипников скольжения . . . . .	80
3.3. Диагностика технического состояния подшипниковых узлов и критерии необходимости их ремонта . . . . .	82
<b>Приложение. Аппаратура, используемая при вибрационном и акустическом контроле технического состояния ротора, включая подшипники, как единой системы с валопроводом . . . . .</b>	86
<b>Список литературы . . . . .</b>	94
<b>Часть 2</b>	
Предисловие . . . . .	99
<b>ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ. Ремонт подшипниковых узлов с подшипниками качения . . . . .</b>	100

4.1. Разборка и дефектация подшипниковых узлов . . . . .	100
4.2. Демонтаж подшипников и контроль посадочных мест . . . . .	102
4.3. Ремонт деталей подшипникового узла и восстановление посадочных мест . . . . .	113
4.4. Сборка подшипниковых узлов . . . . .	140
4.5. Проверка, испытания и приемка подшипниковых узлов с подшипниками качения . . . . .	158
<b>ГЛАВА ПЯТАЯ. Ремонт подшипниковых узлов</b>	
с подшипниками скольжения . . . . .	162
5.1. Разборка и дефектация подшипниковых узлов . . . . .	162
5.2. Ремонт подшипниковых узлов . . . . .	165
5.3. Сборка подшипниковых узлов . . . . .	178
5.4. Особенности ремонта подпятников и подшипниковых узлов электродвигателей вертикального исполнения . . . . .	182
5.5. Проверка, испытания и приемка подшипниковых узлов после ремонта . . . . .	184
<b>ГЛАВА ШЕСТАЯ. Повышение надежности</b>	
подшипниковых узлов электродвигателей . . . . .	187
6.1. Надежность подшипниковых узлов электродвигателей . . . . .	187
6.2. Повышение надежности подшипниковых узлов . . . . .	196
6.3. Применение металлокластмассовых сегментов для подпятников мощных вертикальных электродвигателей . . . . .	199
6.4. Применение нового антифрикционного материала для подшипников скольжения . . . . .	202
<b>ГЛАВА СЕДЬМАЯ. Жидкие масла и консистентные смазки . . . . .</b>	
7.1. Жидкие масла . . . . .	204
7.2. Консистентные смазки . . . . .	206
Список литературы . . . . .	209

## **Библиотечка электротехника**

*Приложение к производственно-массовому журналу "Энергетик"*

## **ИНОЗЕМЦЕВ ЕВГЕНИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ**

**Подшипниковые узлы электродвигателей, эксплуатирующихся на  
электростанциях (Часть 2. Ремонт и модернизация)**

---

### **АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23

Телефоны: (495) 675-19-06, тел. 675-00-23 доб. 22-47; факс: 234-74-21

---

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

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

**Корректор Е. П. Севостьянова**

---

Сдано в набор 10.01.07. Подписано в печать 21.02.07.

Формат 60×84 $\frac{1}{16}$ . Печать офсетная.

Печ. л. 7,25. Заказ БЭТ/02(98)-2007

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

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

# Журнал “Энергетика за рубежом”

— приложение к журналу “Энергетик”

Подписывайтесь на специальное приложение к журналу “Энергетик” — “Энергетика за рубежом”. Это приложение **выходит один раз в два месяца**.

Журнал “Энергетика за рубежом” знакомит читателей с важнейшими проблемами современной зарубежной электроэнергетики, такими, как:

- развитие и надежность энергосистем и энергообъединений;
- особенности и новшества экономических и рыночных отношений в электроэнергетике;
- опыт внедрения прогрессивных технологий в энергетическое производство;
- модернизация и реконструкция (перемаркировка) оборудования электростанций, электрических и тепловых сетей;
- распространение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;
- энергосбережение, рациональное расходование топлива и экологические аспекты энергетики.

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

## Индексы журнала “Энергетика за рубежом”

— приложения к журналу “Энергетик”

**87261** — для предприятий и организаций;

**87260** — для индивидуальных подписчиков.

## Об авторе



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

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

Повышение надежности турбогенераторов —  
одна из важнейших задач,  
стоящих перед энергетиками.