

029.423.1  
Г22

НАЧАЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

А. В. ГРИЩЕНКО, В. В. СТРЕКОПЫТОВ, И. А. РОЛЛЕ

# УСТРОЙСТВО И РЕМОНТ ЭЛЕКТРОВЗОВ И ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

УЧЕБНИК

Под редакцией д-ра техн. наук,  
проф. А. В. ГРИЩЕНКО

57099

*Допущено  
Экспертным советом по профессиональному образованию  
в качестве учебника для использования в учебном процессе  
образовательных учреждений, реализующих программы  
начального профессионального образования*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2008



УДК (629.423.1)(075.32)  
ББК 39.232я722  
Г82

**Рецензенты:**

преподаватель высшей категории железнодорожного колледжа № 52 г. Москвы  
*В. П. Толканов;*  
главный инженер локомотивного депо им. Ильича Московско-Смоленского  
отделения Московской железной дороги — филиала ОАО «РЖД» *В. Ю. Бушкин;*  
преподаватель Московского колледжа железнодорожного транспорта  
*Н. Н. Торукало*

**Грищенко А. В.**  
Г82 Устройство и ремонт электровозов и электропоездов :  
учебник для нач. проф. образования / А. В. Грищенко,  
В. В. Стрекопытов, И. А. Ролле ; под ред. А. В. Грищенко. —  
М. : Издательский центр «Академия», 2008. — 320 с.  
ISBN 978-5-7695-4249-7

Рассмотрено устройство современных и перспективных моделей электровозов и электропоездов переменного и постоянного тока. Описаны конструкции и принцип действия основных элементов механического и электрического оборудования. Приведены сведения о техническом обслуживании и ремонте электровозов и электропоездов.

Для учащихся учреждений начального профессионального образования, приобретающих профессии «Помощник машиниста электровоза», «Помощник машиниста электропоезда», «Слесарь по ремонту электроподвижного состава».

УДК 629.423.1(075.32)  
ББК 39.232я722

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Грищенко А. В., Стрекопытов В. В., Ролле И. А., 2008  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2008  
ISBN 978-5-7695-4249-7 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2008

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Членам локомотивной бригады по характеру работы часто приходится незамедлительно принимать конкретное решение, связанное с устранением возникшей неисправности локомотива. Для этого необходимо знание конструкции подвижного состава, особенно тех узлов, устранение неисправности которых под силу локомотивной бригаде, а также узлов, агрегатов, электрических устройств и аппаратов, которые требуют систематического наблюдения и поддержания в работоспособном состоянии.

В связи с разнообразием конструкций ходовой части электроподвижного состава (ЭПС), кузовов, автосцепных устройств, систем вентиляции, электрических тяговых и вспомогательных машин, трансформаторов, электрических аппаратов, выпрямительных установок, а также силовых электрических схем и схем управления авторами выбраны для изучения наиболее характерные из них.

Значительное внимание авторы уделяют осмотру элементов и агрегатов ЭПС, который должны выполнять члены локомотивных бригад, и анализируют случаи выхода из строя локомотивного оборудования.

Рассмотрены вопросы безопасности труда при эксплуатации ЭПС и обеспечения безопасности движения. Приведены общие сведения о разных видах технического обслуживания и ремонта ЭПС.

К сожалению, в настоящее время нет ясности в вопросе о серийном выпуске нового подвижного состава, не установлены принципы его конструирования и унификации, поэтому приведенный учебный материал касается в основном тех серий ЭПС, которые находятся в эксплуатации.

Учитывая, что в ближайшее время на ЭПС появятся тяговые электрические машины переменного тока и мощные статические преобразователи электрической энергии, авторы сочли необходимым в гл. 12 «Выпрямительные установки» затронуть основы теории полупроводниковых приборов.

Члены локомотивных бригад должны:

- постоянно пополнять технические знания и повышать профессиональное мастерство по рациональному вождению поездов, выполнению маневровой работы и техническому обслуживанию ЭПС;

- контролировать в установленном порядке работу устройств безопасности и радиосвязи, узлов и агрегатов ЭПС, проверять их состояние, в том числе противопожарное;

- особое внимание уделять проверке состояния деталей экипажной части и буксового узла колесных пар при стоянках на промежуточных станциях;

- при выявлении неисправности ЭПС принимать все необходимые меры к быстрейшему ее устранению.

Помощник машиниста обязан своевременно и точно выполнять поручения машиниста по техническому обслуживанию и контролю за состоянием узлов и агрегатов ЭПС.

## РАЗДЕЛ I

### МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

#### Глава 1

#### ТЕЛЕЖКИ

##### 1.1. Рама тележки

Механическое оборудование предназначено для реализации тяговых и тормозных усилий, развиваемых электровозом или электропоездом, и размещения устройств различного назначения. К этому оборудованию относят главную раму, кузов, ударно-цепные устройства, тележки, тяговый привод и рессорное подвешивание.

Электровозы, как и другие локомотивы, классифицируют по осевым характеристикам — числу и расположению колесных пар и типу привода. Если колесные пары сгруппированы по тележкам, то электровоз называется *тележечным*. Такие электровозы имеют общий кузов либо состоят из двух или трех частей (секций).

Тележки могут быть сочлененными и несочлененными. При сочленении тележек (электровозы ВЛ8, ВЛ23 и др.) тяговые и тормозные усилия передаются только через рамы тележек и узлы их сочленения. Рама кузова в этом случае служит в основном для восприятия нагрузки от внутрикузовного оборудования. На современных электровозах сочленение тележек не применяется, а тяговые и тормозные усилия передаются через раму кузова.

Привод колесных пар называется *индивидуальным*, если каждая из них приводится во вращение собственным тяговым двигателем, и *групповым*, если колесные пары, объединенные в тележке, приводятся во вращение одним тяговым двигателем. Колесные пары, не имеющие привода, называются *поддерживающими*.

Перечисленные особенности ЭПС отражает его осевая характеристика, в которой число колесных пар в тележке обозначается цифрами: 2 — у двухосной тележки и 3 — у трехосной. Далее ставится знак «+» или «-» в зависимости от того, сочленены тележки или нет. Например, электровоз ВЛ60 с двумя несочлененными тележками имеет осевую характеристику  $3_0 - 3_0$ , где 3 — число колесных пар в тележке, индекс 0 означает, что каждая колесная

пара приводится во вращение индивидуально от своего тягового двигателя, а знак «→» указывает на то, что тележки не сочленены. Электровозы ВЛ11 и ВЛ80<sup>с</sup>, у которых секции могут работать самостоятельно, имеют осевую характеристику  $2(2_0 - 2_0)$ , где цифра 2 перед скобкой означает число секций в составе локомотива. Осевая характеристика восьмиосных двухсекционных электровозов ВЛ10, ВЛ10<sup>с</sup>, ВЛ80<sup>р</sup> и ВЛ80<sup>р</sup>, у которых каждая секция самостоятельно работать не может, записывается в виде  $2_0 - 2_0 - 2_0 - 2_0$ . Электровоз ВЛ8 с сочлененными тележками имеет осевую характеристику  $2_0 + 2_0 + 2_0 + 2_0$ .

Тележки воспринимают тяговые и тормозные усилия, боковые, вертикальные и горизонтальные силы при прохождении неровностей пути и передают их через шкворневые устройства на раму кузова.

Основными узлами тележек являются рама, колесные пары, буксовые узлы, тяговые зубчатые передачи, рессорное подвешивание, подвески тяговых электродвигателей, элементы тормозной системы и элементы связи рамы с кузовом и буксами тележки.

Тележки подразделяются по конструктивному исполнению связи их рам с буксами на челюстные и бесчелюстные.

В *челюстных* тележках (электровозы ВЛ8 и ВЛ23, моторные вагоны электропоездов ЭР2) вертикальное перемещение букс при прохождении неровностей пути осуществляется в вертикальных направляющих рамы тележки — челюстях. Недостатком таких тележек является необходимость смазки челюстных направляющих для снижения их износа.

В *бесчелюстных* тележках (унифицированная тележка электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80) благодаря поводковой связи буксовых узлов и рамы тележки возможно как вертикальное перемещение букс, так и их поворот вокруг осей вращения колесных пар. Этим обеспечиваются более высокие сцепные характеристики локомотива.

Основными элементами бесчелюстной тележки (рис. 1.1) электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80 являются рама 1 сварной конструкции, колесные пары 7, комплект рессорного подвешивания 6, элементы тормозной системы (воздушные трубопроводы, тормозной цилиндр и рычажная передача), подвешивание 4 тягового электродвигателя, буксовые узлы 3, люлечное подвешивание 2 кузова, тяговый редуктор 8 и узел шаровой связи (шкворневое устройство) 9.

Будучи связующим элементом всех узлов тележки, ее рама суммирует тяговые усилия колесно-моторных блоков, передает их кузову, воспринимает вертикальные нагрузки от кузова и перераспределяет их между колесными парами.

Рама тележки (рис. 1.2) электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80 состоит из двух боковин 4, связанных друг с другом двумя концевы-

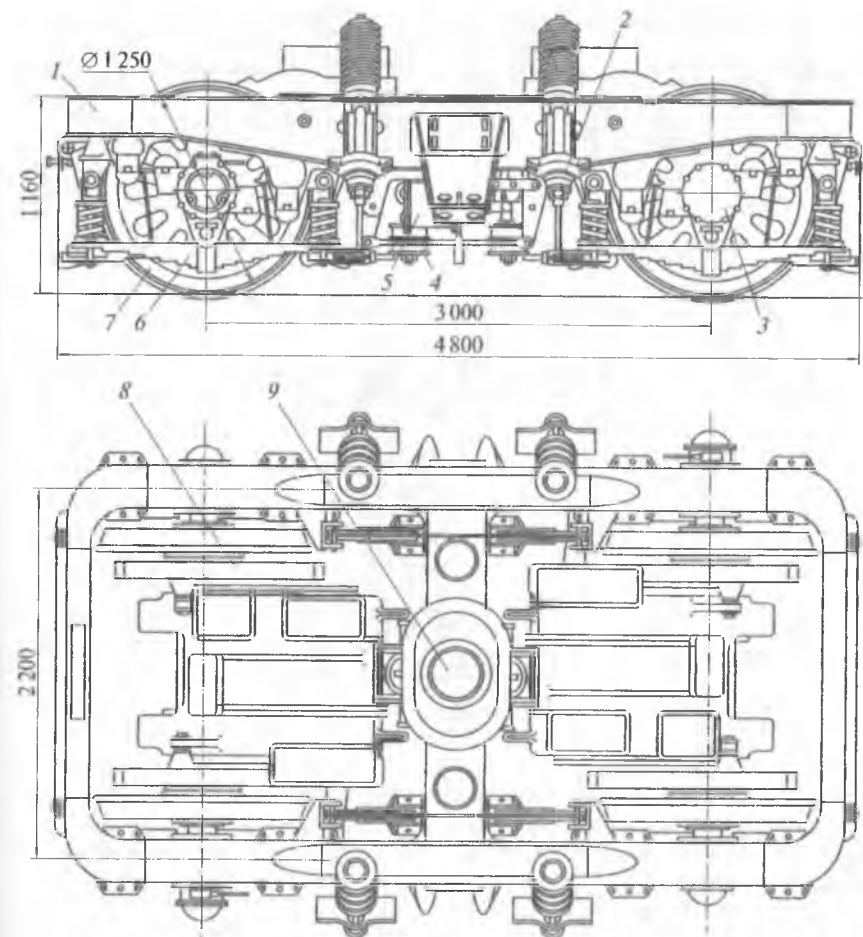


Рис. 1.1. Бесчелюстная тележка электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80:

1 — рама; 2 — люлечное подвешивание; 3 — буксовый узел; 4 — подвешивание тягового электродвигателя; 5 — тормозной цилиндр; 6 — рессорное подвешивание; 7 — колесная пара; 8 — тяговый редуктор; 9 — узел шаровой связи

ми брусками 3 и шкворневым брусом 10. Боковины и концевые бруска коробчатого сечения выполнены сваркой из листовой стали. К нижнему листу боковины приварены большие 13 и малые 14 буксовые кронштейны, к накладке 5 — кронштейны 6 люлечного подвешивания, к наружной стороне боковины — аналогичные кронштейны и кронштейны 9 для крепления гидравлических гасителей колебаний, а к внутренней — кронштейны 12 для подвески тормозной рычажной передачи. К концевому брусу 3 приварена накладка 2 под ролик противоразгрузочного устройства.

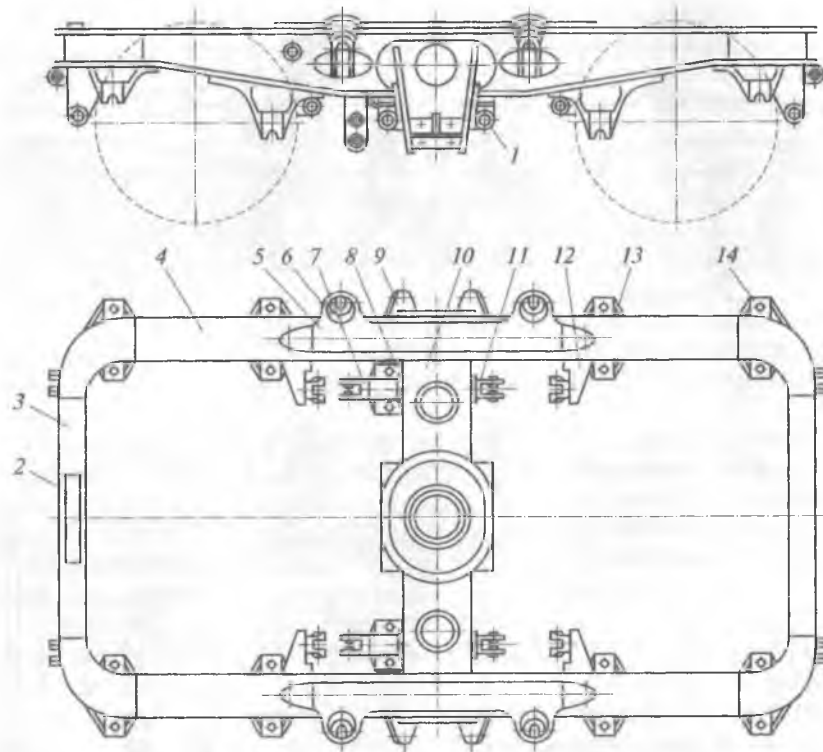


Рис. 1.2. Рама тележки электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80:

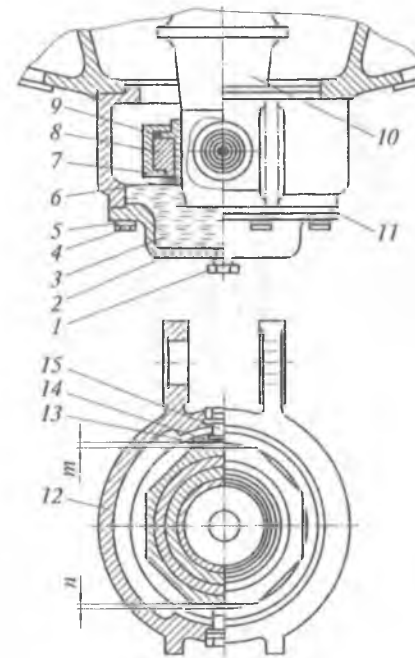
1 — брус шаровой связи; 2 — накладка под ролик противоразгрузочного устройства; 3 — концевой брус; 4 — боковина; 5 — накладка для крепления элементов люлочного подвешивания; 6 — кронштейн люлочного подвешивания; 7, 8, 11, 12 — кронштейны для подвески тормозной рычажной передачи; 9 — кронштейн для крепления гидравлического гасителя колебаний; 10 — шкворневой брус; 13, 14 — соответственно большой и малый буксовые кронштейны

Шкворневой брус коробчатого сечения включает в себя собственно шкворневой брус и приваренный к нему брус 1 шаровой связи. В средней части шкворневого бруса имеется овальное, с коническим переходом по высоте углубление, через которое проходит шкворень рамы кузова. С двух сторон к брусу приварены кронштейны 7, 8 и 11 для подвески тормозной рычажной передачи, а к площадкам на нижней стороне бруса — кронштейны для крепления тормозных цилиндров. Брус имеет проушины для подвески тяговых двигателей; кроме того, в нем размещены элементы шаровой связи.

Шаровая связь (рис. 1.3) служит для передачи продольных усилий от тележки на кузов при помощи шарового шарнира с впрес-

Рис. 1.3. Шаровая связь:

1 — пробка; 2 — крышка; 3 — масло; 4 — болт; 5 — пружинная шайба; 6 — латунная втулка; 7 — корпус; 8 — шар; 9 — стопорное кольцо; 10 — шкворень; 11 — уплотнительная прокладка; 12 — брус шаровой связи; 13 — регулировочная прокладка; 14 — упор; 15 — валик



сованной в него латунной втулкой 6, свободно установленной на хвостовике шкворня 10. Шарнир размещен в корпусе 7 и зафиксирован стопорным кольцом 9. В брусе 12 шаровой связи специальным валиком закреплен сегментообразный упор 14, который имеет паз, допускающий одновременное перемещение шкворня в поперечном направлении и поддержание корпуса на определенной высоте. К нижней части бруса прикреплена крышка 2 с помощью болтов 4 и пружинных шайб 5; соединение уплотнено прокладкой 11. В крышке имеется маслоспускное отверстие, закрываемое пробкой. Элементы шаровой связи смазываются маслом 3, находящимся во внутренней полости бруса шаровой связи, куда его заливают через Г-образную трубку с горловиной, выходящую из нижней части бруса. Уровень масла контролируют с помощью шупа, установленного на заглушке другой Г-образной трубки.

Продольные усилия передаются от тележки на кузов через упор 14, корпус 7, шар 8, втулку 6 и шкворень 10, жестко соединенный с рамой кузова. Шкворень благодаря проскальзыванию в гнезде шарового шарнира не воспринимает вертикальные нагрузки. Суммарный зазор шаровой связи  $m + n$  между корпусом и упорами, регулируемый с помощью прокладки 13, должен составлять 0,2...0,6 мм.

## 1.2. Колесные пары и буксовый узел

Колесные пары направляют подвижной состав по рельсовому пути, преобразуют крутящий момент, подведенный от тягового двигателя, в поступательное движение поезда, передают силу тяги

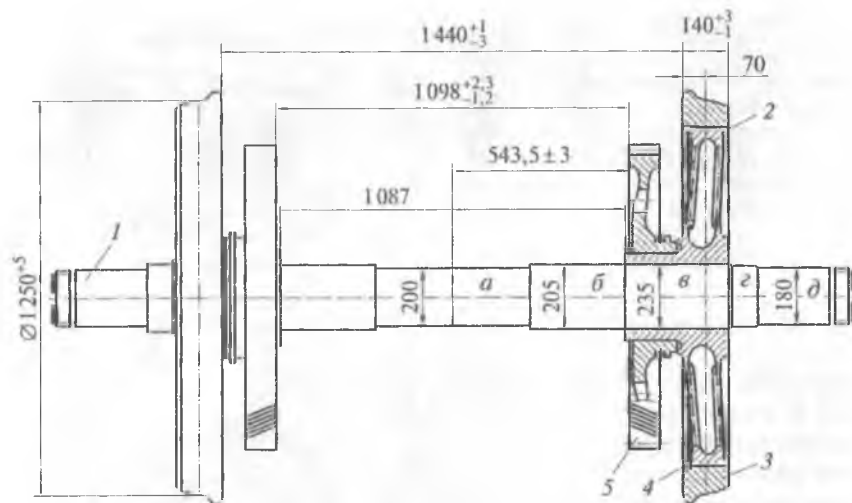


Рис. 1.4. Колесная пара грузового электровоза:

1 — ось; 2 — колесный центр; 3 — бандаж; 4 — бандажное кольцо; 5 — зубчатое колесо; *a* — средняя часть; *b* — шейка моторно-осевого подшипника; *в* — подступичная часть; *г* — предступичная часть; *д* — буксовая шейка

и тормозную силу, воспринимают статические и динамические нагрузки, возникающие между рельсом и колесом.

Колесная пара (рис. 1.4) грузовых электровозов унифицирована, состоит из оси 1, колесных центров 2 и бандажей 3. Ось колесной пары изготавливают посредствомковки из специальной осевой стали.

Для установки на оси колесной пары тягового двигателя, колес и букс служит ее средняя часть *a*, шейки *b* моторно-осевых подшипников, подступичные части *в*, предступичные части *г* и буксовые шейки *д*. Все поверхности оси, за исключением торцов, шлифованные.

Для увеличения усталостной прочности шейки моторно-осевых подшипников, подступичные части и буксовые шейки подвергнуты упрочняющей накатке роликом. На буксовых шейках имеется резьба М170×3 для гаек, закрепляющих приставные кольца роликовых подшипников. На торцах оси имеются два отверстия с резьбой М16 для крепления планок, предупреждающих отвинчивание гаек.

Колесный центр (рис. 1.5) коробчатого сечения подвергается статической балансировке путем приваривания накладок. На удлиненные ступицы колесных центров в горячем состоянии напрессовывают зубчатые колеса. В холодном состоянии достигается натяг 0,25...0,33 мм.

Бандаж насаживают на обод колесного центра при температуре 250...320 °С. Для предотвращения сползания с колесного центра бандаж застопорен кольцом 4 (см. рис. 1.4).

Колесные пары являются наиболее ответственными узлами с точки зрения безопасности движения. Поэтому при эксплуатации ЭПС их техническому состоянию уделяют особое внимание.

Основными видами неисправностей колесных пар в процессе эксплуатации являются:

- трещины в элементах колесной пары, при наличии которых ее эксплуатация запрещена;

- ослабление посадки бандажа на колесном центре (визуальным признаком возникновения этой неисправности может служить наличие ржавчины в месте сопряжения бандажа и колесного центра);

- проворот бандажа, определяемый по относительному смещению контрольных рисок, нанесенных на бандаж и колесный центр;
- износ бандажа (обода колеса для безбандажных колес).

Рассмотрим основные виды износа бандажа (рис. 1.6).

**Прокат** — круговой износ бандажа в плоскости круга катания. По поперечному профилю бандажа прокат может быть равномерный, ступенчатый и седлообразный. Основными причинами появления проката являются истирание металла бандажа при относительном проскальзывании колеса и рельса в процессе реализации режимов тяги и торможения, а также накапливающаяся пластическая деформация смятия под действием давления в зоне контакта колеса и рельса.

Схема *равномерного проката* приведена на рис. 1.6, *а*.

*Ступенчатый* и *седлообразный прокат* (рис. 1.6, *б, в*) возникает из-за несимметричной посадки колес на ось, большой разницы диаметров колес по кругу катания, неправильной установки колесной пары в тележке или перекоса рамы тележки.

*Вертикальный подрез гребня* (рис. 1.6, *г*) — неравномерный по поперечному профилю круговой износ бандажа, при наличии которого угол наклона профиля боковой поверхности гребня по отношению к горизонтали приближается к 90°.

Причины возникновения этого вида износа и ступенчатого проката одинаковы. На образование вертикального подреза греб-

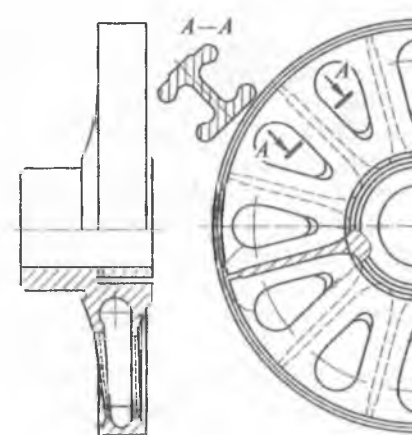


Рис. 1.5. Колесный центр

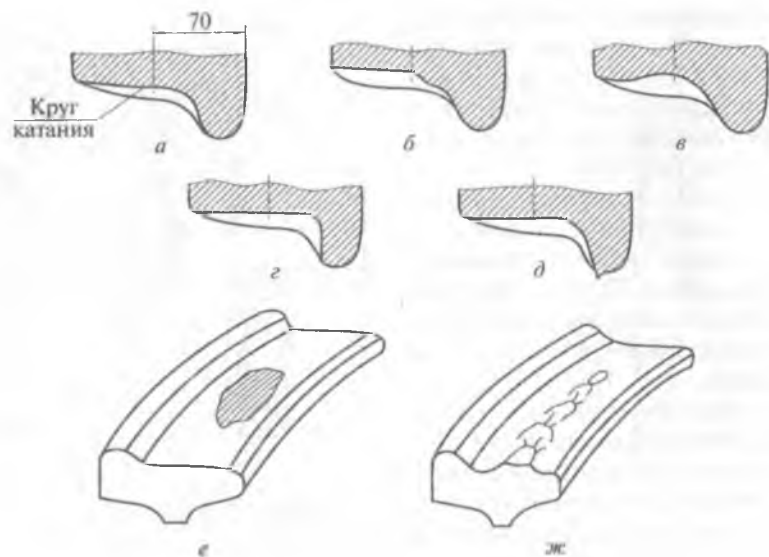


Рис. 1.6. Виды износа бандажа:

*а* — равномерный прокат; *б* — ступенчатый прокат; *в* — седлообразный прокат; *г* — вертикальный подрез гребня; *д* — остроконечный накат гребня; *е, ж* — соответственно ползун и навары на поверхности катания

ня оказывает влияние и такой эксплуатационный фактор, как большое число кривых участков пути малого радиуса. Наличие под подвижным составом колесных пар с вертикальным подрезом гребня может привести к его сходу с рельсов при противошерстном движении по стрелочным переводам.

**Остроконечный накат гребня** (рис. 1.6, *д*) — механическое повреждение, связанное с образованием выступа по круговому периметру гребня на участках перехода от его изношенной боковой поверхности к вершине. Остроконечный накат возникает в результате пластической деформации поверхностных слоев металла гребня в сторону его вершины из-за высокого контактного давления и интенсивного трения в месте взаимодействия колеса с головкой рельса.

Остроконечный накат гребня образуется по тем же причинам, что и вертикальный подрез. Эксплуатация колесных пар с остроконечным накатом запрещена, так как возможен сход подвижного состава с рельсов при противошерстном движении по стрелочным переводам.

**Ползун** (рис. 1.6, *е*) — локальный износ колеса, при котором образуется плоская площадка на поверхности катания. Ползун возникает при движении колеса по рельсу юзом в зоне их контакта. Величина ползуна оценивается его глубиной, которая определя-

ется как разность результатов измерений износа (с помощью шаблона) в двух местах — на ползуне и рядом с ним. При обнаружении такого повреждения в пути следования локомотивная бригада может определить глубину ползуна по его длине (табл. 1.1).

**Навар** (рис. 1.6, *ж*) — термомеханическое повреждение, характеризующееся образованием на поверхности катания следующих друг за другом зон сдвига металла U-образной формы. Основной причиной образования наvara является нарушение процесса торможения, при котором колесо проскальзывает по рельсу в течение очень коротких промежутков времени (при кратковременной потере и восстановлении сцепления) с перемещением на 20... 30 мм. Величина наvara оценивается его высотой.

Наличие ползунов и наваров приводит к повышенным ударным нагрузкам на подвижной состав и верхнее строение пути, вызывающим их разрушение.

При износе и повреждении бандажа нарушается взаимодействие колеса и рельса, что может повлечь сход с рельсов подвижного состава.

Основные требования к техническому состоянию колесных пар установлены в Правилах технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (ПТЭ) и Инструкции по формированию и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм.

Номинальное расстояние между внутренними гранями колес у ненагруженной колесной пары должно быть равно 1440 мм. У локомотивов и вагонов, обращающихся в поездах, при скорости движения 120... 140 км/ч допускаются отклонения этого расстояния в сторону увеличения не более чем на 3 мм и в сторону уменьшения — не более чем на 1 мм, что принято записывать в виде

Таблица 1.1

Определение глубины ползуна по его длине

Глубина ползуна, мм	Длина ползуна, мм, на колесах с диаметром по кругу катания, мм		
	1 250	1 050	950
0,7	60	55	50
1,0	71	65	60
2,0	100	92	85
4,0	141	129	120
6,0	173	158	150
12,0	244	223	210

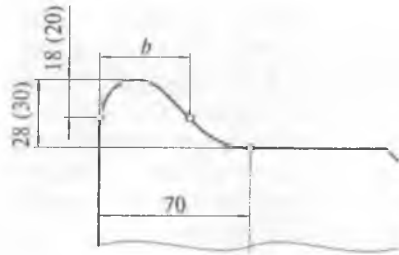


Рис. 1.7. Измерение толщины  $b$  гребня бандажа

( $1440^{+3}$ ) мм, а при скорости движения до 120 км/ч — в сторону увеличения и уменьшения не более чем на 3 мм, что обозначается ( $1440 \pm 3$ ) мм.

Не допускается эксплуатация подвижного состава с трещиной в любой части оси колесной пары, бандаже, колесном центре и ступице (в ободе, диске и ступице — для цельнокатаных колес), при наличии остроконечного наката на гребне бандажа или обода колесной пары, а также при следующих характеристиках износа и повреждения колесных пар:

а) при скорости движения 120...140 км/ч:

- прокат по кругу катания у локомотивов, мотор-вагонного подвижного состава и пассажирских вагонов более 5 мм;
- толщина гребня более 33 мм или менее 28 мм у локомотивов с высотой гребня 30 мм при измерении на расстоянии 20 мм от его вершины, а у подвижного состава с высотой гребня 28 мм при измерении на расстоянии 18 мм от его вершины (рис. 1.7);

б) при скорости движения до 120 км/ч:

- прокат по кругу катания у локомотивов, мотор-вагонного подвижного состава и пассажирских вагонов в поездах дальнего следования более 7 мм, у мотор-вагонного подвижного состава и пассажирских вагонов в поездах местного и пригородного сообщения более 8 мм, а у вагонов рефрижераторного парка и грузовых вагонов более 9 мм;
- толщина гребня более 33 мм или менее 25 мм у локомотивов с высотой гребня 30 мм при измерении на расстоянии 20 мм от его вершины, а у подвижного состава с высотой гребня 28 мм при измерении на расстоянии 18 мм от его вершины;

в) вертикальный подрез гребня высотой более 18 мм, измеряемый специальным шаблоном;

г) ползун на поверхности катания у локомотивов, мотор-вагонного подвижного состава и вагонов с роликовыми буксовыми подшипниками глубиной более 1 мм.

Допустимая скорость следования подвижного состава при обнаружении ползуна приведена в табл. 1.2.

При обнаружении в пути следования у немоторного вагона ползуна глубиной 1...2 мм разрешается довести такой вагон без отцепки от пассажирского поезда со скоростью не более 100 км/ч, а от грузового — со скоростью не более 70 км/ч до ближайшего пункта технического обслуживания, имеющего средства для замены колесных пар.

Допустимая скорость следования подвижного состава при обнаружении ползуна

Тип подвижного состава	Глубина ползуна, мм	Допустимая скорость следования, км/ч
Локомотивы и моторные вагоны	До 1	Установленная
	1...2	15
	2...4	10
	Свыше 4	10 (колесная пара вывешивается)
Вагоны (кроме моторных) с буксами на роликовых подшипниках	До 1	Установленная
	1...2	100 (пассажирские поезда), 70 (грузовые)
	2...6	15
	6...12	10
	Свыше 12	10 (колесная пара вывешивается)

При глубине ползуна 2...6 мм у немоторного вагона и 1...2 мм — у локомотива и моторного вагона мотор-вагонного подвижного состава допускается следование поезда со скоростью 15 км/ч, а при глубине ползуна соответственно 6...12 и 2...4 мм — со скоростью 10 км/ч до ближайшей станции, где колесная пара должна быть заменена.

При наличии ползуна глубиной свыше 12 мм у немоторного вагона и свыше 4 мм — у локомотива и моторного вагона разрешается следование со скоростью 10 км/ч при условии вывешивания или исключения возможности вращения колесной пары. Локомотив при этом необходимо отцепить от поезда, а тормозные цилиндры и тяговый двигатель поврежденной колесной пары — отключить.

*Буксовые узлы* (рис. 1.8) предназначены для передачи горизонтальных тяговых и тормозных усилий от колесных пар на раму тележки, вертикальной нагрузки от кузова — на оси колесных пар, а также боковых усилий — между рамой тележки и колесными парами при движении ЭПС.

В зависимости от конструкции связи с рамой тележки буксы бывают поводковыми и бесповодковыми. В буксах могут быть установлены подшипники как скольжения, так и качения. В буксах современного подвижного состава применяются подшипники качения.



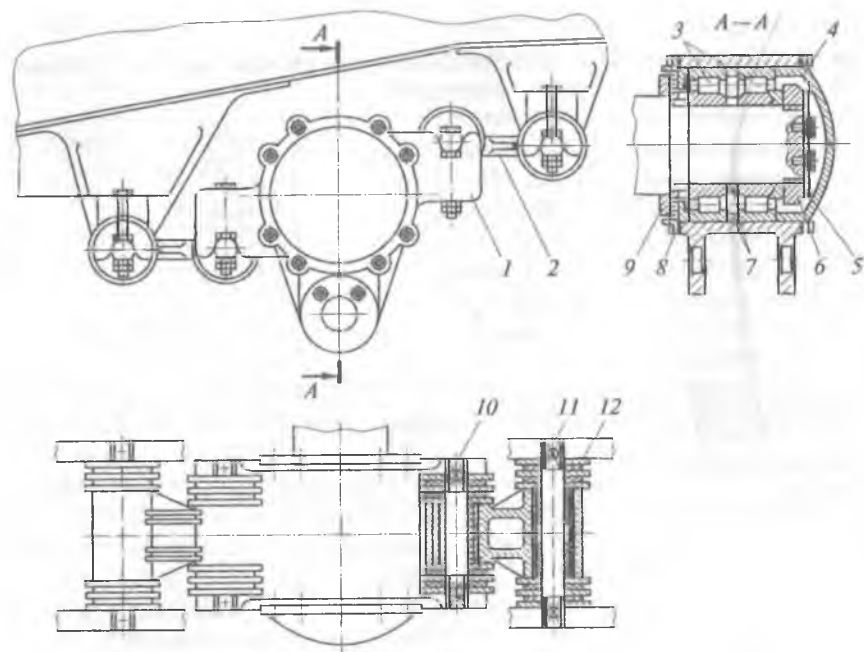


Рис. 1.8. Буксовый узел:

1 — прилив корпуса; 2 — поводок; 3 — роликовые подшипники; 4, 8 — крышки; 5 — стопорная планка; 6 — гайка; 7 — дистанционные кольца; 9 — лабиринтное кольцо; 10, 11 — резинометаллические валики; 12 — резинометаллическая шайба

Поводковая букса тележки электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80 имеет литой стальной корпус с четырьмя приливами 1 для крепления поводков 2. В корпусе размещены два роликовых подшипника 3, внутренние кольца которых насажены на буксовую шейку оси колесной пары при температуре 100...120 °С для обеспечения в холодном состоянии натяга 0,04...0,06 мм. Плавающие наружные кольца подшипников установлены с зазором 0,09 мм. Подшипники разделены дистанционными кольцами 7, подбором толщины которых регулируют осевые разбеги.

Внутренние кольца подшипников через упорное кольцо стягиваются гайкой 6, которая стопорится планкой 5, закрепленной болтами на оси колесной пары. Сзади букса закрыта крышкой 8 и кольцом 9, насаженным на ось колесной пары. Кольцевые выточки в крышке и кольце образуют лабиринтные уплотнения, предотвращающие вытекание смазки и попадание влаги и пыли в корпус буксы. Передняя сторона буксы закрыта крышкой 4 с уплотняющим резиновым кольцом. Полость подшипника заполняют 3,5...4 кг консистентной смазки марки ЖРО или БУКСОЛ.

Передача тяговых и тормозных усилий от колесных пар на раму тележки осуществляется через поводки, один шарнир которых крепится к приливам корпуса буксы, а другой — к кронштейнам рамы тележки. Шарниры поводков выполнены из резинометаллических валиков 10 и 11 и шайб 12.

Основным показателем исправности буксовых узлов в процессе эксплуатации является их нагрев. При работе даже исправного буксового узла вследствие наличия трения в подшипниках и других устройствах часть механической энергии теряется, превращаясь в теплоту. При увеличении скорости движения эта доля потерь значительно возрастает. Выделение тепловой энергии вызывает рабочий нагрев букс.

При осмотре букс (на промежуточных остановках, по прибытии поезда, а также при остановке в пути в случае получения сигнала путевых устройств об обнаружении перегрева букс) их температуру оценивают на ощупь, прикладывая к крышке буксы тыльную сторону кисти руки (фаланги пальцев). Нагрев букс считается допустимым, если ладонь выдерживает его (при этом температура букс составляет 70...80 °С).

Более сильный нагрев считается аварийным. Причинами его возникновения могут быть наличие недопустимого трения элементов буксы, например, при малом количестве смазки, нарушении посадки колец подшипников и др.

56045  
Действия локомотивной бригады при обнаружении аварийного нагрева букс и других неисправностей регламентируются соответствующими инструкциями (весь перечень необходимых инструкций обычно можно найти в техническом кабинете депо).

При осмотре неисправной (греющейся) буксы можно обнаружить металлическую стружку, расплавленные и разрушившиеся подшипники или недостаточное количество смазки (возможно также ее полное выгорание).

### 1.3. Рессорное подвешивание

Рессорное подвешивание служит для смягчения ударов, передаваемых на надрессорное строение при движении ЭПС по неровностям пути, и равномерного распределения нагрузки между осями колесных пар и колесами. Рессорное подвешивание может содержать одну или две ступени. Современный ЭПС имеет двухступенчатое рессорное подвешивание. Первая ступень (буксовая) устанавливается между буксой и рамой тележки, а вторая — между рамами тележки и кузова.

Первая ступень рессорного подвешивания (рис. 1.9) служит для передачи вертикальной нагрузки от рамы тележки через буксы на колесные пары и на электровозах ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80 и ВЛ85 со-

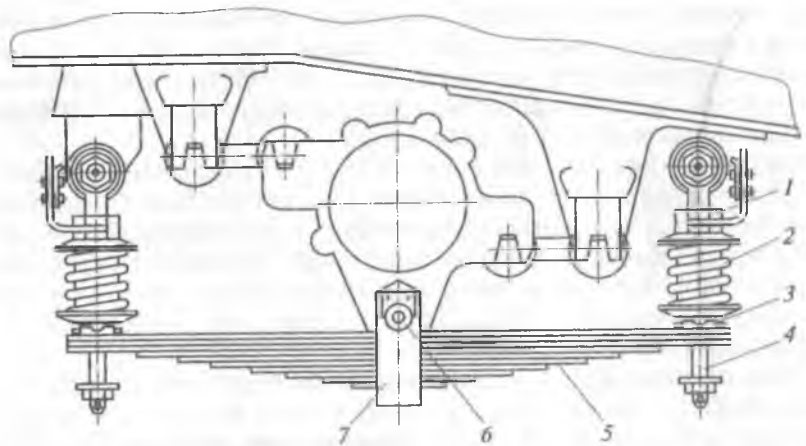


Рис. 1.9. Первая ступень рессорного подвешивания:

1 — опорная гайка; 2 — пружина; 3 — опора; 4 — стойка; 5 — листовая рессора; 6 — валик; 7 — хомут

стоит из листовой рессоры 5, соединенной шарнирно с нижним приливом корпуса буксы, и цилиндрических пружин 2, установленных между опорами 3. Сухое трение между листами рессоры способствует ограничению амплитуды колебаний и их гашению.

Рессора набрана из десяти листов пружинной стали, соединенных хомутом 7. Самый большой лист из комплекта называется коренным. Хомут имеет отверстие под валик 6 для крепления к корпусу буксы. Пружина опирается одним концом (через опору) на конец рессоры, а другим (через опорную гайку 1) — на стойку 4, шарнирно сочлененную с кронштейном рамы тележки.

Через вторую ступень подвешивания передается вертикальная нагрузка от кузова на раму тележки и поперечные усилия между ними. У большинства электровозов (ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80) вторая ступень выполнена в виде люльчатого подвешивания (рис. 1.10), состоящего из стержня 8, имеющего в верхней части привалочный фланец, которым он через шайбу 13 опирается на пружину 12. Утолщенная часть стержня входит в стакан 10. На нижней части стержня имеется резьба под гайку 2 со шплинтом 1, на которую опирается кузов через балансир 6, прикрепленный к кронштейнам 7 кузова болтами 14 с гайками 16, опору 3 и прокладку 4. Между опорными фланцами стержня и стакана для обеспечения эластичности подвешивания кузова установлена пружина.

Стакан имеет выточку, в которую входит опора 5. Через эту опору и прокладку стакан опирается на кронштейн 9 рамы тележки. При движении электровоза особенности конструкций опор и прокладок подобно шарниру обеспечивают перемещение кузова

относительно рамы тележки в поперечном направлении и поворот тележки под кузовом.

Для предотвращения падения деталей подвески на путь в случае излома элементы нижнего шарнира имеют скобы, через которые пропущен страховочный трос 17, прикрепленный к кронштейну 15 рамы кузова.

Пределы взаимного перемещения тележки и кузова устанавливают ограничители вертикальных 4 и горизонтальных 2 перемещений, закрепленные на раме кузова (рис. 1.11). Зазор между боковым ограничителем и накладкой 6 рамы тележки регулируется прокладками 1. При горизонтальном перемещении кузова относительно рамы тележки, достигающем 15 мм, начинает действовать пружина 3 ограничителя перемещений, а при перемещении, равном 30 мм, — жесткий упор.

Недостатком упругих элементов пружинного типа является их низкая способность к поглощению энергии колебаний, что может привести к резонансным явлениям с характерным для них

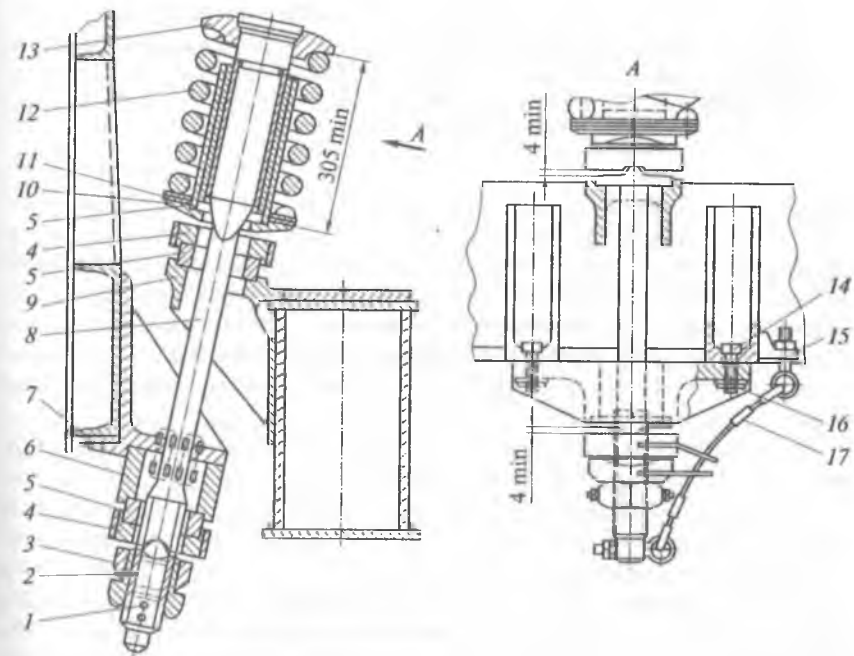


Рис. 1.10. Люльчатое подвешивание:

1 — шплинт; 2, 16 — гайки; 3, 5 — опоры; 4 — прокладка; 6 — балансир; 7 — кронштейн кузова; 8 — стержень; 9 — кронштейн рамы тележки; 10 — стакан; 11 — регулировочные прокладки; 12 — пружина; 13 — шайба; 14 — болт; 15 — кронштейн рамы кузова; 17 — страховочный трос

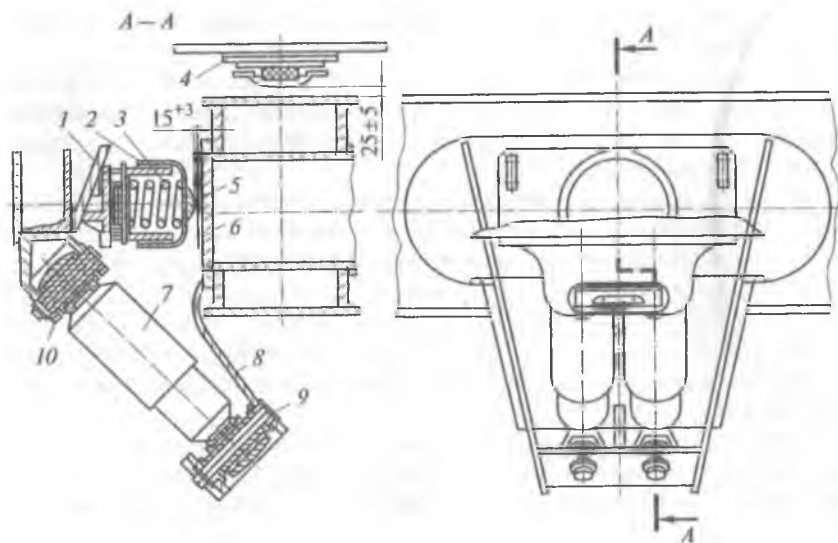


Рис. 1.11. Установка ограничителей перемещений и гасителей колебаний: 1 — регулировочная прокладка; 2 — ограничитель горизонтальных перемещений; 3 — пружина; 4 — ограничитель вертикальных перемещений; 5 — вкладыш; 6 — накладка; 7 — гидравлический гаситель; 8 — кронштейн рамы тележки; 9 — валик; 10 — кронштейн рамы кузова

увеличением амплитуды колебаний и, следовательно, динамических нагрузок на систему рессорного подвешивания. Поэтому в данной системе необходимо использовать элементы, способные гасить энергию колебаний. В первой ступени подвешивания эту функцию выполняют листовые рессоры, которые помимо передачи вертикальной нагрузки от рамы тележки на буксу поглощают энергию колебаний за счет возникновения между листами сил сухого трения.

Во второй ступени установлены гидравлические гасители 7 колебаний, которые к тому же передают часть нагрузки от рамы кузова на раму тележки. Их действие основано на поглощении энергии колебаний при наличии сил вязкого трения, которые развиваются в жидкости, находящейся внутри гасителя. Нижние головки гидравлических гасителей с помощью валиков 9 закреплены на кронштейнах 8, приваренных к боковинам рамы тележки, а верхние — на кронштейнах 10, приваренных к раме кузова электровоза.

На 12-осных электровозах ВЛ15 и ВЛ85 с тремя двухосными тележками под каждым кузовом связь кузова с крайними тележками (рис. 1.12, а) осуществляется с помощью люлочного подвешивания 3, упоров 4 — ограничителей вертикальных и горизон-

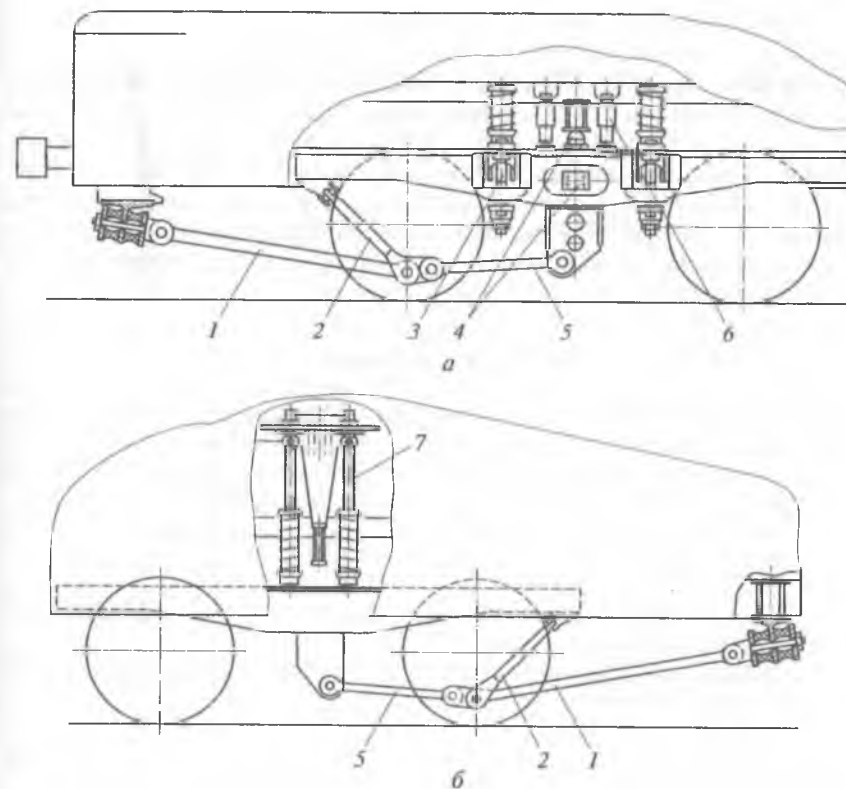


Рис. 1.12. Связи кузова с крайней (а) и средней (б) тележками электровозов ВЛ15 и ВЛ85:

1, 2, 5 — наклонные тяги; 3 — люлочное подвешивание; 4 — упоры; 6 — гаситель колебаний; 7 — пружинная опора кузова

тальных перемещений, гидравлических гасителей 6 колебаний, а также наклонных тяг 1, 2 и 5.

Люлочное подвешивание кузова по назначению и конструктивному исполнению аналогично применяемому на восьмиосных электровозах.

Система тяг тележки предназначена для передачи тяговых и тормозных усилий, является жестким продолжением рамы тележки и позволяет вынести точку сочленения тележки и кузова на меньшую высоту относительно головок рельсов. При этом опрокидывающий момент, создаваемый силой тяги, приложенной в точке контакта колеса и рельса, и силой сопротивления движению в точке сочленения тележки и кузова уменьшается, что позволяет снизить разгрузку осей тележки в режиме тяги и повысить сцепные характеристики локомотива.

## ПОДВЕШИВАНИЕ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ТЯГОВЫЙ ПРИВОД

### 2.1. Общие сведения

Тяговый привод служит для передачи крутящего момента от вала тягового двигателя на ось колесной пары. На отечественных электропоездах и электровозах применяют в основном индивидуальный привод, который передает крутящий момент на каждую движущую колесную пару от отдельного тягового двигателя. При использовании группового привода колесным парам одной тележки сообщается вращение одним тяговым двигателем. Тяговый привод связывает колесную пару с тяговым двигателем, который частично или полностью подвешен на упругих элементах.

Различают следующие способы подвешивания тяговых электродвигателей:

- опорно-осевое — тяговый двигатель через упругие элементы одной стороной подвешен к раме тележки, а другой опирается на ось колесной пары через моторно-осевые подшипники;
- опорно-рамное — тяговый двигатель подвешен только к раме тележки.

Применяемая на ЭПС система подвешивания тяговых электродвигателей во многом определяет конструктивные особенности тягового привода.

Крутящий момент передается от вала якоря тягового двигателя к колесной паре находящимися в зацеплении большим и малым зубчатыми колесами тягового редуктора (зубчатой передачей). Большое зубчатое колесо соединено с осью колесной пары, малое — шестерня — насажено на вал двигателя. Передаточное отношение зубчатой передачи определяет реализуемые ЭПС силы тяги и скорости. Все тяговые редукторы ЭПС отечественных железных дорог одноступенчатые.

Тяговые приводы подразделяются:

- на жесткие редукторные, используемые при опорно-осевом подвешивании тяговых двигателей (грузовые электровозы ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80);
- редукторные с упругими резинокордными муфтами (электropоезда серии ЭР);
- редукторные с торсионным валом (электровозы серий ЧС и ЭП1);
- односторонние — с одной зубчатой передачей (электровозы серий ЧС и ЭП1, а также электropоезда);

Связь кузова со средними тележками (рис. 1.12, б) осуществляется с помощью пружинной опоры 7 кузова и тяг.

Так как элементы системы рессорного подвешивания действуют в условиях циклически изменяющихся нагрузок, основным видом их неисправностей является усталостный излом. В процессе эксплуатации наиболее часто наблюдаются изломы упругих элементов и подвесок. Поэтому системам рессорного подвешивания уделяется особое внимание. Невидимые повреждения деталей этих систем обычно выявляются в эксплуатации при остукивании их смотровым молотком.

#### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой осевая характеристика? Приведите примеры осевых характеристик локомотивов; расшифруйте их.
2. Перечислите основные элементы конструкции тележек. На какие две группы подразделяются тележки по способу установки букс?
3. Объясните назначение букс. Опишите их конструкцию.
4. Назовите основные элементы конструкции колесных пар и основные части оси колесной пары.
5. Перечислите основные виды неисправностей колесных пар и условия, при которых они возникают.
6. Какими документами устанавливаются нормы, связанные с содержанием колесных пар?
7. При каких неисправностях запрещается эксплуатация колесных пар?
8. Каково назначение рессорного подвешивания? Где расположены первая и вторая ступени рессорного подвешивания?
9. Опишите схему передачи усилия от кузова электropодвижного состава на рельсы.

• двусторонние — с двумя зубчатыми передачами (грузовые электровозы ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80).

Зубчатые передачи могут быть прямо- и косозубые, а также шевронные. При односторонней передаче крутящего момента применяют зубчатые колеса с прямозубым или шевронным зацеплением. Зубчатые колеса с косозубым зацеплением, имеющие большую нагрузочную способность по сравнению с прямозубыми, используют только при двусторонней передаче крутящего момента, так как лишь в этом случае аксиальные (осевые) составляющие усилия на зубчатых колесах обоих редукторов могут компенсировать друг друга.

На электровозах серии ЭП1 применена шевронная зубчатая передача.

## 2.2. Опорно-осевое подвешивание тягового двигателя

На отечественных электровозах используют траверсное и маятниковое опорно-осевое подвешивание тяговых двигателей.

На электровозе ВЛ60 при траверсном опорно-осевом подвешивании (рис. 2.1) тяговый двигатель одной стороной опирается через моторно-осевые подшипники на ось колесной пары, а другой — двумя кронштейнами через траверсу — на раму тележки. Через траверсу на раму тележки передается нагрузка, приблизительно равная половине веса тягового двигателя. Траверса состоит из упругих элементов — витых пружин 8, направляющих упоров 6 и стержней 10, а также опорных балок 7 и 9 с приваренными к ним накладками. Траверсу в сборе с предварительным натягом, создаваемым болтами, пропущенными через технологические отверстия балок, устанавливают между кронштейнами 2 и 5 остова тягового двигателя и четырьмя кронштейнами 11 рамы. Кроме того, остова двигателя имеет два предохранительных кронштейна — 1 и 3, которыми в случае обрыва основных кронштейнов он опирается на раму тележки.

Недостатком данной конструкции является возможность износа направляющих стержней в местах соприкосновения с втулками, верхней и нижней балок, а также трущихся поверхностей кронштейнов остова двигателя.

На электровозах ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80 всех индексов применено унифицированное маятниковое опорно-осевое подвешивание тягового двигателя (рис. 2.2), при котором он одной стороной через моторно-осевые подшипники опирается на ось колесной пары, а другой — на раму тележки через специальную подвеску 7 с амортизирующими резиновыми шайбами 6, кронштейном 3 и деталями монтажа. Подвеска, выполненная поковкой из стали 45 с по-

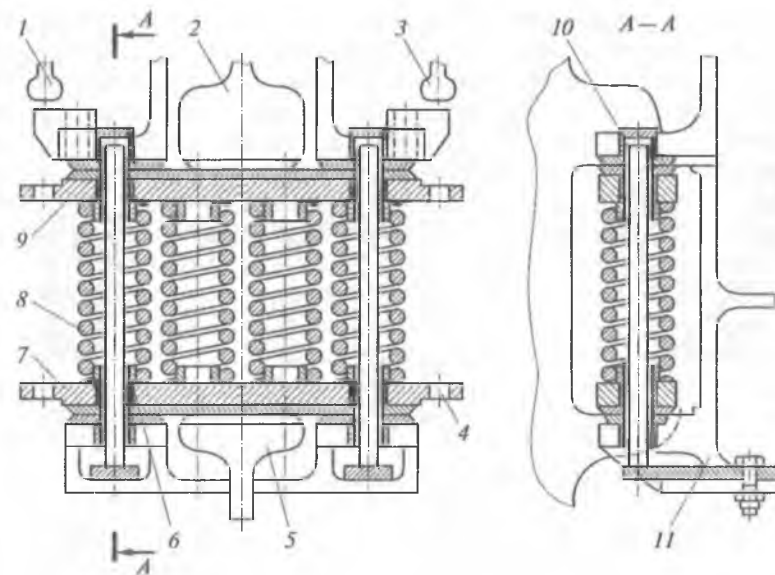


Рис. 2.1. Траверсное опорно-осевое подвешивание тягового двигателя:  
1, 3 — предохранительные кронштейны остова тягового двигателя; 2, 5 — кронштейны остова тягового двигателя; 4 — отверстие; 6 — направляющий упор; 7, 9 — балки; 8 — пружина; 11 — кронштейн рамы тележки; 10 — направляющий стержень

следующей механической обработкой, имеет головку, которой крепится к брусу 9 шаровой связи рамы тележки с помощью плавающего валика 8 из стали 45. Валик проходит через втулки из марганцовистой стали, запрессованные в проушинах бруса и в головке подвески. Чтобы валик не выпадал, отверстия проушин бруса перекрывают планками, из которых одна приварена, а другая закреплена двумя болтами. На подвеске нарезана круглая резьба диаметром 60 мм для гайки, стягивающей диски и резиновые шайбы.

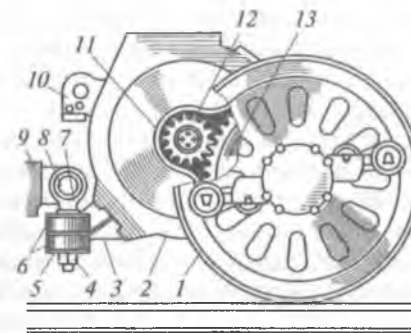


Рис. 2.2. Маятниковое опорно-осевое подвешивание тягового двигателя:  
1 — колесная пара; 2 — остова двигателя; 3 — кронштейн; 4 — гайка; 5 — диск; 6 — резиновые шайбы; 7 — подвеска; 8 — валик; 9 — брус шаровой связи; 10 — кронштейн остова двигателя; 11 — кожух зубчатой передачи; 12 — шестерня; 13 — зубчатое колесо

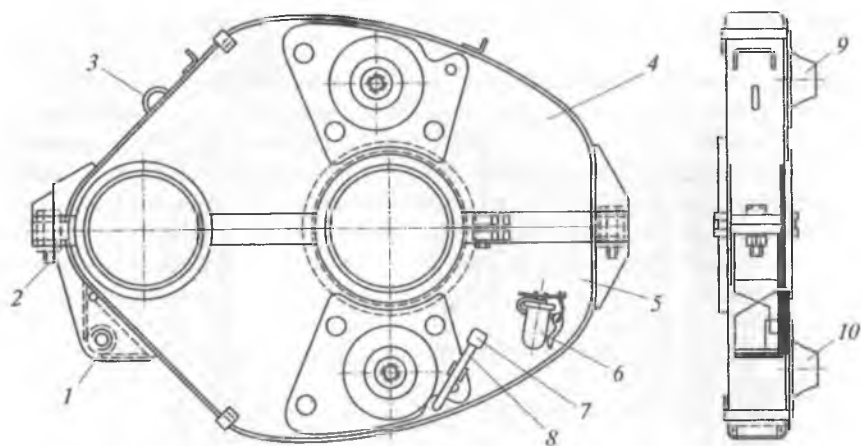


Рис. 2.3. Кожух зубчатой передачи:

1, 9, 10 — бобышки; 2 — стяжной болт; 3 — трубка-сапун; 4, 5 — соответственно верхняя и нижняя половины кожуха; 6 — заливочная горловина; 7 — указатель уровня масла; 8 — масломерная трубка

На случай обрыва подвески в качестве дополнительной страховки служат специальные кронштейны 10 на остовах двигателя и приливы на шкворневом брусе рамы тележки.

На электровозах применена жесткая двусторонняя косозубая передача. Для ее защиты от воздействия внешней среды и образования масляной ванны для смазывания применены кожуха, прикрепленные к остову 2 тягового электродвигателя. Каждая зубчатая передача и ее кожух образуют тяговый редуктор.

Кожух зубчатой передачи (рис. 2.3) металлический, сваренный из листовой стали, состоит из двух половин — верхней 4 и нижней 5, которые не подлежат раскомплектованию при ремонте. Обе части стянуты болтами 2. По горловинам и разъемам кожуха установлены уплотнительные прокладки. Для крепления к остову тягового двигателя к кожуху приварены три бобышки — 1, 9 и 10, две из которых расположены в нижней половине кожуха, а одна — в верхней. На нижней половине кожуха смонтирована горловина 6 для заливки масла и масломерная трубка 8 с указателем уровня масла. Кожух прикреплен к остову тягового двигателя двумя болтами М42, а к подшипниковому щиту — одним болтом М30. В кожух заливается 4 кг осерненной смазки.

На верхней половине кожуха имеется трубка-сапун 3. Сапун соединяет полость внутри кожуха зубчатой передачи с атмосферой. При работе зубчатой передачи потеря передаваемой механической энергии происходит в основном вследствие трения между зубьями шестерни и зубчатого колеса. Теряемая механическая энер-

гия превращается в теплоту и расходуется на нагрев деталей тягового редуктора, масла и масловоздушной смеси в нем. При этом внутри кожуха создается избыточное давление. Сапун, соединяя внутреннюю полость кожуха с атмосферой, предотвращает нарастание в ней избыточного давления. Если сапун неисправен (забит), то выравнивание давлений будет происходить через лабиринтные уплотнения подшипниковых узлов с выбросом масла, что является аварийным режимом работы. При выбросе масла его уровень в редукторе уменьшается, нарушаются условия смазки зубчатого зацепления, значительно увеличивается нагрев, что может привести к заклиниванию зубчатой передачи.

Опорно-осевое подвешивание тяговых двигателей и жесткий редукторный тяговый привод применяются в основном на локомотивах с конструкционной скоростью до 140 км/ч. При прохождении колесной парой неровностей пути на большой скорости значительно увеличиваются динамические нагрузки на его верхнее строение и тяговую передачу локомотива. Ухудшаются условия смазки моторно-осевых подшипников, что приводит к образованию их задиров.

Основные неисправности систем опорно-осевого подвешивания тяговых двигателей — обрывы подвесок тяговых двигателей и изломы упругих элементов. Особо ответственными узлами являются моторно-осевые подшипники тяговых двигателей, основной неисправностью которых является их перегрев при нарушении режима смазки из-за понижения уровня масла и нарушения крепления шерстяной подбивки.

Обнаружить перегрев моторно-осевого подшипника можно по запаху паленой шерсти и появлению дыма. При этом, обычно после остановки, соблюдая правила безопасности, определяют, какой из моторно-осевых подшипников неисправен, отключают соответствующий тяговый двигатель и следуют с уменьшенной скоростью до ближайшей станции для скорейшего освобождения перегона.

При отключении тягового двигателя исчезают реактивные силы в моторно-осевых подшипниках (реакции опор), связанные с реализацией крутящего момента, нагрузка на неисправный подшипник уменьшается, и его нагрев замедляется. По прибытии на станцию поправляют шерстяную подбивку и заполняют моторно-осевой подшипник маслом.

Если при движении локомотива прослушивается неравномерный шум тягового редуктора, а после остановки выявлен нагрев кожуха рядом с шестерней, то это признаки сползания шестерни с вала тягового двигателя. В этом случае также отключают соответствующий тяговый двигатель и следуют до ближайшей станции.

Конкретный порядок действий в данных ситуациях устанавливается соответствующими инструкциями.

### 2.3. Опорно-рамное подвешивание тягового двигателя

При опорно-рамном подвешивании тяговый двигатель установлен на раме тележки и полностью подрессорен. Основными достоинствами данной схемы подвешивания являются:

- значительное уменьшение неподрессоренных масс, так как вес тягового двигателя передается на колесную пару через раму тележки и упругие элементы буксовой ступени рессорного подвешивания. При этом существенно снижаются динамические нагрузки на передачу, тяговый двигатель и верхнее строение пути;
- отсутствие моторно-осевых подшипников.

Этими достоинствами и объясняется применение данного типа подвешивания тяговых двигателей в основном на пассажирских электровозах и электропоездах, развивающих большие скорости.

Так как тяговый двигатель установлен на раме тележки, при движении ЭПС по неровностям пути из-за прогибов буксовой ступени рессорного подвешивания он перемещается относительно колесной пары. Следовательно, при опорно-рамном подвешивании тягового двигателя для передачи крутящего момента невозможно использовать жесткое соединение его вала с шестерней тягового редуктора, характерное для опорно-осевого подвешивания. Тяговая передача должна включать в себя элементы, компенсирующие взаимное перемещение вала тягового двигателя и оси колесной пары. Таким образом, недостатком опорно-рамного подвешивания тягового двигателя является усложнение конструкции тягового привода.

На моторных тележках электропоездов тяговый двигатель двумя лапами 4 (рис. 2.4) установлен на опорные поверхности поперечной балки рамы тележки. Эти поверхности имеют выступы, на которых расположены клинья 5 с ввернутым в них распорным болтом 8 с левой и правой резьбой, благодаря чему клинья перемещаются, притягивая двигатель к верхним опорным площадкам поперечных балок. Две нижние опорные площадки двигателя имеют резьбовые отверстия под болты 2 для его крепления на поддерживающих кронштейнах средней части поперечной балки рамы тележки.

Передача крутящего момента от тягового двигателя к колесной паре 6 (рис. 2.5) осуществляется через упругую резинокордную муфту и зубчатую передачу. Зубчатое колесо 8 имеет венец с зубьями, закрепленный призонными болтами на фланце колесного центра.

Упругая муфта (рис. 2.6) предназначена для соединения валов тягового двигателя и шестерни и передачи крутящего момента, компенсирует несоосность соединенных валов и снижает ударные нагрузки. Муфта состоит из двух стальных фланцев — 1 и 6, кото-

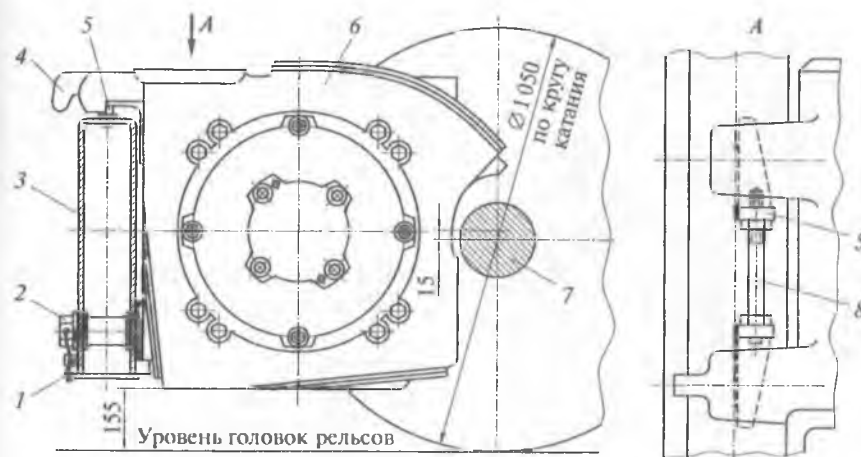


Рис. 2.4. Подвешивание тягового двигателя на раме тележки моторного вагона электропоезда:

1 — проволока; 2 — болт; 3 — поперечная балка рамы тележки; 4 — опорная лапа двигателя; 5 — клин; 6 — тяговый двигатель; 7 — ось колесной пары; 8 — распорный болт клина

рые насаживают при температуре 140 °С на конусные поверхности хвостовиков вала 9 шестерни и вала 10 двигателя. К фланцам крепится резинокордная упругая оболочка 5, состоящая из резины с прослойкой кордной ткани. Оболочку сначала устанавливают на фланец шестерни, прижимают полукольцами 4 и закрепляют болтами 2 с шайбами 7, которые попарно крепят проволо-

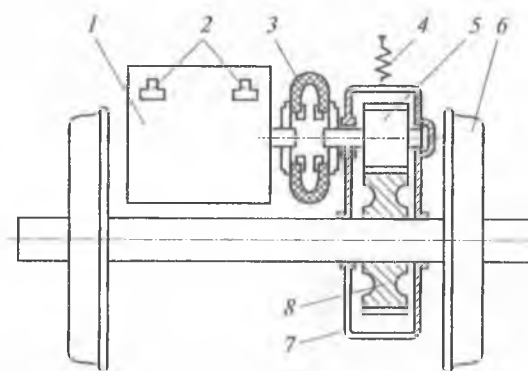


Рис. 2.5. Тяговая передача электропоезда с упругой муфтой:

1 — электродвигатель; 2 — опорные лапы двигателя; 3 — резинокордная упругая муфта; 4 — амортизатор; 5 — шестерня; 6 — колесная пара; 7 — кожух зубчатой передачи; 8 — зубчатое колесо

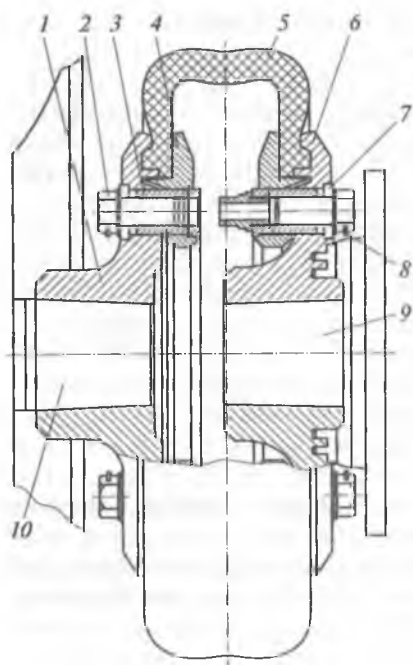


Рис. 2.6. Упругая муфта:

1, 6 — фланцы; 2 — болт; 3 — втулка; 4 — полукольцо; 5 — резинокордная упругая оболочка; 7 — шайба; 8 — проволока; 9 — вал шестерни; 10 — вал двигателя

кой 8. В полукольца вставлены резьбовые втулки 3 под болты.

На пассажирских электровазах серий ЧС и ЭП1 применена передача с торсионным валом 5 (рис. 2.7). Тяговый двигатель с полым якорем подвешен к раме 3 тележки, и его вес передается на колесную пару через цилиндрические рессоры 6 буксовой ступени рессорного подвешивания. Торсионный вал установлен внутри полого якоря тягового двигателя и соединяет его через муфты 2 с валом шестерни.

Тяговый привод (рис. 2.8) электроваза ЭП1 состоит из двух основных узлов: тягового редуктора 3 и передаточного механизма.

Рассмотрим передаточный механизм (рис. 2.9) тягового привода электроваза ЭП1. Торсионный вал 5 соединяется с зубчатой полумуфтой 6 и ступицей 4 резинокордной муфты прессовыми коническими соединениями.

Зубчатая муфта образуется зубчатым венцом 7, запрессованным внутри полого якоря 9 тягового двигателя, и зубчатой полумуфтой торсионного вала. Полость зубчатой муфты, уплотненная

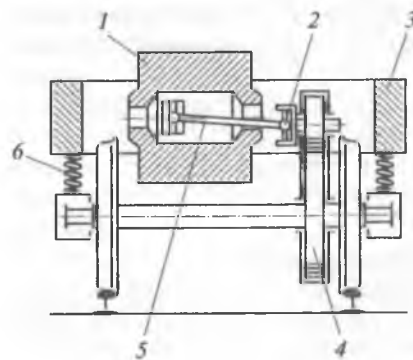


Рис. 2.7. Схема передачи крутящего момента с торсионным валом:

1 — тяговый двигатель с полым якорем; 2 — муфта; 3 — рама тележки; 4 — зубчатая передача; 5 — торсионный вал; 6 — цилиндрическая рессора

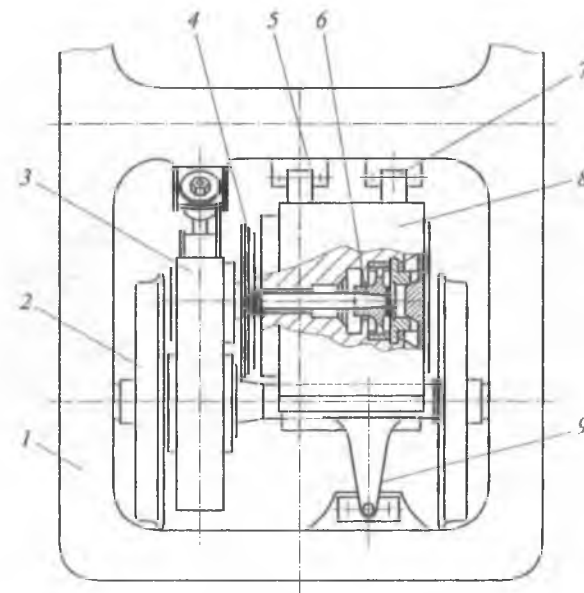


Рис. 2.8. Тяговый привод электроваза ЭП1:

1 — рама тележки; 2 — колесная пара; 3 — тяговый редуктор; 4 — резинокордная муфта; 5, 7, 9 — опоры тягового двигателя; 6 — зубчатая муфта; 8 — тяговый двигатель

резиновыми манжетами 8, образует масляную ванну, в которую заливают 1,2 л смазки.

Другой конец торсионного вала через резинокордную муфту соединен с валом шестерни тягового редуктора 3 (см. рис. 2.8). Основными несущими элементами резинокордной муфты являются два резинокордных дисковых элемента, соединенных со ступицей и корпусом муфты болтами.

При движении электроваза компенсация относительных перемещений тягового двигателя и редуктора с колесной парой в вертикальной плоскости достигается за счет деформации резинокордных дисков и углового проскальзывания зубьев полумуфты торсионного вала по зубьям зубчатого венца, а в горизонтальной плоскости (в начальный момент) — за счет осевой деформации резинокордных дисков. Если усилия в горизонтальной плоскости превышают силы трения между зубьями зубчатой муфты, то относительные перемещения компенсируются за счет проскальзывания зубчатой полумуфты.

Тяговый редуктор электроваза ЭП1 (рис. 2.10) с шевронной зубчатой передачей состоит из блока зубчатого колеса, смонтированного на оси 12 колесной пары, блока шестерни, верхнего и



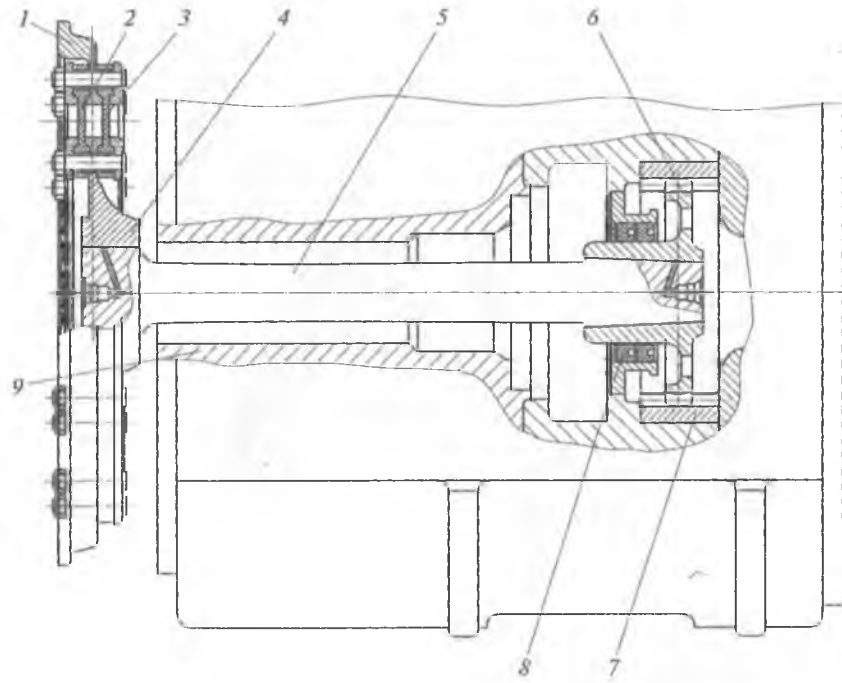


Рис. 2.9. Передаточный механизм тягового привода электровоза ЭП1:  
 1 — корпус муфты; 2, 3 — резинокордные элементы; 4 — ступица; 5 — торсионный вал; 6 — зубчатая полумуфта; 7 — зубчатый венец; 8 — резиновая манжета; 9 — якорь тягового двигателя

нижнего корпусов кожуха. Блок шестерни включает в себя вал 5, на который насажены шестерни 3 и 4 с встречными углами наклона зубьев, составляющие в сборе шевронную шестерню.

Вал 5 шестерни в кожухе редуктора установлен на опорных подшипниках 2. Подшипники наружными кольцами входят в гнезда опор 1 и 19, имеют плавающую посадку и смазываются консистентной смазкой. Для предотвращения вытекания смазки из подшипников и попадания пыли они уплотнены крышками 6 и 18. На вал шестерни насажен фланец, который соединяется с резинокордной муфтой.

Блок зубчатого колеса состоит из центра 13 зубчатого колеса, на котором при помощи призонных болтовых соединений установлены два зубчатых венца — 7 и 8, образующих шевронное зубчатое колесо.

Центр зубчатого колеса напрессован на ось 12 колесной пары, что создает необходимый натяг. Для обеспечения возможности вращения колесной пары относительно кожуха редуктора на центре зубчатого колеса установлены роликовые подшипники 10 и 14,

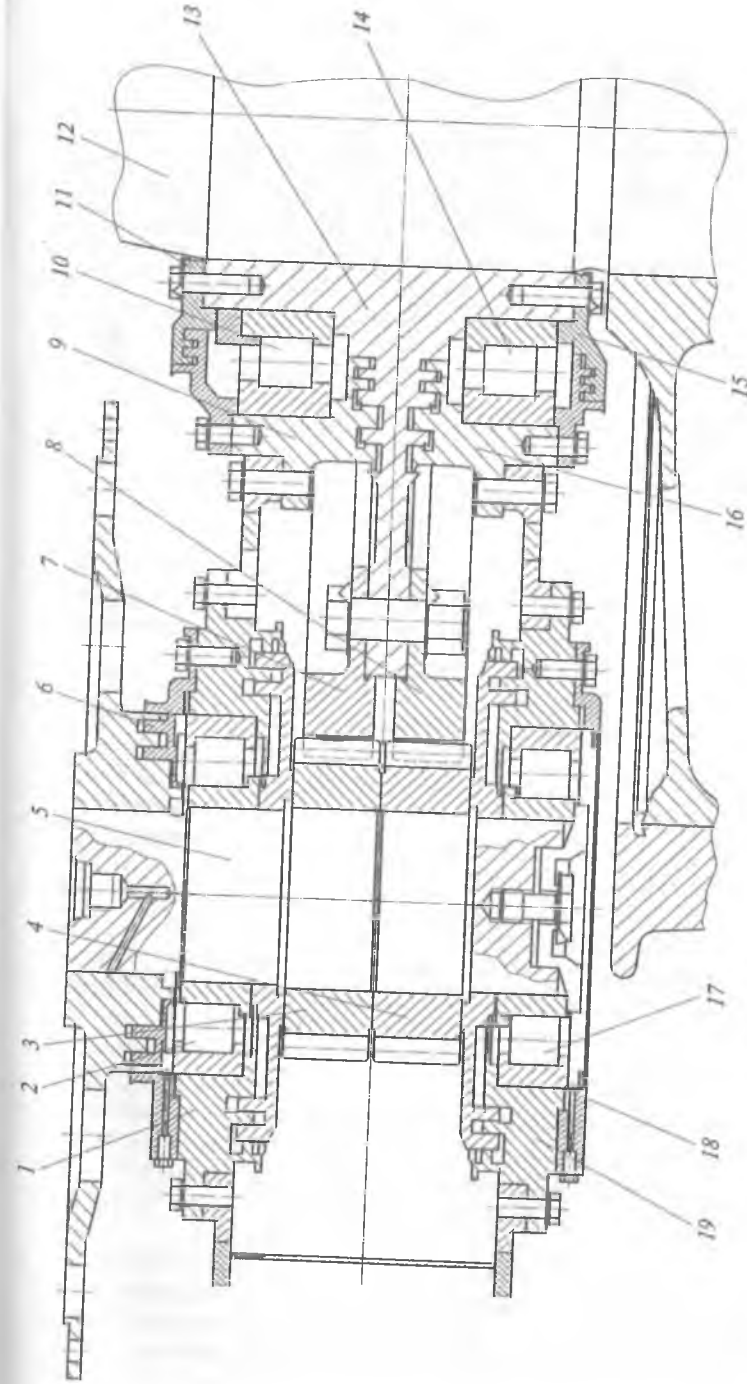


Рис. 2.10. Разрез тягового редуктора электровоза ЭП1:

1, 19 — опоры подшипников вала шестерни; 2, 10, 14, 17 — подшипники; 3, 4 — шестерни; 5 — вал шестерни; 6, 11, 15, 18 — крышки; 7, 8 — венцы зубчатого колеса; 9, 16 — корпус опорного подшипника; 12 — ось колесной пары; 13 — центр зубчатого колеса

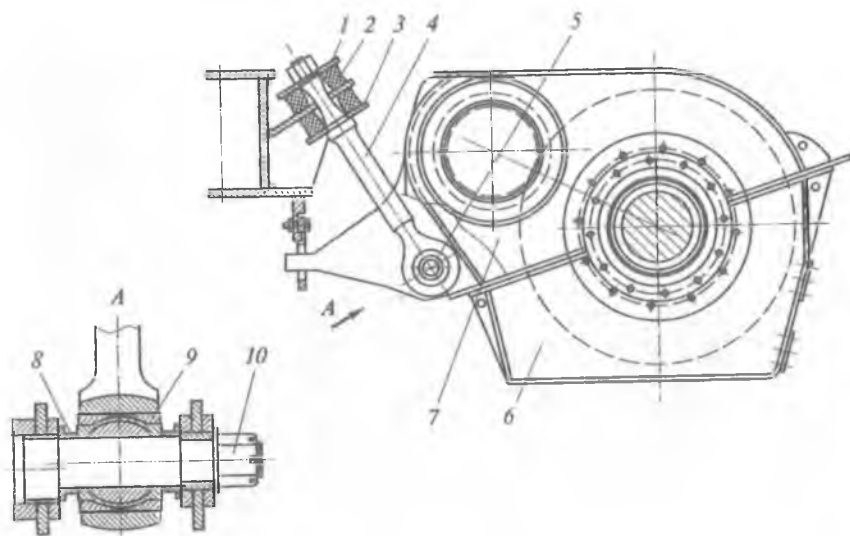


Рис. 2.11. Система подвешивания тягового редуктора:

1, 3 — диски; 2 — шайба; 4 — подвеска; 5 — эксцентриковый валик; 6 — нижний корпус; 7 — верхний корпус; 8 — дистанционное кольцо; 9 — резинометаллический шарнир; 10 — гайка

внутренние кольца которых насаживают с натягом при горячей посадке.

Наружные кольца подшипников установлены в опоры 9 и 16 и в осевом направлении прижаты лабиринтными крышками 11 и 15. Подшипники смазываются консистентной смазкой. В нижний корпус тягового редуктора заливают 13 л смазки.

Система подвешивания тягового редуктора (рис. 2.11) предназначена для восприятия части его веса, реактивных сил, вызванных действием крутящего момента в тяговом приводе и передачей их на раму тележки, а также для компенсации взаимного перемещения рамы тележки и тягового редуктора.

Данная система включает в себя подвеску 4, резинометаллический амортизатор, состоящий из двух резиновых шайб 2, дисков 1 и 3 и деталей монтажа. Подвеска соединена с кронштейном тягового редуктора при помощи валика 5, дистанционных колец 8, шарнира 9 и гайки 10. Валик амортизатора выполнен с эксцентриком для регулирования высоты осевой линии вала блока шестерни относительно оси вращения якоря двигателя.

При опорно-рамном подвешивании тягового двигателя тяговая передача выходит из строя чаще, чем при опорно-осевом, вследствие усложнения ее конструкции. Обычно встречаются разрушения резинокордных муфт и муфт соединений торсионного вала.

## Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию систем подвешивания тяговых двигателей.
2. Перечислите достоинства и недостатки систем подвешивания тяговых двигателей.
3. Что представляет собой система опорно-рамного подвешивания? Как передается нагрузка от тягового двигателя на раму тележки? Как передается крутящий момент от вала тягового двигателя на колесную пару.
4. Опишите систему опорно-осевого подвешивания.
5. Как осуществляется передача тягового усилия от вала тягового двигателя на автосцепное устройство?

## КУЗОВ, АВТОСЦЕПНОЕ УСТРОЙСТВО И ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ

### 3.1. Кузов и автосцепное устройство

Кузов предназначен для размещения в нем оборудования и передачи тяговых и тормозных усилий через автосцепное устройство. Основными элементами кузова (рис. 3.1) секции электровоза ВЛ80 являются рама 2, боковые 3 и задняя стенки, кабина машиниста и крыша 1.

Боковые стенки кузова представляют собой каркас из прокатных и гнутых профилей, обшитых листами толщиной 2 мм. Для повышения жесткости стенок кузова листы обшивки имеют штампованные продольные гофры. В машинном помещении расположены каркасы под вспомогательные машины и оборудование. Выход на крышу предусмотрен по лестнице, расположенной в машинном помещении, через крышевой люк.

Рама кузова является его основным элементом. Сварная рама (рис. 3.2) кузова электровоза ВЛ80 состоит из продольных балок (боковин) 2, изготовленных из прокатных профилей — швеллеров, связанных листами толщиной 6 мм. Боковины соединены двумя шкворневыми балками 5 коробчатого сечения, а также передним 1 и задним 6 буферными брусками. В центре рама имеет две поперечные балки 3 под тяговый трансформатор с опорами 4 для его крепления. К буферным брускам крепятся автосцепки с поглощающими аппаратами.

Кузова и рамы электровозов отечественного производства не имеют принципиальных различий.

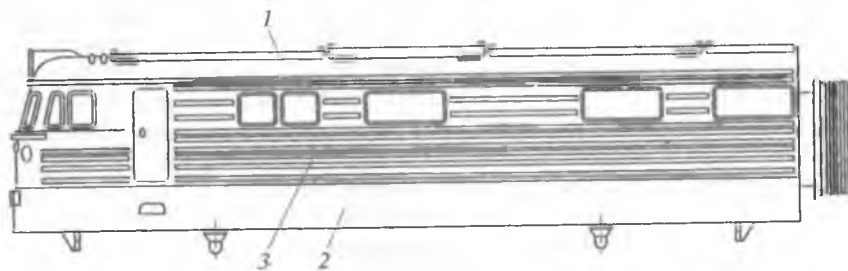


Рис. 3.1. Кузов секции электровоза ВЛ80:

1 — крыша; 2 — рама; 3 — боковая стенка

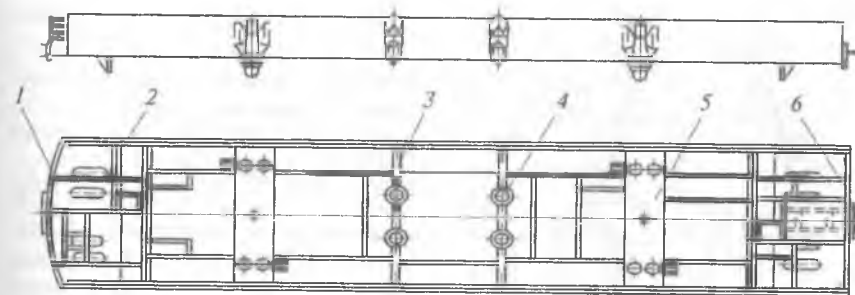


Рис. 3.2. Рама кузова электровоза ВЛ80:

1 — передний буферный брус; 2 — продольная балка; 3 — балка под тяговый трансформатор; 4 — опора трансформатора; 5 — шкворневая балка; 6 — задний буферный брус

*Автосцепное устройство*, предназначенное для автоматического сцепления единиц подвижного состава, воспринимает продольные усилия, возникающие в момент соединения и при движении поезда, тяговые и тормозные усилия.

На подвижном составе отечественных железных дорог устанавливается автосцепное устройство СА-3 (рис. 3.3), состоящее из корпуса, внутри которого установлен сцепной механизм, расцепного привода и поглощающего аппарата.

Продольная сила от головки автосцепки 12 передается через ее хвостовик 9 и плиту 8 на нажимной конус 7, а от него — на фрикционные клинья 6 и далее на нажимную шайбу 5. При этом сжимаются пружины 3 и 4 поглощающего аппарата, находящиеся в его корпусе 2. Один конец корпуса поглощающего аппарата опирается на буферный брус 1 кузова, другой связан с фрикционными клиньями и нажимным конусом. Элементы поглощающего аппарата в собранном состоянии удерживаются стяжным болтом 19. При соударении автосцепок гашение значительной части энергии происходит вследствие трения фрикционных клиньев о внутренние стенки корпуса.

В тяговом режиме усилие от хвостовика автосцепки через тяговый клин 10 и тяговый хомут 18 передается на корпус поглощающего аппарата и далее через пружины, фрикционные клинья, нажимной конус и плиту — на передний упор буферного бруса. В этом режиме трение фрикционных клиньев обеспечивает плавное изменение силы тяги. Автосцепку с механизмом сцепления вставляют в ударную розетку 11 и соединяют тяговым клином с хомутом. Ударную розетку крепят к буферному брусу болтами 17. Для обеспечения поперечного хода автосцепка опирается на центрирующую балочку, подвешенную к ударной розетке на маятниковых подвесках. Сцепной механизм при расцеплении автосцепок

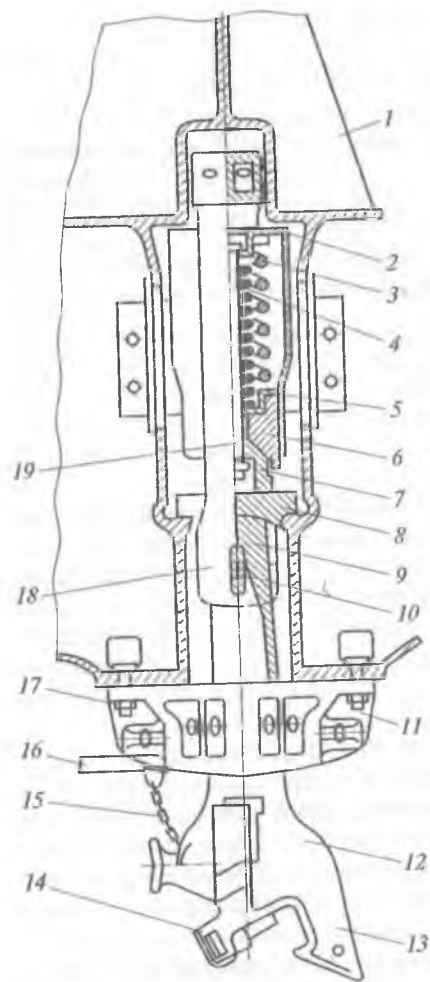


Рис. 3.3. Автосцепное устройство СА-3:

1 — буферный брус; 2 — корпус поглощающего аппарата; 3, 4 — пружины поглощающего аппарата; 5 — нажимная шайба; 6 — фрикционный клин; 7 — нажимной конус; 8 — плита; 9 — хвостовик; 10 — тяговый клин; 11 — ударная розетка; 12 — автосцепка; 13 — большой зуб; 14 — малый зуб; 15 — цепь расцепного привода; 16 — расцепный рычаг; 17 — болт крепления ударной розетки; 18 — тяговый хомут; 19 — стяжной болт

приводится в действие с помощью расцепного рычага 16 через цепь 15. Рабочими поверхностями головки автосцепки являются малый 14 и большой 13 зубья. Участок между малым и большим зубом называется зевом автосцепки.

На пассажирских локомотивах и в вагонах в автосцепных устройствах устанавливается поглощающий аппарат (рис. 3.4), состоящий из направляющего корпуса 2, пакета резинометаллических элементов 3 и нажимного конуса 1, обеспечивающего передачу ударно-тяговых усилий

на раму локомотива. Для предотвращения выпучивания упругих элементов они разделены планкой 4.

Для того чтобы собрать сцепной механизм автосцепки (рис. 3.5), необходимо установить подъемник 5 замка 2 в корпус 1 автосцепки на прилив П (опору) так, чтобы широкий палец подъемника ВПЛЦ был расположен вверх; установить замкодержатель 3 овальным отверстием на шип Ш, расположенный внутри, в верхней части головки автосцепки со стороны большого зуба БЗ; установить предохранитель замка на шип ШЗ замка (после чего этот узел вводится в карман и устанавливается на свою опору); в отверстие О корпуса автосцепки установить валик 6 подъемника, который пройдет через овальный вырез в замке и квадратное отверстие в

подъемнике; в вертикальное отверстие прилива со стороны малого зуба МЗ установить болт 7, который пройдет через выемку в валике подъемника и предотвратит его выпадение.

При сцеплении автосцепок малый зуб одной автосцепки скользит по скошенной поверхности большого или малого зуба другой. Под действием нажатия малые зубья входят в зевы автосцепок. Как только малые зубья встали на свои места, замки под действием собственного веса опускаются в нижнее положение, запирая автосцепки. При сцепленном положении верхнее плечо ВПЛЦ предохранителя замка устанавливается против противовеса замкодержателя ПЗ, исключая возможность саморасцепа. При правильном сцеплении автосцепок сигнальные отростки СО замков не видны.

Для расцепления автосцепок необходимо до отказа повернуть рукоятку расцепного рычага. При этом от натяжения цепочки начинает вращаться валик подъемника, а вместе с ним и подъемник, который верхним пальцем нажимает на нижнее плечо НПЛЦ предохранителя замка. Его верхнее плечо занимает положение выше противовеса замкодержателя, и замок получает возможность перемещаться внутрь корпуса головки автосцепки. При дальнейшем вращении верхний палец подъемника нажимает на выступ замка и отводит его в положение расцепа. Одновременно нижний палец НПЛЦ подъемника нажимает снизу на угол замкодержателя, поднимает его и далее становится за угол, после чего замкодержатель под действием собственного веса опускается обратно. Процесс расцепления завершен.

Замок останется в положении расцепа, так как опирается на верхний палец подъемника, а подъемник нижним пальцем опирается на замкодержатель, лапа ЛЗ которого прижата малым зубом соседней автосцепки. В расцепленном положении сигнальный отросток замка выступает снизу корпуса автосцепки.

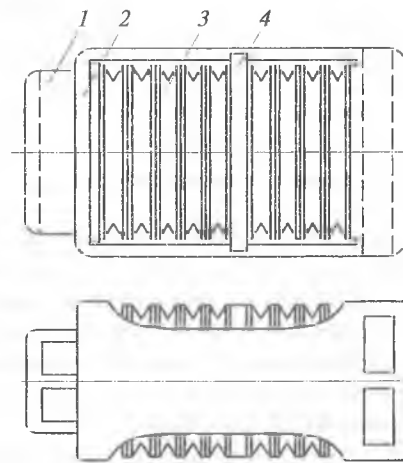


Рис. 3.4. Поглощающий аппарат пассажирских локомотивов и вагонов: 1 — нажимной конус; 2 — направляющий корпус; 3 — резинометаллический элемент; 4 — планка

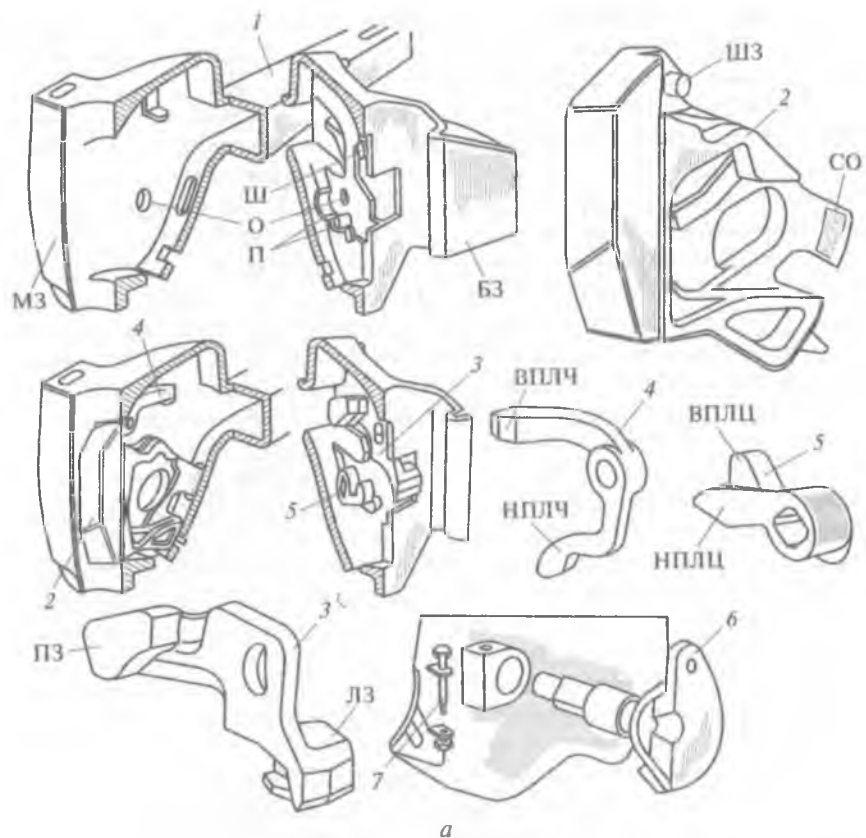


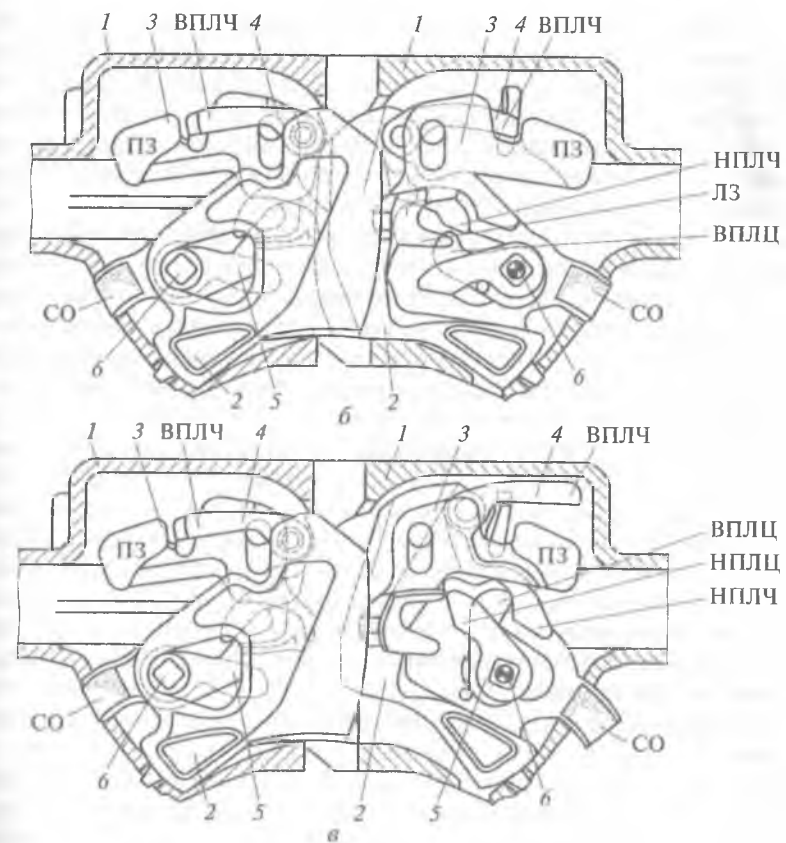
Рис. 3.5. Установка элементов сцепного механизма в корпус автосцепки  
ленных (б) и расце

1 — корпус; 2 — замок; 3 — замкодержатель; 4 — предохранитель замка (собачка); автосцепки; ВПЛЦ — верхний (широкий) палец подъемника; ВПЛЧ — верхнее НПЛЦ — нижний палец подъемника; НПЛЧ — нижнее плечо предохранителя; сигнальный отросток;

С точки зрения безопасности движения автосцепные устройства являются особо ответственными узлами. Неисправности автосцепных устройств зачастую приводят к их обрыву или саморасцепу.

Автосцепные устройства могут иметь следующие неисправности:

- уширение зева автосцепки;
- износ тяговых поверхностей;
- провисание головки автосцепки вследствие выработки опорных поверхностей маятниковых подвесок или опорного места центрирующей балочки;
- трещины головки и хвостовика автосцепки;



СА-3 в процессе сборки (а), положение сцепного механизма при сцепленных (б) автосцепках:

5 — подъемник замка; 6 — валик подъемника; 7 — болт; БЗ — большой зуб плечо предохранителя; ЛЗ — лапа замкодержателя; МЗ — малый зуб автосцепки; О — отверстие; П — прилив (опора); ПЗ — противовес замкодержателя; СО — Ш — шип; ШЗ — шип замка

- износ и изломы элементов сцепного механизма;
- излом тягового клина;
- трещины и излом хомута и пружин фрикционного аппарата.

Основные требования к автосцепным устройствам установлены в гл. 11 ПТЭ, согласно которым высота оси автосцепки над уровнем верха головки рельсов должна составлять 980...1080 мм. Изменение высоты оси автосцепки над уровнем верха головки рельса определяется главным образом толщиной бандажей колесных пар и провисанием ее головки и контролируется при ремонте локомотива в условиях депо.

При приемке локомотива локомотивная бригада должна проверить:

- подвижность замка, для чего необходимо утопить замок в головку автосцепки и затем отпустить его. При этом замок под действием собственного веса должен занять прежнее положение;

- исправность действия предохранителя, для чего необходимо нажать на лапу замкодержателя и удерживать ее, а затем попытаться утопить замок внутрь головки автосцепки. Если автосцепка исправна, то замок не должен уйти внутрь ее головки;

- действие расцепного привода, для чего повернуть рукоятку расцепного рычага и положить ее на горизонтальную полку кронштейна, оставив рычаг в таком положении, проверить расположение замка, нижняя часть которого должна быть заподлицо с ударной стенкой зева. В противном случае необходима регулировка длины цепи, которая осуществляется болтом, находящимся в отверстии плеча расцепного рычага;

- исправность механизма на удержание замка в расцепленном положении, для чего следует повернуть от руки валик подъемника до отказа, а затем другой рукой нажать на лапу замкодержателя так, чтобы она выступала вперед примерно на 20 мм (замкодержатель имеет такое положение при сцепленных автосцепках и наличии зазора между ними), и, не отпуская ее, освободить валик. При исправном механизме автосцепки замок не должен опускаться;

- свободное перемещение головки автосцепки в обе стороны из среднего положения;

- расстояние от упора головки автосцепки до ударной розетки, которое должно составлять 70...90 мм.

Во избежание саморасцепа автосцепок во время движения поезда, при прицепке локомотива к составу локомотивная бригада должна контролировать разницу по высоте между продольными осями автосцепок локомотива и первого вагона, которая регламентирована в гл. 11 ПТЭ и должна составлять 110 мм между локомотивом и первым груженым вагоном грузового поезда и не более 100 мм между локомотивом и первым вагоном пассажирского поезда.

### 3.2. Пневматические цепи управления

**Элементы пневматической цепи управления.** Пневматические цепи электропоездов и электропоездов можно разделить на две группы. К первой группе относятся пневматические цепи тормозной системы, которые рассматриваются в курсе «Тормоза подвижного состава». Ко второй группе относятся пневматические цепи управления (иногда их называют воздухопроводом автоматики), которые будут рассмотрены в этом подразделе.

Пневматические цепи управления служат для питания сжатым воздухом приводов аппаратов и устройств: электропневматичес-

ких контакторов, переключателей силовой электрической цепи и цепи управления, быстродействующих и главных выключателей, блокировок дверей высоковольтных камер и люков, приводов токоприемников, звуковых сигналов, форсунок песочниц, дверей вагонов электропоездов, стеклоочистителей и др. Сжатый воздух подводится к ним по системе трубопроводов. В пневматические цепи устанавливаются разобщительные краны, которыми можно отключить их участки от источника сжатого воздуха, например при их повреждении. Пневматические цепи управления всех электропоездов и электропоездов существенных отличий не имеют.

В качестве примера рассмотрим схему пневматической цепи управления электропоезда ВЛ10 (рис. 3.6).

Основными источниками питания сжатым воздухом являются тормозные компрессоры 16, установленные по одному на каждой секции и приводимые в действие электродвигателями М. Тормозной компрессор может быть включен только после подъема токоприемника 1 и включения быстродействующего выключателя, которые имеют пневматический привод. Однако после длительного «холодного отстоя» электропоезда, когда сжатый воздух уходит из пневматической цепи или его давление снижается, эту операцию произвести невозможно. Поэтому во второй секции установлен специальный малогабаритный двухцилиндровый вспомогательный компрессор 20 с приводом от электродвигателя, питаемого от аккумуляторной батареи. Данный компрессор включается с пульта машиниста и управляется регулятором давления, рассчитанным на давление 5 кгс/см<sup>2</sup> (500 кПа). На тот случай, если аккумуляторная батарея будет разряжена, предусмотрен вспомогательный одноцилиндровый компрессор с ручным приводом. Набор воздуха возможен и от другого работающего электропоезда через рукава питательной или тормозной магистрали.

Воздух от вспомогательного компрессора поступает к быстродействующему выключателю и пневматическим цепям подъема токоприемника, а также заполняет резервуар 21 управления вместительностью 55 л. От перетекания сжатого воздуха в порожнюю питательную магистраль цепи, питаемые вспомогательным компрессором, защищены обратным клапаном 27, пропускающим сжатый воздух только в одном направлении.

Подробно с конструкцией стандартных элементов воздухопроводов можно ознакомиться в справочниках по пневматическому и тормозному оборудованию железнодорожного подвижного состава.

**Подъем токоприемников.** Сжатый воздух от вспомогательного компрессора 20, через трехходовой кран поступает к электропневматическому вентилю 22 защиты, установленному во второй секции. При питании хотя бы одной из катушек вентиль защиты пропускает сжатый воздух к пневматическим блокировкам 5, исклю-

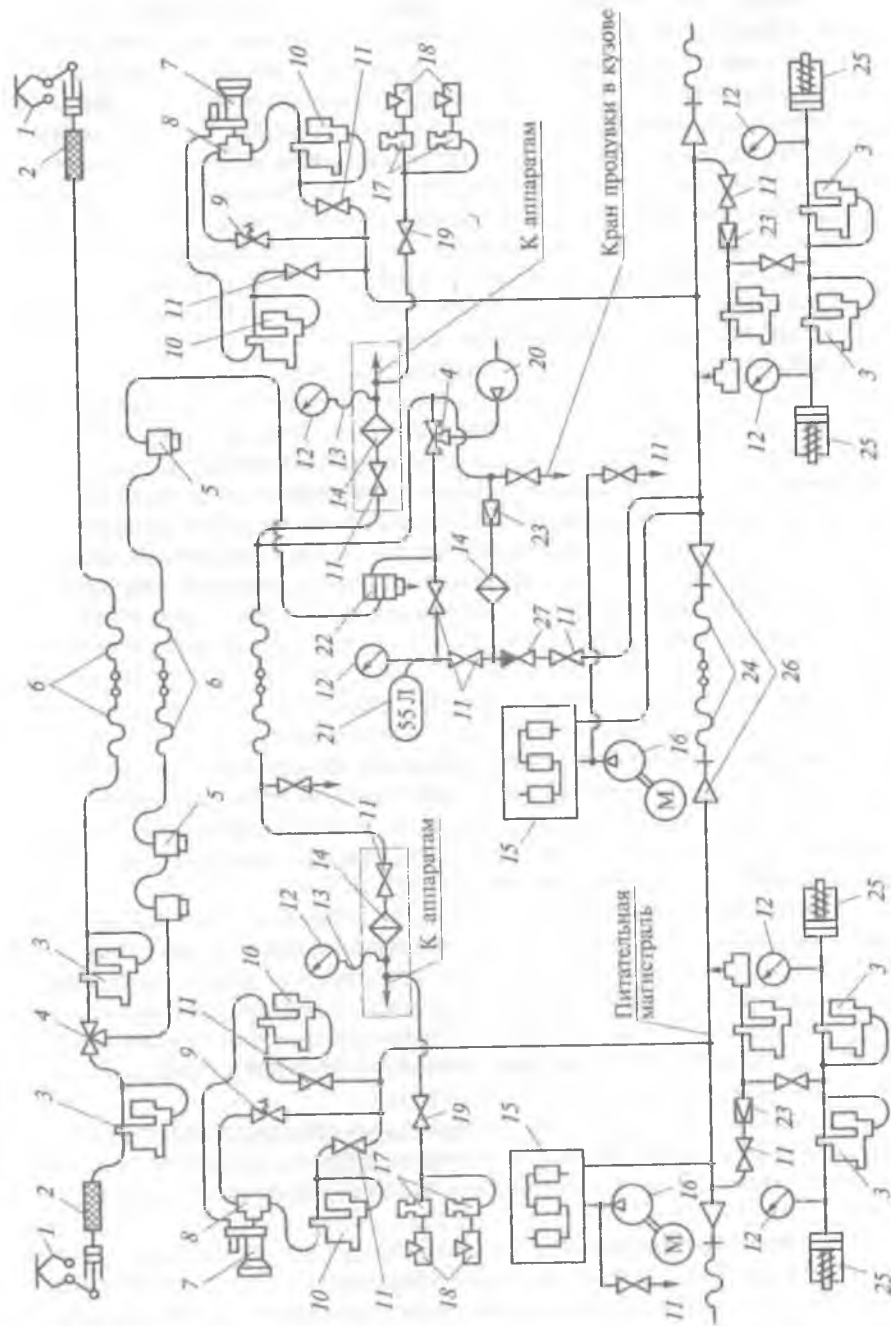


Рис. 3.6. Схема пневматической цепи управления секции электровоза ВЛ10:

1 — токоприемник; 2 — изолирующий рукав токоприемника; 3 — электропневматический клапан КП-53-05; 4 — трехходовой кран усл. № 424; 5 — пневматическая блокировка ПБ-33-02; 6 — воздушный рукав Р-23 гибкого неразъемного соединения; 7 — реву́н; 8 — переключательный клапан ЗПК; 9 — клапан КС-52; 10 — электропневматический клапан КП-39; 11 — разобщительный кран усл. № 383; 12 — манометр; 13 — воздушный рукав неразъемного соединения; 14 — фильтр Э-114; 15 — главные резервуары вместимостью 150 л каждый; 16 — тормозной компрессор; 17 — воздушный кран стеклоочистителя КР-30В; 18 — стеклоочиститель СЛ-440Б; 19 — разобщительный кран усл. № 4200; 20 — вспомогательный компрессор КБ-1В; 21 — резервуар управления; 22 — вентиль защиты ВЗ-1; 23 — редуктор усл. № 348; 24 — воздушный рукав Р-16 с соединительной головкой разъемного соединения; 25 — нагружающие цилиндры; 26 — концевой кран усл. № 190; 27 — обратный клапан Э-175; М — электродвигатель

чающим возможность открытия дверей и задвижных щитов высоковольтных камер, а также крышевых люков. Все пневматические блокировки обеих секций электровоза включены последовательно. Между секциями пневматические магистрали блокировок соединены гибким межсекционным воздушным рукавом 6. Если дверь высоковольтной камеры или крышевой люк не будут закрыты, то соответствующая блокировка не сработает и не обеспечит возможность дальнейшего движения сжатого воздуха. От пневматических блокировок через трехходовой кран воздух поступает к электропневматическим клапанам 3 подъема токоприемников. При питании их катушек сжатый воздух проходит по трубопроводам, через гибкий изолирующий рукав 2 к пневмоцилиндру привода механизма поднятия токоприемника. Так как электропневматические клапаны токоприемников расположены в первой секции, к токоприемнику второй секции воздух подводится через гибкий межсекционный рукав. Трехходовой кран, установленный между электромагнитными клапанами, позволяет отсоединить какой-либо из токоприемников, например в случае его неисправности.

При заряженной питательной магистрали сжатый воздух от ее ответвления на второй секции через разобщительный кран 11, обратный клапан 27, фильтр 14, редуктор 23 и трехходовой кран поступает к вентилю 22 защиты и далее по ранее описанной цепи к пневмоцилиндрам привода токоприемника. Редуктор предназначен для снижения давления в пневматической цепи, расположенной за ним, до давления, на которое он отрегулирован. В цепи подъема токоприемника это давление должно составлять 5 кгс/см<sup>2</sup> (500 кПа). По конструкции он аналогичен редуктору крана машиниста.

При длительных стоянках с опущенными токоприемниками для сохранения запаса сжатого воздуха для их подъема предусмотрен резервуар 21 вместимостью 55 л, который перед остановкой ком-

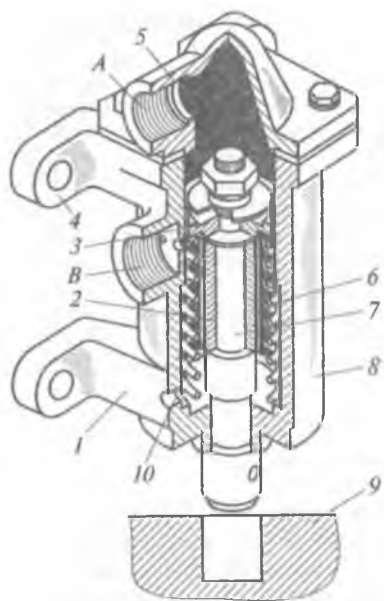


Рис. 3.7. Пневматическая блокировка ПБ-33-02:

1, 4 — приливы; 2 — втулка; 3 — поршень; 5 — крышка; 6 — пружина; 7 — шток; 8 — корпус; 9 — дверь высоковольтной камеры; 10 — отверстие, осуществляющее связь с атмосферой; А, В — отверстия

прессоров 16 заряжается до давления 9 кгс/см<sup>2</sup> (900 кПа) и сохраняет необходимый запас воздуха длительное время. При этом после его зарядки разобщительные краны 11 от питательной магистрали и к вентилю 22 защиты должны быть перекрыты. При подъеме токоприемника необходимо открыть кран к вентилю защиты.

Пневматические блокировки (рис. 3.7) применяются для авто-

матического блокирования дверей высоковольтных камер, крышевых люков и задвижных щитов при поднятом токоприемнике и наличии в его цилиндрах сжатого воздуха. На электровозах отечественного производства применяют блокировки ПБ-33-02. В чугунном корпусе 8 блокировки размещен поршень 3 с кожаным уплотнением, нагруженный пружиной 6. Поршень соединен со штоком 7 и установленной на нем втулкой 2, ограничивающей их ход. Для их установки корпус имеет два прилива — 1 и 4. Сверху корпус закрыт крышкой 5 с отверстием А для подвода сжатого воздуха. В средней части корпуса имеется боковое отверстие В. При поступлении в цилиндр сжатого воздуха от вентиля защиты через отверстие А поршень со штоком опускаются, сжимая пружину.

Если дверь высоковольтной камеры (крышевой люк, задвижной щит) закрыта, то хвостовик штока блокировки входит в специальную прорезь двери и блокирует ее. При этом поршень со штоком совершает полный ход, и верхняя кромка поршня открывает отверстие В. Так как пневматические блокировки включены последовательно, из полости над поршнем через отверстие В воздух по трубопроводу поступает к отверстию А следующей блокировки. Таким образом, блокировки последовательно срабатывают. От отверстия В последней блокировки воздух поступает к электропневматическим клапанам токоприемников.

Если дверь высоковольтной камеры (крышевой люк, задвижной щит) не закрыта, то хвостовик штока упрется в ее корпус и отверстие В не будет открыто поршнем, что исключит возмож-

ность дальнейшего прохода воздуха. При обесточивании обеих катушек вентиля защиты он выпускает воздух из полости над поршнем первой блокировки. Под действием пружины поршень со штоком перемещаются вверх, соединяя через отверстие В надпоршневую полость следующей блокировки с атмосферой через отверстие 10 в нижней части корпуса. Блокировки последовательно разблокируют двери и люки.

Вентиль защиты предназначен для подачи сжатого воздуха в цилиндры пневматических блокировок дверей высоковольтных камер, крышевых люков и далее к электропневматическим клапанам подъема токоприемника.

На электровозах постоянного тока устанавливают вентили защиты ВЗ-1 (рис. 3.8). Вентиль имеет две катушки — низковольтную 2 и высоковольтную 8. Низковольтная катушка подключена к цепи управления электровоза напряжением 50 В и получает питание при включении кнопки «Токоприемники». На высоковольтную катушку напряжение подается от контактного провода через токоприемник 16, высокоомный резистор 15 и катушку 14 реле контроля защиты. Катушки вентиля подключаются таким образом, что их магнитные потоки действуют согласованно. При возбуждении одной или обеих катушек вентиль пропускает сжатый воздух к пневматическим блокировкам.

Поясним необходимость наличия низко- и высоковольтной катушек вентеля защиты. Если вентиль имеет лишь одну низковольтную катушку, то при опускании токоприемников, т.е. при выключении кнопки «Токоприемники», она обесточивается. Пневматические блокировки при этом отключаются, что открывает доступ в высоковольтную камеру. Но возможна аварийная ситуация, когда токоприемник не опустится, например при неисправности механизма его подъема-опускания или приваривания его полоза к контактному проводу. В этом случае аппараты силовой цепи остаются под напряжением. Наличие низко- и высоковольтной катушек вентиля защиты полностью исключает возможность открытия дверей высоковольтной камеры при поднятом токоприемнике.

Последовательно с высоковольтной катушкой вентиля включена катушка реле контроля защиты. При опущенном токоприемнике, повреждении высоковольтной катушки вентиля защиты, а также при поднятом токоприемнике и отсутствии напряжения в контактной сети реле через свой размыкающий контакт подает питание на сигнальную лампу пульты машиниста.

Высокоомный резистор 15 обеспечивает необходимый ток срабатывания вентиля и реле контроля защиты при включении их на напряжение контактной сети. На электровозах ВЛ10 и ВЛ11 он состоит из 15 последовательно включенных резисторов с общим сопротивлением 21,3 кОм.



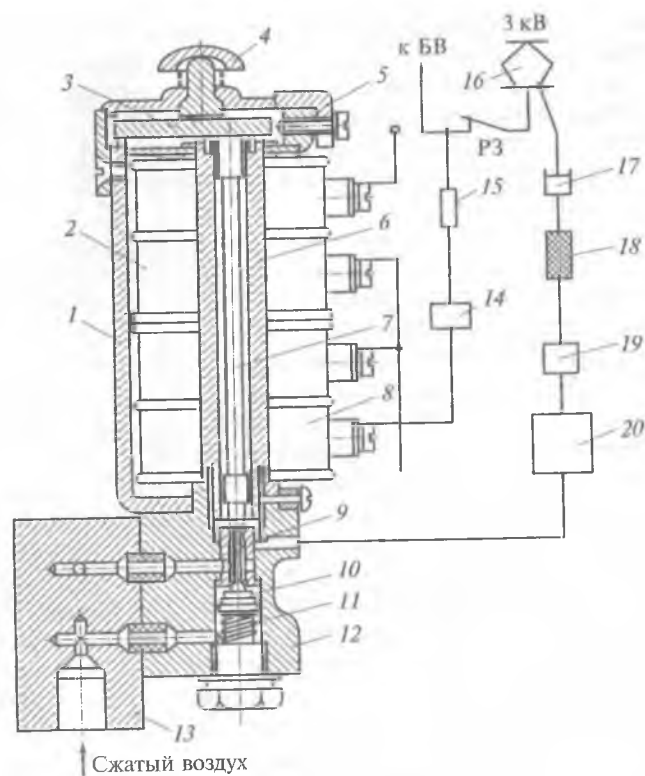


Рис. 3.8. Вентиль защиты ВЗ-1:

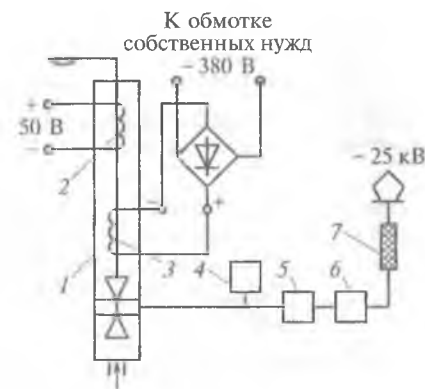
1 — магнитопровод; 2 — низковольтная катушка; 3 — яркор; 4 — кнопка ручного включения; 5 — крышка; 6 — сердечник; 7 — ствол клапана; 8 — высоковольтная катушка; 9 — седло клапана; 10 — клапан; 11 — пружина; 12 — корпус; 13 — распределительная коробка; 14 — катушка реле контроля защиты; 15 — высокоомный резистор; 16 — токоприемник; 17 — привод; 18 — изолирующий рукав; 19, 20 — пневматические блокировки; БВ — быстродействующий выключатель; PЗ — крышевой разъединитель

На электровозах переменного тока высоковольтная катушка вентиля защиты не соединена непосредственно с контактной сетью, а гальванически развязана с ней через вторичную обмотку собственных нужд тягового трансформатора (рис. 3.9). Сразу после поднятия токоприемника и включения главного выключателя катушка получает питание.

**Пневматические цепи манометра контроля давления вспомогательных пневматических цепей и привода стеклоочистителей.** Воздух от ответвления питательной магистрали на второй секции через разобщительный кран 11 (см. рис. 3.6), обратный клапан 27, фильтр 14 и редуктор 23 поступает к цепям контроля давления

Рис. 3.9. Схема включения вентиля защиты ВЗ-57:

1 — вентиль; 2 — катушка цепи управления; 3 — высоковольтная катушка; 4 — блокировка пневматического выключателя; 5, 6 — устройства пневматической блокировки дверей и крышек люков высоковольтной камеры; 7 — изолирующий рукав



вспомогательных пневматических цепей и привода стеклоочистителей обеих секций, соединенных межсекционными рукавами. Затем на каждой секции через разобщительный кран 11 и фильтр 14 воздух подходит к контрольному манометру 12, установленному на пульте помощника машиниста, и далее через краны 19 и 17 — к стеклоочистителю.

**Пневматические цепи звуковых сигналов.** Цепи звуковых сигналов обеих секций идентичны. На отечественных электровозах для подачи звуковых сигналов на каждой секции устанавливают ревуны, который состоит из тифона, подающего сигнал большой громкости, и свистка, подающего сигнал малой громкости. Воздух подается к ревуну из питательной магистрали: к свистку — через разобщительный кран 11 и электропневматический клапан 10, к тифону при электрическом управлении — через разобщительный кран, электропневматический и переключательный 8 клапаны, а при ручном управлении — через клапан 9 КС-52 с ручным приводом и переключательный клапан. Электропневматические клапаны свистков и тифонов обеих секций электрически соединены, т.е. при электрическом управлении свистки и тифоны срабатывают на обеих секциях.

**Пневматические цепи нагружающих цилиндров.** В нагружающие цилиндры сжатый воздух поступает из питательной магистрали через разобщительный кран 11, редуктор 23, снижающий давление питательной магистрали до 2,0...2,5 кгс/см<sup>2</sup> (200...250 кПа) и электропневматические клапаны. Питание этих клапанов зависит от направления движения и от силы тяги электровоза, которая косвенно определяется по силе тока тяговых двигателей. Давление в нагружающих цилиндрах 25 контролируется манометрами 12.

**Пневматическая система пескоподачи.** Эта система необходима для обеспечения подачи песка в зоны контакта колес и рельсов для увеличения их сцепления и предотвращения боксования. На качество сцепления большое влияние оказывают погодные усло-

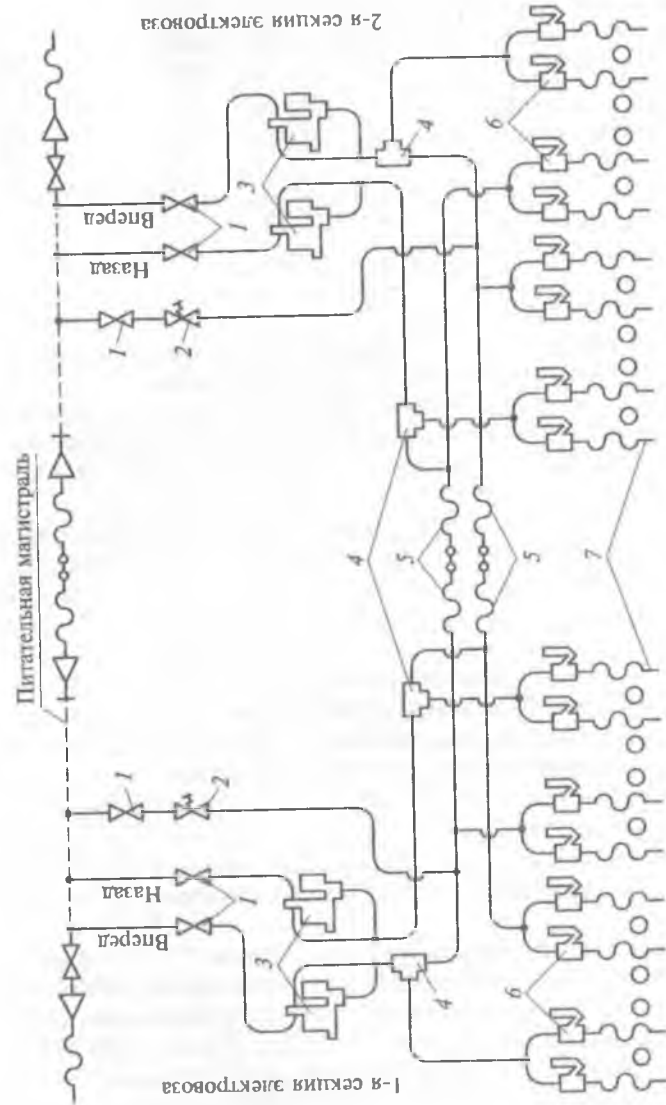


Рис. 3.10. Схема пневматической цепи пескоподачи электровоза ВЛ10:

1 — разобщительный кран усл. № 383; 2 — клапан песочницы КП-51; 3 — электропневматический клапан КП-39; 4 — переключа-  
тельный клапан ЗПК; 5 — воздушный рукав; 6 — форсунка песочницы; 7 — рукав песочницы

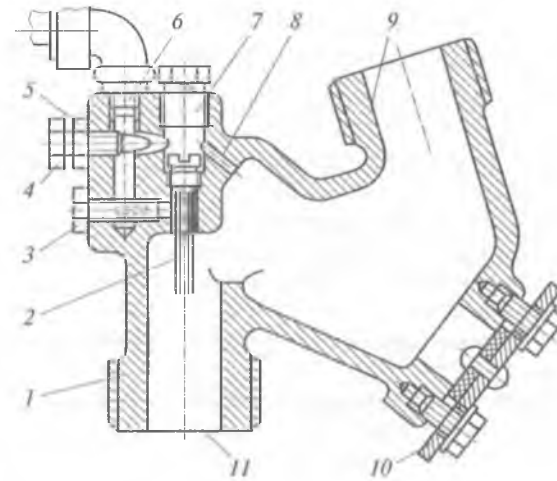


Рис. 3.11. Форсунка песочницы:

1 — корпус; 2 — направляющее сопло; 3, 4, 7 — регулировочные болты; 5 —  
гонтрайка; 6, 8 — отверстия; 9 — подводящая горловина; 10 — крышка; 11 —  
отводящая горловина

вия (влажность, заснеженность рельс) и загрязнение их поверх-  
ности. В большинстве случаев песок подается машинистом при тро-  
гании поезда, когда реализуются значительные силы тяги. Подача  
песка может осуществляться и автоматически при действии про-  
тивобоксовочной защиты. При этом срабатывают электропневма-  
тические клапаны.

В пневматическую цепь пескоподачи (рис. 3.10) воздух посту-  
пает из питательной магистрали. На каждой секции электровоза  
имеется по два электропневматических клапана 3, попарно элект-  
рически связанных друг с другом. При управлении электрово-  
зом из кабины № 1 и движении вперед запитываются электро-  
пневматические клапаны 3 обеих секций. Эти клапаны подают  
воздух от питательной магистрали через разобщительные кра-  
ны 1, и переключающие клапаны 4 к форсункам песочниц 1,  
3, 5 и 7-й колесных пар. При управлении из той же кабины и  
движении назад будет запитываться другая пара клапанов, и пе-  
сок будет подаваться под 2, 4, 6 и 8-ю колесные пары. Пневма-  
тические цепи пескоподачи обеих секций объединены межсек-  
ционными воздушными рукавами 5. Управление подачей песка  
можно осуществлять и при помощи ручного клапана 2 песочни-  
цы КП-51. В этом случае при управлении электровозом из каби-  
ны № 1 возможна подача песка лишь под 1, 3, 5 и 7-ю колесные  
пары. Песок подается к форсункам 6 из специальных бункеров,  
установленных в кузове. Так как к форсункам песочниц сжатый

воздух может подаваться по трубопроводам из разных секций, в пневматической системе с этой целью предусмотрены переключательные клапаны 4.

Форсунки песочниц (рис. 3.11) предназначены для дозированной подачи песка под колеса электровоза. Форсунка допускает предварительную регулировку подачи песка на определенный режим и выполнена из литого корпуса 1 с двумя горловинами 9 и 11 соответственно для подвода и отвода песка. В корпусе имеется отверстие 6 для подачи сжатого воздуха. Подводящая горловина при помощи трубопровода соединена с бункером песочницы, а отводящая — с подсыпной трубой, соединенной с резиновым рукавом. На противоположном конце этой горловины, в утолщении корпуса, имеется ряд отверстий с ввинченными в них болтами 3, 4 и 7 для регулировки и распределения подаваемого сжатого воздуха. В нижней части корпуса имеется отверстие, закрываемое крышкой 10, которое служит для прочистки форсунки. При подаче сжатого воздуха из питательной магистрали большая его часть через направляющее сопло 2 устремляется к выходу через отводящую горловину, а меньшая часть через наклонное отверстие 8 попадает в форсунку, разрыхляя песок, поступающий по подводящей горловине. Разрыхленный песок увлекается выходящим из направляющего сопла воздухом и выбрасывается по подсыпной трубе с резиновым рукавом на рельсы, под колеса электровоза.

#### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные элементы конструкции кузова.
2. В чем состоит назначение и каковы особенности конструкции автосцепного устройства?
3. Опишите действие сцепного механизма при сцеплении и расцеплении.
4. В каких основных документах отражены нормы по содержанию автосцепных устройств?
5. Перечислите основные виды неисправностей автосцепных устройств.
6. Каково назначение пневматических цепей управления?
7. Что является источниками сжатого воздуха в пневматических цепях управления?
8. Опишите действие пневматических цепей управления при подъеме токоприемника.
9. В чем состоит назначение и каков принцип действия пневматических блокировок, вентилей защиты?

## Глава 4

### СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

**Общие сведения.** В процессе работы электрооборудования при прохождении по его токоведущим частям (обмоткам) электрического тока происходит их нагрев, обусловленный электрическими потерями. Количество теплоты, выделяющееся при этом, как известно из курса электротехники, пропорционально произведению активного электрического сопротивления обмотки на квадрат силы тока. Допустимая температура обмоток определяется температурной стойкостью изоляции. При превышении допустимой температуры изоляция разрушается, и электрооборудование выходит из строя.

Если теплоту принудительно не отводить, то мощность электрооборудования будет существенно ограничена. Так, например, если принудительно не охлаждать тяговый двигатель, то в значительной степени следует ограничить силу его тока длительного режима, а следовательно, и мощность.

Если тяговый двигатель заменить другим такой же мощности, но без принудительного охлаждения, то его габаритные размеры и масса должны быть значительно больше, чем у первого. Такой вариант недопустим при установке тяговых двигателей в условиях ограниченного пространства под кузовом ЭПС.

Из приведенного примера становится ясно, что для увеличения мощности и сокращения габаритных размеров большей части электрооборудования требуется принудительное охлаждение. С этой целью на электровозах и электропоездах установлены системы принудительной вентиляции или самовентиляции.

При принудительной вентиляции непрерывный поток охлаждающего воздуха создается центробежными вентиляторами.

Основными элементами конструкции центробежного вентилятора (рис. 4.1) являются приводной электродвигатель 4, форкамера 2, ротор 3 с лопатками и воздухопровод 5. При вращении ротора центробежная сила отбрасывает поток воздуха к его наружной части. Далее воздух попадает в расширяющийся воздухопровод, где его скорость уменьшается, а давление увеличивается, т.е. создается напор воздуха. По воздухопроводу воздух направляется к машинам и аппаратам. При его движении внутри ротора создается разрежение, куда из-за разности давлений засасывается воздух. Засасываемый воздух проходит к ротору через жалюзи 1 кузова и форкаме-

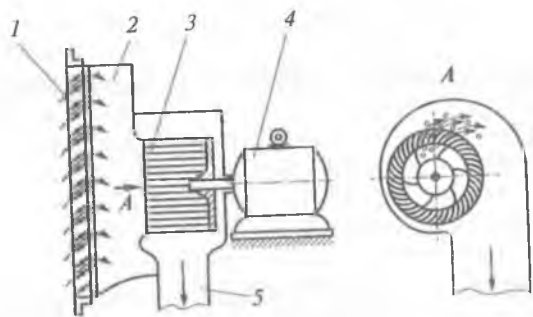


Рис. 4.1. Схема центробежного вентилятора

1 — жалюзи; 2 — форкамера; 3 — ротор с лопатками; 4 — приводной электродвигатель; 5 — воздуховод

ру, заполняя разреженное пространство. Скорость воздуха, проходящего через жалюзи в форкамеру, резко снижается, и частицы влаги, снега и пыли, содержащиеся в нем, осаждаются. Таким образом, в систему вентиляции подается в значительной степени очищенный воздух.

**Система охлаждения и вентиляции электровоза постоянного тока.**  
На восьмиосных электровозах постоянного тока в каждой секции

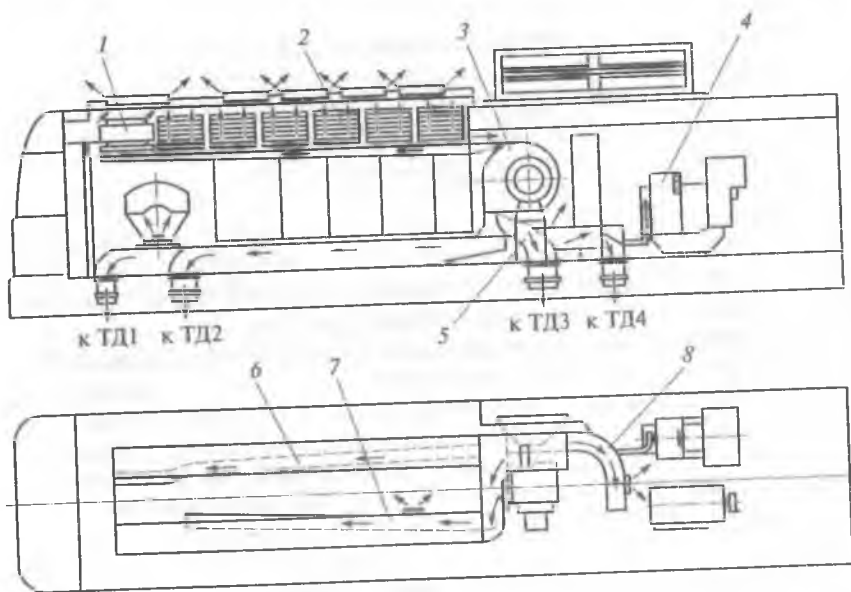


Рис. 4.2. Схема системы вентиляции электровоза постоянного тока:

1 — блок индуктивных шунтов; 2 — блок пусковых резисторов; 3 — вентилятор; 4 — двигатель компрессора; 5 — 8 — воздуховоды; ТД1 — ТД4 — тяговые двигатели

установлен один вентилятор (рис. 4.2). Воздух в его кожухе разделяется на два потока: один предназначен для охлаждения тяговых двигателей, двигателя компрессора и вентиляции кузова, другой направляется по двум воздуховодам для охлаждения пусковых резисторов, резисторов ослабления и возбуждения тяговых двигателей, а также индуктивных шунтов. Далее воздух выбрасывается в атмосферу через лабиринтные щели в крыше высоковольтной камеры.

**Система охлаждения и вентиляции электровоза переменного тока.**  
На секции восьмиосного электровоза переменного тока (рис. 4.3) воздух, всасываемый через жалюзи двумя вентиляторами, проходит сначала по специальным каналам, охлаждая индуктивные шунты, установленные в нише форкамеры. Затем от каждого вентилятора воздух подается к тяговым двигателям своей тележки.

Часть воздуха из воздухопроводов через патрубки поступает к выпрямительной установке возбуждения и в кузов, создавая в нем повышенное давление и тем самым предотвращая попадание запыленного воздуха снаружи.

Каждая секция электровоза имеет еще два спаренных вентилятора, приводимых в действие одним двигателем. Вентиляторы на-

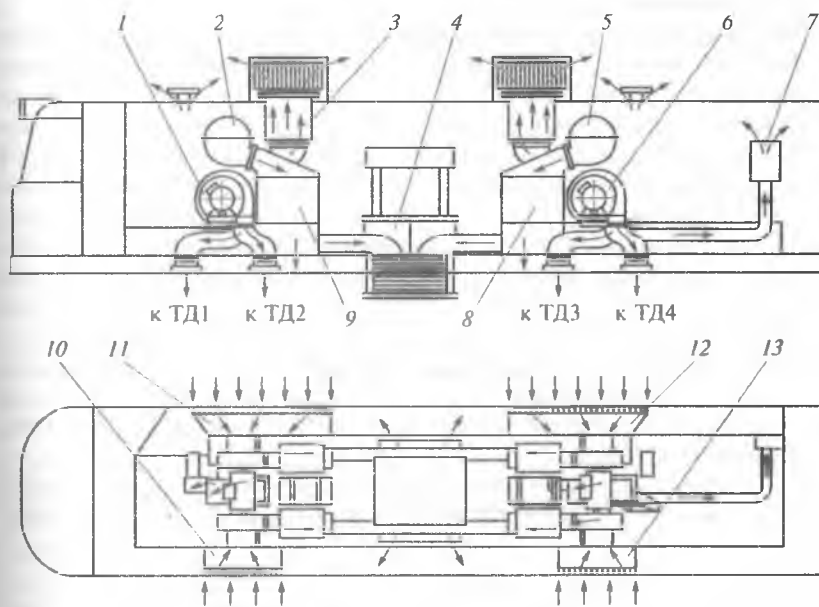


Рис. 4.3. Схема вентиляции электровоза переменного тока:

1, 2, 5, 6 — вентиляторы; 3 — блок тормозных резисторов; 4 — тяговый трансформатор; 7 — блок выпрямительной установки возбуждения; 8, 9 — выпрямители; 10 — 13 — форкамеры; ТД1 — ТД4 — тяговые двигатели

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

## Глава 5

## УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

## 5.1. Принцип действия и общее устройство электрических машин

Электрические машины ЭПС можно подразделить на три основные группы:

- электродвигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую в виде крутящего момента на валу;
- генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую;
- электромашинные преобразователи, предназначенные для преобразования рода тока (например, переменного однофазного в переменный трехфазный в расщепителе фаз).

Генераторы и электродвигатели обладают свойством обратимости, т.е. при тех или иных условиях каждая машина может работать в режиме как электродвигателя, так и генератора.

В зависимости от рода и характера изменения во времени силы тока, потребляемого электродвигателем, или напряжения, вырабатываемого генератором, электрические машины ЭПС можно разделить на машины постоянного, переменного и пульсирующего тока.

К электрическим машинам постоянного тока, устанавливаемым на ЭПС, можно отнести тяговые электродвигатели, электродвигатели вспомогательных машин и генераторы управления.

К электрическим машинам переменного тока ЭПС относятся асинхронные тяговые электродвигатели, асинхронные двигатели привода вспомогательных машин и синхронные генераторы управления.

Электрические машины пульсирующего тока применяют в основном в качестве тяговых электродвигателей на ЭПС переменного тока при их питании от вторичной обмотки однофазного тягового трансформатора через выпрямитель. Тяговые двигатели пульсирующего и постоянного тока мало отличаются друг от друга по конструкции.

сажены на разные концы вала этого двигателя, и их лопасти развернуты противоположно друг другу. Воздух, нагнетаемый этими вентиляторами, прогоняется через выпрямители и сглаживающие реакторы. Затем часть воздуха выбрасывается в атмосферу, а оставшаяся его часть охлаждает секции теплообменника тягового трансформатора и затем выходит в атмосферу.

**Система охлаждения и вентиляции оборудования электропоездов.** Тяговые двигатели электропоездов охлаждаются в режиме самовентиляции. Для этого их якоря имеют специальные лопасти. Воздух для их охлаждения забирается через жалюзи, расположенные над входными дверями и соединенные вентиляционным каналом с фильтрами. Далее по вертикальному каналу, находящемуся внутри кузова, и по подвагонному каналу через гибкое соединение воздух поступает к двигателю, проходит через него и выбрасывается в атмосферу.

Данная схема охлаждения тягового двигателя применима только для его работы на электропоезде, так как сила тока, способного вызвать перегрев двигателя, достигается в режиме пуска лишь в течение непродолжительного времени.

На головных и прицепных вагонах электропоездов постоянно тока посредством самовентиляции охлаждается и машинный преобразователь.

На моторном вагоне электропоезда ЭР9М установлена система охлаждения выпрямительной установки, реактора и охладителя масла тягового трансформатора. Для подачи воздуха к этим агрегатам на валу расщепителя фаз установлено вентиляторное колесо. Воздух забирается через жалюзи в боковых стенках и подается в фильтровую камеру. Из камеры он засасывается вентиляторным колесом и подается по двум трактам: расщепитель фаз — атмосфера (для охлаждения самого расщепителя фаз) и выпрямительная установка, реактор, охладитель масла трансформатора — атмосфера.

## Контрольные вопросы

1. Чем вызвана необходимость охлаждения электрооборудования электроподвижного состава?
2. Назовите основные типы систем вентиляции электрических машин.
3. Перечислите основные элементы конструкции центробежного вентилятора.

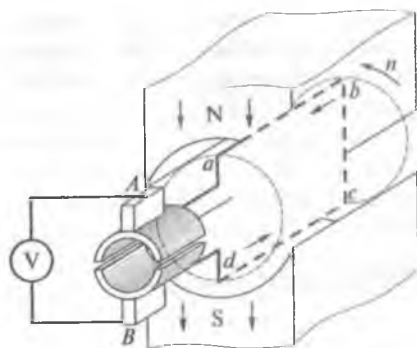


Рис. 5.1. Простейшая электрическая машина постоянного тока коллекторного типа:

$abcd$  — секция якоря;  $A, B$  — щетки;  $n$  — частота вращения якоря;  $N, S$  — главные полюсы постоянного магнита;  $V$  — вольтметр

На современном отечественном ЭПС значительную часть электрических машин составляют машины постоянного тока. Рассмотрим их принцип действия.

Простейшая электрическая машина постоянного тока коллекторного типа (рис. 5.1) представляет собой секцию  $abcd$  якоря — виток проводника, уложенного в пазы стального цилиндрического сердечника — якоря, который вращается в магнитном поле, создаваемом главными полюсами  $N$  и  $S$  постоянного магнита. Концы секции присоединены к двум изолированным друг от друга полукольцам — к коллектору, вращающемуся вместе с якорем. Подключение внешнего электрооборудования к секции осуществляется при помощи неподвижных щеток, скользящих по коллектору при вращении якоря.

В режиме генератора при вращении якоря в магнитном поле главных полюсов в проводниках (сторонах) секций  $ab$  и  $cd$  якоря индуцируются ЭДС, пропорциональные магнитной индукции, длине проводника и частоте вращения якоря, причем каждый проводник, уложенный в паз якоря, занимает поочередно положение под северным и южным полюсами. Таким образом, в проводниках секции наводится переменная синусоидальная ЭДС. Если бы не было коллектора, а вместо него устанавливались контактные кольца, аналогичные применяемым в генераторах переменного тока, то при подключении внешней нагрузки в ее цепи протекал бы переменный ток.

Во всех коллекторных машинах число щеток строго соответствует числу полюсов. Коллекторные пластины, переходя от одной щетки к другой, обеспечивают соединение каждой щетки с проводником секции, находящимся только под одним полюсом. Поэтому щетка  $A$  все время соединяется с проводником, находящимся под полюсом  $N$ , а щетка  $B$  — с проводником под полюсом  $S$ . Тем самым обеспечивается неизменность полярности щеток и направления тока во внешней цепи.

Максимальное значение ЭДС секции достигается при ее нахождении под центром полюса, когда скорость перемещения ее

проводников относительно силовых линий магнитного поля максимальна. При дальнейшем вращении якоря эта скорость и соответственно ЭДС убывают. При горизонтальном положении секции, т.е. при ее нахождении на геометрической нейтрали, ЭДС равна нулю. Таким образом, в цепи внешней нагрузки течет постоянный по направлению пульсирующий ток.

Пульсации тока во внешней цепи можно снизить, выполнив обмотку из большего числа секций, каждая из которых присоединена к двум коллекторным пластинам. При значительном числе секций эти пульсации незаметны, ток во внешней цепи становится постоянным не только по направлению, но и по величине. Поэтому коллекторные машины обычно имеют большое число секций и коллекторных пластин на якоре.

При работе электрической машины в режиме двигателя, или, иначе говоря, при подключении ее к источнику постоянного напряжения, в секции обмотки якоря течет ток. Согласно закону Ампера на каждый проводник действует электромагнитная сила, пропорциональная силе тока и магнитной индукции поля главных полюсов. Возникшая пара сил на проводниках секции создает крутящий электромагнитный момент, который приводит якорь во вращение.

При работе электрической машины в режиме генератора на якоре также возникает электромагнитный момент, только в отличие от момента электродвигателя, будучи тормозным, он препятствует вращению якоря.

Электрическая машина постоянного тока (рис. 5.2) состоит из станины  $б$  с системой полюсов, якоря с обмоткой  $9$  и коллектором  $1$ , а также щеточного аппарата. Якорь вращается в подшипниках, установленных в подшипниковых щитах  $7$ . Станина с закрепленными на ней полюсами отделена от якоря воздушным зазором. Для охлаждения электрической машины применяется вентилятор  $8$ .

Подключение электрической машины к внешней цепи осуществляется через расположенные на станине зажимы, закрепленные на планках или клеммных коробках, а в некоторых машинах — на переднем подшипниковом щите.

Рассмотрим подробно конструкцию основных элементов электрических машин постоянного тока.

*Станина* в машинах постоянного тока служит в первую очередь магнитопроводом для магнитного потока главных и добавочных полюсов, сердечники которых прикреплены к ней болтами. Станины двигателей постоянного тока выполняют в основном литыми из стали. При питании двигателя пульсирующим током, например, от статического преобразователя или вторичной обмотки однофазного трансформатора через выпрямитель станину выполняют шихтованной — набранной из тонких листов электро-технической стали, стянутых между собой и изолированных друг

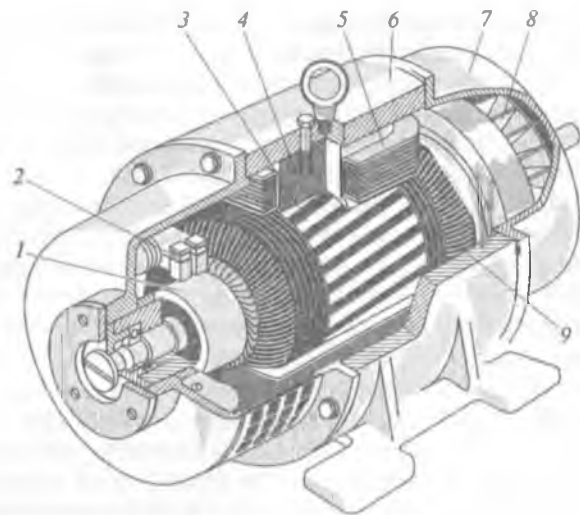


Рис. 5.2. Общий вид машины постоянного тока:

1 — коллектор; 2 — щетка; 3 — сердечник якоря; 4 — сердечник главного полюса; 5 — обмотка возбуждения; 6 — станина; 7 — подшипниковый щит; 8 — вентилятор; 9 — обмотка якоря

от друга специальным лаком. Этим обеспечивается снижение потерь на вихревые токи, вызываемые пульсацией магнитного потока. С торцов к станине крепятся подшипниковые щиты с якорными подшипниками. Станина имеет лапы, с помощью которых производят крепление электрической машины.

Так как при использовании постоянных магнитов невозможно обеспечить значительную индукцию магнитного поля в воздушном зазоре, это поле создается обмоткой возбуждения, расположенной на сердечниках *главных полюсов* и питаемой постоянным током. Обмотки главных полюсов выполнены в виде катушек из медного изолированного провода, устанавливаемых на сердечниках. Со стороны, обращенной к якорю, сердечники оканчиваются полюсными наконечниками, обеспечивающими равномерное распределение магнитного потока по поверхности якоря. На мощных машинах, таких, как тяговые двигатели электровозов, для улучшения условий коммутации в сердечники главных полюсов укладывают компенсационную обмотку, включаемую последовательно с обмоткой якоря. Для уменьшения потерь на вихревые токи сердечник выполняют шихтованным.

На большинстве машин постоянного тока мощностью свыше 1 кВт приемлемые условия коммутации обеспечивает установка *добавочных полюсов*. Добавочный полюс, как и главный, включает в себя сердечник и катушку из изолированного медного провода,

сечение которого рассчитано исходя из силы рабочего тока машины, поскольку катушка этого полюса, как и компенсационная обмотка, соединяется последовательно с обмоткой якоря.

Воздушный зазор под добавочными полюсами значительно больше, чем под главными. Величина воздушного зазора между добавочными полюсами якоря регулируется с помощью пластин из магнитного или немагнитного материала. Окончательная величина воздушного зазора устанавливается при настройке коммутации электрической машины в соответствии с результатами построения предельных кривых зоны безыскровой коммутации.

*Якорь* машины постоянного тока состоит из вала, сердечника, обмотки и коллектора.

Сердечник якоря представляет собой цилиндр, набранный из штампованных листов электротехнической стали толщиной 0,35 или 0,5 мм. Листы изолируют друг от друга лаком или бумагой и собирают в общий пакет, который насаживают на вал якоря. Пакет удерживается в сжатом состоянии нажимными шайбами. Такая конструкция сердечника якоря позволяет уменьшить потери энергии в нем, связанные с действием вихревых токов, которые возникают в результате перемагничивания сердечника при вращении якоря в магнитном поле. Для лучшего охлаждения машины в сердечниках якоря обычно устраивают вентиляционные каналы для прохождения охлаждающего воздуха.

Обмотку якоря выполняют из медного провода круглого или прямоугольного сечения. На поверхности сердечника имеются продольные пазы, в которые укладывается обмотка якоря, где она тщательно изолируется от сердечника. Пазы могут быть открытыми и полузакрытыми. Открытые пазы применяют в машинах средней и большой мощности, а полузакрытые — в машинах малой мощности.

Обмотка якоря состоит из секций, концы которых припаиваются к пластинам коллектора.

Для прочного закрепления проводов обмотки якоря в пазах применяются деревянные, гетинаксовые или текстолитовые клинья. Использование деревянных клиньев не обеспечивает надежного крепления, так как при высыхании их посадка ослабевает и они могут выпасть из паза. В машинах малой мощности пазы прикрывают сверху бандажом. Для того чтобы бандаж не выступал за пределы якоря, посадочная поверхность под бандаж имеет несколько меньший диаметр, чем габаритный диаметр якоря.

Бандаж выполняют из стальной или бронзовой проволоки, наматываемой непосредственно на стальной якорь.

Выступающие из пазов якоря части обмотки крепятся к обмоткодержателю также при помощи проволочных бандажей.

Коллектор (рис. 5.3) состоит из активной части и крепежной конструкции. Коллекторные пластины выполняют из холоднока-

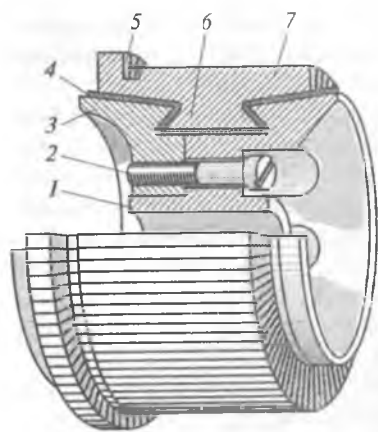


Рис. 5.3. Общий вид коллектора электрической машины постоянного тока:  
 1 — корпус; 2 — стяжной болт; 3 — нажимное кольцо; 4 — изоляция; 5 — петушок; 6 — нижняя часть коллекторной пластины (ласточкин хвост); 7 — пластина

таной меди (коллекторная медь), которые изолируют от друга прокладками из коллекторного миканита, представляющего собой чешуйки шипаной слюды, содержа-

щиеся в шеллаке, используемом в качестве связующего компонента (около 5%).

При повышенных механических и термических нагрузках для коллекторных пластин применяется медь с присадкой серебра (около 0,1%) или циркония (около 0,06%). Оба этих медных сплава с высокой электропроводностью имеют удовлетворительные механические свойства при повышенной температуре.

Выступающую часть коллекторной пластины называют петушком. К ней припаивают провода обмотки якоря. Нижняя часть пластины имеет форму ласточкиного хвоста. После сборки коллектора эти края оказываются зажатыми между двумя нажимными шайбами, изолированными от коллекторных пластин миканитовыми конусами и цилиндрами. Чтобы миканитовые прокладки при срабатывании пластин коллектора не выступали над ними, необходимо продорожить коллекторы, т. е. утопить миканитовую изоляцию на глубину до 1,5 мм от поверхности скольжения коллектора (в радиальном направлении). При этом уменьшается опасность возникновения кругового огня, которому благоприятствует наличие электрических перекрытий между медными пластинами, а также снижается износ угольных щеток.

В зависимости от положения поверхности скольжения щеток различают две основные группы коллекторов — дисковые и цилиндрические.

У дисковых коллекторов поверхность скольжения пластин представляет собой плоскость, перпендикулярную оси якоря, в то время как у цилиндрического (барabanного) коллектора поверхность скольжения является поверхностью кругового цилиндра, параллельного оси якоря. В настоящее время наиболее часто применяются цилиндрические коллекторы.

По способу крепления коллекторных пластин различают следующие группы цилиндрических коллекторов:

- с пластинами, запрессованными в пластмассу, которая в этом случае является скрепляющим и изолирующим материалом. Такая конструкция коллектора проста в изготовлении, но может использоваться лишь в машинах малой мощности при частоте вращения до 10 000 об/мин;

- арочной конструкции с торцовыми поверхностями в виде ласточкиного хвоста, которые сжимаются при помощи V-образных нажимных колец так, что на наклонные поверхности коллекторных пластин действует нормальное давление. Пластины коллектора изолируют от нажимных колец специально сформированными изоляционными прокладками.

Для соединения коллекторных пластин с обмоткой якоря при небольшой разнице диаметров якоря и коллектора коллекторные пластины выдвигаются вверх, вплоть до уровня пазов якоря (гребенчатый коллектор).

У малых электрических машин с обмоткой из проводника круглого сечения концы секций обычно закладывают непосредственно в выфрезерованные в коллекторной пластине пазы, производят пайку методом погружения, а затем обтачивают коллектор.

Однако в большинстве случаев, особенно при большой разнице диаметра якоря и коллектора, пластины соединяют с обмоткой якоря посредством петушков. В пластинах на стороне якоря предусматривают выфрезерованные прорезы (шлицы), которые, как правило, выполняют перед сборкой коллектора. Коллекторные петушки обычно впаивают в эти шлицы с применением мягкого припоя. Петушки изготавливают из полосовой меди толщиной 0,5...1,5 мм. Их лудят, а затем соединяют с концами обмоток при помощи стяжных скоб.

Щетки обеспечивают подвижный электрический контакт с поверхностью коллектора, через который проходит ток большой силы. Скорость перемещения коллектора относительно щетки может достигать 160 км/ч.

Щетки подразделяют на угольные и металлические в зависимости от вида материала, используемого для их изготовления.

Металлические щетки изготавливают из металлического порошка (в основном медного), смешивая его с большим количеством (до 80%) высококачественного чешуйчатого графита. Для получения угольных щеток применяют аморфные вещества, такие, как сажа, нефтяной и дегтярный кокс.

В настоящее время большинство электрических машин снабжены угольными щетками. Основными достоинствами последних являются их высокая электропроводность, уменьшение электрического сопротивления при нагреве, низкий коэффициент трения при скольжении по коллектору. В отличие от металлических угольные щетки не расплавляются и не привариваются к коллектору при искрении и круговом огне.



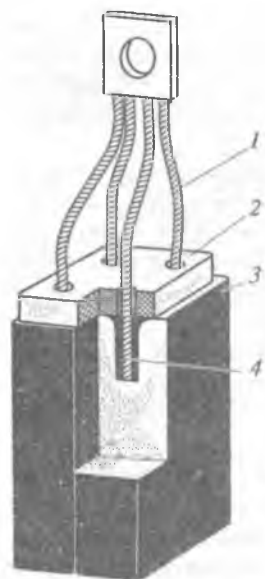


Рис. 5.4. Разрезная щетка:

1 — гибкий шунт; 2 — резиновый амортизатор; 3 — корпус; 4 — прессованный медный порошок

Угольные щетки различаются по твердости. Более мягкие щетки обеспечивают минимальный износ коллектора, но в то же время сами быстро изнашиваются, и наоборот.

По конструктивному исполнению щетки делят на цельные и разрезные (сдвоенные). Цельные щетки используют во всех случаях, когда позволяют условия работы. Для получения надежного подвижного контакта при работе машины с токами нагрузки большой силы применяют разрезные щетки.

На тяговых двигателях отечественного ЭПС используют разрезные угольные щетки (рис. 5.4) с резиновыми амортизаторами 2 и гибкими медными выводными шунтами 1. Гибкие шунты впрессованы в корпус 3 щетки с применением медного порошка 4 и специальной цементирующей пасты. Резиновый амортизатор в процессе работы поглощает незначительную вибрацию, не допуская отрыва щетки от коллектора.

Фиксация щеток в электрической машине осуществляется при помощи щеткодержателей, установленных на поворотной траверсе.

Щеткодержатели вместе с их траверсой выполняют следующие функции:

- удерживают щетки в необходимом положении и обеспечивают их свободное перемещение без перекоса при работе;
- обеспечивают необходимое нажатие на щетки, по возможности постоянное во всем диапазоне их допустимого износа. Это осуществляется с помощью соответствующей кинематической схемы щеткодержателя или регулированием давления вручную;
- передают ток щеток (раздельно для положительных и отрицательных щеток) в якорь или от него;
- изолируют щеткодержатель от корпуса электрической машины с целью предотвращения короткого замыкания тока на элементы корпуса.

Для уменьшения вибрации щеткодержатель должен иметь достаточную жесткость при минимальном расстоянии до окружности коллектора.

Рассмотрим конструкцию щеткодержателя (рис. 5.5) тягового двигателя электровоза. Щеткодержатель состоит из литого корпуса 1, имеющего кронштейн для крепления к поворотной траверсе двигателя, нажимных пальцев 8 и цилиндрических пружин 3, работающих на растяжение. В корпусе имеются окна для установки комплекта щеток. Так как корпус является токопроводящим элементом машины, его обычно изготавливают из латуни. Пружины

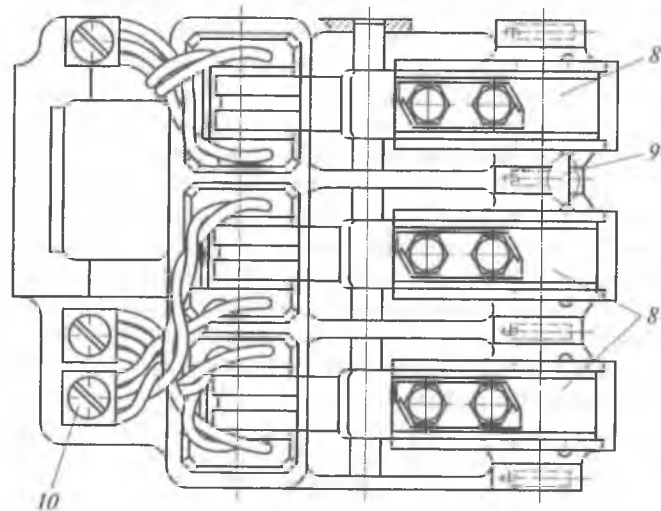
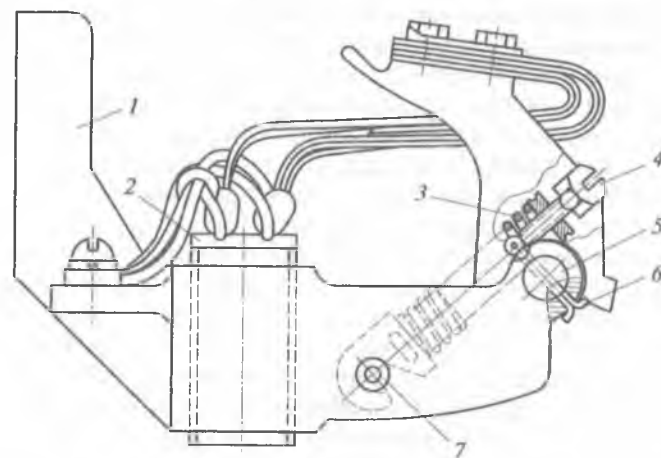


Рис. 5.5. Щеткодержатель:

1 — корпус; 2 — разрезная щетка; 3 — пружина; 4 — регулировочный винт нажатия на щетку; 5, 7, 9 — оси; 6 — шплинт; 8 — нажимные пальцы; 10 — контактный винт

закрепляют одним концом на оси 7, установленной в отверстиях корпуса, а другим — на оси 5 нажимного пальца с помощью винта 4. Винтом также регулируют натяг пружины.

В процессе работы электрической машины усилие натяжения пружины передается через нажимной палец на амортизатор щетки 2, чем обеспечивает ее прижатие к коллектору. Особенности кинематики нажимного механизма позволяют получить почти постоянное нажатие на щетку при изменении ее длины в процессе эксплуатации. Регулируемое усилие нажатия на щетку тягового двигателя электровоза должно составлять 50 Н. Кроме того, при наибольшем допустимом износе щетки нажатие на нее автоматически прекращается, что позволяет избежать повреждения поверхности коллектора гибкими шунтами изношенной щетки. Число щеток и окон корпуса щеткодержателя, предназначенных для их установки, выбирается исходя из максимального значения силы тока, на которую рассчитана щетка.

В процессе работы ток от корпуса щеткодержателя проходит к щетке по двум путям. Прохождение тока между поверхностями щетки и щеткодержателя не является основным, так как контакт между этими поверхностями нестабилен из-за имеющегося зазора между щеткой и щеткодержателем. Значительная часть тока проходит через гибкий шунт щетки, наконечник которого должен надежно крепиться при помощи винтов 10 к корпусу щеткодержателя. Ослабление соединения между гибким шунтом и корпусом приводит к увеличению переходного сопротивления поверхности контакта, что при прохождении тока вызывает ее сильный нагрев.

Важную роль (особенно для реверсивных машин) в обеспечении надежного скользящего контакта между поверхностью коллектора и щеткой играет зазор между ее боковой поверхностью и стенками окна щеткодержателя. При чрезмерном увеличении этого зазора в процессе работы машины происходит перекося щетки, что уменьшает поверхность ее контакта с коллектором и вызывает искрение, а также ее неравномерный износ. При реверсировании электрической машины происходит перекося щетки в обратном направлении, вызывающий ее излом по краям. Увеличение зазора между боковыми поверхностями щеток и щеткодержателя можно объяснить наличием трения между этими поверхностями при вибрации щеток.

## 5.2. Изоляция

Изоляция предназначена для электрического разделения частей электрической машины, имеющих разный электрический потенциал при ее работе. Повреждение изоляции или снижение ее сопротивления приводит к короткому замыканию токоведущих час-

тей и выходу электрической машины из строя. Короткое замыкание сопровождается резким ростом силы тока, вызывающим срабатывание защитной аппаратуры. Поэтому состоянию изоляции электрических машин в эксплуатации уделяется особое внимание.

К изоляционным относятся неметаллические материалы, такие, как стекло, миканит, фарфор, дерево, картон, пластмассы, компаунды, сухой воздух и др. Каждый изоляционный материал можно характеризовать его электрической прочностью, т.е. напряжением, которое вызывает электрический пробой. Электрическую прочность можно определить приложив к материалу два электрода и плавно увеличивая напряжение. Электрическая прочность изоляции зависит прежде всего от диэлектрической проницаемости материала и ее толщины. Чем больше толщина изоляции, тем выше ее электрическая прочность. В эксплуатации к этим двум факторам добавляются ее загрязненность и влажность.

При проектировании электрических машин толщину изоляции выбирают из условия обеспечения их электрической прочности при заданных режимах работы. Однако в то же время изоляционный слой стараются выполнить как можно более тонким. Это объясняется следующим.

Во первых, при увеличении толщины слоя изоляции уменьшается такой показатель электрической машины, как коэффициент заполнения паза медью. Его можно определить как отношение суммы площадей сечений всех проводов, уложенных в пазу якоря, к площади самого паза. Чем больше этот коэффициент, тем более высокую мощность может развить электрическая машина данных габаритных размеров.

Во вторых, поскольку изоляционные материалы обладают низкой теплопроводностью, увеличение толщины изоляционного слоя влечет за собой снижение интенсивности теплоотвода от токоведущих частей и, следовательно, перегрев и повреждение самой изоляции.

Кроме перегрева причинами повреждения изоляции могут быть естественное старение, попадание в машину посторонних предметов, вибрация, повышенная загрязненность и влажность изолированных поверхностей.

В процессе эксплуатации электрических машин происходят короткие замыкания двигателя в результате нарушения целостности изоляции его токоведущих частей, а также утечек тока по поверхностям электрической машины. При этом возможно полное и неполное короткое замыкание. Полное короткое замыкание характеризуется резким увеличением силы тока между токоведущими частями с поврежденной изоляцией. Следствием этого является срабатывание аппаратов защиты, выключающих машину из сети, что препятствует дальнейшему разрушению изоляции и выплавлению токоведущих частей. Неполное короткое

замыкание не приводит к срабатыванию аппаратов защиты. Его причиной при поврежденной изоляции токоведущих частей может быть малая разность потенциалов между ними либо довольно большое сопротивление поврежденного участка изоляции, что вызывает только незначительный рост силы тока короткого замыкания.

Неполное короткое замыкание также возможно при наличии на поверхности электрической машины загрязнений в виде токопроводящей угольной пыли от щеток или пыли, попавшей через вентиляционную систему машины. По этим загрязнениям происходит перетекание тока между участками токоведущих частей с разными потенциалами. Например, в двигателе электровоза и электропоезда постоянного тока по загрязнениям может перетекать ток от щеткодержателя с положительной полярностью по поверхности его фарфорового изолятора и траверсе на корпус, имеющий отрицательный потенциал.

При увеличении концентрации токопроводящей пыли или влажности поверхности сопротивление утечки резко падает, что вызывает полное короткое замыкание. В процессе эксплуатации электродвигателей для удаления токопроводящей пыли производят их обдувку и очистку или сушку изоляции при пропуске через машину воздуха.

### 5.3. Обмотки якоря электрических машин

**Простая петлевая обмотка.** В зависимости от формы секций и способа присоединения их к коллектору различают следующие типы якорных обмоток: простая и сложная петлевая, простая и сложная волновая, а также комбинированная (лягушечья).

При изготовлении петлевой обмотки в первую очередь последовательно соединяют секции, начала которых находятся под одним полюсом, а затем секции, расположенные под следующим полюсом, и т. д. В простой петлевой обмотке якоря каждая секция присоединена к двум рядом лежащим коллекторным пластинам. На рис. 5.6 приведена одновитковая секция петлевой обмотки (здесь и далее верхняя сторона секции изображена сплошной линией, а нижняя — штриховой).

При укладке секций на сердечник якоря начало каждой последующей секции соединяют с концом предыдущей, постепенно перемещаясь при этом по поверхности якоря (и коллектора) так, что за один обход укладывают все секции обмотки. В результате конец последней секции оказывается соединенным с началом первой, и обмотка замыкается.

На рис. 5.7 представлена часть простой петлевой обмотки и указан ее шаг — расстояние между активными сторонами секций по

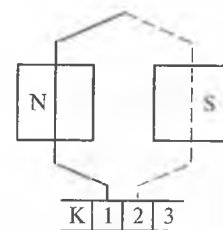


Рис. 5.6. Одновитковая секция петлевой обмотки:

1, 2, ..., К — номера коллекторных пластин; N, S — полюсы постоянного магнита

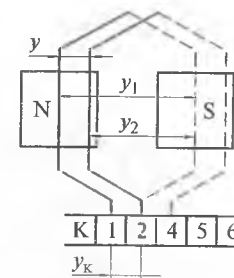


Рис. 5.7. Шаги простой петлевой обмотки:

1, 2, ..., К — номера коллекторных пластин;  $y$  — результирующий шаг обмотки по якорю;  $y_1, y_2$  — первый и второй частичные шаги обмотки по якорю;  $y_k$  — шаг обмотки по коллектору; N, S — полюсы постоянного магнита

якорю, выраженное числом элементарных пазов между соединяемыми сторонами.

Реальный паз может состоять из одного или нескольких элементарных пазов, т. е. по ширине паза может располагаться одна или несколько секционных сторон. Кратчайшее расстояние между активными сторонами одной секции на поверхности якоря называют *первым частичным шагом обмотки по якорю*. Это расстояние измеряется числом элементарных пазов и должно быть равно или незначительно отличаться от полюсного деления.

Расстояние между активными сторонами нижнего слоя первой секции и верхнего слоя второй секции называют *вторым частичным шагом обмотки по якорю* и измеряют числом элементарных пазов.

При укладке секций обмотки перемещаются не только по сердечнику якоря, но и по коллектору. Расстояние между двумя коллекторными пластинами, к которым присоединены начало и конец одной секции, называется *шагом обмотки по коллектору* и измеряется числом коллекторных делений (пластин).

Как следует из определения простой петлевой обмотки, начало и конец каждой ее секции присоединяется к рядом расположенным коллекторным пластинам.

Развертку простой петлевой обмотки (рис. 5.8) строят следующим образом. На листе бумаги размечают пазы и наносят контуры полюсов. Следует отметить, что все пазы сердечника якоря и секции обмотки нумеруются, причем номер секции определяется номером паза, в верхней части которого находится одна из ее активных сторон. Изображенный на схеме полюс представляет со-

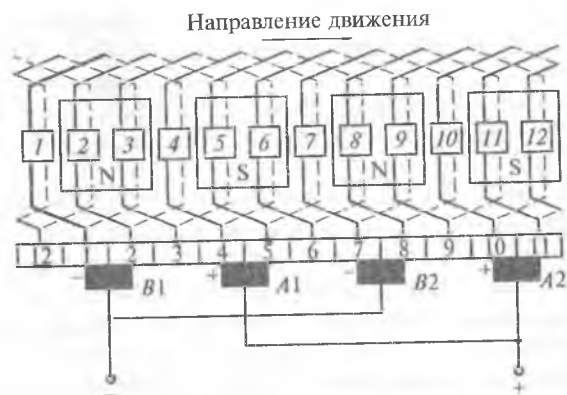


Рис. 5.8. Развертка простой петлевой обмотки:

1—12 — номера пазов якоря; 1—12 — номера коллекторных пластин; A1, A2 — щетки положительной полярности; B1, B2 — щетки отрицательной полярности; N, S — полюсы постоянного магнита

бой зеркальное отражение полюса, находящегося над якорем. Полярность полюсов чередуется: N—S—N—S.

Далее изображают коллекторные пластины и наносят первую секцию, активные стороны которой расположены в пазах 1 и 4 якоря. Коллекторные пластины, к которым присоединены концы первой секции, обозначают цифрами 1 и 2, нумеруют остальные коллекторные пластины и последовательно наносят другие секции. Последняя, 12-я секция должна замкнуть обмотку, что будет свидетельствовать о правильном выполнении развертки.

Затем изображают щетки. Расстояние между соседними щетками разной полярности должно соответствовать полюсному делению — части поверхности якоря, приходящейся на один полюс. При расположении щеток на коллекторе необходимо руководствоваться следующим. Предположим, что электрический контакт якорной обмотки с внешней цепью осуществляется через коллектор и щетки. Наибольшее значение ЭДС машины соответствует положению щеток на геометрической нейтрали (рис. 5.9). Но так как коллекторные пластины, к которым присоединены секции, смеще-

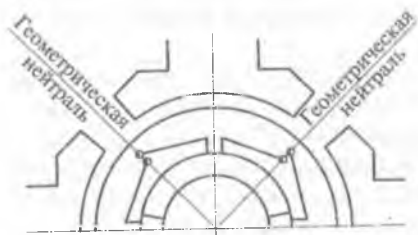


Рис. 5.9. Расположение геометрических нейтралей электрической машины постоянного тока

ны относительно активных сторон этих секций на половину полюсного деления, в действительности щетки следует располагать по оси главных полюсов машины.

Предположим, что машина работает в режиме генератора и ее якорь вращается слева направо. Воспользовавшись правилом правой руки, определяем направление ЭДС (тока), индуцируемой в активных сторонах секций. Это позволяет установить полярность щеток (см. рис. 5.8): щетки A1 и A2, от которых ток отводится во внешнюю цепь, являются положительными, а щетки B1 и B2 — отрицательными. Щетки одинаковой полярности соединяют параллельно и подключают к соответствующим выводам машины.

Простая петлевая обмотка состоит из четырех участков, каждый из которых образует ее параллельную ветвь и представляет собой несколько последовательно соединенных секций с одинаковым направлением тока. Распределение секций простой петлевой обмотки по параллельным ветвям показано на рис. 5.10. Эта схема выполняется на основании развертки обмотки в следующем порядке.

На листе изображают щетки и находящиеся с ними в контакте коллекторные пластины, причем щетки положительной полярности располагают против щеток отрицательной полярности. Затем приступают к обходу секций обмотки начиная с первой. Далее идут вторая и третья секции, образующие одну параллельную ветвь, в то время как первая секция оказывается замкнута накоротко щеткой B1 (см. рис. 5.8). Аналогично обходят всю обмотку. В результате получают электрическую схему обмотки с четырьмя параллельными ветвями (см. рис. 5.10). Здесь каждая параллельная ветвь содержит две последовательно включенные секции.

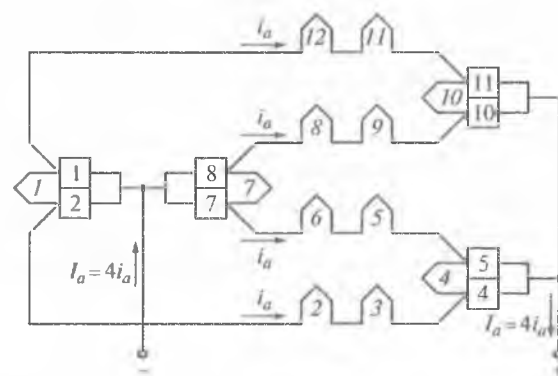


Рис. 5.10. Распределение секций простой петлевой обмотки по параллельным ветвям:

1—12 — номера секций; 1—12 — номера коллекторных пластин;  $i_a$  — сила тока в параллельной ветви;  $I_a$  — суммарная сила тока электрической машины

Электродвижущие силы индукции в пределах каждой параллельной ветви складываются. Так как все ветви соединены параллельно, то ЭДС всей обмотки якоря определяется значением ЭДС одной параллельной ветви, тогда как сила тока якорной обмотки равна суммарному значению силы тока всех ее ветвей.

Число параллельных ветвей в простой петлевой обмотке якоря, определяющее основные рабочие параметры машины — напряжение и силу тока, всегда равно числу главных полюсов.

**Сложная петлевая обмотка.** При желании использовать простую петлевую обмотку с большим числом параллельных ветвей, например в низковольтных машинах с большими токовыми нагрузками, пришлось бы создавать многополюсную машину, что привело бы к увеличению ее размеров и стоимости. Получить большее число параллельных ветвей позволяет сложная петлевая обмотка, в которой содержится несколько простых петлевых обмоток, уложенных на одном якоре.

Ширина щеток в машине со сложной петлевой обмоткой должна быть такой, чтобы каждая щетка одновременно перекрывала столько коллекторных пластин, сколько простых обмоток содержится в сложной. В этом случае простые обмотки оказываются присоединенными друг к другу параллельно. Для того чтобы щетка могла обеспечить такое соединение обмоток, приходится раздвигать стороны секции и коллекторные пластины одной обмотки и размещать между ними стороны секции и коллекторные пластины другой обмотки. Поэтому шаг обмотки по коллектору и результирующий шаг по якору сложной обмотки увеличиваются по сравнению с этими же параметрами простой петлевой обмотки во столько раз, сколько простых петлевых обмоток уложено на якоре.

**Простая волновая обмотка.** В волновых обмотках последовательно соединяются секции, начала которых расположены под соседними парами полюсов (рис. 5.11). Таким образом, в четырехполюсной машине при одном обходе вокруг якоря последовательно соединяются две секции, а в шести- и восьмиполюсных соответственно три и четыре секции и т.д. Концы секций волновой обмотки присоединяются к коллекторным пластинам, удаленным друг от друга на расстояние, равное шагу  $y_k$  обмотки по коллектору. За один обход по якору укладывается столько секций, сколько пар полюсов имеет машина, при этом конец последней секции присоединяют к коллекторной пластине, расположенной рядом с исходной.

Простая волновая обмотка называется *левоходовой*, если конец последней по обходу секции присоединяется к коллекторной пластине, расположенной слева от исходной. Если же эта пластина расположена справа от исходной, то обмотка называется *правоходовой*. Секции волновой обмотки могут быть одно- и многовитковыми.

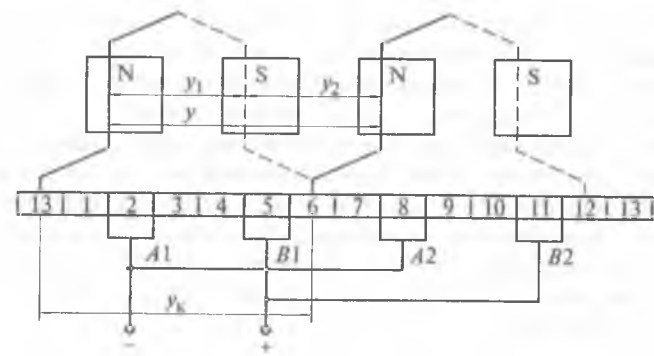


Рис. 5.11. Шаги простой волновой обмотки:

1—13 — номера коллекторных пластин;  $y$  — результирующий шаг обмотки по якору;  $y_1, y_2$  — первый и второй частичные шаги обмотки по якору;  $y_k$  — шаг обмотки по коллектору; N, S — полюсы постоянного магнита

Так как шаг обмотки по коллектору  $y_k$  охватывает часть длины окружности коллектора, соответствующую одной паре полюсов, то, выполнив один обход по коллектору, мы переместимся на число коллекторных делений, равное  $y_k p$  (где  $p$  — число пар полюсов), и перейдем к пластине, расположенной рядом с исходной. Из приведенной на рис. 5.12 схемы видно, что обмотка состоит из двух параллельных ветвей. Секции каждой параллельной ветви равномерно распределены под всеми полюсами машины. Указанная особенность характерна для простой волновой обмотки, в которой число параллельных ветвей не зависит от числа полюсов в машине, всегда равного двум.

Следует отметить, что в такой обмотке можно было бы ограничиться применением только двух щеток. Однако в этом случае нарушится симметрия обмотки, так как число секций в параллельных ветвях станет неодинаковым: в одной ветви будет содер-

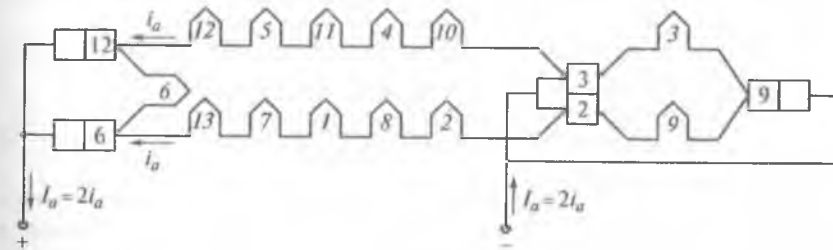


Рис. 5.12. Распределение секций простой волновой обмотки по параллельным ветвям:

1—13 — номера секций; 2, 3, 6, 9, 12 — номера коллекторных пластин;  $i_a$  — сила тока в параллельной ветви;  $I_a$  — суммарная сила тока электрической машины

жаться семь секций, а в другой — шесть. Поэтому число щеток, устанавливаемых в машине, обычно равно числу главных полюсов, тем более что это позволяет уменьшить силу тока, приходящегося на каждую щетку, и размеры коллектора.

Несколько простых волновых обмоток, уложенных на одном якоре и образующих сложную волновую обмотку, соединяют параллельно друг другу с помощью щеток. Ширина последних, как и в случае сложной петлевой обмотки, должна быть такой, чтобы число коллекторных пластин, одновременно перекрываемых каждой щеткой, равнялось числу простых волновых обмоток, из которых составлена сложная обмотка.

#### 5.4. Обмотки возбуждения главных полюсов электрических машин

##### Способы возбуждения электрических машин постоянного тока.

Во всех случаях обмотка возбуждения электрической машины постоянного тока представляет собой набор последовательно соединенных катушек индуктивности, установленных на сердечниках главных полюсов. Направление тока в каждой катушке определяет полярность полюса. Для обеспечения разноименной полярности соседних полюсов необходимо подключить катушки так, чтобы ток протекал в них в разных направлениях.

В зависимости от способа возбуждения, т. е. схемы соединения обмоток якоря и главных полюсов, электрические машины постоянного тока можно разделить:

- на машины независимого возбуждения, у которых обмотка возбуждения получает питание от независимого источника;
- машины параллельного возбуждения, у которых обмотка возбуждения включена параллельно обмотке якоря;
- машины смешанного возбуждения, имеющие на главных полюсах две обмотки, одна из которых соединена последовательно с обмоткой якоря, а другая — параллельно;
- машины последовательного возбуждения, у которых обмотка возбуждения соединена последовательно с обмоткой якоря.

Существуют также машины малой мощности, у которых основной магнитный поток создается не обмоткой возбуждения, а постоянными магнитами.

В зависимости от способа возбуждения электрические машины имеют различные рабочие характеристики. Рассмотрим способы подключения обмоток возбуждения и их влияние на рабочие характеристики двигателей постоянного тока.

**Двигатель параллельного возбуждения.** Упрощенная электрическая схема двигателя постоянного тока параллельного возбуждения приведена на рис. 5.13, а.

Включая реостат последовательно в цепь возбуждения, можно регулировать частоту вращения  $n$  якоря двигателя. Так, при уменьшении сопротивления реостата увеличивается сила тока в обмотке возбуждения и, следовательно, возрастает магнитный поток, что вызывает уменьшение частоты вращения  $n$ . При повышении сопротивления реостата частота вращения якоря двигателя возрастает.

Эксплуатационные свойства двигателя определяются его рабочими характеристиками, под которыми понимают зависимости частоты вращения, суммарной силы тока двигателя и крутящего момента от мощности  $P$  на валу двигателя при постоянных значениях напряжения двигателя и силы тока возбуждения.

Зависимость  $n = f(P)$  называется скоростной характеристикой. Частота вращения двигателя параллельного возбуждения с ростом нагрузки (момента сопротивления на валу якоря) уменьшается незначительно. Такую скоростную характеристику называют жесткой. Чтобы скоростной характеристике придать форму падающей кривой, в некоторых двигателях параллельного возбуждения применяют легкую (с небольшим числом витков) последовательную обмотку возбуждения, которая называется стабилизирующей обмоткой. При включении этой обмотки согласованно с параллельной обмоткой возбуждения ее намагничивающая сила компенсирует размагничивающее действие реакции якоря, и магнитный поток во всем диапазоне нагрузок остается практически неизменным.

**Двигатель последовательного возбуждения.** В двигателе этого типа (рис. 5.13, б) обмотка возбуждения включена последовательно в цепь якоря, поэтому магнитный поток в двигателе зависит от силы тока нагрузки.

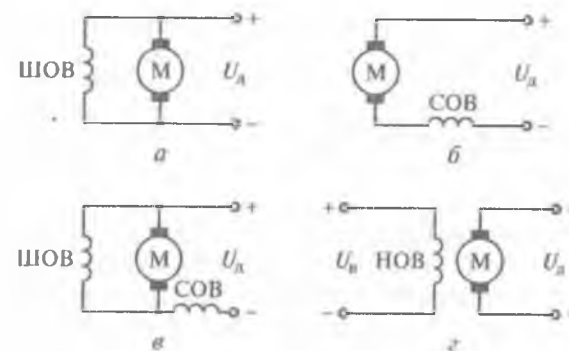


Рис. 5.13. Упрощенные электрические схемы двигателей постоянного тока параллельного (а), последовательного (б), смешанного (в) и независимого (г) возбуждения:

М — якорь двигателя; НОВ, СОВ, ШОВ — независимая, серийная и шунтовая обмотки возбуждения;  $U_b$ ,  $U_d$  — напряжения обмотки возбуждения и двигателя

Крутящий момент двигателя при ненасыщенном состоянии магнитной системы пропорционален квадрату силы тока якоря, а частота вращения обратно пропорциональна силе тока нагрузки.

При больших нагрузках и увеличении силы тока в обмотке возбуждения наступает насыщение магнитной системы двигателя. В этом случае магнитный поток практически не изменяется, и характеристика двигателя приобретает почти линейный характер.

Скоростная характеристика двигателя последовательного возбуждения показывает, что частота его вращения существенно меняется при изменениях нагрузки. Такую скоростную характеристику принято называть мягкой.

При уменьшении нагрузки двигателя последовательного возбуждения частота вращения якоря резко увеличивается и при нагрузке, составляющей менее 25 % номинальной, может достигнуть опасных для двигателя значений и вызвать его «разнос». Поэтому работа двигателя последовательного возбуждения или его пуск при нагрузке на валу, составляющей менее 25 % номинальной, недопустимы.

Для более надежной работы вал двигателя последовательного возбуждения должен быть жестко соединен с рабочим механизмом посредством муфты или зубчатой передачи. Применение ременной передачи недопустимо, так как при обрыве или сбросе ремня может произойти «разнос» двигателя.

С учетом возможности работы двигателя на повышенных частотах вращения двигателя последовательного возбуждения согласно действующему стандарту подвергают испытанию в течение 2 мин на превышение максимальной частоты вращения, указанной на заводском щитке, на 20 %, но не менее чем на 50 % по отношению к номинальной.

Резко падающие кривые рабочих характеристик обеспечивают устойчивую работу двигателей последовательного возбуждения при любой механической нагрузке. Способность этих двигателей развивать большой крутящий момент, пропорциональный квадрату силы тока нагрузки, имеет важное значение, особенно в тяжелых условиях пуска и при перегрузках, поскольку при постепенном увеличении нагрузки двигателя потребляемая им электрическая мощность растет медленнее, чем его крутящий момент.

Эта особенность двигателей последовательного возбуждения способствует их широкому применению в качестве тяговых двигателей на транспорте, а также крановых двигателей в подъемных устройствах.

Регулирование частоты вращения двигателей последовательного возбуждения возможно двумя способами: изменением напряжения питания или магнитного потока обмотки возбуждения. Более подробно этот вопрос обсуждается в учебном курсе по дисциплине «Электропривод».

**Двигатель смешанного возбуждения.** Двигатель (рис. 5.13, в) такого типа имеет две обмотки возбуждения — параллельную (шунтовую) и последовательную (сериесную).

Обмотки возбуждения могут включаться таким образом, что создаваемые ими магнитные потоки будут действовать согласованно или встречно. При согласованном включении обмоток с повышением нагрузки общий магнитный поток возрастает вследствие увеличения силы тока в сериесной обмотке возбуждения, что приводит к уменьшению частоты вращения двигателя.

При встречном включении обмоток магнитный поток сериесной обмотки с увеличением нагрузки размагничивает машину, что приводит к повышению частоты вращения. Работа двигателя в этом случае становится неустойчивой, так как при увеличении нагрузки частота вращения неограниченно растет. Однако при небольшом числе витков сериесной обмотки с повышением нагрузки частота вращения во всем диапазоне нагрузок почти не изменяется.

Рабочие характеристики двигателя смешанного возбуждения в отличие от аналогичных характеристик двигателя последовательного возбуждения имеют менее резкий спад.

Двигатель смешанного возбуждения обладает преимуществом перед двигателем последовательного возбуждения: может работать холостую, так как магнитный поток параллельной обмотки ограничивает частоту вращения в режиме холостого хода и устраняет опасность «разноса». Частота вращения регулируется с помощью реостата, включенного в цепь параллельной обмотки возбуждения.

Однако наличие двух обмоток возбуждения делает двигатель смешанного возбуждения более дорогостоящим по сравнению с двигателями предыдущих типов, что несколько ограничивает его применение.

## 5.5. Коммутация в машинах постоянного тока

Коммутацией называется процесс перехода секции обмотки якоря из одной параллельной ветви в другую через замыкание накоротко коммутирующей секции щеткой. В результате коммутации направление тока в этой секции меняется на противоположное. Коммутация секции должна происходить при таком положении ее проводников относительно главных полюсов, при котором наводимая в них ЭДС равна нулю, т. е. на геометрической нейтральной в условиях, когда скорость проводников относительно силовых линий магнитного поля равна нулю.

В результате коммутации переход щетки с одной коллекторной пластины на другую не должен сопровождаться искрением след-

ствие разрыва цепи с током между сбегающим краем щетки и коллекторной пластиной. Однако в результате действия в коммутирующей секции «паразитных» ЭДС это явление присутствует.

Рассмотрим процесс коммутации секции обмотки якоря. На рис. 5.14, а—в показаны три положения секции однофазной обмотки в процессе коммутации. Ширина щетки принята равной ширине  $t_k$  коллекторного деления (толщина изоляции между коллекторными пластинами не учитывается). Предполагается, что нагрузка машины постоянна и сила тока в каждой параллельной ветви равна  $i_a$ . В начальный момент ( $t = 0$ ) щетка находится под пластиной 2 (см. рис. 5.14, а). Сила тока  $i_a$  в проводнике коллекторной пластины 2 равна силе тока  $2i_a$  двух параллельных ветвей. В проводнике  $ab$  сила тока  $i_a = 0$ . В секции  $ac$ , присоединенной к коллекторным пластинам 1 и 2, сила тока  $i_c = i_a$ , и он направлен от начала  $a$  секции к ее концу  $c$ . Через время  $t < T_k$  после начала переключения секции  $ac$ , где  $T_k$  — продолжительность переключения секции одной параллельной ветви в другую, обе коллекторные пластины расположены

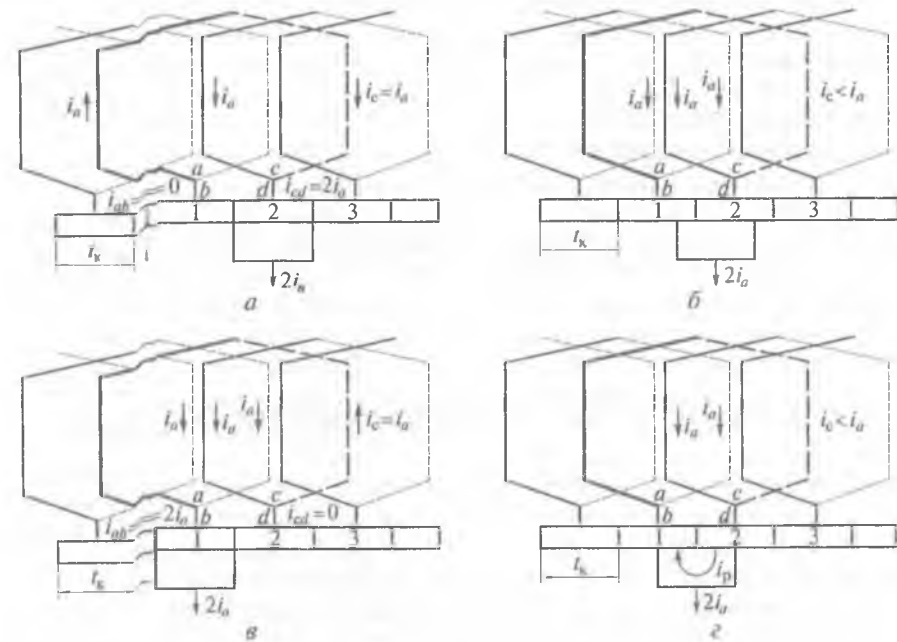


Рис. 5.14. Схемы коммутации секций обмотки якоря (а—в) и образования реактивного тока коммутации (г):

1—3 — номера коллекторных пластин;  $a, b, c, d$  — узлы электрической цепи;  $i_a$  — сила тока в параллельной ветви;  $i_c$  — сила тока секции;  $t_k$  — ширина коллекторного деления;  $i_p$  — реактивный ток коммутации

над щеткой, и ток параллельных ветвей проходит по проводникам  $ab$  и  $cd$  (см. рис. 5.14, б).

В конечный момент коммутации коллекторная пластина 1 занимает над щеткой положение пластины 2, ток обеих параллельных ветвей обмотки направлен по проводнику  $ab$  к коллекторной пластине 1 так, что  $i_1 = 2i_a$ , и  $i_2 = 0$ . В рассматриваемой секции ток направлен от конца  $c$  к началу  $a$ ,  $i_{ac} = i_a$  (см. рис. 5.14, в), т.е. направление тока изменяется.

Время  $T_k$ , называемое периодом коммутации, обычно составляет 100...300 мкс. Секция перемещается от одной щетки к другой в течение значительно большего времени, и сила тока в ней сохраняется неизменной.

Линейное изменение тока в переключаемой секции происходит в результате одновременного увеличения сопротивления контакта части щетки, сбегающей с коллекторной пластины, и уменьшения сопротивления контакта набегающей части щетки. Переключение в этом случае не сопровождается искрением между коллекторными пластинами и сбегающими краями щеток.

Плотность тока на набегающей части щетки равна силе тока секции, деленной на площадь контакта этой части щетки. Таким образом, при линейном изменении тока в переключаемой секции плотность тока на набегающей и сбегающей частях щетки одинакова в течение всего периода коммутации. На практике линейное изменение тока в коммутирующей секции наблюдается при очень малой частоте вращения якоря и отсутствии «паразитных» ЭДС.

При наличии «паразитных» ЭДС в переключаемой секции ток состоит из двух составляющих. Первая из них замыкается через внешнюю цепь машины и зависит от тока в обмотке якоря, вторая — через цепь секция — коллекторная пластина — щетка — коллекторная пластина — секция (рис. 5.6, г) и, таким образом, является реактивным током коммутации, или током короткого замыкания секции. При этом в процессе сбегающей щетки с коллекторной пластины короткозамкнутой секции происходит размыкание цепи с разрывом тока, что вызывает искрение между сбегающим краем щетки и коллекторной пластиной.

Рассмотрим основные причины появления ЭДС, вызывающих реактивный ток в короткозамкнутой секции.

Во-первых, при изменении силы тока в секции обмотки действует ЭДС самоиндукции, определяемая скоростью изменения силы тока и индуктивностью секции.

Во-вторых, в каждом пазу якоря обычно размещены стороны нескольких секций, окруженные общим магнитным потоком. Соседними щетками одновременно переключаются секции, стороны которых размещены в верхнем и нижнем слоях одного паза. В рассматриваемой секции будет наводиться ЭДС взаимной индукции



вследствие изменения магнитного потока, вызванного изменением силы тока другой секции, переключаемой соседней щеткой.

В-третьих, появление ЭДС в коммутирующей секции обусловлено реакцией якоря — искажением магнитного поля главных полюсов и магнитным полем обмоток якоря при прохождении по ним тока. При этом магнитодвижущая сила якоря направлена перпендикулярно основному магнитному потоку главных полюсов. Реакция якоря приводит к тому, что на геометрической нейтрали машины магнитный поток не равен нулю. В коммутирующей секции будет наводиться ЭДС. Искажение магнитного поля машины тем сильнее, чем больше сила тока якоря, т.е. нагрузка двигателя.

Суммарная ЭДС, вызывающая ток коммутации, определена указанными составляющими.

При больших нагрузках на двигатель и высоких частотах вращения искрение между коллекторными пластинами и щетками переходит в круговой огонь по всей окружности коллектора, что приводит к быстрому выходу из строя электрической машины.

В электрических машинах большой мощности применяются специальные конструктивные решения, направленные на снижение ЭДС, наводимой в коммутирующей секции. Между главными полюсами устанавливаются добавочные полюсы, включенные последовательно с обмоткой якоря. Магнитодвижущая сила этих полюсов автоматически устраняет влияние поперечной составляющей магнитодвижущей силы обмотки якоря в зоне коммутации (на геометрической нейтрали).

В воздушном зазоре между главным полюсом и якорем неравномерное распределение индукции вследствие реакции якоря устраняется при укладке в наконечники главных полюсов компенсационной обмотки, которая, как и обмотка добавочных полюсов, включается последовательно с обмоткой якоря.

#### Контрольные вопросы

1. По какому признаку классифицируют электрические машины?
2. Перечислите основные элементы конструкции электрических машин постоянного тока и приведите их краткое описание.
3. Опишите принцип действия электрической машины постоянного тока коллекторного типа.
4. В чем состоит отличие режима двигателя от режима генератора при работе электрической машины?
5. Какие типы коллекторов вы знаете?
6. Назовите основные виды повреждений элементов конструкции коллекторов и причины, которые их вызывают.
7. Каково назначение изоляции?
8. В чем состоят особенности петлевых и волновых обмоток?
9. Каковы характерные отличия двигателей параллельного, последовательного и смешанного возбуждения?

## Глава 6

### НАГРЕВ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

#### 6.1. Особенности работы электрических машин локомотивов

Работа любой электрической машины всегда сопровождается ее нагревом, что является следствием происходящих в ней потерь энергии. Все виды потерь энергии в итоге преобразуются в теплоту, которая частично отдается в окружающую среду, а частично затрачивается на нагрев машины. При определении закона нагрева электрических машин условно считают, что этот процесс происходит равномерно по всему объему машины, а теплота рассеивается со всей ее поверхности.

Нагрузочная способность электрических машин в большинстве случаев зависит от условий нагрева, так как повышение температуры является основной причиной их ограниченной мощности при длительных и кратковременных нагрузках. С увеличением нагрузки возрастают потери энергии в машине, повышается количество выделившейся теплоты, и при чрезмерной нагрузке температура отдельных ее частей, и в первую очередь изоляции, может превысить допустимые пределы.

В начальный период работы электрическая машина имеет температуру, практически не отличающуюся от температуры окружающей среды (воздуха). В этом случае вся теплота, выделяющаяся в машине, затрачивается на повышение температуры ее частей. Затем количество теплоты, рассеиваемой в окружающую среду, увеличивается. И наконец через некоторое время машина нагреется настолько, что вся теплота, выделяющаяся в ней в единицу времени, будет рассеиваться в окружающую среду. В этом случае дальнейшее повышение температуры машины прекратится, и наступит режим теплового равновесия.

Процессы нагрева и охлаждения во всех типах электрических машин происходят по общим законам, так как любую электрическую машину можно в первом приближении рассматривать как идеальное однородное твердое тело. В действительности электрическая машина не является таковым, а представляет собой совокупность ряда частей (обмотки, элементы магнитопроводов, детали конструкции) с разной теплопроводностью и теплоемкостью и неодинаковыми условиями охлаждения, вследствие чего их температура также различна. Тем не менее несмотря на сложный характер распределения тепловых полей в электрической машине и недостаточную точность тепловых расчетов, основан-

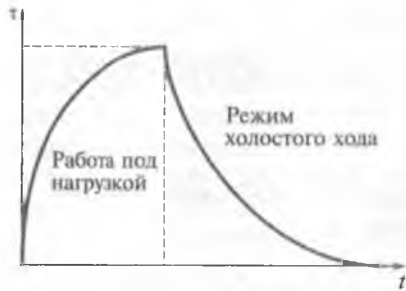


Рис. 6.1. Изменение температуры  $\tau$  электрической машины в зависимости от продолжительности  $t$  ее работы

ных на указанном предположении, можно установить некоторые общие закономерности изменения температуры машины при нагреве и охлаждении.

Часть энергии, теряемая в электрической машине, выделяется в виде теплоты, повышающей температуру обмотки и магнитопровода.

Температура при нагреве и охлаждении электрической машины изменяется по экспоненциальному закону. При нагреве температура возрастает (рис. 6.1), асимптотически приближаясь к установившемуся значению, которое соответствует определенной силе тока. Это может происходить при повышении потерь мощности (т.е. при увеличении нагрузки) машины или уменьшении интенсивности ее охлаждения. При возрастании последней величины или уменьшении силы тока нагрузки температура снижается до нового установившегося значения, соответствующего другой силе тока. Если машину отключить от сети, то она будет охлаждаться до температуры окружающей среды.

На основании анализа кривой нагрева электрических машин можно сделать вывод, что при достаточно большой продолжительности работы температура достигает приблизительно постоянного значения. В этом случае наступает практически установившийся тепловой режим, называемый продолжительным (или длительным).

## 6.2. Допустимое превышение температуры частей электрической машины

В процессе работы электрической машины происходят необратимые изменения изоляции, которые называют ее старением. При этом изменяются прежде всего механические свойства изоляции: уменьшается прочность (она становится хрупкой) и образуются трещины (наличие которых снижает ее электрическую прочность). Вследствие этого может возникнуть пробой изоляции, после чего электрическая машина требует капитального ремонта.

Электрические машины обычно рассчитывают на срок службы 15—20 лет без капитального ремонта. Для того чтобы обеспечить заданный срок службы, электрическую машину нужно правильно спроектировать, хорошо изготовить и при эксплуатации избегать режимов работы, вызывающих преждевременный выход из строя разных ее частей. В первую очередь необходимо предотвратить преждевременное старение изоляции.

Главные причины старения изоляции — это высокая температура токоведущих частей машины, значительные перепады температур от детали к детали, действие электрического поля, наличие повышенной влажности и механических нагрузок на изоляцию.

Высокая температура вызывает окисление лаков, входящих в состав изоляции, вследствие чего снижается ее механическая прочность и образуются трещины, по которым при наличии влаги и загрязнения появляются токопроводящие дорожки, способствующие пробое изоляции. Поэтому для обеспечения заданного срока службы электрических машин температура нагрева их отдельных частей не должна быть больше допустимой.

При превышении допустимой температуры происходит интенсивное изнашивание и быстрое разрушение изоляции. Следовательно, максимальная температура, при которой может работать электрическая машина, определяется теплостойкостью применяемой в ней изоляции. Чем выше допустимая предельная температура отдельных частей машины, тем меньше срок ее службы из-за более интенсивного старения изоляции. Однако чем выше эта температура, тем при больших значениях силы тока может работать машина.

Электроизоляционные материалы, применяемые в электрических машинах, по теплостойкости подразделяют на шесть классов:

Класс изоляции .....	A	E	B	F	H	C
Максимально допустимая температура, °C .....	105	120	130	155	180	Свыше 180

К классу А относится изоляция из волокнистых материалов на основе целлюлозы (древесина, бумага, картон, фибра, хлопчатобумажное, гидроцеллюлозное и ацетилцеллюлозное волокна), натурального шелка и полиамидных волокон, пропитанные масляными, масляно-смоляными и подобными им лаками либо погруженная в нефтяное масло или синтетический жидкий диэлектрик, а также изоляция на основе масляно-смоляных лаков.

В класс Е включены пластмассы на основе фенолформальдегидных и меламиноформальдегидных смол с целлюлозным наполнителем (гетинакс, текстолит, триацетатцеллюлозная плен-

Предельно допустимые превышения температуры, °С, деталей электрических машин

Элементы машины	Классы изоляции				
	А	Е	В	F	Н
Обмотки якоря, соединенные с коллектором, и обмотки переменного тока	60	75	80	100	125
Многослойные обмотки возбуждения машин постоянного и переменного тока	60	75	80	100	125
Однорядные обмотки возбуждения с оголенными поверхностями	65	80	90	110	135
Сердечники и другие стальные элементы, соприкасающиеся с изолированными обмотками	60	75	80	110	125
Коллекторы и контактные кольца	60	70	80	90	100

ка, полиэтилентерефталат в виде пленки и волокна, изоляция эмаль-проводов на основе поливинилформалевых лаков).

Класс В образуют неорганические материалы: слюда, стекловолокно и асбест в сочетании со связующими и пропитывающими органическими масляно-битумными и другими составами (миканиты, стеклолакоткань, стеклотекстолит, пластмассы с минеральным наполнителем и др.).

К классу F относятся изоляционные материалы на основе слюды, стекловолокна и асбеста с более теплостойкими связующими и пропитывающими составами.

В класс Н входят материалы на основе слюды, стекловолокна и асбеста с применением кремнийорганических смол в качестве связующих и пропитывающих составов. К этому же классу изоляции относится кремнийорганическая резина.

Наиболее чувствительны к воздействию высоких температур целлюлоза, бумага, шелк и подобные им материалы, из которых изготавливают изоляцию классов А и Е.

У изоляции класса В в первую очередь окисляются связующие вещества и пропитывающие лаки.

Изоляция классов F и Н, как и изоляция класса В, выполняется на основе слюды, асбеста и стекловолокна, но имеет связующие с более высокой теплостойкостью.

На изоляции класса С (керамика, слюда) не сказывается воздействие высоких температур.

Срок службы изоляции класса А при температуре 95 °С составляет 16 лет, при 110 °С — 4 года, а при 150 °С — несколько дней.

При ориентировочных расчетах полагают, что повышение температуры на 8 °С сверх допустимой сокращает срок службы изоляции класса А в 2 раза (правило восьми градусов).

Зависимость срока службы от температуры для изоляции класса В носит аналогичный характер, но смещена на 20 °С. Общие положения, принятые относительно изоляции класса А, в частности правило восьми градусов, справедливы и для других видов изоляции. Определить практически перегрев изоляции трудно, но помнить о его влиянии на срок службы машины всегда необходимо. Поскольку основной причиной, вызывающей старение изоляции, является высокая температура, она нормируется стандартами и техническими условиями.

В табл. 6.1 приведены предельно допустимые превышения температуры над условной температурой окружающей среды для некоторых частей электрических машин общепромышленного назначения (при измерении температуры обмоток методом сопротивления, а температуры сердечников, коллекторов и контактных колец — с помощью термометров).

Максимально допустимую температуру обмотки можно определить путем сложения максимально допустимого превышения тем-

пературы с условной температурой окружающей среды, которую принимают равной 40 °С. Если температура окружающей среды выше расчетной, то допустимое превышение температуры обмотки в эксплуатации должно быть снижено, чтобы ее значение не превосходило допустимое. Если же температура окружающей среды ниже расчетной, то в эксплуатации разрешается увеличивать максимально допустимое превышение температуры обмотки, но не более чем на 10 °С по сравнению со значением, установленным стандартами или техническими условиями. При работе машин в местностях, где из-за понижения барометрического давления ухудшается теплоотдача, стандарты предусматривают некоторое уменьшение допустимых превышений температуры.

Данные, приведенные в табл. 6.1, являются среднестатистическими для электрических машин со сроком службы 8...15 лет. В ряде случаев при изготовлении специальных машин сокращают срок их службы и допускают более значительный перегрев изоляции. При этом представляется возможным увеличить мощность машины при тех же габаритах или обеспечить заданную мощность, уменьшив ее массу и размеры.

Для непрерывного автоматического контроля теплового режима в наиболее нагретых точках электрической машины во время работы применяются заложенные или встроенные в нее темпера-

турные индикаторы — термометры сопротивления и термопары. Эти устройства помещают при изготовлении электрической машины в те точки, которые недоступны для контроля в готовой машине: посередине и на дне паза, расположенного между изолированными сторонами катушек.

### 6.3. Режимы нагрузки электрических машин локомотивов

В зависимости от характера изменения нагрузки электрические машины могут работать при различных номинальных режимах: продолжительном, кратковременном, повторно-кратковременном и перемежающемся.

*Продолжительным* называют такой режим, при котором электрическая машина работает с неизменной нагрузкой и продолжительность ее работы настолько велика, что превышение ее температуры над температурой окружающей среды достигает установленного значения.

При заданных размерах охлаждающей поверхности и интенсивности охлаждения электрическая машина может быть нагружена только до определенной мощности, при которой ее потери не превышают значения, соответствующего максимально допустимому превышению температуры. Допустимый перегрев зависит от теплоустойчивости изоляции обмоток, применяемой в данной машине.

Мощность, при которой достигается установившееся значение предельной температуры перегрева, называют номинальной или мощностью продолжительного режима. Она является основным параметром, характеризующим нагрузочную способность электрической машины при продолжительном режиме работы.

Под номинальной понимают ту наибольшую мощность, которую может отдать машина, непрерывно работающая в течение неограниченного времени с нормально действующей вентиляцией при условии, что температура ее отдельных частей не превышает установленных значений, определяемых классом применяемой изоляции.

Обычно при работе в режиме номинальной мощности превышение температуры отдельных частей электрической машины достигает установившихся значений через 3...6 ч для машин средней и большой мощности и через 10...30 мин для микромашин, после чего вся выделяющаяся теплота отдается окружающей среде.

Существуют понятия часовой мощности и силы тока часового режима, при которых холодная машина нагреется до допустимой температуры в течение 1 ч. Для того чтобы превышение темпера-

туры электрической машины при определенной нагрузке не было больше максимально допустимого значения, машина должна иметь достаточные размеры охлаждающей поверхности. При заданных размерах этой поверхности допустимый перегрев можно обеспечить, повышая интенсивность охлаждения.

При *кратковременном* режиме работа электрической машины с постоянной нагрузкой чередуется с ее отключениями. В этом случае периоды нагрузки не настолько длительны, чтобы превышение температуры машины могло достигнуть установившегося значения, а достаточная продолжительность периодов отключения (паузы) обеспечивает ее охлаждение до температуры окружающей среды. Для машин общего назначения стандарты устанавливают длительность рабочих периодов, равную 10, 30, 60 и 90 мин. Однако в условиях эксплуатации продолжительность рабочего периода может быть различной.

При работе электрических машин с перегрузкой ее продолжительность должна быть ограничена. Чем значительнее отдаваемая мощность и как следствие ее потери, тем больше перегрев и интенсивнее нарастание превышения температуры в процессе нагрева. Таким образом, чем больше нагрузка машины, тем меньшее время она может работать до момента достижения предельного перегрева. Меньшая продолжительность работы машины соответствует большей мощности, которую она может развить. Допустимую продолжительность кратковременного режима, при которой превышение температуры не возрастает сверх предельного, можно определить по кривым нагрева и охлаждения машины.

Таким образом, при кратковременном режиме возникают в несколько раз более высокие значения силы тока нагрузки, чем при продолжительном режиме работы. Во столько же раз могут быть увеличены и допустимые значения потерь мощности. Поэтому машины заданной мощности, предназначенные для работы в кратковременном режиме, имеют значительно меньшие габаритные размеры и массу, чем машины, рассчитанные на длительную работу.

При кратковременных перегрузках длительностью 2...3 мин процесс нагрева можно считать адиабатическим, происходящим без отдачи теплоты.

На подвижном составе электрические машины часто работают в *повторно-кратковременном* режиме. В этом случае периоды работы машины под нагрузкой чередуются с периодами ее отключения (паузами), вследствие чего общая продолжительность работы машины складывается из периодически повторяющихся циклов.

За периоды нагрузки превышение температуры не достигает установившегося значения, а за периоды отключения машина не успевает охладиться до температуры окружающей среды. Продолжительность цикла при работе машины в этом режиме не должна

превышать 10 мин. Повторно-кратковременный режим характеризуется продолжительностью включения (ПВ, %).

При работе в повторно-кратковременном режиме кривая нагрева приобретает пилообразный характер, так как периоды нагрева чередуются с периодами охлаждения, поэтому можно допустить большие нагрузки, чем при длительной непрерывной работе. Продолжительность включения равна отношению продолжительности рабочего периода к длительности цикла (суммы продолжительности рабочего периода и паузы).

На практике при определении мощности, которую может развить электрическая машина при повторно-кратковременном режиме, часто исходят из эквивалентной силы тока. Если машина рассчитана на работу в повторно-кратковременном режиме ПВ<sub>1</sub>, то при ее работе в режиме ПВ<sub>2</sub> сила тока, которая определяет развиваемую мощность  $P$ , может быть увеличена или уменьшена пропорционально ПВ. Так, при значениях ПВ 60, 40, 25 и 15 % машина может развить мощность, приблизительно равную  $1,3P$ ,  $1,6P$ ,  $2P$  и  $2,6P$  соответственно, где  $P$  — мощность продолжительного режима работы, когда значение ПВ составляет 100 %.

При *перемежающемся* режиме кратковременные периоды работы под нагрузкой (рабочие периоды) чередуются с периодами холостого хода (паузами). Такой режим характеризуется относительной продолжительностью нагрузки (ПН, %).

Стандартные значения ПН составляют 15, 25, 40 и 60 %. Продолжительность цикла принимают равной 10 мин. Характер изменения рабочих параметров при этом режиме аналогичен характеру их изменения при повторно-кратковременном режиме. За время работы под нагрузкой температура машины и превышение температуры не достигают установленных значений.

Кроме основных применяют следующие дополнительные (рекомендуемые) номинальные режимы работы, при которых нагрузка носит циклический характер:

- 1) повторно-кратковременный с частыми пусками при значениях ПВ, равных 15, 25, 40 и 60 %;
- 2) повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением при тех же значениях ПВ;
- 3) перемежающийся с частыми реверсами и электрическим торможением;
- 4) перемежающийся с двумя частотами вращения.

Для дополнительных номинальных режимов установлены:

- стандартное число включений в час (режимы 1 и 2);
- число реверсов в час (режим 3);
- число циклов в час, равное 30, 60, 120 и 240 (режим 4).

В эксплуатации электрических машин возможны режимы, отличающиеся от перечисленных. Наиболее типичным является режим с быстро изменяющейся нагрузкой, аналогичный повторно-

кратковременному, когда в течение цикла температура элементов машины существенно не изменяется.

Если электрическая машина работает в продолжительном режиме, но при переменной нагрузке, то в различные промежутки времени в ней возникают разные потери мощности. Чтобы определить, может ли машина выполнить заданный график нагрузки, обычно применяют метод эквивалентного тока. В его основу положено предположение о том, что переменные потери в электрической машине пропорциональны квадрату силы тока нагрузки.

Для тяговых электрических машин локомотивов типичен режим с быстро изменяющимися силой тока и мощностью. Если машины работают в продолжительном режиме с постоянной мощностью, но разной силой тока, то тепловой процесс в них неустановившийся, так как при разной силе тока неодинаковы и потери.

#### 6.4. Вентиляция электрических машин

Компактность конструкций тяговых электрических машин подвижного состава затрудняет отвод тепловой энергии, выделяющейся в них при работе.

Интенсивность охлаждения тяговых электрических машин и способ его осуществления являются основными факторами, влияющими не только на конструкцию деталей тягового двигателя, но и на расход активных материалов. В настоящее время, как правило, почти все тяговые электрические машины подвижного состава охлаждаются посредством продувания через них воздуха, т. е. выполняются вентилируемыми.

Тяговые двигатели закрытого типа (без доступа внутрь наружного воздуха) находят применение лишь в рудничных электровозах.

Влияние вентиляции на мощность продолжительного режима, развиваемую двигателем, весьма значительно. Так, например, мощность продолжительного режима закрытого двигателя трамвайного типа составляет 25...35 % его часовой мощности. С помощью вентиляции мощность продолжительного режима можно повысить вдвое и более.

На часовой мощности применение вентиляции сказывается незначительно. У двигателей небольшой мощности с частотой вращения до 600 об/мин после конструктивных изменений, требующихся для осуществления вентиляции (например, после выполнения вентиляционных каналов в сердечнике якоря), часовая мощность даже несколько снижается по сравнению с мощностью закрытого двигателя.

Влияние вентиляции особенно существенно при работе двигателя в течение длительных периодов времени.

Нормальной работой тяговых электрических машин является работа на прерывистую нагрузку. Характер этой нагрузки таков, что сначала двигатель работает при большой силе тока и постепенно повышающейся частоте вращения (пусковой период). Затем сила тока заметно снижается, а частота вращения продолжает расти. Далее двигатель вращается при отсутствии тока (период выбега) и в конце перегона останавливается. Следовательно, на каждом перегоне в период пуска двигатель сильно нагревается, а в последующем, особенно в период выбега, запасенная им за период пуска теплота рассеивается — уносится воздухом. Чем сильнее двигатель будет охлажден за время выбега и следующее за ним время покоя, тем в большей мере он будет подготовлен к повторению подобного теплового цикла на следующем перегоне. Нужно стремиться к тому, чтобы наиболее целесообразно использовать для охлаждения двигателя то время, когда возникающие в нем потери невелики, и время, когда двигатель не вращается. У закрытого двигателя способность выделять теплоту и охлаждаться почти одинакова как при низкой, так и при высокой частоте вращения якоря. Правда, при высоких частотах интенсивность теплоотдачи несколько больше, так как наружная поверхность станины лучше обдувается воздухом. Однако охлаждение внутренних частей закрытого двигателя, якоря и катушек настолько затруднено, что влияние наружного обдува станины сказывается на них незначительно.

Существуют два основных типа закрытых тяговых двигателей в соответствии со способом их вентиляции. Это двигатели с самовентиляцией и независимой вентиляцией.

В первом случае воздух прогоняется через двигатель с использованием вентилятора, установленного на его валу и обычно находящегося внутри двигателя, во втором — при помощи внешнего вентилятора с отдельным, независимым приводом.

Двигатели с *самовентиляцией* применяются преимущественно на электропоездах, а также для городской тяги (трамваи, троллейбусы и т. п.) и в вагонах метро.

Двигатели с *независимой вентиляцией* используются главным образом на магистральных локомотивах.

Опыт изготовления тяговых электрических двигателей обоих рассматриваемых типов дает несколько различных решений в отношении устройства вентиляционной схемы.

В зависимости от положения вентилятора (как встроенного, так и независимого) по отношению к двигателю различают вытяжную, нагнетательную и смешанную вентиляцию.

При вытяжной вентиляции вентилятор расположен в месте выхода воздуха из двигателя. В этом случае внутри двигателя давление несколько ниже атмосферного.

При нагнетательной вентиляции вентилятор расположен в месте входа воздуха в двигатель. Вентилятор под некоторым давлением, превышающим атмосферное, нагнетает забираемый воздух в двигатель. Следовательно, в двигателе давление воздуха несколько выше атмосферного.

Так как вентилятор работает не без потерь энергии, то воздух при прохождении через него несколько нагревается (температура воздуха повышается на 3...5 °С). Следовательно, нагнетательная вентиляция менее эффективна по сравнению с вытяжной, при осуществлении которой воздух, поступающий в машину, имеет температуру окружающей среды. Отметим, однако, что в тяговых двигателях указанная степень нагрева воздуха не играет существенной роли.

При независимой вентиляции тяговых электрических машин применяются исключительно нагнетательные вентиляторы. Забор воздуха извне происходит при этом через особые пылеулавливающие приспособления.

Теплый воздух из тяговой электрической машины выходит непосредственно в атмосферу через закрытые решетками отверстия в стенке станины или подшипниковом щите двигателя.

Как и при самовентиляции, основными двумя системами независимой вентиляции в тяговых двигателях постоянного тока являются параллельная и последовательная системы, в которых возможно осуществление прямого и обратного направлений течения воздуха.

Параллельная вентиляция в большинстве двигателей реализуется с прямым направлением движения воздуха (от коллектора), и лишь ограниченное число типов двигателей выполнено с прохождением воздуха от задней стороны двигателя к коллектору. Воздух поступает через патрубок, к которому подходит воздухоподающий рукав. Выпуск воздуха производится через отверстие, расположенные в задней стенке станины двигателя и заднем подшипниковом щите.

Существуют такие конструкции тяговых двигателей, в которых струя воздуха, выходящая из якоря, не смешивается внутри двигателя со струей, проходящей снаружи якоря. Разделение струй несколько увеличивает количество воздуха, проходящего по внутренним якорным каналам, усиливая охлаждение якоря. Мощность продолжительного режима таких двигателей составляет 86 % их часовой мощности, тогда как мощность продолжительного режима тяговых двигателей с независимой вентиляцией достигает 90 % их часовой мощности. Пониженное значение коэффициента вентиляции (0,86 против 0,90) вызвано, во-первых, очень узким входом для воздуха между коллекторной втулкой и подшипниковым щитом и, во-вторых, отсутствием обособленного выхода через подшипниковый щит для внутриякорной струи воздуха.

Возвращаясь к способам выпуска нагретого воздуха из двигателя, следует отметить, что при раздельном выпуске струй наличие воздуховыводящих отверстий в подшипниковом щите является обязательным, при общем же выходе воздуха существует конструктивная возможность осуществить его выпуск в радиальном направлении через отверстие в станине.

В железнодорожной практике известны случаи, когда двигатели, имевшие воздуховыводящие отверстия, расположенные в подшипниковых щитах, за время непродолжительной стоянки локомотива при боковом ветре со снегом полностью забивались снегом. Поэтому необходимо предусматривать радиальный выпуск воздуха вместо его выпуска со стороны торца.

Достоинства способа подачи воздуха со стороны коллектора обусловлены следующим:

- крепление воздухоподводящего рукава к двигателю подвешенного типа удобнее осуществлять со стороны коллектора;
- благодаря прохождению относительно большего количества воздуха внутри якоря удается несколько повысить длительную мощность двигателя;
- достигается более низкая температура петушков коллектора и его поверхности;
- обеспечивается более интенсивная продувка камеры коллектора, благодаря чему исключается возможность скопления ионизированного воздуха над его поверхностью.

Последние два обстоятельства существенно уменьшают вероятность возникновения искрения между щетками.

Отметим, что менее высокая температура петушков коллектора способствует большей надежности обмотки якоря в работе. Дело в том, что перегрев обмотки якоря при часовом режиме согласно нормам может достигать 120 °С. Прибавив к этому значению допустимую температуру воздуха 25 °С, получим возможную при работе среднюю температуру обмотки 145 °С. При столь высокой температуре оловянно-свинцовый припой, которым пользуются для припайки обмотки к петушкам, может расплавиться, если неудачно выбрана пропорция составных частей припоя.

Последовательная вентиляция, обеспечивающая коэффициент вентиляции около 80 %, осуществляется таким образом, как и у двигателей с самовентиляцией.

Последовательная вентиляция по сравнению с параллельной требует в 1,5—2 раза меньше воздуха за счет соответствующего повышения давления вентиляции. Вместо давления 60...80 мм вод. ст. (600...800 Па), требующегося при параллельной вентиляции, при последовательной вентиляции необходимо давление 110...130 мм вод. ст. (1,1...1,3 кПа). Таким образом, мощность, затрачиваемая на вентиляцию обоих типов, приблизительно одна и та же, но масса вентиляторной группы (вентилятора и его двигателя) для

системы последовательной вентиляции меньше. Это объясняется тем, что вентилятор, рассчитанный на меньший расход воздуха с одновременным соответствующим повышением напора, должен иметь более высокую частоту вращения.

В электродвигателях с последовательной вентиляцией необходимо изыскивать возможность для придания максимально возможной площади поперечного сечения каналам коллекторной втулки и осевым каналам сердечника якоря, так как скорость воздуха в них не должна превышать 25 м/с. На практике площадь сечения вентиляционных отверстий в сердечнике якоря крупных электродвигателей удается увеличить до 80 % площади поперечного сечения сердечника якоря и тем самым повысить надежность тяговых электродвигателей в работе.

### Контрольные вопросы

1. Чем определяется допустимый уровень нагрева электрической машины?
2. Какой режим работы называется установившимся?
3. Какие виды вентиляции электрических машин вы знаете?
4. Какие виды потерь определяются режимами работы электрической машины?
5. Назовите способы охлаждения электрических машин.
6. Укажите основные направления снижения потерь в электрических машинах.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

### 7.1. Тяговые электродвигатели

Тяговые электродвигатели электровозов по конструкции во многом аналогичны двигателям электропоездов. Тяговые электродвигатели постоянного и пульсирующего тока отечественных электровозов выполняют шестиполосными, электропоездах — четырехполосными. В зависимости от мощности на электровозах устанавливают следующие типы двигателей: на ВЛ10 — ТЛ-2К, на ВЛ60 — НБ412К, на ВЛ80 — НБ418К6, на ВЛ65 и ВЛ85 — НБ-514 и на ЭП1 — НБ520 (табл. 7.1). Особенности конструкции тяговых

Таблица 7.1

Технические характеристики тяговых электродвигателей электровозов и электропоездов

Тип тягового двигателя	Серия электровоза	Мощность, кВт	Напряжение, В	Сила тока, А	Частота вращения, об/мин	Масса, кг
НБ-412М	ВЛ60	550	1 450	410	755	4 220
НБ-412К	ВЛ60 <sup>К</sup>	675	1 600	410	880	4 850
НБ-413	ВЛ80 <sup>В</sup>	690	900	820	935	4 300
НБ-414В	ВЛ80	740	950	830	1 030	4 000
НБ-418К6	ВЛ80 <sup>К</sup>	790	950	820	890	4 300
НБ-420А	ВЛ82	640	1 500	450	900	4 500
ТЛ-2К	ВЛ10	575	1 500	410	830	4 700
АЛ4846еТ	ЧС2	618	1 500	435	630	5 250
АЛ444пР	ЧС4	860	800	1 150	1 150	2 950
УРТ-110Б	ЭР2	200	1 500	146	1 145	2 150
1ДТ.003.4У1	ЭР2Т	225	750	330	1 290	2 300
1ДТ.003.5У1	ЭД2Т	235	750	345	1 250	2 300

Примечание. Приведенные значения мощности, силы тока и частоты вращения являются характеристиками продолжительного режима.

электродвигателей электровозов рассмотрим на примере двигателя НБ-418К6 мощностью 790 кВт (рис. 7.1).

Остов двигателя является магнитопроводом и корпусом машины. Его отливают из стали 25Л11 с высокой магнитной проницаемостью. Остов шестиполосных двигателей выполняют цилиндрическим. На его внутренней поверхности предусмотрены места под сердечники 13 и 22 полюсов. В остове имеется ряд смотровых люков и окон для подвода и отвода охлаждающего воздуха. С торцов он закрыт подшипниковыми щитами 3 и 20 с расточками для установки якорных подшипников 4 и 17.

Моторно-осевые подшипники включают в себя приливы к остову с цилиндрическими расточками, вкладыши и шапки, которые крепят к остову четырьмя болтами. Подшипники имеют ка-

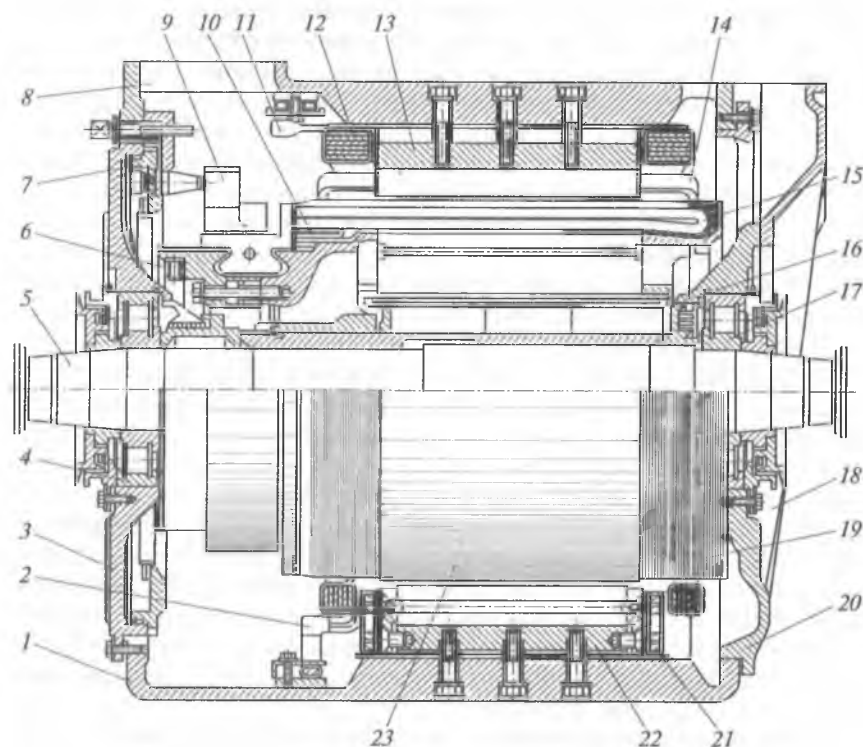


Рис. 7.1. Тяговый двигатель НБ-418К6:

1 — станина; 2 — шина; 3, 20 — подшипниковые щиты; 4, 17 — подшипники; 5 — вал; 6 — коллектор; 7 — траверса; 8 — воздуховод; 9 — щеткодержатель; 10 — уравнивательные соединения; 11 — выводы обмотки возбуждения; 12 — обмотка возбуждения; 13 — сердечник; 14 — компенсационная обмотка; 15 — обмотка якоря; 16 — лабиринтное уплотнение; 18 — кожух; 19 — бандаж; 21 — обмотка добавочного полюса; 22 — сердечник добавочного полюса; 23 — якорь



меры, где размещаются смазочный материал и устройство для его подачи. Для лучшей фиксации шапок в приливах остова вдоль цилиндрической расточки для вкладыша имеются пазы, а на посадочной стороне шапок — соответствующие продольные выступы, входящие в эти пазы.

Разъемные вкладыши моторно-осевых подшипников, состоящие из двух половин, отливают из латуни марки ЛКС80-3-3 с заливкой баббитом толщиной 3...4 мм.

Наконечники главных полюсов имеют очертания, обеспечивающие неравномерный воздушный зазор (минимальный под серединой полюса и увеличивающийся к его краям) для улучшения распределения магнитной индукции в воздушном зазоре машины.

В компенсированных машинах в полюсный наконечник устанавливается специальная компенсационная обмотка, которая повышает стойкость машины против возникновения кругового огня на коллекторе. Такая обмотка состоит из отдельных катушек, уложенных в пазы наконечников главных полюсов, и закреплена в них текстолитовыми клиньями. В этом случае поверхности полюсных наконечников, расположенные концентрично поверхности якоря, образуют равномерный воздушный зазор.

В настоящее время в двигателях электровозов с круглым остовом катушки главных полюсов обычно наматывают на узкое ребро. Это улучшает охлаждение катушек, их компактность и прочность и, кроме того, позволяет уменьшить высоту сердечника главных полюсов, а следовательно, и диаметр остова.

К концам обмотки приклепывают и припаивают припоем ПМФ выводные скобы с патронами или выводные провода с наконечниками. В качестве межвитковой изоляции используют асбестовую бумагу или электронит толщиной 0,3...0,5 мм, выступающие за край ленты меди на 1...2 мм с каждой стороны.

Валы тяговых двигателей изготавливают из хромоникелевой стали 20ХНЗА с термической обработкой. Валы выполняют с минимально возможным числом переходов по диаметру, причем переходы осуществляют галтелями определенного радиуса во избежание концентрации напряжений. Концы вала имеют конусность 1:10.

Втулка якоря цилиндрической или коробчатой конструкции отливается из стали 25Л1.

Сердечник якоря собирают из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм марок 1212, 1213, 1322, 3411 или 3412. В листах выштамповывают пазы для размещения обмотки, отверстия аксиальных вентиляционных каналов и место для посадочной шпонки.

Все современные тяговые двигатели электровозов имеют петлевую обмотку якоря с уравнительными соединениями первого рода, а тяговые двигатели электропоездов — волновую. Секции

современных тяговых двигателей выполняют с цельными головками, чаще всего закрываемыми бортом обмоткодержателя (двигатели НБ-406, -412М, -412К, -414, -418К6, ДК-103, -106Б, РТ-51Д, -113 и 1.ДТ.003). У двигателей последних выпусков НБ-418К6, -514, -520, АЛ4846еТ, АЛ4846Т, АЛ4442пР, ТАО-649В1, -649А1 и GB317/23а головки секций открыты, что снижает нагрев обмоток, но увеличивает вероятность их повреждения. Материалом для проводников служит прямоугольная голая мягкая обмоточная медь МГМ или обмоточный провод.

Изоляцию отдельных шинок обмотки якоря, обычно класса В, выполняют внахлест одним слоем микаленты ЛФЧ толщиной 0,1 мм, а корпусную изоляцию — микалентой ЛФЧ толщиной 0,1 или 0,13 мм (число слоев зависит от напряжения машины по отношению к «земле»). Поверх корпусной накладывают защитную покровную изоляцию из стеклоленты толщиной 0,15 мм (один слой встык). В последнее время для изоляции якорных катушек применяют липкий эскапон, образующий монолитную изоляцию.

Обмотку якоря всех тяговых двигателей в пазовой части крепят клиньями из текстолита марки Б, стеклотекстолита марки СТ или прессовочной массы АГ-4, под которые помещают прокладки. Отдельные катушки изолированы друг от друга прокладками.

В электровозных двигателях пульсирующего тока (НБ-412М, -412К, -418К6, -514, -520) шины секций укладывают плашмя, располагая в пазах вертикально. При этом уменьшаются добавочные потери энергии в меди якоря и улучшается отвод теплоты от обмоток.

У тяговых двигателей ДК-103, -106, НБ-406, ТЛ-2К, АЛ646еТ, АЛ4846зТ, ТАО-649В1, -649А1 и GB317/23а бандажи выполнены из луженой магнитной или немагнитной проволоки, скреплены скобами из белой луженой жести и припаяны припоем ПОС-40. У всех двигателей, кроме ТАО-649В1 и -649А1, бандажная проволока круглая диаметром 2 мм, а у названных двигателей — прямоугольная размерами 1,5×3 мм. При необходимости бандажи накладывают в два слоя.

Двигатели НБ-414, -418К6, -420Б, -514 и -520 выпускают со стеклобандажами из непрерывных, параллельно ориентированных стеклонитей, пропитанных полиэфирной смолой. Общая толщина бандажа составляет 4 мм. Двигатели НБ-412М, -412К, РТ-51Д снабжены металлическими бандажами или стеклобандажами.

Коллекторы тяговых двигателей арочного типа выполняют со стальными зажимными конусами.

Материалы для изготовления коллекторных пластин — твердая медь холодной протяжки трапецеидального сечения марки М1 с пределом прочности при растяжении 30 кгс/мм<sup>2</sup> (300 МПа) и кадмиевая медь с пределом прочности при растяжении 35 кгс/мм<sup>2</sup> (350 МПа).

Петушки чаще всего составляют единое целое с пластиной, но иногда (в двигателях НБ-418К и -420Б) их приваривают. Шлицы пластин лудят припоем ПОС-40.

Изоляцию между коллекторными пластинами изготавливают из твердого коллекторного миканита марки КФШ или КФА, содержащего не более 3 % склеивающих веществ.

Изоляционные цилиндры, помещаемые между кольцом коллекторных пластин и коробкой коллектора, имеют толщину 1,25...2,0 мм.

Коллекторная коробка в современных двигателях отечественного производства объединена с передним обмоткодержателем якоря и напрессована на втулку (коробку) якоря.

Выступающую за торец коллекторных пластин часть миканитовой манжеты бандажируют стеклянной электроизоляционной лентой и покрывают дугостойкой эмалью ГФ-92-ХК красного цвета.

У тяговых двигателей электровозов и электропоездов постоянного тока щеточный аппарат состоит из кронштейнов щеткодержателей, укрепляемых на остова двигателя, и установленных на них корпусов щеткодержателей со щетками.

У электровозных двигателей пульсирующего тока шестиполюсного исполнения кронштейны щеткодержателей устанавливают на поворотной траверсе для подведения к смотровым люкам любого из шести щеткодержателей. Корпуса щеткодержателей изготавливают из латуни ЛС-59-1 и ЛК-80-3. В электровозных двигателях применяют щетки марок ЭГ-2А и -74. В двигателях постоянного тока щетки цельные, а в двигателях пульсирующего тока с более трудными условиями коммутации — составные, из двух частей.

В современных тяговых двигателях усилие нажимного устройства на щетку передается через резиновые накладки, демпфирующие колебания щеток.

Нажимные устройства в щеткодержателях выполняют со спиральными пружинами из плоской ленты или с цилиндрическими винтовыми пружинами из круглой проволоки.

В тяговых двигателях последних выпусков (НБ-418К6, -514 и -520) винтовые цилиндрические пружины щеткодержателей изготовлены из пружинной стали 60С2.

## 7.2. Вспомогательные электрические машины

Несмотря на то что вспомогательные электрические машины существенно отличаются друг от друга по назначению, мощности, рабочим характеристикам и другим показателям, они имеют общие элементы конструкции.

Все двигатели вентиляторов и компрессоров являются одноколлекторными четырехполюсными последовательного возбуждения, а двигатели преобразователей — четырехполюсными смешанного возбуждения.

Применение последовательного возбуждения в двигателях вентиляторов и компрессоров обусловлено тем, что такие двигатели имеют наиболее простую схему включения, характеризуются большим пусковым моментом и высокой перегрузочной способностью.

Двигатели последовательного возбуждения обладают лучшими эксплуатационными характеристиками при неустановившихся процессах работы оборудования.

Указанные особенности двигателей последовательного возбуждения способствуют повышению их надежности по сравнению с двигателями других типов.

В то же время двигатели данного типа непригодны для привода таких машин, как возбудители рекуперации, из-за нестабильности частоты вращения вала при изменениях нагрузки.

Для автоматической стабилизации режима применяют двигатели смешанного возбуждения.

У вспомогательных машин допускаются более высокие значения среднего межламельного напряжения, чем у тяговых двигателей: это напряжение нередко достигает 40...42 В.

Для повышения стабильности работы при значительных колебаниях напряжения и улучшения пусковых характеристик магнитные системы вспомогательных машин обычно выполняют слабонасыщенными.

Использование генераторов со слабонасыщенной магнитной системой облегчает регулирование напряжения и поддержание его в заданных пределах при значительных колебаниях частоты вращения двигателя привода, которые вызваны нестабильностью напряжения на токоприемнике.

Обмотки полюсов и якорей вспомогательных машин изготавливают из медного провода с изоляцией класса А или В.

Вспомогательные машины обычно изготавливают с самовентиляцией, хотя известны случаи выполнения вспомогательных машин и с независимой вентиляцией (НБ-431А).

## 7.3. Мотор-генераторы (преобразователи)

Мотор-генераторы (преобразователи) состоят из высоковольтного двигателя, включенного на напряжение контактной сети 3 000 В, и низковольтного генератора, подающего напряжение на обмотки возбуждения тяговых двигателей при рекуперативном торможении электровоза постоянного тока. Обе эти машины, как правило, выполняют в общем остове, а якоря собирают на одном валу.

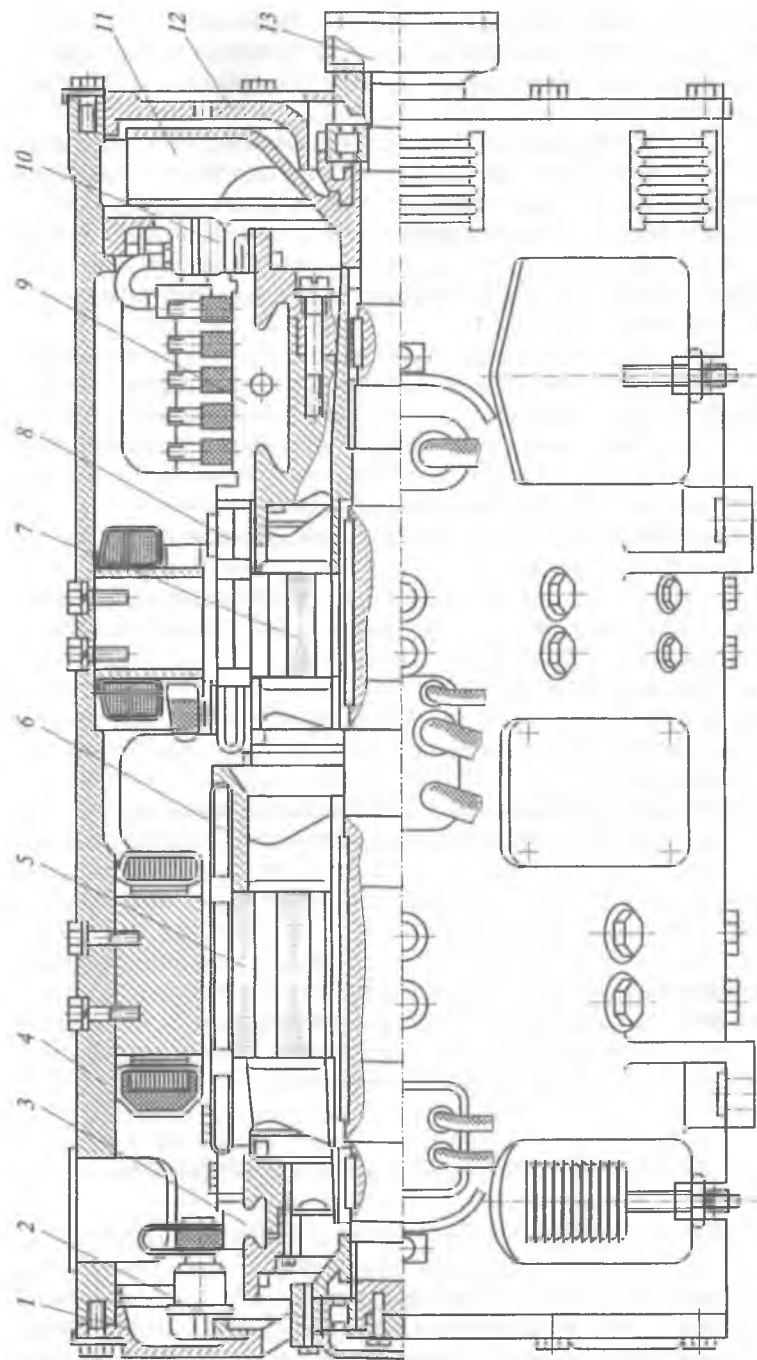


Рис. 7.2. Мотор-генератор (преобразователь) НБ-436В:

1, 2 — подшипниковые шты; 3, 9 — шеткодержатели двигателя и генератора; 4 — остова; 5, 7 — сердечники якоря двигателя и генератора; 6, 8 — обмотки якоря; 11 — вентилятор; 12, 13 — реле оборотов

Мотор-генератор (преобразователь) НБ-436В (рис. 7.2) — самовентилируемый агрегат. Вентилятор 11 расположен на конце общего вала со стороны коллектора 9 генератора. Двигатель преобразователя четырехполюсный смешанного возбуждения; генератор шестиполюсный также смешанного возбуждения. Остов 4 неразъемный, цилиндрической формы, отлит из стали 25Л-1.

Катушки последовательного и независимого возбуждения изготовлены из медного прямоугольного провода ПБД, а их изоляция выполнена внахлест\* из трех слоев ленты из лакоткани толщиной 0,2 мм каждый и слоя киперной ленты толщиной 0,45 мм.

Катушки независимого возбуждения генератора из круглого медного провода ПБД изолированы тафтяной лентой толщиной 0,25 мм, слоем ленты из лакоткани толщиной 0,2 мм вразбежку и слоем киперной ленты толщиной 0,45 мм внахлест. Катушки независимого возбуждения содержат два витка медного прямоугольного провода на каждый полюс. Их изоляция состоит из слоя асбестовой ленты вразбежку, шести слоев внахлест микаленты толщиной 0,13 мм и слоя внахлест киперной ленты толщиной 0,45 мм.

Сердечники дополнительных полюсов преобразователя изготовлены из стальных поковок.

Корпусная изоляция полюсных катушек двигателя состоит из слоя тафтяной ленты толщиной 0,25 мм, трех слоев лакоткани толщиной 0,2 мм и слоя киперной ленты толщиной 0,45 мм (все слои наложены внахлест).

Корпусная изоляция катушек дополнительных полюсов генератора выполнена из двух слоев микаленты толщиной 0,13 мм внахлест и киперной ленты толщиной 0,45 мм, наложенной одним слоем внахлест и одним — вразбежку.

Сердечники 5 и 7 якорей насажены на вал без якорной втулки. Коллектор 3 двигателя содержит 343 пластины, а коллектор 9 генератора — 228. Толщина межламельной изоляции между пластинами коллекторов двигателя и генератора равна 1 и 0,8 мм соответственно. Диаметр и длина рабочей поверхности коллектора двигателя составляют 390 и 32 мм, а коллектора генератора — 380 и 200 мм.

Волновая обмотка 6 якоря двигателя состоит из 343 четырехвитковых секций, выполненных из медного провода ПЭЛШД. В каждой катушке имеется по семь секций. Каждая катушка якорной обмотки изолирована лакотканью толщиной 0,1 мм (семь оборотов), лентой из лакоткани толщиной 0,2 мм и тафтяной лентой толщиной 0,25 мм, наложенными по одному слою внахлест. В пазу расположены 14 сторон секций, которые имеют 56 эффективных

\* Рассматриваемые здесь и далее нахлесточные соединения выполнены с перекрытием, составляющим половину ширины изоляционной ленты.

проводников. Обмотка якоря укреплена на сердечнике бандажми из стальной проволоки диаметром 1,5 мм, содержащими 30 витков на пазовой части и 86 витков на лобовых частях.

Петлевая обмотка  $\delta$  якоря генератора состоит из 228 одновитковых секций, которые выполнены из медного провода, изолированного слоем микаленты толщиной 0,075 мм внахлест. Катушка содержит четыре секции.

Катушки якоря изолированы тремя слоями микаленты толщиной 0,1 мм внахлест и стеклолентой толщиной 0,1 мм, наложенной одним слоем встык. Обмотка закреплена бандажми из стальной проволоки диаметром 1,5 мм (на сердечнике — 30 витков, а на лобовых частях — 75).

На мотор-генераторе (преобразователе) НБ-436В установлены две поворотные траверсы щеткодержателей, укрепленные на подшипниковых щитах 1 и 12. На траверсе двигателя смонтированы четыре однощеточных щеткодержателя.

Траверса генератора имеет шесть пальцев, каждый из которых снабжен пятью щеткодержателями. Сила нажатия на щетку, равная 1,2...1,5 кгс (12...15 Н) для двигателя и 1,0...1,2 кгс (10...12 Н) для генератора, обеспечивается регулированием нажимного устройства щеткодержателей. Размеры щеток ЭГ-2А двигателя 10×25 мм, генератора — 16×32 мм.

Якорь преобразователя опирается на роликовые подшипники. Со стороны двигателя установлен фиксирующий подшипник 80-92317Л1, со стороны генератора — плавающий 80-32317Л1. Наружные кольца запрессованы в подшипниковые щиты, изготовленные из стального литья, а внутренние — на вал якоря. Подшипниковые щиты запрессованы в остов и закреплены шестью болтами с пружинными шайбами.

Конструкции преобразователей НБ-429А и -436В не имеют принципиальных отличий.

#### 7.4. Электродвигатели привода вспомогательных агрегатов

Электродвигатели НБ-430А, ТЛ-110М и -101. Эти электродвигатели служат для приведения в действие ротора вентилятора и генератора управления электровозов ВЛ10 и ВЛ11. Ротор вентилятора насажен на вал электродвигателя со стороны, противоположной коллектору. Якорь генератора управления смонтирован на консольной части вала электродвигателя со стороны коллектора, а остов генератора укреплен торцевой частью на подшипниковом щите двигателя.

Остов 4 электродвигателя ТЛ-110М (рис. 7.3), отлитый из стали 25Л-1, имеет цилиндрическую форму, четыре лапы для крепле-

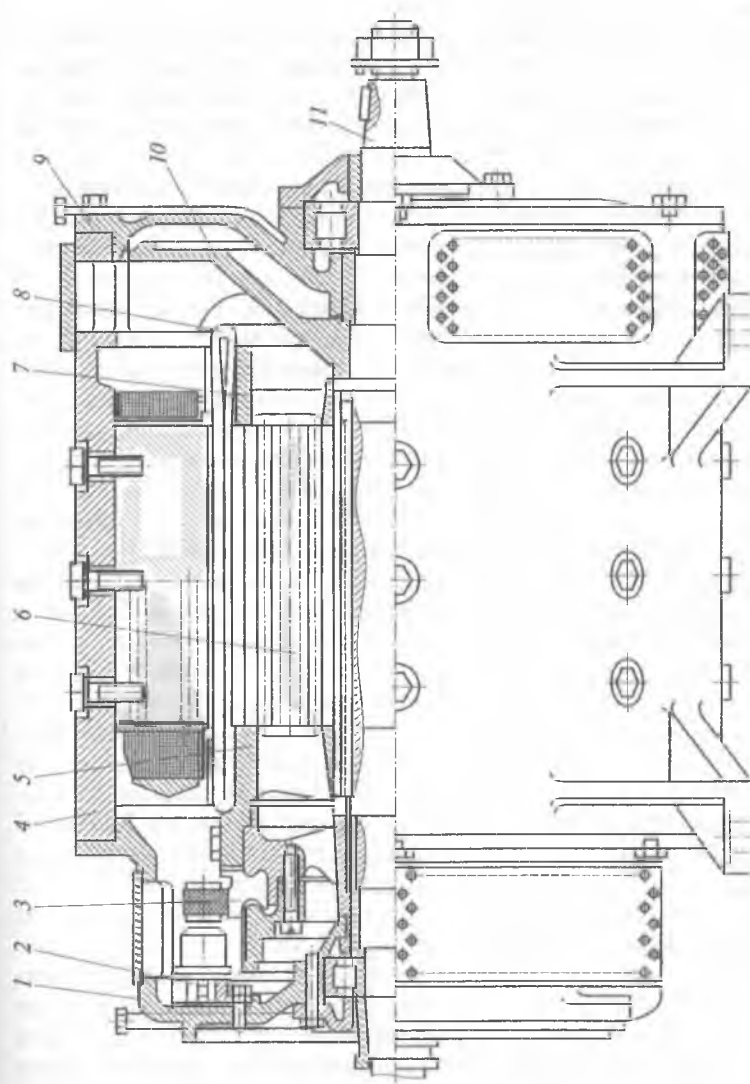


Рис. 7.3. Электродвигатель ТЛ-110М:

1, 9 — подшипниковые щиты; 2 — щеточное устройство; 3 — коллектор; 4 — остов; 5, 7 — нажимные шайбы; 6 — сердечник якоря; 8 — обмотка якоря; 10 — вентилятор; 11 — вал

ния в кузове электровоза и две горловины по торцам, закрытые подшипниковыми щитами 1 и 9. Остов двигателя ТЛ-101 сварен из листовой стали толщиной 30 мм.

В подшипниковых щитах установлены роликовые подшипники якоря. У двигателей ТЛ-110М и -101 со стороны коллектора 3 смонтирован упорный подшипник 2Н92317К1, а со стороны, противоположной коллектору, — радиальный роликовый подшипник 2Н32417К1.

Главные полюсы двигателей расположены по вертикальной и горизонтальной осям. Основные листы сердечников главных полюсов набраны из листовой стали Ст2кп толщиной 1,5 мм и сжаты заклепками между крайними листами толщиной 5 мм. Главный полюс прикреплен к остову тремя шпильками. Сердечники дополнительных полюсов выполнены массивными литыми или из толстолистового проката. На нижней части сердечника установлены латунные наконечники для закрепления катушки. Для обеспечения надежной коммутации при переходных режимах между остовом и сердечником дополнительного полюса предусмотрены немагнитные прокладки толщиной 3 мм.

Катушки главных полюсов двигателей ТЛ-110М и НБ-430А выполнены из прямоугольного провода марки ПБД и ПСД соответственно. Корпусная изоляция катушек главных полюсов двигателя НБ-430А состоит из шести слоев лакоткани толщиной 0,2 мм и слоя тафтяной или киперной ленты толщиной 0,4...0,45 мм, намотанных внахлест, а изоляция двигателя ТЛ-101 — из шести слоев micaленты ЛФЧ1 толщиной 0,13 мм, также наложенных внахлест.

Необходимая форма катушки достигается применением картонных прокладок и деревянных клиньев. Катушки дополнительных полюсов двигателей ТЛ-110М и НБ-430А изготовлены из медного провода ПБА прямоугольного сечения, а двигателя ТЛ-101 — из провода ПСД. Их корпусная изоляция выполнена так же, как и корпусная изоляция катушек главных полюсов.

Выводные концы катушек полюсов изготовлены из провода ПС-3000 или -4000 с площадью сечения 6 мм<sup>2</sup>.

Сердечник якоря двигателей набран из листов электротехнической стали Э12 или Э13 толщиной 0,5 мм, изолированных с обеих сторон лаковой пленкой. Двигатели ТЛ-110М, -101 и НБ-430А имеют коллектор с 343 пластинами. Его диаметр равен 390 мм, а длина рабочей части — 32 мм.

Обмотка 8 якоря волновая, с неразрезными катушками (у двигателя НБ-430А — трехвитковыми из круглого медного провода ПЭЛШД). Корпусная изоляция якорных катушек в пазовой части состоит из 7,5 слоя лакоткани толщиной 0,1 мм и слоя полотняной ленты, наложенных внахлест. Слои проводников в секции отделены по высоте один от другого прокладками из электрокартона толщиной 0,1 мм. Корпусная изоляция катушек якоря двигате-

ля ТЛ-101 выполнена лентой из стеклолакоткани ЛСБ толщиной 0,2 мм, намотанной в шесть слоев и покрытой внахлест слоем стеклоленты толщиной 0,1 мм.

Охлаждение двигателя осуществляется насаженным на его вал вентилятором 10 с радиальными лопатками.

Щеточное устройство 2 состоит из литого латунного корпуса, кронштейна, фарфорового изолятора и механизма нажатия на щетку. Корпус щеткодержателя укреплен на кронштейне с помощью гребенки, позволяющей регулировать зазор между корпусом и коллектором. Кронштейны установлены на поворотной траверсе, закрепленной на подшипниковом щите. Пальцы снабжены изоляцией из изолина или пресс-массы АГ-4 и фарфоровым изолятором. Нажатие на щетку осуществляется витой плоской пружиной.

**Асинхронный электродвигатель АЭ92-402.** Электродвигатель с короткозамкнутым ротором стандартного исполнения (рис. 7.4) служит для приведения в действие главных компрессоров и центробежных вентиляторов на электровозе ВЛ80.

Электродвигатель АЭ92-402 открытого исполнения на лапах с аксиально-вытяжной вентиляцией и одним или двумя свободными выходами вала.

Электродвигатель допускает стоянку под током короткого замыкания или затяжной пуск продолжительностью не более 15 с при номинальном напряжении 380 В. Питание электродвигателя осуществляется от однофазной сети в системе с расщепителем фаз и постоянно включенными конденсаторами при колебании питающего напряжения сети в диапазоне 280...470 В и асимметрии напряжения по фазам в соответствии с нормативно-технической документацией на поставку.

Статор состоит из сварной станины 8 и сердечника 11, набранного из штампованных изолированных листов электротехнической стали Э12, покрытых лаком. Для заземления электродвигателя на лапах предусмотрены специальные болты.

Трехфазная обмотка 14 статора двухслойная симметричная; фазы соединены в звезду. Для обмотки использованы изолированный медный провод ПСД и изоляционные материалы класса В.

Пазовая изоляция, выполненная в виде коробочки, состоит из двух слоев гибкого слюдинита ГСС-1 толщиной 0,2 мм, между которыми помещен слой электрокартона ЭВ толщиной 0,2 мм. Поверх него проложен слой стеклолакоткани ЛСБ толщиной 0,2 мм. Для предохранения изоляции пазы от повреждения при укладке обмотки статора в пазы помещен вкладыш из электрокартона толщиной 0,2 мм. Между слоями обмотки в пазу установлена прокладка из слюдинитокартонной толщиной 0,6 мм, а под клином — прокладка из электрокартона ЭВ.

При укладке обмоток лобовые части первых катушек обмотки каждой группы изолируют внахлест двумя слоями стеклолакотка-

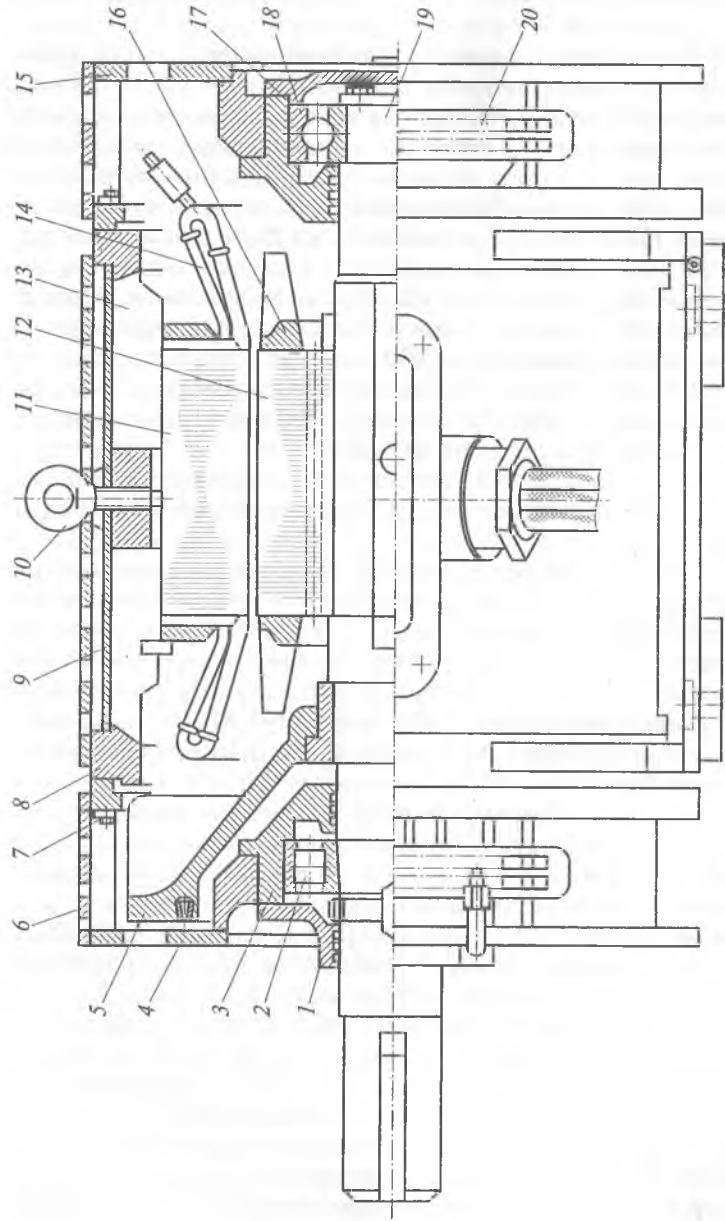


Рис. 7.4. Асинхронный электродвигатель АЭ92-402:

1 — лабиринтная крышка; 2, 18 — подшипники; 3 — консоль подшипника; 4, 15 — подшипниковые щиты; 5 — вентилятор; 6 — сетка; 7 — болт; 8 — станина; 9 — обшивка станины; 10 — рым-болт; 11 — сердечник статора; 12 — сердечник ротора; 13 — ребро станины; 14 — обмотка статора; 16 — крышка подшипника; 17 — вал; 19 — вал; 20 — кожух

ни ЛСБ толщиной 0,2 мм и слоем стеклотенты такой же толщины. Лобовые части остальных катушек изолируют по всей длине слоем стеклотенты, накладываемым внахлест. В лобовых частях обмотки между группами катушек расположены изолирующие междуфазовые прокладки из стеклослюдинитокартон толщиной 0,6 мм. Катушки в пазах статоров закреплены пазовыми клиньями высотой 4,5 мм, изготовленными из текстолита Б.

Соединения между группами катушек выполнены скруткой и подключены к выводным проводам медными хомутиками. Места соединений спаяны сплавом МФ-3. Выводные концы катушек изолированы стеклолакотулком. Изоляция соединений катушечных групп состоит из слоя черной стеклолакоткани толщиной 0,2 мм, а изоляция соединений обмотки с выводными проводами — из слоя той же стеклолакоткани и слоя стеклотенты толщиной 0,1 мм (все слои наложены внахлест). Для выводов использованы провода КРПТ или ПРГ. На выводные провода ПРГ по всей длине надеты изоляционные трубки. Вывод прикреплен к лобовой части и стянут посередине на длине 250...300 мм слоем ленты вразбежку в два жгута с тремя выводами в каждом.

Для повышения вибростойкости головки каждой катушки стянуты стеклочулком, а соединения обмотки скреплены стеклотентой равномерно по окружности и в 10—12 местах прикреплены к лобовым частям.

Листы сердечника 12 ротора изготавливают из электротехнической стали Э12 и не покрывают изоляционной пленкой. Заливка пазов ротора вместе с торцовыми кольцами образует короткозамкнутую обмотку типа беличьего колеса, торцовые лопасти которого служат вентилятором, охлаждающим двигатель. Сердечник покрыт лаком № 447. Посадка сердечника ротора на вал пресовая со шпонкой; точность обработки наружной поверхности  $\pm 0,06$  мм. Биение этой поверхности относительно поверхностей шеек вала под посадку подшипников не должно превышать 0,05 мм.

Короткозамкнутый ротор залит алюминиевым сплавом и отбалансирован динамически. На валу установлены подшипники качения — роликовый 70-2315КМШ 2 и шариковый 80-315Ш 18, заключенные в капсулы. Стальные подшипниковые щиты сварные. Встроенный вентилятор 5 электродвигателя отлит из алюминиевого сплава. Стальная ступица вентилятора установлена на валу горячей посадкой.

**Электронасос 4ТТ-63/10.** Для перекачки трансформаторного масла в системе охлаждения тягового трансформатора электроваза ВЛ80 предназначен электронасос 4ТТ-63/10 (рис. 7.5). Он обеспечивает устойчивую работу при колебании напряжения питающей цепи в диапазоне 280...460 В и коэффициенте асимметрии напряжения до 10%. Допускается протекание тока короткого замыкания или затяжной пуск длительностью до 60 с при номи-

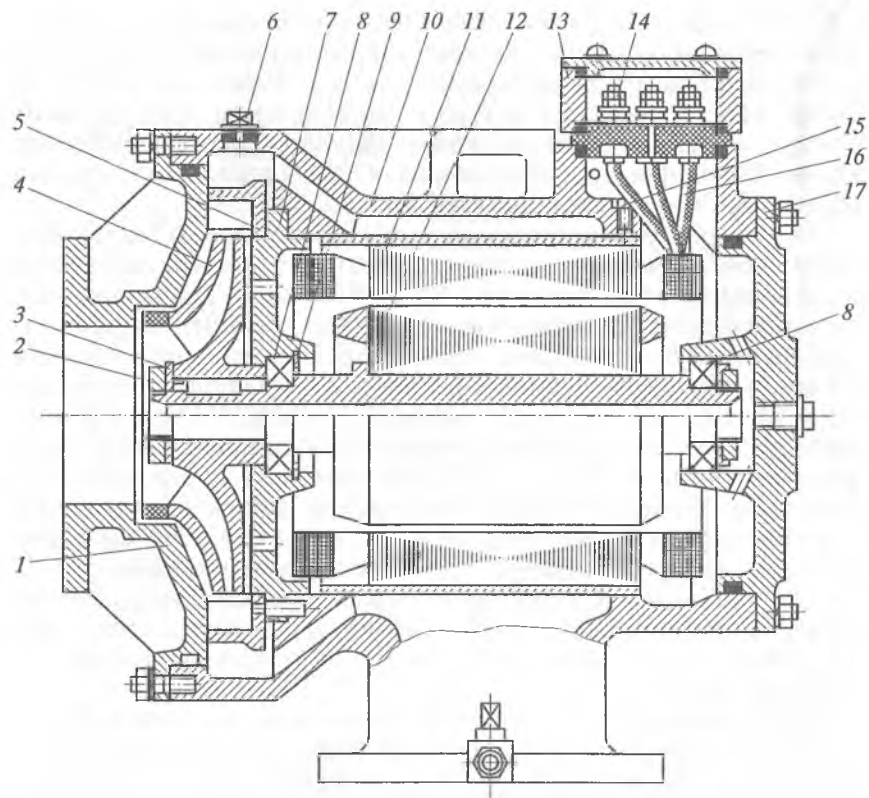


Рис. 7.5. Электронасос 4ТТ-63/10:

1 — всасывающий патрубок; 2 — гайка; 3 — стопорная шайба; 4 — рабочее колесо; 5 — направляющий аппарат; 6 — пробка; 7, 17 — подшипниковые щиты; 8 — шариковый подшипник; 9 — стопорное кольцо; 10 — корпус; 11 — статор; 12 — ротор; 13 — коробка выводов; 14 — выводы; 15 — болт заземления; 16 — выводной кабель

нальном напряжении 380 В и работа в течение 2 ч при температуре прокачиваемого масла 95 °С.

Электронасос представляет собой агрегат, состоящий из трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором стандартного исполнения и одноступенчатого центробежного насоса. Он монтируется в одном блоке с тяговым трансформатором. Герметичность электронасоса достигается установкой резиновых уплотнений между всасывающим патрубком 1, задним подшипниковым щитом 17, панелью зажимов и корпусом 10, а также между шпильками выводов 14 и панелью зажимов. Паза короткозамкнутого ротора 12 залиты алюминием. Сердечник ротора выполнен шихтованным из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Полый вал электронасоса, установленный на подшип-

никах 6306, имеет консольную часть со стороны всасывающего патрубка. На консоль вала напрессовано рабочее колесо 4 насоса.

Внутренняя полость электронасоса заполнена перекачиваемым трансформаторным маслом, которое, циркулируя, смазывает подшипники ротора и отводит теплоту, выделяющуюся при работе электродвигателя.

**Электродвигатель НБ-431А.** Этот низкооборотный четырехполюсный двигатель последовательного возбуждения предназначен для приведения в действие компрессора КТ-6. Частота вращения двигателя в номинальном режиме составляет 440 об/мин.

Двигатель имеет независимую систему вентиляции. Охлаждающий воздух поступает в него из воздухопровода вентиляции тяговых двигателей. При номинальной мощности 21 кВт и значении ПВ, равном 50 %, расход охлаждающего воздуха составляет 14 м<sup>3</sup>/мин при статическом напоре в коллекторной камере 9 мм вод. ст. (90 Па). Без принудительной вентиляции возможна работа двигателя при номинальной мощности и значении ПВ, равном 20 %.

## 7.5. Генераторы управления

Генераторы цепей управления — низковольтные машины, рассчитанные на работу в сравнительно широком диапазоне значений частоты вращения при номинальном напряжении 50 В и больших колебаниях потребляемой мощности.

Частота вращения изменяется в зависимости от напряжения на токоприемнике, так как генераторы управления электровозов постоянного тока приводятся во вращение двигателями вентиляторов. При этом напряжение на зажимах генератора должно составлять 50 В, а при усиленном подзаряде батареи — 65...70 В.

Поскольку в генераторах управления осуществляется параллельное возбуждение, они менее чувствительны к колебаниям нагрузки и напряжения по сравнению с генераторами последовательного возбуждения.

**Генератор ТЛ-110В.** Это четырехполюсная машина без добавочных полюсов и собственных подшипниковых щитов (рис. 7.6).

Остов 6 генератора с торцевой стороны закреплен на подшипниковом щите 8 электродвигателя ТЛ-110М, установленном со стороны коллектора. Остов цилиндрической формы отлит из стали 25Л-1 или выполнен сваркой из стального проката марки Ст3.

Сердечник 5 главного полюса набран из тонкой листовой стали Ст2 толщиной 1,5 мм и скреплен стальными заклепками. Каждый полюс прикреплен к остову двумя стальными шпильками с резьбой М16. Катушка 7 главного полюса, выполненная из обмоточного провода ПСД диаметром 2,12 мм, имеет 510 витков. Кор-

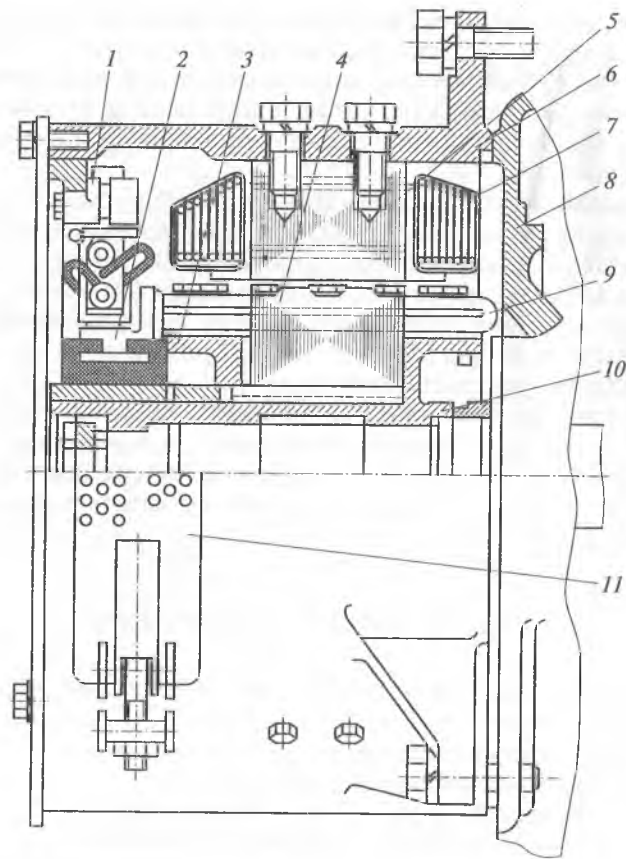


Рис. 7.6. Генератор управления ТЛ-110В:

1 — щеточный аппарат; 2 — коллектор; 3 — нажимная шайба; 4 — сердечник якоря; 5 — сердечник главного полюса; 6 — остов; 7 — катушка главного полюса; 8 — подшипниковый щит; 9 — обмотка якоря; 10 — втулка; 11 — крышка

пусная изоляция катушек изготовлена из трех слоев стеклослюдянистой ленты ЛСЭП-934-ТПл размерами  $0,13 \times 20$  мм, наложенной внахлест.

Воздушный зазор между якорем и полюсами составляет 2,2 мм.

Якорь генератора насажен консольно на цилиндрическую часть вала электродвигателя ТЛ-110М. Сердечник 4 якоря набран из электротехнической стали 1312 толщиной 0,5 мм.

Волновая обмотка 9 якоря состоит из 27 катушек, уложенных в пазы якоря. Выводы обмоток припаяны к петушкам оловом 02 (ГОСТ 860—75) с флюсом КСп (ОСТ 160.614.011—71). Обмотка якоря в пазах и ее лобовые части закреплены стеклобандажной лентой ЛСБ-Ф размерами  $0,2 \times 20$  мм.

Катушки якорной обмотки, изготовленные из провода ПЭТВСД размерами  $1,25 \times 6,0$  мм, имеют восемь элементарных проводников, расположенных по высоте в два ряда по четыре проводника. Корпусная изоляция состоит из двух слоев стеклослюдянистой ленты ЛСЭК-5СПл толщиной 0,11 мм, слоя фторопласта толщиной 0,03 мм, наложенных внахлест, и слоя стеклоленты толщиной 0,1 мм, наложенной встык.

Коллектор 2 генератора, состоящий из 107 пластин, насажен на стальную втулку. Щеточный аппарат 1 генератора включает в себя траверсу поворотного типа, на которой укреплены четыре изоляционных пальца с щеткодержателями. В щеткодержателях установлены щетки ЭГ-2А размерами  $16 \times 32 \times 32$  мм. Генератор снабжен независимой вентиляцией.

**Генераторы управления ДК-405А и -405К.** Это четырехполюсные генераторы без добавочных полюсов, вала якоря и подшипниковых щитов. Детали якоря собраны на втулке, с помощью которой якорь насажен на конец вала двигателя, а остов генератора закреплен торцовой частью на подшипниковом щите двигателя.

Сердечники главных полюсов шихтованные из листовой стали толщиной 1,5 мм. Их катушки выполнены из круглого медного провода ПБД. Корпусная изоляция состоит из слоя ленты из лакоткани толщиной 0,2 мм, слоя тафтяной ленты толщиной 0,25 мм и слоя киперной ленты толщиной 0,45 мм, наложенных внахлест.

Втулка якоря отлита из стали заодно с задней нажимной шайбой. Сердечник якоря зафиксирован на втулке шпонкой и нажимной шайбой. Листы сердечника отштампованы из электротехнической стали Э11 толщиной 0,5 мм. Для предотвращения распушения крайние листы сердечника изготовлены из стали Ст2 толщиной 1 мм.

Волновая обмотка якоря состоит из 27 катушек, выполненных из медного провода прямоугольного сечения. Корпусной изоляцией катушек служит лента из лакоткани ЛИП толщиной 0,1 мм ( $2/4$  оборота) и слой киперной ленты толщиной 0,45 мм, наложенные внахлест. Обмотка якоря закреплена бандажами из проволоки диаметром 1,5 мм.

Коллектор обычной конструкции собран на литом корпусе и скреплен нажимным конусом и специальной кольцевой гайкой, навинченной на корпус коллектора и застопоренной двумя болтами. Щеткодержатели установлены на поворотной траверсе.

Независимая вентиляция генератора осуществляется вентилятором двигателя.

**Генераторы управления ЗА-1731/4 и ПАЛ.** В отличие от генераторов типа ДК-405 эти генераторы изготавливают как самостоятельные электрические машины. Их устанавливают на остове двигателя вентилятора, а крутящий момент передается клиновой



ременной передачей. По своей конструкции они аналогичны генераторам типа ДК-405А. Катушки главных полюсов генератора ЗА-1731/4 выполнены из изолированного круглого провода, а добавочных — из голого медного провода прямоугольного сечения. Якорь имеет обычную конструкцию. Волновая обмотка якоря закреплена на сердечнике клиньями.

### 7.6. Расщепитель фаз НБ-455А

При использовании для вспомогательных машин трехфазных асинхронных двигателей на электровозе переменного тока должно быть предусмотрено преобразование однофазного тока в трехфазный. Для осуществления такого преобразования широко применяют асинхронные расщепители фаз, представляющие собой асинхронные машины с асимметричной обмоткой статора.

Принцип преобразования однофазного напряжения в трехфазное с помощью расщепителя фаз основан на свойстве вращающегося магнитного поля индуцировать в трехфазной статорной обмотке ЭДС, которая также будет трехфазной.

Обмотка статора представляет собой асимметричную звезду с неодинаковым числом пазов на полюс и фазу и с разным числом витков в катушечных группах.

Двигательная обмотка подключена к обмотке собственных нужд тягового трансформатора и предназначена для приведения во вращение ротора. Генераторная обмотка, создающая третью фазу, подключена к двигательной обмотке, но не в нулевой точке, а в точке, обеспечивающей наилучшую симметрию напряжений.

Будучи однофазной машиной, расщепитель фаз не имеет начального крутящего момента, поэтому его разгон до номинальной частоты вращения должен осуществляться либо с применением специального пускового двигателя, либо добавочного сопротивления (используется на практике), включенного между генераторной фазой и одним из концов двигательной фазы (асинхронный пуск). Так как пуск происходит на холостом ходу, то большого пускового момента не требуется.

По двигательной обмотке протекает однофазный переменный ток, и в магнитной системе машины создается не вращающееся, а пульсирующее магнитное поле. Для получения сдвига фаз между токами двигательной и генераторной обмоток в цепь генераторной обмотки включается активное сопротивление. Ток генераторной обмотки оказывается сдвинут по фазе на некоторый угол по сравнению с током двигательной обмотки. Этого сдвига достаточно для пуска и разгона ротора без нагрузки. Когда частота вращения ротора достигает 1 430 об/мин, расщепитель фаз переходит в

режим работы как однофазный асинхронный электродвигатель на холостом ходу.

Вращающееся магнитное поле, созданное двигательной обмоткой и ротором, пересекает витки генераторной обмотки, наводя в ней ЭДС. Так как генераторная обмотка сдвинута в пространстве относительно двигательных обмоток на угол 120 эл. град., то ее ЭДС будет сдвинута на тот же угол.

Чтобы обеспечить симметрию трехфазного напряжения при асимметричных падениях напряжения в отдельных фазах, обмотку статора выполняют асимметричной с разным числом витков.

Расщепители фаз, устанавливаемые по одному в каждой секции электровоза, работают отдельно.

Расщепители фаз НБ-455 и -455А (рис. 7.7), выполненные на базе расщепителя фаз НБ-453А, предназначены для преобразования однофазного напряжения обмотки собственных нужд тягового трансформатора в трехфазную систему напряжения 380 В. Нормальная работа расщепителя фаз обеспечивается при колебаниях напряжения питающей цепи в диапазоне 280...460 В.

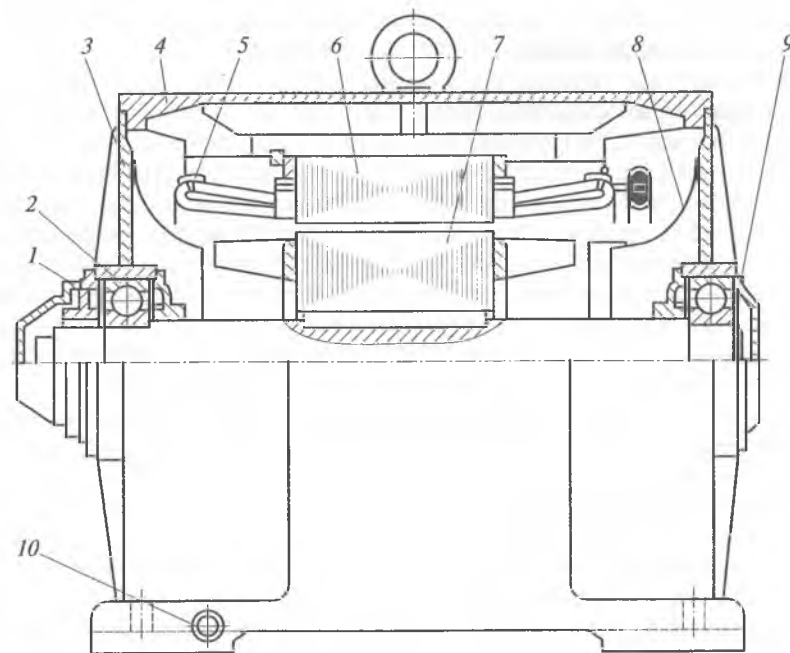


Рис. 7.7. Расщепитель фаз НБ-455А:

1, 9 — крышки подшипников; 2 — подшипник; 3 — подшипниковый щит; 4 — станина; 5 — бандажное кольцо; 6 — статор; 7 — ротор; 8 — направляющая воронка; 10 — болт заземления

Исполнение расщепителя фаз защищенное горизонтальное, с самовентилирующей.

Станина 4 расщепителя фаз отлита из серого чугуна СЧ15. По конструкции она аналогична станине электродвигателей серий АП и АС. Подшипниковые щиты 3 сварные, из стали. Сердечник статора 6 набран из листов электротехнической стали Э13 толщиной 0,5 мм, покрытых с обеих сторон лаком 202 или 302 и спрессованных с усилием 120...210 кН. Пазы статора полузакрытого типа для улучшения пусковых свойств имеют скос на одно зубцовое деление.

Двухслойная, трехфазная, несимметричная обмотка статора состоит из мягких катушек, имеющих несколько вариантов исполнения.

На каждом полюсном делении катушечные группы чередуются в такой последовательности, при которой первая и вторая фазы образуют двигательную обмотку, а третья — генераторную. Двигательную обмотку подключают к вспомогательной обмотке трансформатора, а генераторную — к двигательной обмотке. Напряжения генераторной и двигательных обмоток образуют трехфазную систему, к которой через зажимы, размещенные в клеммной коробке, подсоединяют асинхронные трехфазные электродвигатели вспомогательных машин.

Катушечные группы соединены скруткой и прикреплены к выводным проводам хомутиками из мягкой листовой меди толщиной 1,5 мм. Соединения предварительно обматывают тонкой медной проволокой и припаивают припоем ПОС-40. После этого их изолируют двумя слоями стеклолакоткани ЛСЭ-19 толщиной 0,2 мм и одним слоем (внахлест) тафтяной ленты толщиной 0,25 мм. Выводы обмотки статора прикрепляют к зажимам клеммной коробки. Обмотку в пазах закрепляют клиньями высотой 7 мм и дважды пропитывают лаком МГМ8.

Каждая катушка подвязана к изолированному бандажному кольцу. Обмотанный статор дважды пропитан лаком МГМ8.

Сердечник ротора 7 набран из нелакированных листов электротехнической стали Э11. Его короткозамкнутая обмотка залита алюминием.

Подшипниковые щиты и крышки 1 и 9 отлиты из серого чугуна СЧ 15. В нижней части щитов имеются люки, через которые поступает воздух. В качестве подшипников качения использованы шариковые подшипники 317.

Короткозамкнутый ротор залит алюминиевым сплавом. На валу установлены шариковые подшипники 76317.

На статоре расположены две обмотки — двигательная и генераторная. Двигательную обмотку подключают к обмотке собственных нужд тягового трансформатора. Двигательная и генераторная обмотки образуют трехфазную систему напряжения, от которой

получают питание вспомогательные трехфазные асинхронные электродвигатели.

Расщепитель фаз в холодном состоянии допускает протекание тока короткого замыкания при неподвижном роторе продолжительностью не более 20 с при напряжении 260 В и 6 с при напряжении 460 В. Повторное включение при токе короткого замыкания недопустимо; в крайнем случае оно может быть произведено не ранее чем через 10 мин.

Пуск расщепителя фаз осуществляется на холостом ходу без нагрузки с помощью пускового резистора, включаемого в генераторную фазу. Расщепитель фаз работает как однофазный асинхронный электродвигатель на холостом ходу. После разгона его ротора можно подключать нагрузку.

Для уменьшения размеров расщепителя фаз, повышения коэффициента мощности системы и некоторой регулировки симметрии напряжения при изменении нагрузки к зажимам наиболее крупных двигателей подключают конденсаторы. Компенсирующая емкость, приходящаяся на один расщепитель фаз, составляет около 2,2 мФ.

## 7.7. Сельсины и тахогенераторы

Сельсин — это индукционный датчик, выполненный в виде миниатюрной электрической машины переменного тока, способной самосинхронизироваться. Сельсины имеют две обмотки: возбуждения и синхронизации. На обмотку возбуждения однофазного сельсина подают напряжение несущей частоты (рис. 7.8). Обмотки синхронизации смещены в пространстве на  $120^\circ$  и соединены в звезду. Индуцируемые в этих обмотках ЭДС и токи имеют одну и ту же временную фазу. Обмотка возбуждения сосредоточенная или распределенная, а обмотки синхронизации всегда распределенные.

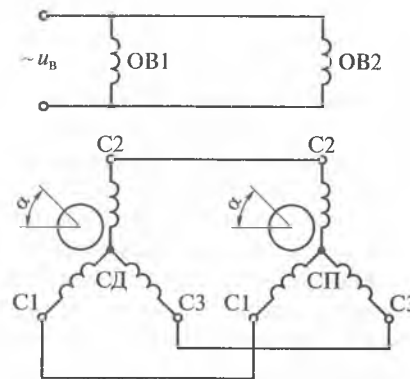


Рис. 7.8. Схема соединения сельсинов в индикаторном режиме:

OB1, OB2 — обмотки возбуждения; C1—C3 — концы фаз; СД — сельсин-датчик; СП — сельсин-приемник;  $u_b$  — напряжение цепи возбуждения;  $\alpha$  — угол поворота ротора сельсина

Принцип действия сельсина основан на изменении коэффициента взаимной индукции между подвижной и неподвижной обмотками при изменении их относительного положения.

В автоматике сельсины наиболее широко применяют в качестве измерительных устройств систем автоматического регулирования для определения угловых перемещений и углового рассогласования между входом и выходом.

Измерительные схемы на сельсинах, выполненные по типу «угол рассогласования — фаза — код», обладают высокой точностью и удобны для соединения с микроЭВМ.

По конструктивному исполнению сельсины подразделяют на контактные и бесконтактные. Принцип действия бесконтактного сельсина основан на пространственном вращении вектора пульсирующего магнитного потока при соответствующем угловом повороте ротора.

Бесконтактный сельсин (как и контактный) является обратной электрической микромашиной. В трансформаторном режиме магнитный поток индуцирует в однофазной обмотке сельсина-приемника синусоидальную ЭДС, изменяющуюся в зависимости от углового рассогласования между роторами сельсина-датчика и сельсина-приемника.

Указатель позиций на электровозе постоянного тока построен на базе индикаторного режима работы сельсинов и предназначен для указания положения (позиции) главного контроллера.

Сельсин БД-1404 предназначен для выдачи сигнала блоку управления при реостатном торможении.

*Тахогенераторами* называются электрические машины, служащие для измерения частоты вращения путем преобразования вращения вала в электрический сигнал — выходное напряжение.

По роду тока тахогенераторы подразделяются на тахогенераторы постоянного и переменного тока. К тахогенераторам предъявляют следующие основные требования:

- линейность и большая крутизна выходной характеристики;
- малая амплитудная и малая фазовая (для тахогенераторов переменного тока) погрешности;
- минимальная пульсация выходного напряжения (для тахогенераторов постоянного тока);
- малый момент инерции ротора и малая электромагнитная постоянная времени;
- стабильность выходной характеристики;
- малые масса и размеры.

На локомотивах тахогенераторы применяются для измерения частоты вращения валов, а также осуществления обратной связи по частоте вращения и введения сигнала по производной от угла поворота в автоматических системах регулирования.

Тахогенераторы постоянного тока представляют собой генераторы небольшой мощности с электромагнитным или магнито-электрическим возбуждением.

Выходное напряжение тахогенератора при постоянной силе тока возбуждения изменяется по линейному закону в функции частоты вращения. Наклон выходной характеристики зависит от сопротивления нагрузки.

В тахогенераторах с электромагнитным возбуждением изменение температуры окружающей среды приводит к изменению сопротивления обмотки возбуждения и, следовательно, силы тока возбуждения. Для уменьшения температурной погрешности магнитную систему тахогенератора выполняют насыщенной. В этом случае изменение силы тока возбуждения почти не влияет на значение магнитного потока тахогенератора.

Основные достоинства тахогенератора постоянного тока заключаются в отсутствии фазовых погрешностей и высокой чувствительности. К его недостаткам относятся наличие щеток и коллектора, что приводит к уменьшению его надежности в работе.

По своей конструкции синхронный тахогенератор не отличается от синхронного генератора малой мощности. На его статоре расположена трехфазная обмотка, соединенная в звезду. Ротор выполнен в виде постоянных магнитов с одной или двумя парами полюсов.

Частота напряжения зависит не от внешних условий, а только от частоты вращения ротора, поэтому точность измерений обуславливается исключительно точностью определения частоты выходного напряжения.

Недостатками тахогенераторов переменного тока являются их нестабильная работа при малой частоте вращения ротора и нерезистивность.

#### Контрольные вопросы

1. Какие изоляционные материалы используют при изготовлении тяговых электрических машин?
2. Каковы особенности конструкции тяговых двигателей постоянного тока?
3. Какие электрические машины относятся к вспомогательным?
4. В чем состоит назначение генераторов управления?
5. Опишите условия работы тягового электродвигателя.
6. Каково назначение траверсы щеткодержателя?
7. С какой целью в коллекторных пластинах выполняют круглые отверстия?

## ОСМОТР И ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

## 8.1. Осмотр коллектора

В процессе эксплуатации электрических машин по внешнему виду поверхности коллектора можно судить об их общем техническом состоянии. Недопустимые перегрузки двигателя, искрение, круговой огонь по коллектору оставляют следы на его поверхности.

В исправно работающей электрической машине коллектор имеет светлую полированную поверхность. Свидетельством неисправности машины может служить появление на коллекторе групп темных или обгоревших пластин.

Искрение между коллектором и щеткой вследствие ее неполного прилегания к поверхности может быть вызвано механическими причинами: наличием эксцентриситета у коллектора, волнообразности или переломов (рис. 8.1) у поверхности коллекторов.

Наиболее точный способ выявления неровности поверхности коллектора связан с проведением измерений при помощи индикатора. Последний прикрепляют к корпусу электродвигателя так, чтобы ножка касалась пружины непосредственно над щеткой. Необходимо убедиться в том, что щетка свободно перемещается в обойме щеткодержателя. Нажатие пружины должно быть достаточным для того, чтобы прижать щетку к поверхности коллектора.

Отметив начальное положение индикатора, начинают медленно и равномерно вращать якорь, что не всегда легко сделать. Щетки могут качаться или наклоняться и сбивать установку индикатора. Если направление вращения противоположно тому, в кото-

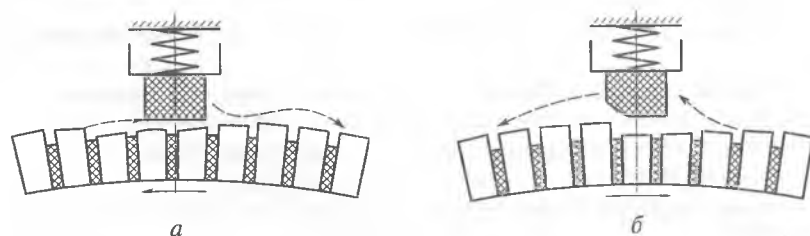


Рис. 8.1 Переломы поверхности коллектора:

*a* — перескакивание щеток; *b* — выкрашивание щеток

ром электродвигатель вращался в последний раз, то щетки могут вибрировать, когда грани коллекторных пластин проходят под ними. После изменения направления вращения можно сделать точный замер. Такое измерение при помощи индикатора удается выполнить быстро, если локомотив передвигать над смотровой канавой.

В том случае, когда неровность поверхности коллектора обнаружена у электродвигателя, который подлежит замене в ближайшее время, можно оставить его в эксплуатации при условии, что он не вызовет каких-либо неисправностей.

Если поломка щеток или круговой огонь вследствие неровности поверхности коллектора прервали эксплуатацию электродвигателя, то необходимо исправить поверхность коллектора. Это может быть выполнено при нахождении электродвигателя на месте или после снятия его с локомотива.

Иногда на коллекторе электродвигателя бывают приподняты пластины в местах, расположенных на одинаковых расстояниях друг от друга. Это может указывать на то, что неподвижный электродвигатель в течение продолжительного времени находился под током. В результате нагрева коллекторные пластины, расположенные под щетками, поднялись. Необходимо сделать метки на концах петушков этих коллекторных пластин. Если подобное повреждение появится повторно в тех же местах после того, как электродвигатель снова был пущен в эксплуатацию, то это будет свидетельствовать о наличии отжига пластин из-за местного перегрева. В данном случае электродвигатель должен быть снят для замены коллектора.

## 8.2. Перегрев коллектора и состояние изоляции

**Перегрев коллектора.** Если допустимая длительность перегрузки тяговых двигателей превышена, то якорь может нагреться настолько, что расплавится припой. Последний разбрызгивается и оседает на соединениях катушек возбуждения, корпусе, петушках.

Не следует, однако, смешивать это явление с последствиями кругового огня. Электродвигатель может перегреться из-за недостатка охлаждающего воздуха. Проверьте вентиляторы, их приводные ремни или приводные электродвигатели. Осмотрите гибкие соединения между воздухопроводом и входным каналом электродвигателей. Нет ли повреждений, которые могут вызвать утечку воздуха? В каком состоянии вентиляционные каналы в якоре? Они могут быть забиты грязью так, что воздух не в состоянии проходить через них. Не потеряны ли смотровые люки электродвигателя? Достаточно ли плотно они закрыты, чтобы удерживать требуемое давление воздуха?

Перегрев независимо от вызвавшей его причины может вызвать различные неисправности якоря. В частности, может нарушиться контакт между концами проводников обмотки якоря и прорезями петушков коллектора, что приведет к значительному увеличению переходного сопротивления. Возникнут очаги нагрева, которые вызовут повреждение изоляции или даже обгорание проводников. Такую неисправность можно обнаружить по изменению цвета петушков и проводников.

Еще более опасные последствия имеет ослабление бандажей обмотки якорей, так как оно не дает «предупредительных сигналов». Нагрев размягчает изоляцию, которая выходит из-под этих бандажей и ослабляет их, после чего секции обмотки могут начать вибрировать. В результате повреждается изоляция или ломаются проводники. Иногда часть расплавившегося припоя не выступает наружу, а проникает под изоляцию, растекается и замыкает накоротко проводники, хотя такой якорь с плохо пропаянными соединениями может продолжительное время работать.

**Состояние изоляции.** Изоляция на основании одного лишь наружного осмотра может быть ошибочно признана хорошей. Дело в том, что поверхности утечки покрываются тонким слоем токопроводящей грязи. Эти поверхности обычно недоступны для осмотра (изоляторы щеткодержателей, обвязка миканитового конуса коллектора, изоляция между петушками и бандажами). Однако при наличии таких загрязнений машина не выдерживает испытаний на пробой высоким напряжением или повреждается в эксплуатации. Поэтому желательно измерять сопротивление изоляции, для чего применяют мегомметры различных типов.

В катушках и сердечниках полюсов обычно не возникает неисправностей. Тем не менее следует проверять, нет ли на них повреждений, вызванных круговым огнем, который иногда зажигает маслянистую грязь между катушками. Вентиляторы направляют на пламя сильную струю воздуха, и машина может получить значительные повреждения прежде, чем выгорит грязь.

Ослабление крепления катушек на полюсах трудно обнаружить до тех пор, пока вследствие вибрации не протрется насквозь изоляция и не произойдет короткое замыкание на землю. Признаком ослабления катушки иногда служит появление ржавчины между концами полюсов и пружинными фланцами.

### 8.3. Испытания электрических машин

Каждая выпускаемая из ремонта электрическая машина по окончании ремонтных работ, за исключением отделочных, подвергается квалификационным, приемо-сдаточным, периодическим, ти-

повым и ресурсным испытаниям. Испытания следует проводить при питании машины током того рода, для которого она предназначена. Методы испытаний, последовательность выполнения операций и технические требования должны соответствовать ГОСТ 2582—81.

Схемы, применяемые для испытаний, должны иметь характеристики, соответствующие характеристикам подвижного состава, для которого предназначен данный тип электрической машины.

*Квалификационные* испытания осуществляют при выпуске электрических машин новых типов, а также при освоении производства новым изготовителем для определения основных характеристик и проверки соответствия их расчетным данным и действующим стандартам. Испытания проводят на специальных станциях с использованием типового оборудования.

Программа и последовательность квалификационных испытаний электрических машин постоянного и пульсирующего тока включают в себя определение зависимости статического давления охлаждающего воздуха после его входа в электрическую машину как функции расхода продуваемого через нее воздуха (для электрических машин с независимой вентиляцией); определение зависимости полного напора охлаждающего воздуха перед входом в электрическую машину как функции расхода продуваемого через нее воздуха (для электрических машин с независимой вентиляцией); измерение сопротивления обмоток при постоянном токе практически в холодном состоянии; испытание на нагрев при продолжительном, повторно-кратковременном или кратковременном режиме работы; определение силы тока при часовом или другом эквивалентном режиме, соответствующем превышению температуры при работе электрической машины в номинальном режиме; испытание на нагрев в течение 1 ч или меньшего интервала времени при значении силы тока, принятом в предыдущем испытании; проверку частоты вращения и реверсирования при номинальных значениях напряжения, силы тока нагрузки и возбуждения для двигателей или проверку напряжения генераторов при номинальной частоте вращения; испытание при повышенной частоте вращения; испытание электрической прочности междувитковой изоляции обмоток; измерение биения коллектора; проверку коммутации; измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками; испытание электрической прочности изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками; построение сетки кривых нагрева и охлаждения тяговых двигателей; определение скоростных характеристик при номинальном напряжении или мощности двигателей (в последнем случае при заданной зависимости питающего напряжения от силы тока якоря) на всех рабочих ступенях регулирования возбуждения для двигателей.

Нагрузочные характеристики двигателя определяются для силы тока обмотки возбуждения, составляющей от 0,25 номинального значения до номинального.

Для генераторов управления определяются внешняя и регулировочная характеристики.

Помимо перечисленных работ при квалификационных испытаниях в соответствии с ГОСТ 2582—81 в зависимости от назначения определяются:

- для электрических машин магистральных электровозов — характеристики затухания магнитных потоков главных и добавочных полюсов;
- для тяговых электродвигателей и вспомогательных электрических машин электровозов — индуктивности обмоток;
- для электрических машин постоянного тока мощностью более 3 кВт — кривые распределения межламельных напряжений по окружности коллектора.

Для всех типов электрических машин выполняются следующие работы: определение потерь и КПД, испытания на пуск и холодостойкость при эксплуатации, проверка уровня вибрации, испытание на вибропрочность, измерение массы и проверка степени защиты.

*Приемосдаточным* испытаниям подвергается каждая машина, выпускаемая заводом-изготовителем или прошедшая ремонт, для проверки номинальных параметров, качества изготовления или ремонта, пригодности к эксплуатации и соответствия ТУ и стандартам.

Программа приемосдаточных испытаний машины постоянного тока предусматривает внешний осмотр, измерение сопротивления обмоток, испытание на нагрев в течение 1 ч, проверку частоты вращения и реверсирования при номинальных значениях напряжения, силы тока нагрузки и возбуждения для тяговых электродвигателей. Результаты испытаний фиксируются в протоколе, на основании которого составляется паспорт машины.

*Периодические* испытания серийных машин, находящихся в производстве, осуществляются один раз в два года по программе квалификационных испытаний, за исключением построения сетки кривых нагрева и охлаждения, определения индуктивности обмоток, испытания на холодостойкость и вибропрочность, а также проверки степени защиты.

*Типовые* испытания проводятся по программе квалификационных испытаний при изменении конструкции, материалов и технологического процесса изготовления. В этом случае по согласованию с заказчиком допускается исключение отдельных пунктов программы.

*Ресурсным* испытаниям подвергаются серийно выпускаемые электрические машины, а также машины, изготавливаемые при

изменении конструкции, технологического процесса или замене материалов, влияющих на ресурс. В ходе испытаний оцениваются тепловое старение изоляции, вибропрочность, износ трущихся поверхностей и др.

При осмотре машины, поступившей на испытание, обязательно проверяют: состояние коллектора, правильность установки щеткодержателей, состояние и сопротивление изоляции, проворачивание якоря от руки и его разбег, положение траверсы щеткодержателя и исправность щеточного аппарата, наличие смазки в подшипниках. На коллекторе не должно быть пластин с острыми кромками и заусенцами, грязи и остатков графита между пластинами, краски, масла и забоин. Биение коллекторов тяговых электродвигателей на нагретой машине не должно превышать 0,04 мм, а коллекторов и контактных колец тяговых генераторов — 0,06 мм.

*Испытание на холостом ходу* состоит в проверке качества сборки машины перед испытанием под нагрузкой. При этом оценивается работа подшипников и щеток.

*Измерение омического сопротивления обмоток в холодном состоянии* проводится с соблюдением условий, обеспечивающих высокую точность замеров, так как от этого зависит правильность определения рабочих характеристик машины. Считается, что обмотки находятся в холодном состоянии, если температура всех частей машины не отличается от температуры окружающей среды более чем на 3 °С.

Для измерения сопротивления обмоток используется метод сопротивления (вольтметра-амперметра), который обеспечивает высокую точность при применении приборов классов точности 0,2—0,5. Вольтметр, измеряющий падение напряжения, должен присоединяться непосредственно к выводам измеряемой обмотки. Цепь должна иметь минимальное число контактов, а измерения должны производиться быстро во избежание нагрева обмотки под действием протекающего тока.

Необходимо снимать одновременно показания амперметра и вольтметра. Вольтметры присоединяют к обмоткам главных и добавочных полюсов при помощи стационарных зажимов, а к обмотке якоря — с использованием специальных щупов, которые устанавливают на коллекторных пластинах, расположенных между щетками (на этих пластинах измеряется сопротивление в горячем состоянии). По результатам измерений на основании закона Ома определяется среднее значение сопротивления обмоток. Полученное сопротивление для сравнения с расчетным приводится к температуре 20 °С.

*Испытания машин на нагрев* при приемосдаточных испытаниях проводятся для определения превышения температуры (перегрева) обмоток, коллектора и подшипников над температурой охлаждающего воздуха при номинальном режиме работы. Испы-

тания тяговых электрических машин под нагрузкой выполняют методом взаимной нагрузки. Для этого две однотипные машины соединяют электрически и механически (с помощью муфт), причем одна машина работает в режиме генератора, а другая — в режиме двигателя.

В процессе испытания машины под нагрузкой следует постоянно контролировать силу тока нагрузки, напряжение, частоту вращения, температуру подшипников, охлаждающего воздуха и неподвижных обмоток (методом сопротивления). Так как от температуры обмоток зависит долговечность изоляции, то приборы для измерения тока и напряжения при испытаниях на нагрев должны иметь высокий класс точности (0,2—0,5).

В процессе испытаний поддерживают постоянными нагрузку, частоту вращения и подачу воздуха в машину, производя измерения через каждые 10...15 мин и фиксируя измеренные значения в журнале. В момент окончания режима нагрузки записывают показания приборов и быстро останавливают машину.

Для определения температуры обмотки якоря после остановки машины якорь устанавливают (поворотом от руки) так, чтобы коллекторные пластины, на которых измерялось падение напряжения в холодном состоянии, были доступны для установки щупов амперметра и милливольтметра для определения падения напряжения на нагретой обмотке якоря.

Первое измерение сопротивления можно производить через 30...45 с после остановки машины, поэтому для определения температуры обмотки якоря в момент окончания режима нагрузки осуществляется экстраполяция кривой остывания на момент снятия нагрузки. Для этого в течение 5...8 мин определяется сопротивление обмотки якоря. Промежуток времени между измерениями в течение первых 3 мин не должен превышать 20 с, а затем — 30 с. По полученным данным строят кривую зависимости изменения сопротивления от времени, называемую кривой остывания (ГОСТ 11828—75). Кроме того, рассчитывают превышения температуры обмоток главных и добавочных полюсов, результаты сравнивают с предельно допустимыми превышениями температур частей тяговых электрических машин по отношению к температуре охлаждающего воздуха.

*Испытания на проверку отклонения частоты вращения* производят после испытания на нагрев, так как частота вращения машин постоянного тока зависит от сопротивления обмоток. Допустимые отклонения частоты вращения валов электродвигателей постоянного тока в точке, соответствующей номинальному режиму, от частоты вращения, установленной по типовой характеристике, составляют не более  $\pm 3\%$ .

У двигателей, предназначенных для вращения в обе стороны, разность между частотами вращения в одну и другую сторону,

выраженную в процентах среднего арифметического значения обеих частот вращения, не должна превышать 4 %.

*Испытания на повышенную частоту вращения* выполняют при холостом ходе нагретой электрической машины в течение 2 мин при частоте вращения, превышающей на 25 % максимальную для тяговых электродвигателей и на 20 % — для тяговых генераторов.

После испытаний в машине не должно быть каких-либо изменений, которые могут отразиться на ее нормальной работе. При испытаниях необходимо соблюдать большую осторожность, чтобы не допустить превышения установленной частоты вращения.

*Проверка коммутации* производится для установления класса искрения и определения пригодности машины к эксплуатации. Проверяется коммутация при наиболее тяжелых режимах. Оценка качества коммутации выполняется визуально по степени искрения под сбегающим краем щетки.

Коммутация тяговых электродвигателей проверяется при двух направлениях вращения в течение 30 с (при каждом направлении вращения), при удвоенной номинальной силе тока и соответствующем ей напряжении, а также при максимальных напряжениях и частоте вращения и минимальной силе тока возбуждения. Машина считается выдержавшей испытания при отсутствии остаточных деформаций или механических повреждений коллектора и щеткодержателей или кругового огня. Коллектор должен быть пригоден к работе без очистки или какого-либо исправления.

В случае повышенного искрения проверяют: равномерность нажатия пружин щеткодержателей, тщательность приработки щеток к коллектору и правильность их установки, состояние поверхности коллектора, плотность подводящих и соединительных контактов, биение коллектора, правильность чередования щеткодержателей по коллектору и установки добавочных полюсов. Если устранение отмеченных дефектов не улучшает коммутацию, то определяется зона безыскровой работы машины способом положительной и отрицательной подпитки добавочных полюсов.

Коммутация машины трудно поддается расчету, поэтому при выпуске тяговых машин приходится доводить коммутацию опытным путем (подбор ширины наконечников и воздушного зазора). Усиление или ослабление действия добавочных полюсов обеспечивается изменением воздушных зазоров или числа витков обмотки этих (если изменения воздушных зазоров недостаточно).

Существующие классы коммутации (ГОСТ 28173—89) представлены в табл. 8.1.

При номинальном режиме работы машины степень ее искрения не должна превышать  $1\frac{1}{2}$ .

*Испытания на пуск* тяговых электродвигателей выполняют при полном возбуждении и наибольшей силе тока, возникающего

Таблица 8.1

## Классы коммутации

Степень искрения (класс коммутации)	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Искрение отсутствует (темная коммутация)	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
1 <sup>1/4</sup>	Слабое точечное искрение под небольшой частью края щетки	
1 <sup>1/2</sup>	Слабое искрение под большей частью края щетки	Появление следов почернения на коллекторе, легко устранимых протиранием поверхности бензином, а также следов нагара на щетках
2	Искрение под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки	Появление следов почернения на коллекторе, не устранимых протиранием поверхности бензином, а также следов нагара на щетках
3	Значительное искрение под всем краем щетки с наличием крупных и вылетающих искр. Допускается только для моментов прямого (без реостатных ступеней) включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы	Значительное почернение участков коллектора, не устранимое протиранием поверхности бензином, а также подгар и разрушение щеток

при трогании поезда. Значение силы тока согласуется с заказчиком. Испытания проводят на нагретых двигателях после проверки коммутации и испытания на повышенную частоту вращения. Охлаждение должно быть таким же, как и в условиях эксплуатации.

Электродвигатель с заторможенным якорем должен выдерживать в течение 15 с установленную силу тока. Испытание повторяется 4 раза с пятиминутными интервалами, при этом якорь нужно поворачивать каждый раз на  $1/2$  полюсного деления (шага) в одном направлении.

Необходимо, чтобы после испытания двигатель был пригоден к эксплуатации, а коллектор не имел следов подгара и остаточных деформаций.

Проверка сопротивления и электрической прочности изоляции заключается в оценке сопротивления и пробивного напряжения электрической изоляции.

Сопротивление изоляции обмоток электрических машин постоянного и переменного тока относительно корпуса и других обмоток измеряется мегомметром.

Для измерения сопротивления изоляции цепей электрической машины в сборе относительно корпуса вывод «Земля» прибора присоединяется к любой неокрашенной части корпуса магнитной системы, а вывод «Линия» — поочередно к наконечнику одного из проводов цепи обмотки возбуждения и якорной цепи.

Для измерения сопротивления изоляции цепей добавочных полюсов и траверсы в собранной электрической машине относительно корпуса необходимо поднять все щетки или подложить изоляционные прокладки под щетки и присоединить вывод «Линия» прибора к наконечнику одного из выводов, а вывод «Земля» прибора — к любой неокрашенной части корпуса магнитной системы.

Для измерения сопротивления изоляции траверсы в собранной электрической машине относительно корпуса поднимают все щетки (или подкладывают изоляционные прокладки под все щетки), отсоединяют провод, идущий от траверсы к добавочному полюсу, и присоединяют вывод «Линия» прибора к наконечнику провода, а вывод «Земля» — к любой неокрашенной части корпуса магнитной системы.

Для измерения сопротивления изоляции полюса в собранной магнитной системе относительно корпуса необходимо отсоединить его от других полюсов и присоединить вывод «Линия» прибора к одному из выводов катушки, а вывод «Земля» прибора — к любой неокрашенной части корпуса магнитной системы.

Для измерения сопротивления изоляции якоря в собранной электрической машине относительно корпуса поднимают все щетки, закорачивают коллектор якоря тонкой медной неизолированной проволокой или шиной и присоединяют вывод «Линия» прибора к любой пластине коллектора (проволоке или шине), а вывод «Земля» — к валу якоря.

Для измерения сопротивления изоляции между обмотками в собранной электрической машине присоединяют один из выводов прибора к любому наконечнику проводов обмотки якоря, а другой вывод — к любому наконечнику обмотки возбуждения.

Для тяговых электродвигателей сопротивление изоляции после испытания на нагрев должно составлять не менее 1,5 МОм. Отсчет по мегомметру производится через 1 мин после приложения напряжения.



Затем проверяется электрическая прочность изоляции в течение 1 мин при повышенном напряжении переменного тока частотой 50 Гц. При этом источником высокого напряжения служит однофазный повышающий трансформатор. Результат испытания считается положительным, если не произойдет пробоя или перекрытия изоляции обмоток. Во время испытания допустимо появление коронного разряда. После испытания машина подвергается внешнему осмотру: проверяется состояние коллектора, щеток, изоляторов, миканитового конуса, бандажей и т. д.

Испытания тяговых электрических машин производят на специализированных испытательных стендах.

Испытательные стенды ремонтных заводов или локомотивных депо обеспечивают проведение контрольных испытаний тяговых двигателей, включающих в себя проверку их нагрева при часовом режиме нагрузки, скорости вращения в обоих направлениях, прочности машин при повышенной скорости вращения и коммутации. Оборудование испытательной станции должно допускать проведение этих испытаний в максимально сжатые сроки.

После осмотра испытываемые машины устанавливают на стенд и прочно закрепляют. Стенды для испытания тяговых двигателей имеют специальные устройства для крепления машин.

Электрические аппараты, реостаты возбуждения и приборы, необходимые для испытаний машин, устанавливают на пультах управления и распределительных щитах, которые изготавливают в виде каркасов из профильного металла, закрытых сверху листовой сталью. Устройство стендов обеспечивает удобство и безопасность проведения испытаний, а также высокую точность измерений. На пультах управления устанавливают измерительные приборы высокого класса точности (0,2—0,5), а измерительные приборы классов 1,5—2,5 и переключатели аппаратов монтируют на вертикальных панелях щитов управления. Выводные провода обмоток испытываемых машин подключают к электрическим цепям стенда согласно схеме через высоковольтные колонки с зажимами. При испытаниях тяговых двигателей с независимой вентиляцией устанавливают вентилятор ЭВР-6 с электродвигателем А71-6.

Тяговые электрические машины испытывают методом непосредственной нагрузки или методом возвратной работы. Метод нагрузки машин при испытаниях выбирают в зависимости от их мощности. На практике для испытания вспомогательных машин и тяговых генераторов обычно применяют первый из названных методов, а для тяговых двигателей — второй.

Сущность метода возвратной работы, или взаимной нагрузки, состоит в том, что на стенд одновременно устанавливают две однотипные машины, первая из которых (испытываемый двигатель) работает в двигательном режиме, а вторая — в генераторном, являясь механической нагрузкой для первой. Электрическая энер-

гия, вырабатываемая генератором, поступает в испытываемый двигатель. От других источников получают энергию, необходимую только для покрытия всех потерь в двигателе и генераторе. Такой метод испытаний по сравнению с методом непосредственной нагрузки машин позволяет сократить расход электрической энергии на испытания примерно в 3—4 раза.

Стенд для испытаний тяговых электрических машин (рис. 8.2) содержит две испытываемые машины, одна из которых работает в режиме генератора Г, а вторая — в режиме двигателя М, питаемая от линейного генератора ЛГ и вольтодобавочной машины ВДМ, которые имеют общий привод — асинхронный трехфазный двигатель Д1. Вольтодобавочная машина почти полностью компенсирует электрические потери, а линейный генератор — все остальные. Оба генератора имеют независимое возбуждение от индивидуальных возбуждателей линейного генератора ВЛГ и вольтодобавочной машины ВВДМ, которые, в свою очередь, имеют независимое возбуждение с плавным регулированием напряжения (от нуля до максимального) с помощью ползунковых реостатов R1 и R2.

Машина, с якорной обмоткой которой последовательно включены обе обмотки возбуждения (ВГ — генератора и ВД — двигателя), работает в режиме двигателя. Машина, с якорной обмоткой которой последовательно включена вольтодобавочная машина, работает в режиме генератора. По обеим обмоткам возбуждения двигателя ВД и генератора ВГ проходит ток якоря двигателя, по-

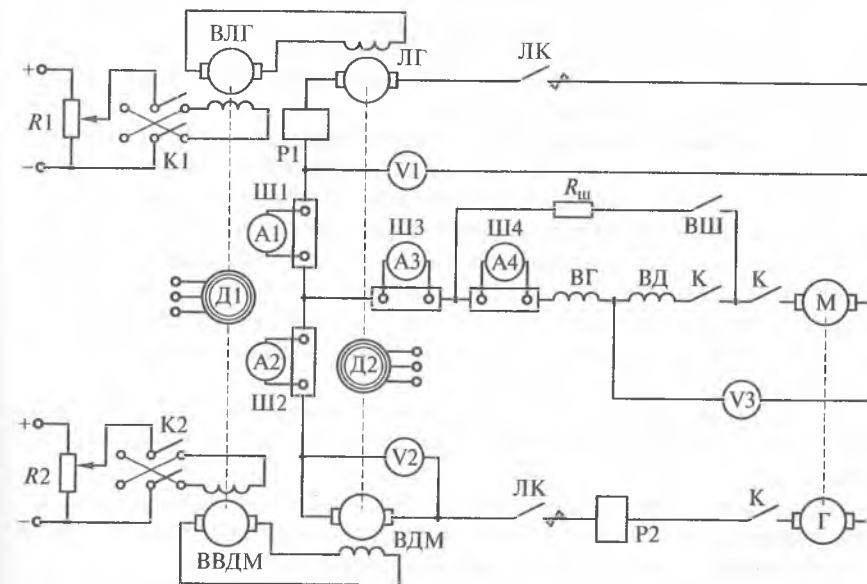


Рис. 8.2. Стенд для испытания тяговых электрических машин

этому ЭДС генератора и двигателя всегда равны и направлены встречно.

Машины Д и Г будут неподвижны, так как значение их силы тока и магнитного потока равны, а следовательно, равны и их встречно направленные крутящие моменты. Если же машины начнут вращаться, то это укажет на несовпадение их характеристик намагничивания.

После включения и некоторого возбуждения линейного генератора его ток пойдет по цепи двигателя, так как в цепи генератора действует ЭДС, направленная навстречу ЭДС линейного генератора.

Сила тока двигателя, а следовательно, и его крутящий момент станут больше силы тока и крутящего момента генератора, и машины начнут вращаться. Напряжение на зажимах испытываемого двигателя незначительно меньше напряжения линейного генератора. Изменяя силу тока возбуждения линейного генератора, регулируют напряжение на зажимах двигателя. Изменением возбуждения вольтодобавочной машины регулируют силу тока двигателя и соответственно силу тока генератора.

Линейный генератор должен обеспечивать напряжение, превышающее напряжение двигателя при испытаниях, на величину падения напряжения в обмотке возбуждения генератора ЛГ, а его мощность должна быть достаточной для компенсации магнитных, механических и дополнительных потерь в двигателе и генераторе с учетом компенсации мощности, передаваемой испытываемым двигателем генератору при предельном возможном расхождении их характеристик. В качестве линейного генератора на испытательных станциях часто используют тяговый двигатель ДК-103 с системой независимого возбуждения.

Вольтодобавочная машина — это генератор постоянного тока с напряжением, обычно не превышающим 500 В, через который проходит ток, практически равный току испытываемого двигателя. Напряжение ВДМ равно сумме падений напряжений в обмотках двигателя и генератора. Выбирая ВДМ, учитывают, что при испытании двигателя на перегрузку через ее обмотки кратковременно проходит примерно двойной часовой ток двигателя. При этом ВДМ также должна покрывать все падения напряжения в обмотках двигателя и генератора.

В качестве ВДМ часто используют двигатель ЭДТ-200 или ДК-304, переоборудованный с последовательного на независимое возбуждение.

Для изменения направления вращения испытываемой машины реверсируют обмотки возбуждения двигателя и генератора, а для ослабления поля их шунтируют сопротивлением.

Останавливая двигатель, сначала снижают напряжение линейного генератора, а затем вольтодобавочной машины.

В связи с внедрением электровозов и электропоездов переменного тока в ПКБ ЦТ МПС разработан проект типовой испытательной станции, предусматривающий питание испытываемой машины пульсирующим током. Для этого на протекающий по цепи машины постоянный ток накладывают переменную составляющую частотой 100 Гц, соответствующей первой гармонической составляющей при двухполупериодном выпрямлении.

При испытаниях вспомогательных машин наибольшее распространение получил метод их непосредственной нагрузки. Стенд для испытаний этим методом должен обеспечивать проведение контрольных испытаний вспомогательных машин, имеющих разные номинальные параметры и схемы возбуждения. Нагрузку для двигателей вентиляторов создают при помощи заслонки на выхлопном отверстии. Мотор-компрессоры и преобразователи испытывают при одном рабочем направлении вращения. Отличия режимов испытаний вспомогательных машин от соответствующих режимов тяговых двигателей состоят в следующем: испытания на нагрев обмоток проводят при расчетном кратковременном режиме, который может отличаться от часового (например, преобразователи НБ-429 испытывают в течение 40 мин); коммутацию проверяют в течение 1 мин при номинальном напряжении и пятикратном пуске на максимальном напряжении; во время контрольных испытаний мотор-генераторов и преобразователей регулируют их ограничители скорости вращения.

#### Контрольные вопросы

1. Какие классы коммутации в электрических машинах вы знаете? Приведите характерные для них степени искрения.
2. Поясните, как по внешнему виду поверхности коллектора можно судить о классе коммутации.
3. Каким прибором измеряют сопротивление изоляции?
4. Назовите основные виды испытаний, проводимых после ремонта тяговых двигателей.
5. В чем состоят особенности испытания электрических машин методом взаимной нагрузки?

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

### Глава 9

#### АППАРАТЫ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ

##### 9.1. Требования к контакторным элементам

На локомотивах замыкание и размыкание электрических цепей осуществляются главным образом с помощью контакторов и реле. Контактторы чаще всего применяют для силовых цепей, где сила тока превышает 10 А; они имеют сравнительно большие размеры. Реле предназначены для слаботочных цепей; их размер значительно меньше размеров контакторов.

Все контакторы снабжены гибким проводником, называемым шунтом. Шунт изготавливают из скрученных прядей очень тонкой медной проволоки. Обычно он выдерживает несколько сотен тысяч срабатываний контактора. Но так как медные пряди очень тонки, то шунт легко может быть поврежден. На мощных контакторах это может произойти из-за неправильного положения электрической дуги. Если дуга достигает шунта, она может сварить вместе несколько прядей. Тогда часть шунта теряет гибкость. В результате он обычно обрывается.

Ослабленные соединения также сокращают срок службы шунта. Если болты, прикрепляющие концы шунта к контактору, ослабли, то образуется неплотное соединение и зажимы перегреваются. При этом изменяется цвет медных прядей и они становятся хрупкими. Такой шунт быстро ломается. Поэтому при осмотре контактора проверяют шунт и его соединения.

Открытые поверхности, непосредственно осуществляющие контакт и замыкающие электрическую цепь, называются контактными губками. Они подвержены механическому износу и электрическому обгоранию. Обычно контактные губки изготавливают из меди и прикрепляют на место болтами. Если соединения затянуты неплотно, губки перегреваются. Теплота передается окружающим частям, вызывая их коробление и даже оплавление. Это затрудняет ремонт контактора и смену губок. Поэтому необходимо тщательно следить за плотностью болтов, крепящих губки контактора.

Если губка изношена наполовину или на три четверти, ее нужно целиком заменить. Нельзя применять губки, не соответствующие данному контактору. При их установке контактные поверхности должны быть параллельны. Перекошенные губки нагреваются сначала с одной стороны и быстро изнашиваются. Чтобы избежать этого, следует выровнять губки, а затем, удерживая их в правильном положении, гаечным ключом затянуть болты.

При разомкнутом контакторе между губками имеется зазор, который увеличивается по мере их изнашивания. На большинстве контакторов нет приспособлений для регулирования зазора. После ремонта контактора следует измерить зазор, и если он превышает допустимые пределы, то контактор, вероятно, неправильно собран.

Последовательность работы локомотивных контакторов контролируют блокировочные контакты, которые обычно включают в низковольтную цепь.

Применяются два типа блокировочных контактов: нормально разомкнутые и нормально замкнутые. Они обычно имеют посеребренные контактные губки для уменьшения переходного сопротивления. Загрязненные губки не обеспечивают контакта, что нарушает последовательность работы электрических аппаратов.

##### 9.2. Электропневматические контакторы

В зависимости от типа привода контактной системы контакторы подразделяются на электропневматические и электромагнитные.

В главных силовых цепях, по которым протекают токи очень большой силы, обычно применяют контакторы с электропневматическим приводом. Электропневматические контакторы всех типов имеют аналогичные конструкции. Рассмотрим для примера устройство контактора ПК-96 (ПК-356) электровоза ВЛ80. Такой контактор (рис. 9.1) состоит из следующих основных узлов: неподвижного и подвижного контактов, пневматического привода 2, дугогасительной камеры 11 и электрической блокировки 1. Все узлы и детали аппарата смонтированы на изоляционном стержне 3. Узел неподвижного контакта состоит из кронштейна 9, дугогасительной катушки 10, главного контакта 12 и дугогасительного контакта 8. На кронштейне 5 подвижного контакта шарнирно установлен рычаг 6, несущий контактодержатель с главным контактом 13 и дугогасительным контактом 7. Главные контакты имеют накладки из композиции серебро — оксид кадмия и предназначены для длительного пропускания тока. Дугогасительные контакты имеют накладки из композиции медь — вольфрам и предназначены для коммутации силового тока. Рычаг связан изоляционной

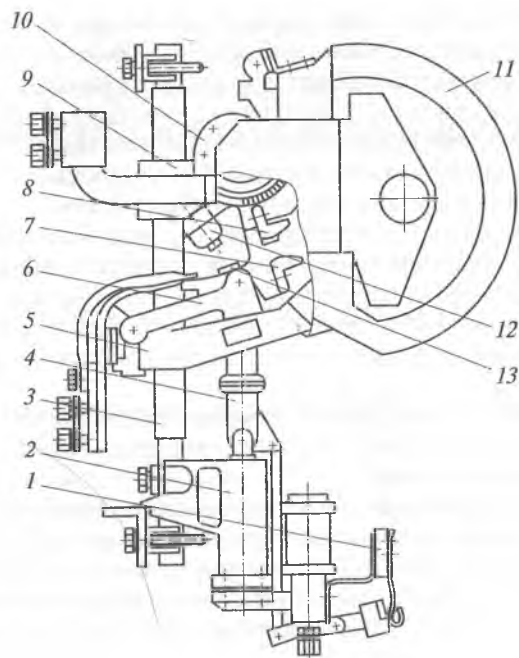


Рис. 9.1. Электропневматический контактор ПК-96 (ПК-356):

1 — электрическая блокировка; 2 — пневматический привод; 3 — изоляционный стержень; 4 — изоляционная тяга; 5, 9 — кронштейны; 6 — рычаг; 7, 8 — дугогасительные контакты; 10 — дугогасительная катушка; 11 — дугогасительная камера; 12, 13 — главные контакты

тягой 4 со штоком пневматического привода. Привод включает в себя цилиндр, отключающую пружину, шток, поршень и электромагнитный вентиль. Уплотнение поршня осуществляется резиновыми манжетами. Для дугогашения контактор имеет однощелевую дугогасительную камеру, выполненную в виде двух прессованных боковин из «дугостойкого» материала. На выходе из камеры установлены пламегасительные решетки.

Все электропневматические контакторы имеют приспособления для смазки цилиндра. Смазочное вещество, во-первых, уменьшает износ цилиндра и увеличивает срок службы манжеты; во-вторых, оно снижает трение между манжетой и стенками цилиндра, что позволяет поршню перемещаться свободно, и, в-третьих, смазка сохраняет гибкость манжеты, необходимую для того, чтобы она плотно прилегала к стенке цилиндра и создавала воздухонепроницаемое уплотнение. Очень важно регулярно добавлять смазку, иначе стенки цилиндра станут липкими и контактор будет действовать замедленно. Замедленное действие

контакторов иногда является причиной происшествий на железных дорогах, а также может вызвать круговой огонь в тяговых двигателях.

При чрезмерно большом количестве смазки она выступает наружу при работе контактора. На самом контакторе и окружающем оборудовании образуется пленка масла, на которой оседает пыль. Поэтому смазку нужно добавлять только в количестве, рекомендуемом заводом-изготовителем.

На электровозе в резервуаре управления имеется запас сжатого воздуха. Этот воздух служит, в частности, для перемещения поршня контактора. Воздух должен быть чистым и сухим. В противном случае возможно появление неисправностей устройств, приводимых в действие сжатым воздухом.

В резервуаре управления скапливаются вода и грязь, которые нужно регулярно удалять через спускной кран.

Давление воздуха в резервуаре управления обычно равно  $5 \text{ кгс/см}^2$  ( $500 \text{ кПа}$ ). Если оно ниже нормального, то контактор будет работать замедленно.

Поступивший в цилиндр воздух, оказывая давление на поршень, перемещает его вместе с подвижной губкой контактора, что приводит к замыканию контактных губок. В то же время пружина, служащая для возвращения поршня в начальное положение, сжимается. Когда подача воздуха прекращается, пружина возвращает поршень в исходное положение. При этом контактные губки размыкаются.

Электромагнитный клапан служит для управления подачей воздуха под поршень. Фактически он представляет собой электрически управляемый воздушный кран на два положения: в одном из них он впускает воздух в цилиндр, а в другом прекращает подачу сжатого воздуха и открывает канал для выпуска воздуха из цилиндра. Когда через катушку протекает ток, клапан перемещается в одном направлении; при выключении тока возвращающая пружина перемещает его в обратном направлении.

Электромагнитные клапаны обычно требуют очень незначительного ухода. Некоторые из них имеют шлифованные седла. Если клапан плохо притерт к седлу, то он будет пропускать воздух. Такой клапан может вызвать отклонение в работе контактора. В электромагнитном клапане возможны повреждения клапанного стержня рабочей катушки, которые выявляются при проверке работы клапана под током.

Электропневматические контакторы предназначены для включения и отключения силовых цепей электровоза. Технические характеристики таких контакторов приведены в табл. 9.1.

В отличие от контактора ПК-96 контакторы ПК-14, -19, -339, -358 и -360 имеют одну пару силовых контактов, выполненных из профильной твердой меди. Кроме того, у контакторов ПК-14, -19

Таблица 9.1

## Технические характеристики электронепневматических контакторов

Тип контактора	Напряжение между контактами, В	Номинальная сила тока, А	Серия ЭПС
ПК-14, ПК-19	3 000	350	ВЛ80
ЛК96, ПК101, ПК356	1 500	1 000	ВЛ80
ПК360	630	2 000	ВЛ80
ПК339	3 000	500	ВЛ80
ПК121, ПК122, ПК123, ПК123-70	3 000	500	ВЛ11, ВЛ10
ПК350В, ПК306Т, 1КП005	3 000	250	ЭР2Т, ЭД2Т

и -358 отсутствует система дугогашения. В остальном конструкция этих аппаратов аналогична конструкции контактора ПК-96.

Контакторы ПК-356, -358 и -360 унифицированной серии устанавливаются на электровозах ВЛ80 с № 631 вместо контакторов ПК-96-ПК-101, -14-ПК-19 и -339 соответственно.

На электровозах ВЛ10 (ВЛ11) применяются контакторы типов ПК-15, -19, -18 и -21, различающиеся числом блокировочных контактов и номинальной рабочей силой тока.

На электропоездах устанавливают контакторы ПК-350В, -306Т и 1КП005. Принципиальных различий в конструкции они не имеют.

### 9.3. Электромагнитные контакторы

Электромагнитные контакторы приводятся в действие непосредственно электрическим током. Когда ток течет через катушку контактора, сердечник намагничивается, притягивает якорь, контактные губки соединяются и замыкают цепь. Одновременно с перемещением якоря растягивается пружина. Когда ток в катушке выключается, сердечник размагничивается. Пружина отрывает якорь от сердечника и прижимает его к упору. В этом случае происходит размыкание контактных губок.

Катушка, сердечник и якорь электромагнитного контактора заменяют электромагнитный клапан, воздушный поршень и цилиндр электропневматического контактора. Следовательно, при использовании электромагнитного контактора отсутствует потребность в сжатом воздухе и смазке.

Электромагнитные контакторы типа МК предназначены для включения и отключения вспомогательных цепей (мотор-компрессоров, мотор-вентиляторов и др.) и цепей управления электровоза.

Рассмотрим устройство контактора МК-63 (рис. 9.2), устанавливаемого в цепях управления, и принцип его действия.

Конструктивно контактор выполнен таким образом, что все узлы и детали смонтированы на скобе 15 электромагнита. Неподвижные контакты 2 в виде скоб, установленные в изоляционной колодке 11, образуют самостоятельный узел. Подвижные контакты 1 в виде мостика расположены в окнах изоляционной тяги 8, которая своими призмами опирается с одной стороны на якорь 3, а с другой — на коромысло 14. Эти детали образуют подвижную систему контактора. Контакты снабжены твердосплавными накладками. Контактное нажатие осуществляется пружиной 9. Для регулировки раствора и провала предусмотрены пластины 10 и прокладки 5. Электрическая блокировка 6 укреплена на верхней скобе и приводится в действие скобой 7, установленной на якоре.

Для обеспечения заданного угла поворота якоря на скобе предусмотрен упор 4. Выключение контактора осуществляется отключающей пружиной 13 после снятия напряжения с катушки. Дуго-

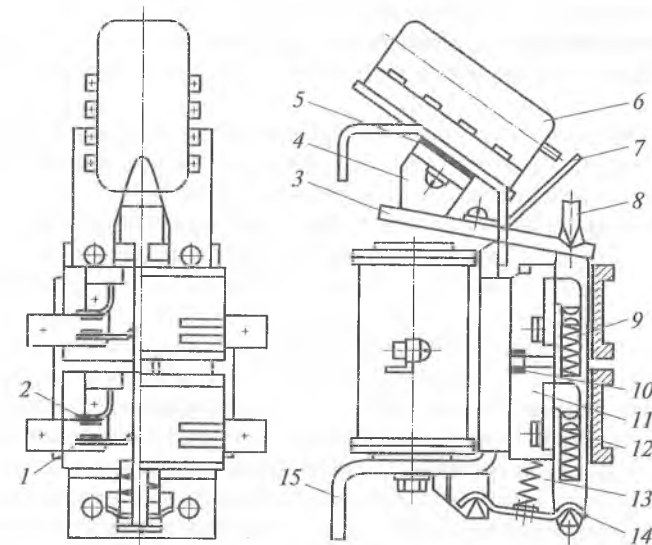


Рис. 9.2. Электромагнитный контактор МК-63:

1 — подвижный контакт; 2 — неподвижный контакт; 3 — якорь; 4 — упор; 5 — прокладка; 6 — электрическая блокировка; 7 — скоба; 8 — изоляционная тяга; 9, 13 — пружины; 10 — пластина; 11 — изоляционная колодка; 12 — дугогасительная камера; 14 — коромысло; 15 — скоба электромагнита

Технические характеристики электромагнитных контакторов

Тип контактора	Напряжение в цепи коммутации, В	Сила тока в цепи коммутации, А	Серия ЭПС
МК-63, -64, -66, -68, -69	50/380	50	ВЛ80
МК-82, -85, -93	380	150	ВЛ80
МК-010/МК010-01	3 000	25/10	ВЛ11, ВЛ10
МК-009 (МК-15-01)	3 000	1,4	ВЛ11, ВЛ10
МКП-23Д (МКП-23Е)	3 000	25	ВЛ11, ВЛ10
КМВ-104	3 000	250	ЭР2
1КМ016	3 000	100	ЭР2Т, ЭД2Т

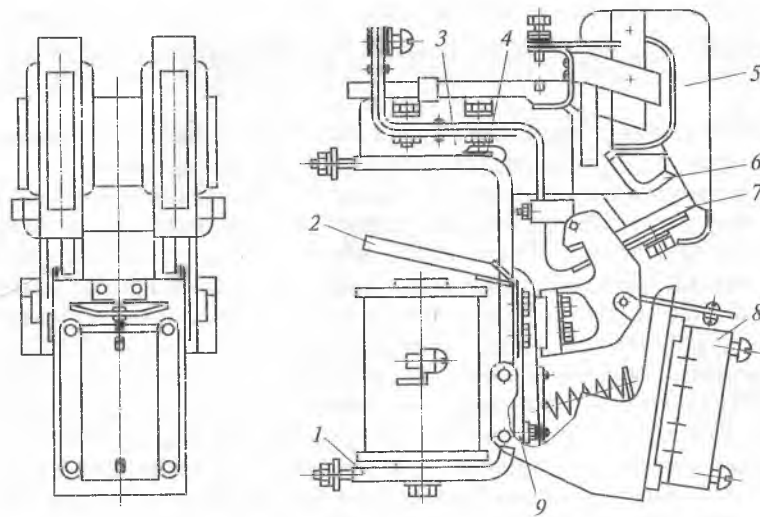


Рис. 9.3. Электромагнитный контактор МК-82:

1 — электромагнитный привод; 2 — якорь; 3 — изоляционное основание; 4 — регулировочная пластина; 5 — дугогасительная камера; 6 — неподвижный контакт; 7 — подвижный контакт; 8 — электрическая блокировка; 9 — шайба

гасительная камера 12 предназначена для ограничения пламени дуги. Контакторы различаются сочетанием главных и вспомогательных контактов.

Электромагнитные контакторы МК-82 и -85 цепей вспомогательных машин и МК-93 по конструкции аналогичны. Рассмотрим устройство контактора МК-82 (рис. 9.3).

Контактор состоит из следующих основных узлов: электромагнитного привода, электромагнитной системы дугогашения контактной системы и электрической блокировки. Электромагнитный привод 1 выполнен в виде П-образной скобы, на которой смонтированы все узлы и детали аппарата. В окне скобы на призме установлен якорь 2, удерживаемый специальными накладками. К скобе прикреплена болтом втягивающая катушка. Контактор снабжен системой электромагнитного дугогашения, состоящей из дугогасительной катушки и дугогасительной камеры 5 с полюсами. Вся система смонтирована на изоляционном основании 3.

Контактная система включает в себя подвижный и неподвижный контакты с контактной пружиной. Неподвижный контакт 6 установлен на кронштейне, закрепленном на изоляционном основании, а подвижный контакт 7 — в корпусе изоляционного кронштейна на игольчатой опоре и соединен гибким соединением с выводом контактора. Контакты выполнены из профильной кадмиевой меди, что обеспечивает их высокую коммутационную

износостойкость. Для поддержания заданного раствора и провала предусмотрены регулировочные пластины 4 и шайбы 9.

Электрическая блокировка 8 выполнена в виде самостоятельного узла. Блокировочные контакты мостикового типа имеют накладки из серебра. Для защиты контактов от попадания на них пыли и грязи блокировка закрыта прозрачным кожухом. Блокировка крепится непосредственно на скобе электромагнита.

Технические характеристики электромагнитных контакторов приведены в табл. 9.2.

Быстродействующий контактор БК-78Т электровозов постоянного тока ВЛ10 и ВЛ11 предназначен для защиты тяговых двигателей от токов короткого замыкания в режиме рекуперации. Он рассчитан на номинальную силу тока 1 кА и напряжение до 4 кВ. Его отключение происходит при силе тока 2,5 кА.

#### 9.4. Токоприемники

Токоприемник (пантограф) предназначен для передачи с помощью скользящего контакта электрической энергии от контактного провода к электрическому оборудованию электровоза.

Силовая цепь электровоза соединяется через токоприемник с контактной сетью, в которую поступает электрическая энергия от тяговой подстанции. Контакт между токоприемником и контактным проводом осуществляется не в одной постоянной точке, как в стационарных установках: точка контакта перемещается вдоль провода вместе с локомотивом.

Основным условием надежной работы токоприемника, или, как говорят специалисты, высокого качества токосъема, является

прежде всего постоянство силы нажатия токоприемника на контактный провод. Разумеется, чем больше эта сила, тем надежней скользящий контакт. Однако чрезмерное нажатие увеличивает механический износ провода и контактного устройства токоприемника. В то же время недостаточное нажатие приводит к искрению и даже к образованию электрической дуги, что вызывает электрический износ контактных поверхностей проводов и токоприемника и возникновение помех в различных линиях связи.

В соответствии с Правилами технической эксплуатации железных дорог контактный провод расположен в плане не по оси пути, а зигзагообразно, что обеспечивает равномерный износ рабочих поверхностей полоза токоприемника по всей его длине. Поэтому токоприемник перемещается относительно контактного провода еще и в поперечном направлении.

Нормальная высота подвески контактного провода над уровнем головки рельса принята равной 6 600 мм на станциях и 6 250 мм на перегонах. В исключительных случаях это расстояние в пределах искусственных сооружений, расположенных на путях станций, а также на перегонах может быть уменьшено до 5 675 мм на участках переменного тока и до 5 550 мм при постоянном токе. Высота подвески контактного провода во всех случаях не должна превышать 6 800 мм. Следовательно, в самых неблагоприятных условиях токоприемник должен опускаться или подниматься на 1 250 мм, обеспечивая при этом постоянный электрический контакт с проводом. Кроме того, чтобы создать безопасные условия для персонала, производящего осмотр или ремонт электровоза, необходимо иметь возможность опускать и вновь поднимать токоприемник до соприкосновения с контактным проводом.

Конструкция токоприемника электровоза постоянного тока Т-5М1 приведена на рис. 9.4.

Чтобы поднять токоприемник, машинист с помощью специального аппарата (клапана токоприемника) открывает доступ сжатому воздуху в цилиндр (рис. 9.5). Поршень цилиндра, перемещаясь в крайнее левое положение, штоком поворачивает рычаг 9, с которым связаны тяга 7 и опускающая пружина 10. Тяга, перемещаясь влево, отходит от фасонного кронштейна 8, и две растянутые подъемные пружины 6 поднимают нижнюю 1 и верхнюю 2 рамы, связанные шарнирно. Профиль фасонного кронштейна обеспечивает сначала быстрый подъем токоприемника, а в конце — медленный для мягкого соприкосновения его с проводом.

Для того чтобы опустить токоприемник, цилиндр, наполненный воздухом, соединяют с атмосферой. Тогда опускающая пружина, которая была сжата при подъеме токоприемника под действием поршня и рычага, разжавшись, переместит поршень в крайнее правое положение и одновременно через тягу с роликом воздействует на фасонный кронштейн. Главные валы под действием

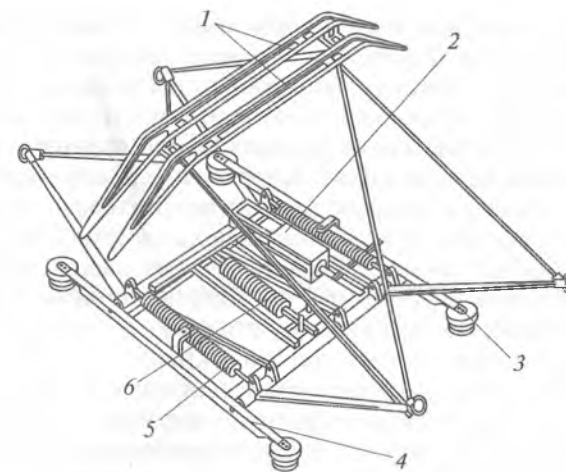


Рис. 9.4. Токоприемник Т-5М1:

1 — полозья; 2 — пневмоцилиндр; 3 — изолятор; 4 — основание; 5 — подъемная пружина; 6 — опускающая пружина

усилия, приложенного к этому кронштейну, и силы тяжести подвижной части, преодолев сопротивление подъемных пружин 6, повернутся и токоприемник опустится.

Сначала токоприемник должен опускаться очень быстро, чтобы разорвать электрическую дугу, которая может образоваться при отрыве полозов от контактного провода, а затем медленно, чтобы рама плавно (без удара) опустилась на амортизаторы. Это обеспечивается соответствующим очертанием фасонного кронштейна и быстрым выпуском сжатого воздуха из цилиндра в начальный период.

В некоторых конструкциях токоприемников вместо фасонного кронштейна используют редуктор, который изменяет давление сжатого воздуха, поступающего в цилиндр или выходящего из него в зависимости от положения рамы.

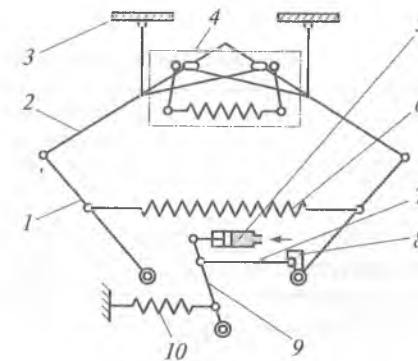


Рис. 9.5. Кинематическая схема токоприемника:

1 — нижняя подвижная рама; 2 — верхняя подвижная рама; 3 — полоз; 4 — каретка; 5 — пневмоцилиндр; 6 — подъемная пружина; 7 — тяга; 8 — фасонный кронштейн; 9 — рычаг привода; 10 — опускающая пружина

Основание токоприемника устанавливают на изоляторах. В большинстве случаев на электровозах имеется два электрически соединенных токоприемника. Как правило, в процессе работы поднят задний из них по направлению движения локомотива.

Полозья 3 токоприемника специальным механизмом 4, называемым кареткой, крепят к раме. Каретки предназначены для улучшения токосъема при проходе точек, в которых крепится контактный провод (жесткие точки), обеспечения упругости полозьев в горизонтальном направлении и равномерного распределения силы нажатия между ними. Для этого применены пружины и шарнирные соединения.

К рабочим поверхностям полозьев крепят сменные контактные пластины — контактные вставки или накладки. Они должны иметь малое электрическое сопротивление, быть износостойкими и по возможности меньше изнашивать контактный провод. В современных токоприемниках применяют угольные вставки, медные и твердосплавные накладки.

Нажатие полозьев токоприемника на контактный провод в среднем составляет 98...128 Н (10...13 кгс). Качество токосъема будет высоким, если нажатие полозьев на контактный провод независимо от высоты его подвески не изменяется. Это обеспечивается применением шариковых и игольчатых подшипников, снижением массы подвижных частей путем использования прочных тонкостенных труб.

Токоприемники электровозов постоянного и переменного тока устроены одинаково. На электровозах переменного тока устанавливают токоприемники легкого типа, рассчитанные на длительное протекание тока силой до 500 А, а на электровозах постоянного тока тяжелого типа — до 2,2 кА. Токоприемники легкого типа в отличие от токоприемников тяжелого типа вместо двух полозьев имеют один полоз, однако из-за высокого напряжения контактной сети (25 кВ вместо 3 кВ) приходится применять более прочные в электрическом отношении изоляторы.

Таблица 9.3

Технические характеристики токоприемников ЭПС

Тип токоприемника	Серия ЭПС	Номинальная сила тока при движении, А	Сила тока при стоянке, А	Номинальное напряжение, кВ	Максимальная скорость, км/ч	Масса, кг
Л-13У-1	ВЛ-80	550	50	25	160	290
Т-5М1(П5)	ВЛ-10(11)	2 200	300	3	120	269
Л-13У	ЭР2Т, ЭД2Т	550	80	3	140	260

Конструктивные отличия токоприемников незначительны. Они обусловлены лишь разными значениями рабочего напряжения и силы тока. Технические характеристики токоприемников приведены в табл. 9.3.

На электровозах ВЛ80<sup>с</sup> начиная с № 2056 устанавливают токоприемники Л-1У1 с плунжерно-рычажными каретками, а также с полозьями, имеющими три ряда угольных вставок вместо двух.

### 9.5. Разъединители и главные выключатели электровозов переменного тока

В тех случаях, когда персонал осматривает электрическое оборудование электровоза, для обеспечения безопасности работающих опускают токоприемник. Чтобы исключить случайную подачу напряжения, например при самопроизвольном подъеме токоприемника или обрыве контактного провода над токоприемником, в силовую цепь включают разъединители (по одному на каждый токоприемник).

В силовой цепи после разъединителя установлен аппарат, осуществляющий, как и на электровозах постоянного тока, отключение силовой цепи от контактной сети при недопустимых перегрузках и коротких замыканиях. По устройству и действию этот аппарат, называемый главным выключателем (ГВ), отличается от быстродействующего выключателя электровозов постоянного тока. Его отличия обусловлены следующим.

Вследствие значительного индуктивного сопротивления силовых цепей электровоза переменный ток при перегрузках и коротких замыканиях не возрастает так резко, как постоянный. Кроме того, переменный ток изменяется синусоидально и поэтому проходит через нулевые значения. Благодаря этому легче разорвать цепь тока и не требуется такое высокое быстродействие выключателя, как при постоянном токе.

В качестве главных выключателей чаще всего применяют воздушные, в которых для гашения дуги и в приводе используют сжатый воздух. Конструктивно воздушный выключатель выполнен совместно с разъединителем. Его силовая токоведущая цепь имеет две пары контактов: разрывные, принадлежащие главному выключателю, и контакты разъединителя.

Однополюсный высоковольтный воздушный главный выключатель ВОВ-25А-10/400УХЛ1 электровоза предназначен для оперативного включения и отключения электрического питания тягового трансформатора от контактной сети в рабочем режиме и автоматического отключения в режиме короткого замыкания при перегрузках и других аварийных режимах. Он имеет следующие технические характеристики:



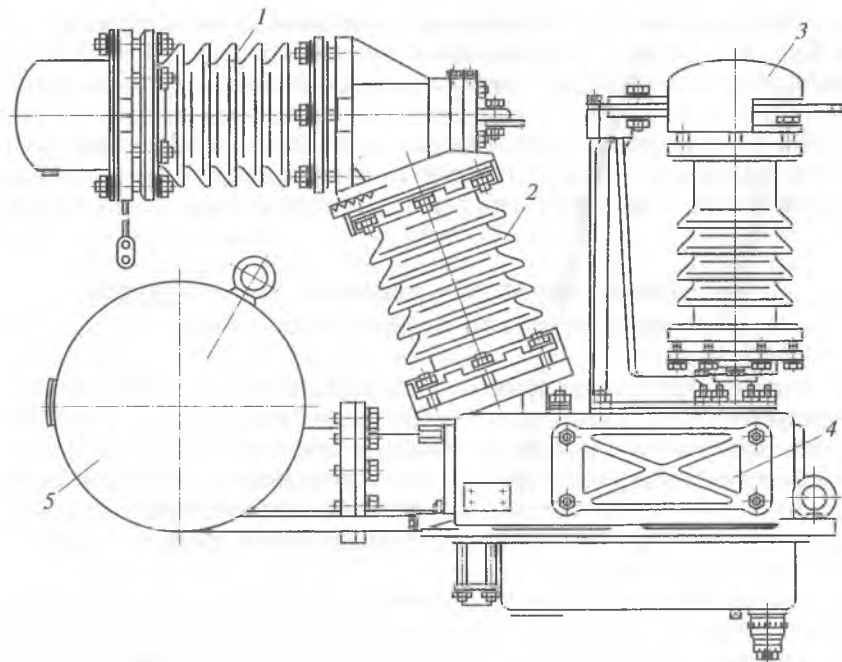


Рис. 9.6. Главный выключатель BOB-25A-10/400UXЛ1:

1 — дугогасительная камера; 2 — воздухопроводный изолятор; 3 — разъединитель; 4 — блок управления; 5 — воздушный резервуар

Номинальное напряжение, кВ .....	25
Наибольшее рабочее напряжение, кВ .....	29
Номинальная сила тока, А .....	400
Номинальная сила тока отключения, кА .....	10
Сила сквозного тока короткого замыкания (амплитудное значение), кА .....	25
Номинальная полная мощность отключения при давлении сжатого воздуха 6...9 кгс/см <sup>2</sup> (0,6...0,9 МПа), МВ · А .....	250
Собственное время отключения от промежуточного реле при напряжении в цепи управления 50 В, давлении сжатого воздуха 8 кгс/см <sup>2</sup> (0,8 МПа) и силе тока срабатывания, равной 1,3 силы тока уставки, с, не более .....	0,06
То же при силе тока срабатывания, превышающей силу тока уставки не менее чем в 2 раза, с, не более .....	0,05
Мощность электронагревателя, Вт .....	400
Температура окружающего воздуха при включении электрообогрева, °С, не более .....	5
Сила нажатия между контактами дугогасительной камеры (вжим подвижного контакта 15 мм), кгс (Н) .....	40 (400)

Сила контактного нажатия ножей разъединителя на неподвижный контакт (высота контактной пружины 12 мм), кгс (Н) ..... 8,3... 10,1 (81,34... 98,98)

Давление сжатого воздуха при срабатывании автоматического выключателя минимального давления, кгс/см<sup>2</sup> (МПа):  
 при включении (замыкании контактов) ..... 0,58<sub>-0,02</sub>  
 при отключении (размыкании контактов) ..... 0,48<sub>-0,02</sub>  
 Масса, кг ..... 190

Главный выключатель BOB-25A-10/400UXЛ1 (рис. 9.6) состоит из дугогасительной камеры 1, воздухопроводного изолятора 2, разъединителя 3, блока управления 4, воздушного резервуара 5 и высоковольтного варистора ВВ-25UXЛ1. В комплект выключателя входит трансформатор тока ТПОФ-25.

Дугогасительная камера (рис. 9.7) состоит из колпака 1, ограничителя дуги 2, неподвижного 3 и подвижного 4 контактов, изолятора 5, контакта 6, пружинно-пневматического привода 7 подвижного контакта и вывода 8.

Разъединитель 3 (см. рис. 9.6) содержит контактную пружину, заземляющий кронштейн, контактные ножи, вывод, изолятор и вал.

Блок управления включает в себя главный клапан, пневматический привод главного клапана, пневматический привод разъединителя, клапаны, автоматический выключатель минимального давления, штуцеры для подключения манометра, обратный клапан со штуцером, имеющим трубчатую резьбу 1/2", для подключения источника сжатого воздуха, отключающий электромагнит переменного тока, включающий и удерживающий электромагниты, контрольно-сигнальный аппарат, промежуточное реле, штепсельные разъемы, патрон аэрации с силикагелем для вентиляции внутренних поверхностей воздухопроводного изолятора и изолятора дугогасительной камеры, пружинное устройство, с помощью которого разъединитель доводится до фиксированных положений «Отключено» и «Включено», и электрический нагревательный элемент для обеспечения надежной работы блока управления при низких температурах.

Воздушный резервуар имеет трубку для спуска конденсата со штуцером с трубчатой резьбой 1/2" для подсоединения разобшительного крана. Для шунтирования контактов выключателя BOB-25A-10/400UXЛ1 с целью снижения уровня коммутационных перенапряжений на дугогасительной камере установлен высоковольтный варистор типа ВВ-25UXЛ1.

Варистор состоит из 15 элементов (шайб), электрически соединенных контактными поверхностями. Шайбы расположены внутри фарфорового изолятора, сжаты пружиной и залиты эла-

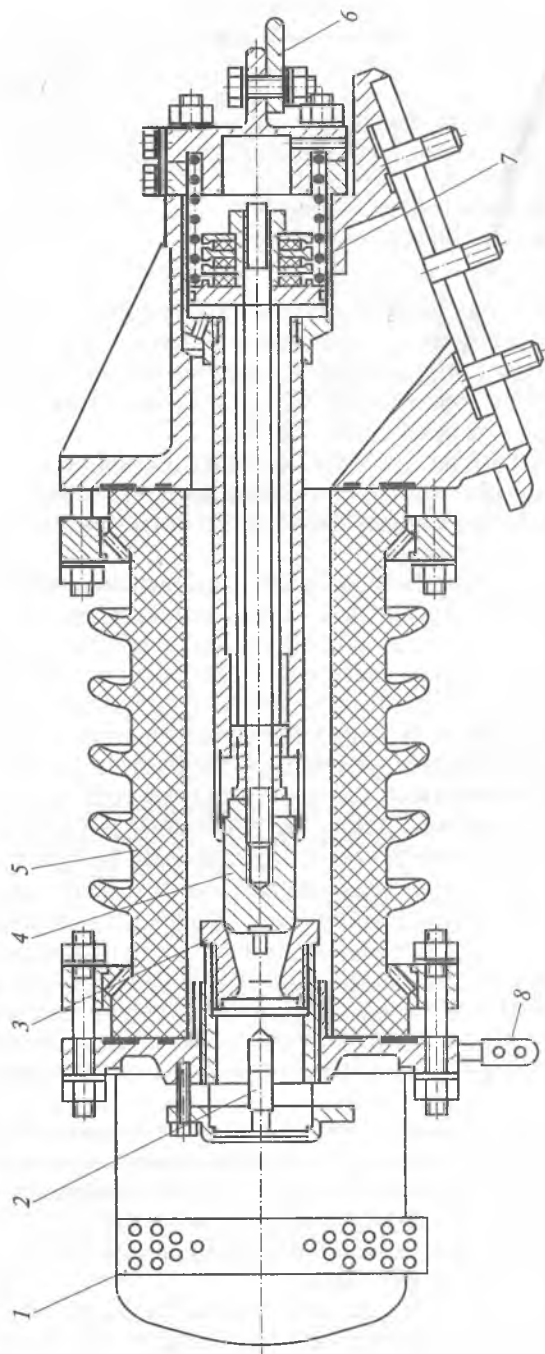


Рис. 9.7. Дугогасительная камера:

1 — колпак; 2 — ограничитель дуги; 3 — неподвижный контакт; 4 — подвижный контакт; 5 — изолятор; 6 — контакт; 7 — пружинно-пневматический привод; 8 — вывод

тичным термо- и морозостойким компаундом для обеспечения неподвижности элементов и электрического контакта между ними.

## 9.6. Разъединители и быстродействующие выключатели электровозов постоянного тока

Разъединитель в силовой цепи предназначен для тех же целей, что и на электровозах переменного тока, но его опорные изоляторы рассчитаны на более низкое напряжение контактной сети постоянного тока. На электровозе постоянного тока разъединитель отключают вручную из кузова электровоза.

Нарушение изоляции и возникновение в связи с этим короткого замыкания, а также недопустимая перегрузка в цепи вызывают ток очень большой силы, что может привести к серьезным повреждениям оборудования. Сила тока короткого замыкания настолько велика, что могут сгореть или разрушиться даже самые толстые провода, шины и другие токоведущие части. Возникающие при коротком замыкании механические силы взаимодействия между проводниками с током разрушают изоляторы и другие детали электротехнических установок. Поэтому все электрические цепи, как правило, тем или иным способом защищают от токов короткого замыкания и перегрузок.

Простейшие защитные аппараты — плавкие предохранители — включают последовательно с защищаемой цепью. Их плавкая вставка перегорает при силе тока, превышающей допустимую, так как имеет площадь сечения, меньшую, чем любой проводник в защищаемой цепи.

Защитить плавким предохранителем силовую цепь электровоза, рассчитанную на токи большей силы, невозможно. При коротком замыкании сила тока возрастает очень быстро, а плавкая вставка сгорает не сразу. Она обладает так называемой тепловой инерцией. При очень большой силе тока и высоком напряжении даже после того, как плавкая вставка сгорит, между зажимами, где она была включена, может возникнуть электрическая дуга.

Следовательно, нужен такой защитный аппарат, который при коротких замыканиях или перегрузках был бы в состоянии в течение минимального времени разорвать защищаемую цепь и быстро гасить электрическую дугу. На электровозах постоянного тока для этой цели служат автоматические быстродействующие выключатели (БВ). С помощью БВ, кроме того, силовую цепь электровоза отключают от контактной сети и подключают к ней. Такие включения и отключения называют оперативными.

Машинист, нажав кнопку «БВ», замыкает цепь удерживающей катушки быстродействующего выключателя. Кнопка остается включенной; она не снабжена пружиной, возвращающей ее в первоначальное состояние.

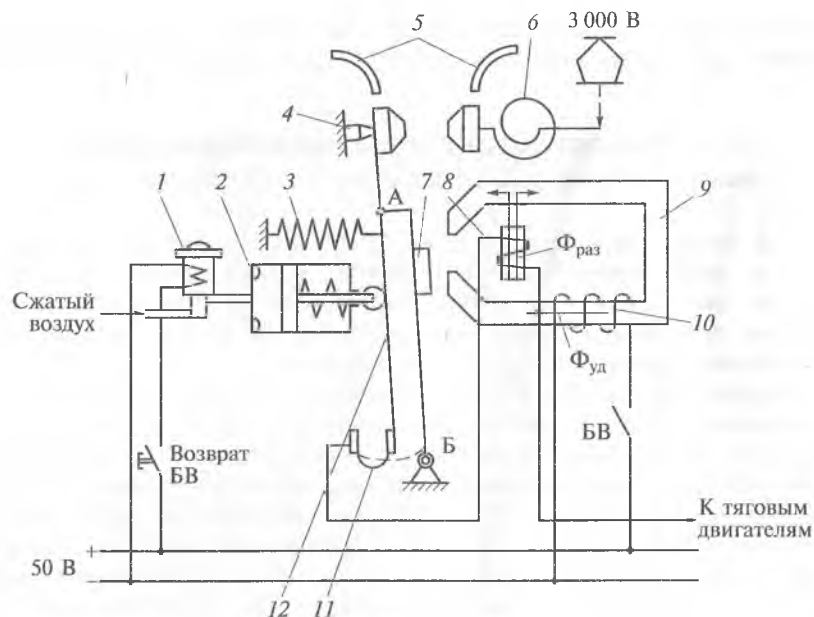


Рис. 9.8. Кинематическая схема выключателя БВП-5-02:

1 — электропневматический вентиль; 2 — цилиндр привода; 3 — включающая пружина; 4 — упор; 5 — дугогасительные рога; 6 — дугогасительная катушка; 7 — якорь; 8 — размагничивающий виток; 9 — магнитопровод; 10 — удерживающая катушка; 11 — гибкий шунт; 12 — контактный рычаг; А — шарнирное соединение; Б — ось; «БВ», «Возврат БВ» — кнопки управления;  $\Phi_{раз}$  — размагничивающий магнитный поток;  $\Phi_{уд}$  — магнитный поток удерживающей катушки

чальное положение. Затем машинист кратковременно нажимает кнопку «Возврат БВ», контакты которой замыкают цепь катушки электропневматического вентиля 1 (рис. 9.8). Под действием поля, создаваемого электромагнитом вентиля, его якорь 7 перемещается и открывает доступ сжатому воздуху в цилиндр 2 привода быстродействующего выключателя. Заметим, что электропневматический вентиль называют включающим, если при прохождении тока через его катушку клапаны соединяют аппарат (в данном случае цилиндр) с источником сжатого воздуха.

Сжатый воздух давит на поршень в цилиндре привода быстродействующего выключателя и перемещает его вправо. Шток поршня с роликом на конце нажимает на контактный рычаг 12. Перед началом движения поршня контактный рычаг с подвижным контактом оттянут включающей пружиной 3 в крайнее левое положение и опирается верхней частью на упор 4. Контактный и якорный рычаги имеют в точке А шарнирное соединение. Когда ролик штока под действием перемещающегося поршня начинает

нажимать на контактный рычаг, последний сначала поворачивается относительно точки А, не отрываясь от упора. Поворот происходит до тех пор, пока контактный рычаг не коснется рычага якоря 7 рядом с осью Б. После этого оба рычага поворачиваются вместе вокруг оси Б до тех пор, пока якорь не будет прижат к полюсам магнитопровода.

Однако в этот момент подвижный контакт, находящийся в верхней части рычага якоря, отойдет от упора 4, но еще не коснется неподвижного контакта, и, следовательно, силовая цепь не будет замкнута. Сколько бы времени машинист не продолжал нажимать кнопку «Возврат БВ», подвижный и неподвижный контакты не замкнутся, так как ролик штока, упираясь в контактный рычаг, не позволит ему повернуться относительно точки А по часовой стрелке в крайнее правое положение и замкнуть силовую цепь электровоза.

Это сделано не случайно. Предположим, что включение быстродействующего выключателя производится при коротком замыкании в силовой цепи. Даже если машинист сразу заметит, что в этой цепи возникла неисправность, пройдет некоторое время, пока он отпустит кнопку и подвижный контакт под действием выключающей пружины начнет отходить от неподвижного. Скорость движения подвижного контакта будет сравнительно небольшой, так как выключающая пружина должна преодолеть сопротивление сил трения, возникающих при вращении включающего рычага, и переместить влево поршень в цилиндре. За это время сила тока короткого замыкания успеет резко возрасти и вызвать значительные повреждения.

Во избежание этого быстродействующий выключатель конструируют так, чтобы его контакты окончательно замыкались только после того, как машинист отпустит кнопку «Возврат БВ» и она своими контактами разорвет цепь электромагнита электропневматического вентиля. Катушка электромагнита вентиля будет обесточена, и полость цилиндра привода соединится с атмосферой. Сжатый воздух выйдет из цилиндра, и пружина, расположенная внутри него, переместит поршень в крайнее левое положение. Однако выключающая пружина после этого не переведет контактный рычаг и рычаг якоря в крайнее левое положение, так как якорь притянут магнитным полем удерживающей катушки 10 к полюсам ее магнитопровода 9.

Наоборот, под действием выключающей пружины контактный рычаг поворачивается относительно точки А, подвижный и неподвижный контакты замыкаются. Теперь ток пойдет из контактной сети через токоприемник, дугогасительную катушку 6, неподвижный и подвижный контакты, гибкий шунт и размагничивающий виток, навитый на стальной сердечник, в силовую цепь к тяговым двигателям.

Магнитный поток, создаваемый размагничивающим витком 8, направлен навстречу потоку, создаваемому удерживающей катушкой в левой части магнитопровода, и согласно потоку, создаваемому этой же катушкой в правой части. При аварийном режиме в результате резкого увеличения силы тока, проходящего через размагничивающий виток, включенный последовательно в силовую цепь, встречный магнитный поток настолько возрастет, что катушка не сможет удержать якорь.

Под действием выключающей пружины якорь оторвется от магнитопровода, и подвижный контакт с большой скоростью отойдет от неподвижного.

Размагничивающее действие витка усиливается при наличии индуктивного шунта, включенного параллельно ему. Поскольку индуктивное сопротивление шунта больше, чем у размагничивающего витка, при резком нарастании силы тока большая его часть проходит через размагничивающий виток, вызывая резкое уменьшение электромагнитных сил, притягивающих рычаг якоря, что ведет к снижению времени выключения БВ.

В момент разрыва цепи между контактами возникает электрическая дуга. Ее необходимо погасить как можно быстрее. Если допустить длительное горение дуги, то по цепи значительное время будет проходить ток короткого замыкания или перегрузки, что может вызвать серьезные повреждения электрического оборудования. Чтобы быстрее погасить дугу, необходимо резко увеличить электрическое сопротивление в ее цепи. Для этого следовало бы не только мгновенно развести контакты, но и удалить их друг от друга на возможно большее расстояние. Обычно в электрических аппаратах электровозов вследствие ограниченных размеров развести контакты на большое расстояние не представляется возможным. Однако можно удлинить дугу, выдувая ее за пределы контактов. В большинстве электрических аппаратов электровозов это осуществляют с помощью так называемого магнитного дутья.

Электрическая дуга выталкивается магнитным полем, создаваемым специальной дугогасительной катушкой. Ее витки включают в цепь последовательно с контактами, и по катушке проходит разрываемый выключаемым ток. Для того чтобы как можно дальше отбросить дугу, катушку дополняют стальными пластинами (полюсными наконечниками), расширяя тем самым область действия магнитного поля катушки.

Чтобы контакты не оплавились, рядом с ними устанавливают дугогасительные рога, на которые выдувается дуга. Затем она перемещается в верхнюю часть разведенных рогов потоком нагретого ею воздуха, где и гасится. Гашению дуги во многом способствует ее интенсивное охлаждение. Поэтому рога закрывают дугогасительной камерой со стенками из огнеупорного материала — асбо-

цемента, обладающего большой теплоемкостью. Для увеличения интенсивности охлаждения дуги в камере устанавливают продольные перегородки, расщепляющие дугу на отдельные параллельные ветви. Применяют также поперечные перегородки, способствующие удлинению дуги.

Быстродействующий выключатель регулируют на определенную силу тока в защищаемой цепи, по достижении которой он срабатывает. Эту силу тока называют уставкой быстродействующего выключателя. После того как сила тока достигнет значения уставки, через промежуток времени, который называют собственным временем выключателя, начнут расходиться контакты. Собственное время, например для БВ, установленного на электровозе ВЛ10, составляет 1,5... 3 мс, и сила тока не успевает достигнуть опасного значения.

Уставку выключателя регулируют с помощью специальных винтов, которые ввинчивают в магнитопровод удерживающей катушки или вывинчивают из него, изменяя тем самым площадь сечения магнитопровода, а следовательно, и сопротивление прохождению магнитного потока удерживающей катушки.

Сила тока уставки БВ зависит от мощности локомотива; например, для электровоза ВЛ10 она равна 3 100 А с допустимыми отклонениями в сторону увеличения на 100 А и уменьшения — на 50 А.

Быстродействующий выключатель БВП-5-02, устанавливаемый на электровозах постоянного тока, предназначен для разрыва силовой цепи и ее защиты от токов короткого замыкания. Технические характеристики выключателя таковы:

Предельная сила отключаемого тока, кА,	
при напряжении 4 кВ .....	20
Номинальная сила тока, кА .....	1,85
Номинальное напряжение, кВ .....	3
Сила тока уставки, кА .....	2,5
Номинальное давление воздуха в цилиндре, кПа .....	500
Собственное время срабатывания, мс .....	1,5...3
Площадь соприкосновения силовых контактов, %, не менее .....	85
Площадь поверхности прилегания рычага якоря к полюсу рамы, %, не менее .....	75
Число вспомогательных контактов:	
закрывающих .....	4
размыкающих .....	4
Наименьшее давление, кПа, сжатого воздуха для нормальной работы пневматического привода при напряжении на зажимах вентиля и удерживающей катушки 30 В .....	375
Сопротивление изоляции между дугогасительными рогами камеры, МОм, не менее .....	5
Масса, кг .....	228

Быстродействующий выключатель БВП-5-02 (рис. 9.9) состоит из следующих основных узлов: корпус, контактное устройство, пневматический привод, система дугогашения, электромагнитное удерживающее устройство и блок вспомогательных контактов.

Корпус выключателя включает в себя угольники 6, скрепленные двумя изолированными стержнями 5, и раму 4, состоящую из двух алюминиевых половин, соединенных друг с другом болта-

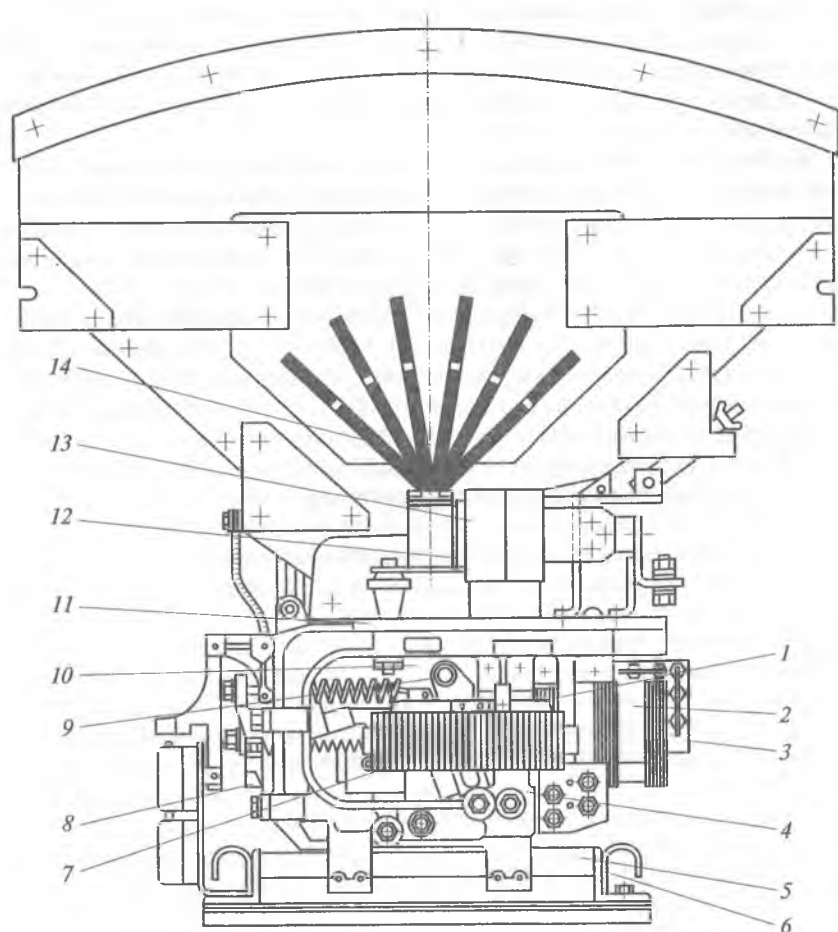


Рис. 9.9. Быстродействующий выключатель БВП-5-02:

1 — сердечник; 2 — удерживающая катушка; 3 — магнитопровод; 4 — рама; 5 — стержень; 6 — угольник; 7 — индуктивный шунт; 8 — цилиндр пневматического привода; 9 — контактная пружина; 10 — контактный рычаг; 11 — плата; 12 — магнитопровод; 13 — дугогасительная катушка; 14 — веерообразные полюсы

ми. Между рамами расположены магнитопровод 3 с удерживающей катушкой 2; в магнитопроводе установлены регулирующие винты, размагничивающий виток с сердечником 1, рычаг якоря, на котором шарнирно укреплен контактный рычаг 10 с подвижным контактом, в средней части соединенный с двумя контактными пружинами 9, которые одновременно являются и выключающими; включающий рычаг пневматического привода с возвращающими пружинами и цилиндр 8 пневматического привода с буфером для смягчения ударов рычага при выключении быстродействующего выключателя.

Параллельно размагничивающему витку включен индуктивный шунт 7, состоящий из медной шины, на которую насажены диски из электротехнической стали. При коротком замыкании индуктивный шунт способствует срабатыванию выключателя при токе, меньшем тока уставки, в связи с чем повышается коммутационная способность аппарата. Индуктивное сопротивление шунта больше, чем у цепи размагничивающего витка, поэтому при резком нарастании силы тока большая его часть проходит через размагничивающий виток быстродействующего выключателя, вызывая резкое уменьшение электромагнитных сил притяжения рычага якоря.

Сверху на раме закреплена гетинаксовая плата 11, на которой укреплены неподвижный контакт и на пластмассовых изоляторах дугогасительная катушка 13 с шихтованным магнитопроводом 12. В зоне контактов магнитопровод имеет веерообразные полюсы 14 для проведения магнитного потока через камеру.

Отключение (срабатывание) выключателя может произойти по двум причинам: вследствие разрыва цепи удерживающей катушки контактами аппаратов защиты, включенных в ее цепь (реле дифференциальное, кнопка «БВ»), или ослабления магнитного потока удерживающей катушки встречным потоком размагничивающего витка, последовательно включенного в силовую цепь (при коротком замыкании в защищаемой цепи или токе, превышающем ток уставки выключателя).

## 9.7. Групповые переключатели

**Главный контроллер.** Главный контроллер предназначен для переключения под нагрузкой ступеней вторичной обмотки тягового трансформатора на электровозах переменного тока.

Главный контроллер ЭКГ-8Ж (рис. 9.10) имеет четыре кулачковых контактора 5 с дугогашением, 30 кулачковых контакторов 6 без дугогашения, кулачковые валы, электромагнитный привод 3, электромагнитные вентили 4 и блокировочные устройства 1 и 2,

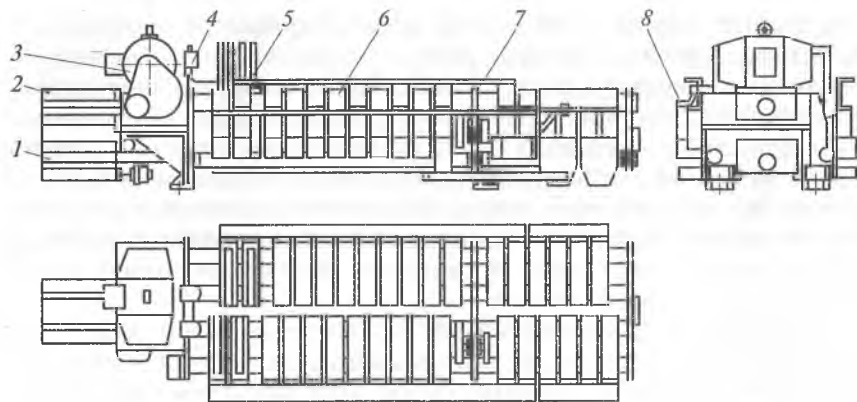


Рис. 9.10. Главный контроллер ЭКГ-8Ж:

1, 2 — блокировочные устройства; 3 — электромашинный привод; 4 — электромагнитный вентиль; 5, 6 — кулачковые контакторы соответственно с дугогашением и без него; 7 — каркас; 8 — рукоятка

рукоятку 8 для ручного проворачивания. Все детали и узлы контроллера монтируют на каркасе 7, состоящем из трех рам и четырех изолированных реек.

Кулачковый контактор с дугогашением (рис. 9.11) представляет собой отдельно собранный и отрегулированный аппарат. Все детали контактора расположены между двумя изоляционными боковинами 5. Контактодержатель 8 несет на себе дугогасительную катушку 9, дугогасительные контакты 11 и накладку основного контакта.

Подвижный контактный рычаг 6 связан с рычагом 4 через ось с резиновой втулкой 16. Втулка служит для смягчения удара при замыкании контактов и улучшения коммутации основных контактов.

Дугогасительный подвижный контакт 11 с рычагом 12 вращается на оси независимо от основного контакта.

Отвод тока от подвижного контакта осуществляется через гибкий шунт 3 из медного провода. Основной подвижный контакт соединен с дугогасительным контактом также шунтом 14.

Подвижная контактная система во избежание смещения в горизонтальном положении зафиксирована на оси 18 стопорным винтом 19.

Контактор устанавливают на двух изолированных круглых рейках и крепят с помощью хомута 1 и прижима 17.

Дугогасительная камера 10 имеет две стенки, выполненные из дугостойкой пресс-массы, и снабжена деионной решеткой из медных и стальных пластин. Дуга, возникающая на дугогасительных контактах, выдувается в камеру магнитным полем дугогаситель-

ной катушки. В целях ускорения восстановления электрической прочности дугового промежутка и уменьшения износа дугогасительных контактов в контакторе применен поддув сжатым воздухом, подача которого осуществляется по воздушному каналу в верхнем кронштейне от электромагнитных вентилях, расположенных на передней раме контроллера.

Для повышения электродинамической устойчивости контактор имеет электромагнитный компенсатор, состоящий из якоря 7

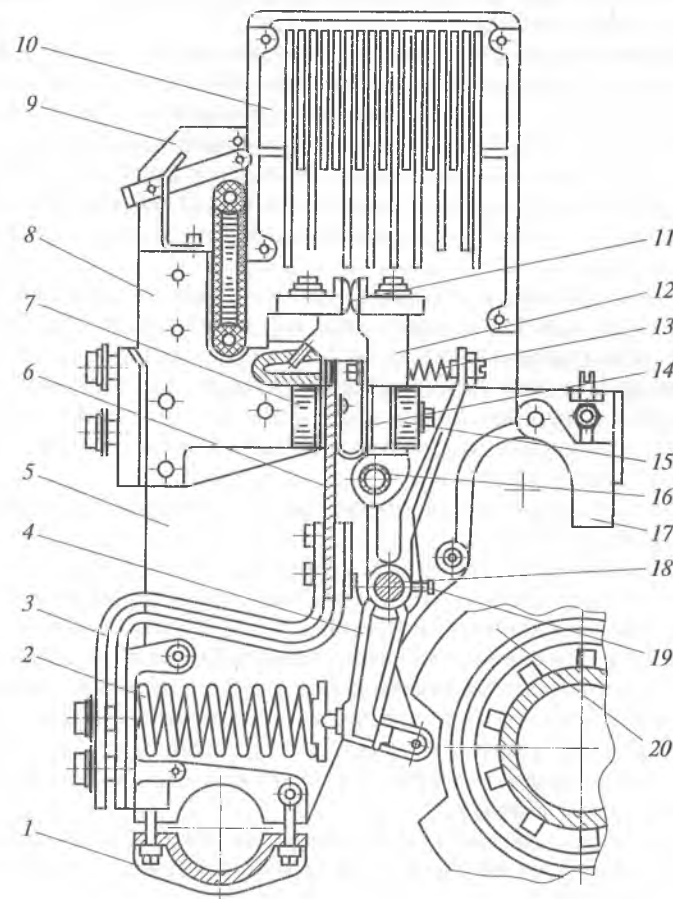


Рис. 9.11. Кулачковый контактор с дугогашением:

1 — хомут; 2, 13 — пружины; 3 — гибкий шунт; 4, 12 — рычаги; 5 — изоляционная боковина; 6 — подвижный контактный рычаг; 7 — якорь; 8 — контактодержатель; 9 — дугогасительная катушка; 10 — дугогасительная камера; 11 — дугогасительный контакт; 14 — гибкий шунт; 15 — ярмо; 16 — резиновая втулка; 17 — прижим; 18 — ось; 19 — стопорный винт; 20 — кулачковая шайба

и ярма 15. Якорь укреплен на держателе неподвижного контакта. При прохождении тока по контактному рычагу в ярме и якоре создается магнитный поток, под действием которого ярмо притягивается к якору.

В качестве материалов для контактных накладок применены следующие композиции: 85 % серебра и 15 % оксида кадмия — для основных контактов КМК-А10М размерами 16 × 16 × 2,5 мм; меди 23,5... 29,5 %, никеля 1,5... 3,5 % (остальное вольфрам) — для дугогасительных контактов КМК-Б25 размерами 20 × 25 × 8 мм.

Контактное нажатие дугогасительных контактов можно регулировать пружиной 13.

Кинематическая схема контактора составлена таким образом, что в замкнутом положении основные и дугогасительные контакты включены параллельно. При этом почти весь ток проходит по основным контактам. Дугогасительные контакты имеют провал, который определяется раствором основных контактов в момент их соприкосновения с дугогасительными. Ограничение провала происходит по заплочикам рычага 12, которыми он опирается на щеки рычага 4.

При отключении контактора сначала размыкаются основные контакты. До выбора провала весь ток кратковременно проходит через дугогасительные контакты и разрывается ими. При включении контактора процесс происходит в обратном порядке: сначала замыкаются дугогасительные контакты, а затем основные. Таким образом, размыкание и замыкание основных контактов происходит при отсутствии тока.

Контактор включается пружиной 2, а отключается профилем кулачковой шайбы 20.

Кулачковый контактор без дугогашения содержит только основные контакты КМК-А10М с накладками. Он предназначен для размыкания электрической цепи без тока. От контактора с дугогашением он отличается тем, что не имеет дугогасительных контактов и дугогасительной системы. Все его детали и узлы, за исключением контактодержателя, подвижного контактного рычага и пружины, такие же, как и у контактора с дугогашением. Подвижный контакт представляет собой контактную шину, укрепленную на промежуточном рычаге.

Контактное нажатие не регулируется. Включение контактора также осуществляется пружиной, а отключение — профилем кулачковой шайбы.

Блокировочные устройства контроллера представляют собой групповые многопозиционные переключатели с кулачковыми контакторами.

Для переключения цепей управления на главном контроллере установлен контактор цепей управления КЭ-20 — кулачковый переключатель рычажного типа.

Держатель неподвижного контакта укреплен на изоляторе из прессованного волокнита. Держатель выполнен в виде болта с головкой, к которой припаяна серебряная накладка. Второй конец держателя с гайками, шайбами и фиксирующей скобой служит выводным зажимом.

В средней части подвижный рычаг имеет отверстие для прохода стержня включающей пружины. В передней части у рычага выполнен отгиб для создания упора держателя подвижного контакта при включении контактора.

**Групповой кулачковый переключатель ПКГ-040-01.** На электровозе постоянного тока, переключая двигатели с одного соединения на другое, можно получить на каждом из них при выведенном пусковом реостате по три значения напряжения (табл. 9.4).

Чтобы увеличить скорость движения, нужно повысить напряжение, подводимое к двигателю. Это достигается перегруппировкой тяговых двигателей силовой цепи электровоза.

Переключение тяговых двигателей с одного соединения на другое называют переходом. Наиболее просто переход можно осуществить следующим образом: отключить тяговые двигатели от контактной сети, произвести необходимые переключения (перегруппировку двигателей) и снова подключить их к контактной сети. Сила тяги сначала снизится до нуля, а затем при включении тяговых двигателей по новой схеме возникнет ее бросок. Поэтому такой переход на магистральных электровозах не применяют.

Переходы с одного соединения тяговых двигателей на другое осуществляют коротким замыканием части двигателей, параллельным подключением к переключаемым двигателям резисторов, по схеме моста и с помощью вентильного перехода. При всех пере-

Таблица 9.4

**Напряжения, В, на тяговых двигателях электровоза постоянного тока при различных соединениях и напряжении контактной сети 3 кВ**

Соединение двигателей	Электровоз	
	шестиосный	восьмиосный
Последовательное (С)	500	375
Последовательно-параллельное (СП)	1 000	750
Параллельное (П)	1 500	1 500

**Примечание.** В скобках указаны условные обозначения соединений двигателей. В период эксплуатации первых электровозов вместо термина «последовательное соединение» использовали «серийное соединение», отсюда буквы С в обозначениях. Строго говоря, высшее (по напряжению) соединение двигателей не является чисто параллельным, так как в каждую ветвь включены последовательно два двигателя.

численных способах перегруппировки тяговых двигателей теряется часть силы тяги, но в разной степени.

В процессе перехода коротким замыканием в обмотках якоря двигателей продолжает индуцироваться ЭДС вследствие остаточного магнетизма, и двигатели кратковременно работают в генераторном режиме, создавая тормозной момент. На современных восьмиосных электровозах переход с последовательного на последовательно-параллельное соединение осуществляют замыканием части двигателей секциями пускового реостата, благодаря чему снижается сила генераторного тока (тормозной момент). На электровозах ВЛ11 в цепь отключенных двигателей вместо резисторов включены полупроводниковые диоды — приборы с односторонней электрической проводимостью. Это обеспечивает размыкание цепи для генераторного тока.

Операции перехода осуществляют с помощью аппаратов — групповых переключателей, которые называют также групповыми контакторами или кулачковыми переключателями. В них имеется общий привод для нескольких контакторов. Собирают групповые переключатели из установленных в ряд контакторных элементов. Контактные элементы такого типа называют механическими или кулачковыми, так как их включение или отключение осуществляется механическим воздействием кулачкового вала переключателя.

В отличие от индивидуальных групповые контакторы используют в цепях, где необходимо производить цикл переключений в определенной последовательности, в том числе цикл переключения двигателей с одного соединения на другое.

На восьмиосных электровозах для перехода с последовательного соединения на последовательно-параллельное, осуществляемого замыканием четырех тяговых двигателей на секции пускового реостата, применены групповые переключатели, имеющие четыре контакторных элемента, вал с четырьмя кулачками (по числу контакторных элементов), пневматический привод и блокировочное устройство. Кулачки имеют выступы и впадины. Выступы кулачков при повороте вала набегают на ролики подвижных контактов, что приводит к замыканию контактов контакторных элементов, тогда как впадины позволяют контактам размыкаться. Последовательность замыкания и размыкания контактов группового переключателя определяется очертанием кулачков и их взаимным расположением на валу.

Пневматический привод включает в себя цилиндр, два поршня, соединенных зубчатой рейкой, два электропневматических вентиля В1 и В2 и воздухопроводы, подводящие к приводу сжатый воздух. Чтобы управлять подачей сжатого воздуха, используют электропневматические вентили: выключающего типа В1 и включающего типа В2. Включающий ventиль отличается от выключающего

только расположением клапанов. При обесточенной катушке выключающий ventиль открывает доступ сжатому воздуху в полость цилиндра. Если же возбудить катушку, то полость цилиндра через ventиль соединится с атмосферой.

Привод группового переключателя имеет два фиксированных положения. Одно из них он занимает, когда катушки вентиля обесточены. Тогда сжатый воздух поступает в левую полость цилиндра и поршни перемещаются в крайнее правое положение. В другом положении привод находится, когда катушки обоих вентиля возбудены. В этом случае левая полость цилиндра сообщается с атмосферой, а правая — с источником сжатого воздуха. Поршни перемещаются влево, а вместе с ними и зубчатая рейка, вращающая зубчатое колесо и кулачковый вал. Контактные элементы, контакты которых включены в силовую цепь, производят соответствующие переключения, необходимые для перехода с последовательного на последовательно-параллельное соединение тяговых двигателей.

Переключатель ПКГ-040-01 предназначен для переключения тяговых электродвигателей с последовательно-параллельного на параллельное соединение на электровозах постоянного тока ВЛ10 и ВЛ11. Технические характеристики переключателя таковы:

Номинальное напряжение, кВ .....	3
Номинальная сила тока контакторного элемента, А .....	500
Номинальное давление сжатого воздуха для работы пневматического привода, кПа .....	500
Номинальное время переключения, с .....	1...2,5
Раствор главных контактов, мм .....	24...27
Провал главных контактов, мм .....	10...12
Начальная сила нажатия главных контактов, Н .....	45...90
Конечная сила нажатия главных контактов, Н .....	140...180
Сила нажатия вспомогательных контактов, Н .....	15...30
Масса, кг .....	231

Групповой переключатель (рис. 9.12) состоит из контакторных элементов 1, изолированных асбоцементными перегородками 2, укрепленных на сварном каркасе 3, кулачкового вала 4 с изоляционными шайбами, пневматического двухпозиционного привода 10 и барабана блока 5 вспомогательных контактов.

Контакторные элементы переключаются кулачковыми шайбами, насаженными на стальной шестигранный вал. Вал вращается в подшипниках, установленных в боковинах каркаса. На одной из боковин каркаса укреплен пневматический двухпозиционный привод. В цилиндре привода размещены два поршня, скрепленных между собой зубчатой рейкой, которая входит в зацепление с шестерней 9, насаженной на кулачковый вал.

Воздухораспределитель 8, состоящий из включающего и выключающего электромагнитных вентиля, подает воздух в правую



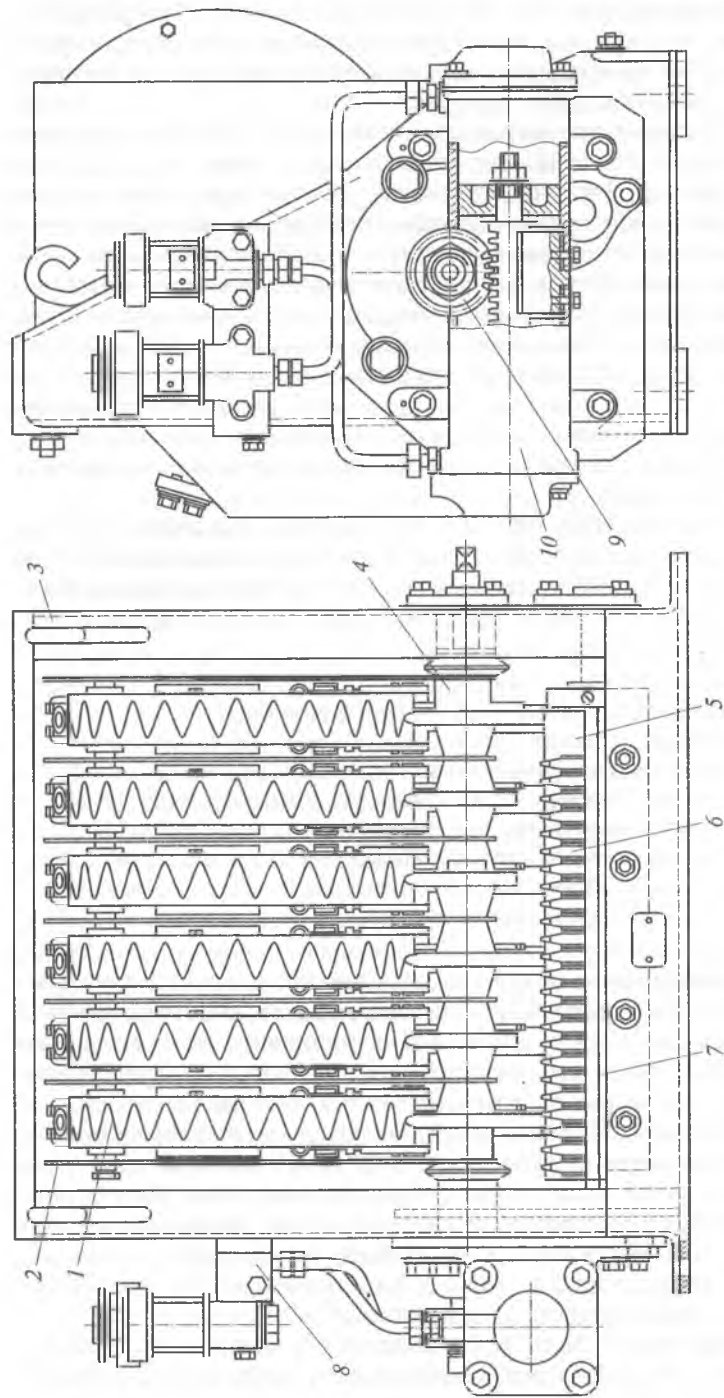


Рис. 9.12. Групповой переключатель ПКГ-040-01:

1 — контакторный элемент; 2 — асбоцементная перегородка; 3 — каркас; 4 — кулачковый вал; 5 — блок вспомогательных контактов; 6 — контактный палец; 7 — держатель; 8 — воздуховораспределитель; 9 — шестерня; 10 — пневматический привод

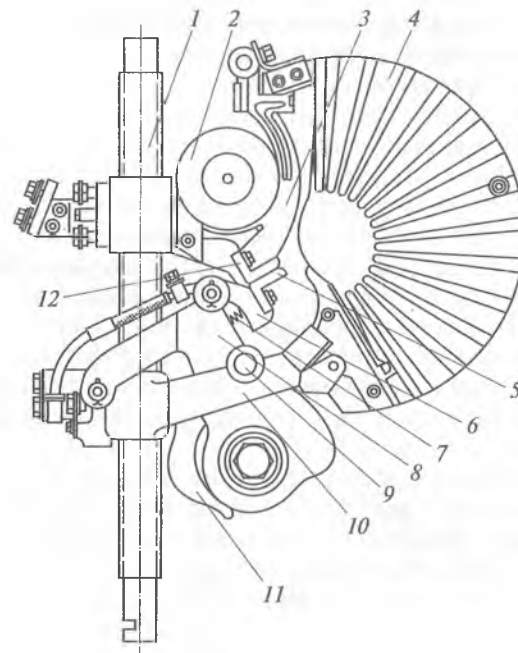


Рис. 9.13. Контактный элемент группового переключателя ПКГ-040-01:

1 — стержень; 2 — дугогасительная катушка; 3, 10 — латунные кронштейны; 4 — дугогасительная камера; 5 — подвижный контакт; 6 — держатель; 7 — пружина; 8 — контактный рычаг; 9 — ролик; 11 — хвостовик; 12 — неподвижный контакт

или левую полость цилиндра, приводя в движение поршни, а вместе с ними — зубчатую рейку и кулачковый вал. Каждый поршень имеет две уплотнительные резиновые манжеты и войлочное кольцо для смазки рабочей поверхности цилиндра. Вращение кулачкового вала передается через зубчатую передачу, расположенную со стороны привода, барабану блока вспомогательных контактов, который при этом замыкает соответствующие контактные пальцы 6, закрепленные на держателе 7. Очередность замыкания контакторных элементов соответствует диаграммам замыкания контактов. Для предотвращения переброса дуги при разрыве тока между контакторными элементами установлены асбоцементные перегородки.

Контакторный элемент (рис. 9.13) состоит из изолированного стального стержня 1, на котором установлены верхний 3 и нижний 10 латунные кронштейны. На верхнем кронштейне, который одновременно является дугогасительным рогом, закреплены дугогасительная катушка 2 и неподвижный контакт 12. Один конец катушки изолирован от кронштейна и является выводом, а другой — приварен к кронштейну.

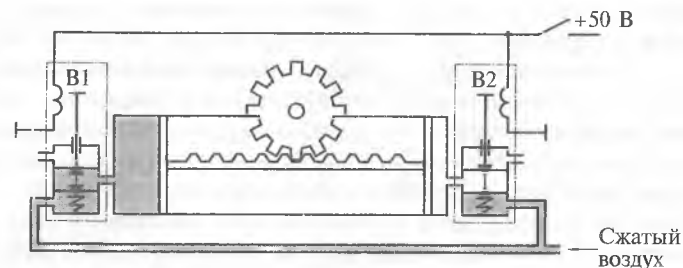


Рис. 9.14. Схема привода группового переключателя:

B1, B2 — выключающий и включающий электропневматические вентили

На нижнем кронштейне шарнирно закреплен латунный контактный рычаг 8. Подвижный контакт 5 закреплен на держателе 6, ось которого связана с контактным рычагом. Для прохождения тока на держателе закреплен гибкий кабель, который подсоединен к выводу на кронштейне.

Контактный рычаг имеет два ролика 9, соприкасающихся с профилем кулачковой шайбы, и хвостовик, по которому ударяет специальный выступ на кулачковой шайбе при ее повороте, обеспечивая размыкание контактов в случае их сваривания. Контактное нажатие осуществляется пружиной 7. Замыкание и размыкание контактов происходит при перекачивании роликов контактного рычага по рабочему профилю кулачковой шайбы.

На кронштейнах установлена лабиринтно-щелевая дугогасительная камера 4, охватываемая снаружи с обеих сторон главными полюсами из стального листа, закрепленными на сердечнике дугогасительной катушки 2. В случае съема камеры полюсы откидывают вверх, при этом открывается доступ к контактам.

Привод группового переключателя (рис. 9.14) двухпозиционный. Цилиндр привода представляет собой стальную трубу, с обоих концов которой напрессованы и приварены держатели, служащие для крепления крышек к цилиндру и самого цилиндра к корпусу аппарата.

Крышки цилиндра отлиты из чугуна. Воздух подается по трубопроводу от вентиля в держатель и далее через систему отверстий в крышку. Таким образом, съем крышки для сборки или ревизии цилиндра возможен без съема системы трубопровода.

Два поршня цилиндра скреплены друг с другом зубчатой рейкой. Фиксация положений поршня привода осуществляется упорами. Для предотвращения утечки воздуха в поршне установлены две резиновые манжеты и войлочное кольцо, которое служит также для смазывания внутренней поверхности зеркала цилиндра.

**Переключатели ПТ-022, -022-01, ПКД-023, -047 и -047-01.** Тормозные переключатели ПТ-022 и -022-01 предназначены для

переключения схемы электровозов ВЛ10 и ВЛ11 на режим рекуперативного торможения, ПКД-047 и -047-01 — для дистанционного отключения поврежденных тяговых электродвигателей и соединения исправных электродвигателей согласно схеме аварийного режима, а ПКД-023 — для переключения обмотки тяговых электродвигателей с целью изменения направления движения электровоза.

У переключателей ПТ-022, ПКД-023 и -047 (рис. 9.15) кулачковый вал 1 связан с поршнем привода 4 посредством рычага 3 с роликом. Остальные аппараты отличаются друг от друга числом кулачковых элементов 2 (главных контактов), вспомогательных контактов и схемой их соединения.

Кулачковые элементы укреплены на сварном каркасе. Элементами управляют с помощью кулачковых шайб, насаженных на стальной четырехгранный вал. Вал вращается в подшипниках, установленных в боковинах каркаса, и через шестерню связан с зубчатой рейкой двухпозиционного пневматического привода, снабженного двумя включающими электромагнитными вентилями, которые обеспечивают подачу воздуха в левую или правую полость цилиндра.

Вращение кулачкового вала через систему рычагов передается блоку вспомогательных контактов, замыкающих соответствующие контактные пальцы.

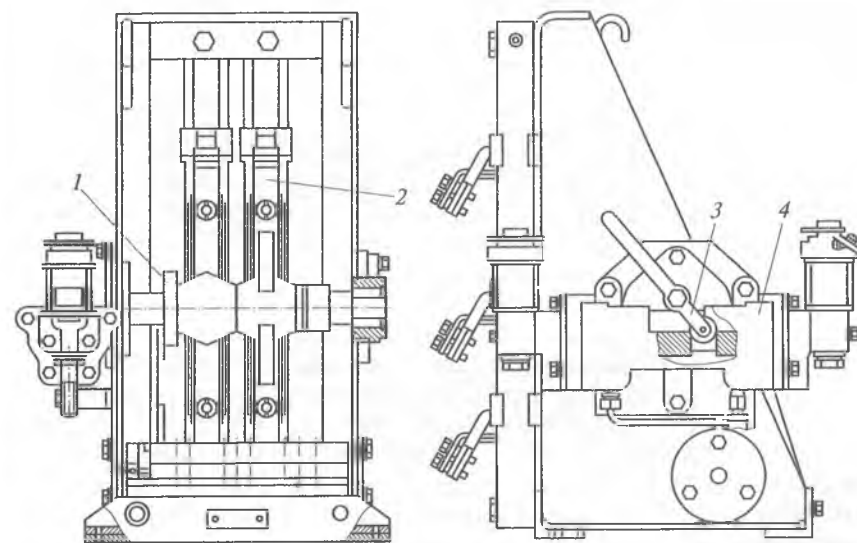


Рис. 9.15. Переключатели ПКД-023 и -047 (-047-01):

1 — кулачковый вал; 2 — кулачковые элементы; 3 — рычаг с роликом; 4 — пневматический привод

Кулачковый элемент представляет собой переключатель без дугогашения, состоящий из двух самоустанавливающихся подвижных контактов и двух неподвижных контактов.

Подвижные контакты электрически соединены между собой гибким шунтом, который служит электрическим выводом подвижных контактов.

Неподвижные контакты установлены на стойках, укрепленных в пазах изоляционных планок. Электрический вывод от неподвижных контактов осуществляется спаянными с ними медными шинами.

Кулачковая шайба имеет специальный профиль, обеспечивающий скольжение подвижного контакта по неподвижному сначала в одну сторону, а затем в другую. При этом происходит взаимная зачистка контактов.

**Реостатные контроллеры.** Реостатный контроллер (РК) можно считать главным аппаратом в системе автоматического пуска моторного вагона электропоезда. Кулачковый вал аппарата выводит

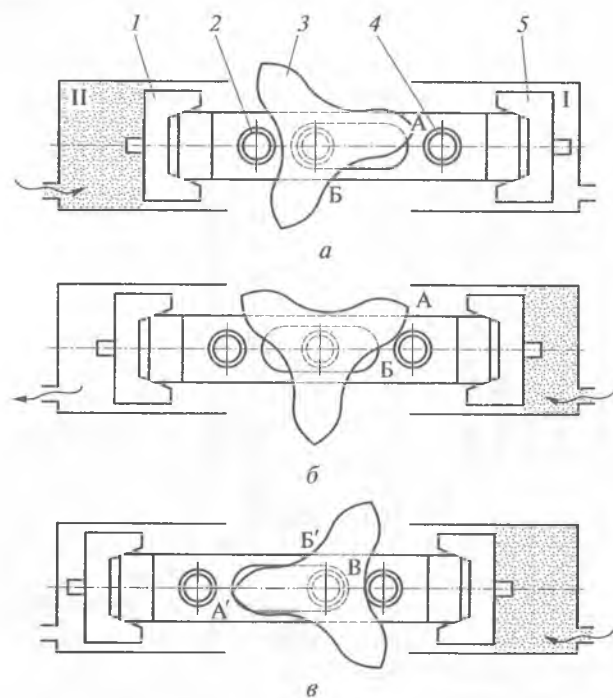


Рис. 9.16. Схема привода Решетова:

*а—в* — положения механизма привода Решетова в процессе переключения; 1, 5 — поршни; 2, 4 — ролики; 3 — кулачковая шайба; I, II — пневмоцилиндры; А, А' — острия; Б, Б', В — впадины

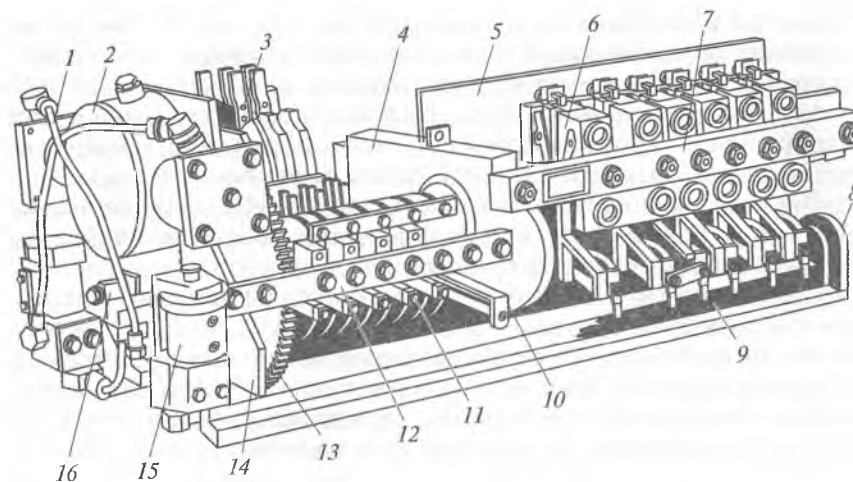


Рис. 9.17. Реостатный контроллер КСП-1А:

1 — воздуховод; 2 — пневматический привод; 3 — кулачковые контакторы переключателя вентиля; 4, 8, 14 — поперечные рамы; 5 — изоляционная перегородка; 6 — кулачковый силовой контактор; 7 — текстолитовая рейка; 9 — стальной уголок; 10 — механический фиксатор; 11 — кулачковый контактор управления; 12 — стальная рейка; 13 — зубчатая передача; 15 — электропневматический вентиль; 16 — регулировочный винт

пускотормозные резисторы из цепи тяговых двигателей при пуске в режиме тяги и в режиме электрического торможения. Реостатный контроллер управляется с помощью контроллера машиниста и под контролем реле ускорения производит переключения в силовой цепи.

Контроллер хорошо себя зарекомендовал, однако слабым узлом конструкции всегда являлся переключатель вентиля пневматического привода, конструкцию которого неоднократно меняли. Была предпринята попытка перейти к электрическому приводу, используя серводвигатель (на электропоездах ЭР22), но впоследствии вернулись к испытанному пневматическому приводу Решетова (рис. 9.16).

Следует отметить, что в настоящее время вентили реостатного контроллера переключаются с помощью электронного блока реле ускорения (БРУ) и работают вполне удовлетворительно.

*Реостатный контроллер КСП-1А* (рис. 9.17), применяемый на электропоездах ЭР2, имеет привод Решетова, который состоит из цилиндров I и II (см. рис. 9.16) с поршнями 1 и 5, соединенными рейкой. На рейке укреплены ролики 2 и 4, через них движение поршней передается кулачковой шайбе 3, имеющей форму трехлучевой звезды. Лучи расположены несимметрично относительно впадин: они сдвинуты так, чтобы один из роликов, например 2,

находился во впадине, а другой в этот момент — под лучом. При движении поршней влево ролик 2 выходит из впадины, а ролик 4 упирается в профиль луча АБ противоположного выступа. Под действием ролика возникает сила, создающая момент, вращающий шайбу (звезду) против часовой стрелки (см. рис. 9.16, б). Движение поршней прекратится, когда ролик 4 достигнет впадины В, и шайба, повернувшись на 60°, займет положение, показанное на рис. 9.16, в. В этом случае ролик 4 находится во впадине, а ролик 2 располагается выше профиля луча.

При движении поршней в обратную сторону (вправо) ролик 2 будет взаимодействовать с профилем луча А'Б', и шайба повернется еще на 60° в том же направлении (против часовой стрелки).

Таким образом, возвратно-поступательное движение поршней преобразуется в одностороннее вращательное движение шайбы, при этом каждому ходу поршней соответствует ее поворот на 60°.

Шайба соединена с валом контроллера зубчатой передачей, передаточное отношение которой (3:1) выбрано так, чтобы при повороте звезды на 60° вал поворачивался на меньший угол (угол между смежными позициями на поездах ЭР2 составляет 20°, на поездах ЭР2Т, ЭД2Т — 18°). Управляют приводом два электропневматических вентиля (по одному на каждый цилиндр). При поочередном возбуждении вентилях сжатый воздух поступает в один из цилиндров, и привод каждый раз поворачивает вал на одну позицию.

Каркас контроллера КСП-1А (см. рис. 9.17) состоит из двух продольных стальных уголков 9 и трех поперечных алюминиевых рам 4, 8 и 14. Рамы 4 и 8 скреплены сверху двумя текстолитовыми рейками 7.

В подшипниках рам вращается главный вал контроллера. Вал имеет квадратное сечение; на него насажены кулачковые шайбы силовых контакторов 6КЭ-14Д. На текстолитовых рейках напротив каждой шайбы укреплен силовой контакторный элемент. На стальных рейках 12 установлены десять низковольтных блокировочных контакторов КР-ЗД.

Звезда привода и малая зубчатая шестерня насажены на вал переключателя вентилях, который вращается в двух шариковых подшипниках, запрессованных в корпусе привода. Полости цилиндров соединены воздухопроводами с электропневматическими вентилями 15, которые сообщаются с источником сжатого воздуха. На трубопроводе установлены два болта, которыми регулируют подачу воздуха. На кулачковом валу установлен механический фиксатор 10, который фиксирует остановку вала на очередной позиции.

В верхней части контроллера расположен переключатель вентилях; его электрические контакты введены в схему управления.

На малый кулачковый вал насажены три кулачковые шайбы, которые воздействуют на блокировочные кулачковые контакторы 3. Благодаря замыканию контактов в требуемый момент запитывается один из вентилях и реостатный контроллер переходит на следующую позицию.

Реостатный контроллер 1КС.009 (рис. 9.18), применяемый на электропоездах ЭР2Т и ЭД2Т, во многом аналогичный контроллеру КСП-1А, выполняет те же функции. Благодаря приводу (описанному ранее) происходит одновременное переключение нескольких контакторов. Однако у данного аппарата имеются некоторые конструктивные отличия: нет переключателя вентилях, работой вентилях управляет электронный блок реле ускорения (БРУ). Если механический переключатель вентилях работает в напряженных условиях, что сопровождается частыми неисправностями (износ деталей, подгары контактов, перетираание шплинтов, выпадение валиков, постоянное замкнутое состояние контакта и пр.), то бесконтактная электронная схема БРУ обеспечивает вполне удовлетворительную работу реостатного контроллера. Контроллер работает более стабильно, создается необходимая временная задержка при подаче питания на вентиль, устраняется хроническая «болезнь» контроллера — проскакивание позиций, значительно реже наблюдается застревание контроллера между позициями и т.д. На контроллере отсутствуют регулировочные болты, поскольку в них нет необходимости. Следует отметить, что в схеме управления не предусмотрен ручной пуск, тогда как на электропоездах ЭР2 он сохраняется исключительно из-за ненадежности работы переключателя вентилях.

Каркас реостатного контроллера состоит из двух продольных угольников и соединяющих их поперечных рам, в которых установлены два кулачковых вала с контактными шайбами. Нижний главный вал 19, управляющий силовыми контакторными элементами, закреплен в шариковых подшипниках, имеющих в рамах. Верхний малый вал 10, управляющий низковольтными блокировочными элементами, также вращается в подшипниках, размещенных в рамах. С обеих сторон главного вала на текстолитовых рейках установлены силовые контакторные элементы КЭ-4Д-2 и один контакторный элемент КР-9А-1 с дугогасительной системой.

Над верхним валом расположены низковольтные контакторные элементы КЭ-42. Во избежание проскакивания позиций главный вал надежно зафиксирован двумя фиксаторами, которые работают поочередно. Над главным валом на рамах установлены изоляционные перегородки 9. Между главным валом 19 и валом управления 10 находится заземленная шпилька, служащая экраном для предохранения низковольтных проводов от возможного попадания искр, образующихся при переключении силовых кон-

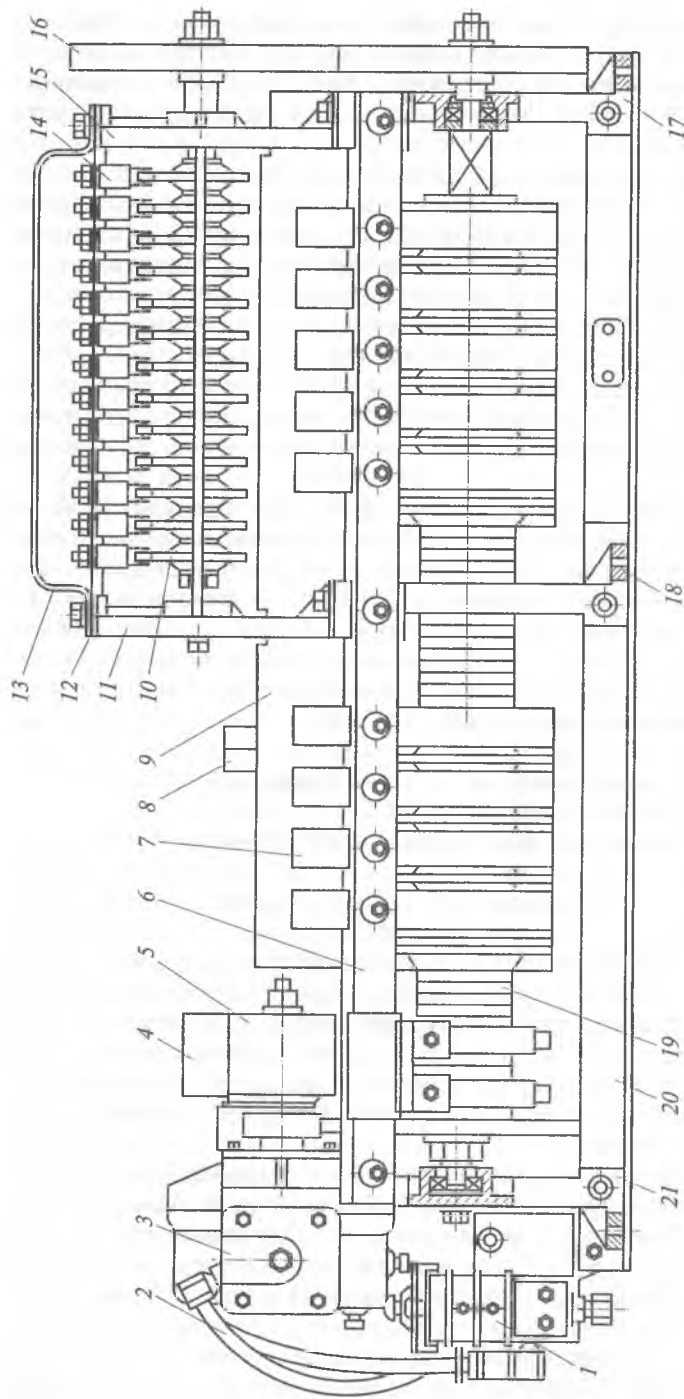


Рис. 9.18. Реостатный контроллер ИКС.009:

1 — электропневматический вентиль; 2 — воздуховод; 3 — пневмопривод; 4 — диск; 5 — герконовый переключатель вентилей; 6 — текстолитовая рейка; 7 — кулачковый силовой контактор; 8 — кулачковый силовой контактор с дугогашением; 9 — изоляционная перегородка; 10 — кулачковый вал контактора управления; 11, 15, 17, 18, 21 — поперечные рамы; 12 — стальная рейка; 13 — скоба; 14 — кулачковый контактор управления; 16 — текстолитовая шестерня; 19 — главный кулачковый вал; 20 — стальной уголок

такторов. В эксплуатации необходимо следить за тем, чтобы эта шпилька была надежно закреплена.

Оба вала вращаются синхронно благодаря тому, что связаны текстолитовыми зубчатыми шестернями 16. Валы контроллера имеют 20 позиций.

Положение главного (и блокировочного) вала реостатного контроллера можно быстро определить по замыканию его низковольтных блокировок.

Если в ряду блокировочных контактов замкнуты четыре крайние блокировки с правой стороны, то реостатный контроллер находится в первой позиции.

### 9.8. Контроллеры машиниста и режимные контроллеры

Контроллер машиниста служит для дистанционного управления тяговыми двигателями в режимах тяги и электрического торможения.

Управление происходит за счет размыкания контакторных элементов контроллера в определенной последовательности при перемещении главной рукоятки (штурвала). При этом запитываются (или теряют питание) поездные провода, по которым передаются сигналы на электрическую аппаратуру ЭПС.

На электропоездах ЭР2 установлен контроллер 1КУ.023, а на ЭР2Т — 1КУ.019, который отличается от предыдущего числом фиксированных положений главной рукоятки и кулачковых контакторов на главном валу.

Основание контроллера 1КУ.019 и верхняя крышка соединены вертикальными угольниками. На рейках закреплены кулачковые контакторы КЭ-42А. На крышке предусмотрены ограничители поворота реверсивной рукоятки и нанесены обозначения положений обеих рукояток. Реверсивная рукоятка имеет следующие положения: «Нейтральное», «Вперед» и «Назад», главная рукоятка — «Нулевое», «Маневровое», четыре ходовых и пять тормозных.

Реверсивный вал можно повернуть только при нулевом положении главного вала. Поворот главного вала возможен, когда реверсивный вал установлен в положение «Вперед» или «Назад». Главная рукоятка, насаженная на верхний конец главного вала, изготовлена из пластмассы, сверху на ней установлена кнопка безопасности.

На электропоездах ЭД2Т применяется контроллер 1КУ.039.УЗ, который состоит из крышки и основания, стянутых планками. На лицевой стороне крышки обозначены ходовые и тормозные положения штурвала, а также положения реверсивной рукоятки. На

вертикальных планках смонтированы кулачковые контакторные элементы. Контроллер имеет реверсивный вал и два главных вала. На реверсивный вал насажены пять кулачковых шайб, храповик фиксации позиций вала и фиксатор позиций главного вала. У реверсивного вала три фиксированных положения: «Вперед», «Нейтральное» и «Назад». При помощи съемной реверсивной рукоятки вал из нейтрального положения устанавливаются в одно из рабочих положений.

Оба главных вала соединены между собой зубчатой передачей с передаточным отношением 1:1, поэтому с помощью маховика (штурвала) они вращаются синхронно. Валы имеют 11 фиксированных позиций: нулевую, маневровую, четыре ходовые и пять тормозных.

Главный и реверсивный валы механически заблокированы между собой так, что поворот реверсивного вала возможен только при нулевом положении главного, который может вращаться, если реверсивный вал переведен в рабочее положение («Вперед» или «Назад»).

В нулевом положении реверсивного и главного валов ролик фиксатора 6 (рис. 9.19) входит во впадину храпового колеса и запирает главный вал 4, так как храповое колесо жестко установлено на главном валу.

При установке реверсивной рукоятки в рабочее положение вместе с реверсивным валом повернется храповик 7. Ролик фиксатора выйдет из средней впадины храповика и под действием

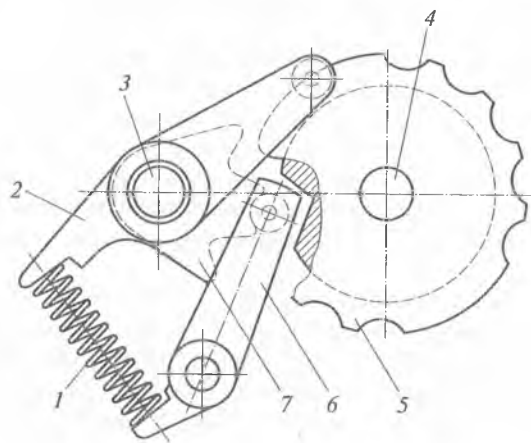


Рис. 9.19. Механическая блокировка кулачковых валов контроллера машиниста 1КУ.039.УЗ:

1 — пружина; 2, 6 — фиксаторы; 3 — реверсивный вал; 4 — главный вал; 5 — колесо; 7 — храповик

пружины 1 войдет в более глубокую впадину. При этом конец фиксатора выйдет из впадины храпового колеса, и станет возможным поворот главных валов.

Перевести реверсивную рукоятку из рабочего положения в среднее (нейтральное) можно только тогда, когда главный вал находится в нулевом положении. В этом случае впадина храпового колеса находится напротив конца фиксатора.

Фиксатор закрепляет главный вал на каждой позиции. Контроллер машиниста смонтирован в пульте управления, подсоединение к нему проводов управления осуществляется при помощи разъема, состоящего из колодки и вставки.

На электровозе ВЛ80<sup>с</sup> установлен контроллер машиниста КМ-84, имеющий число кулачковых контакторов:

- главного переключателя — 10;
- реверсивного переключателя — 7;
- тормозного переключателя — 5.

Кулачковый контактор КЭ-153 имеет следующие характеристики:

Номинальное напряжение постоянного тока, В .....	50
Номинальная сила тока, А .....	16
Сила контактного нажатия, кгс (Н) .....	0,3 (3)

Контроллер машиниста КМ-84 представляет собой многопозиционный аппарат и состоит из следующих основных узлов: кулачковые валы и контакторы, механическая блокировка, датчик торможения и блок задатчика тормозной силы. Все эти узлы установлены между двумя рамами, соединенными рейками.

Группа кулачковых контакторов и соответствующий ей кулачковый вал составляют главный, реверсивный и тормозной переключатели.

Кулачковые валы набираются из изоляционных прессованных шайб.

Для исключения ошибочных действий машиниста все переключатели заблокированы между собой при помощи механической блокировки, которая состоит из дисков, установленных на каждом валу, рычагов и пружин.

Механическая блокировка обеспечивает следующий порядок взаимодействия между валами:

- перемещение главной рукоятки в любое положение при установке реверсивной рукоятки в положения ПП («Вперед» или «Назад»), ОП1 — ОП3 и тормозной рукоятки в положение «0»;
- перемещение тормозной рукоятки в любое положение при установке реверсивной рукоятки в положение ПП («Вперед» или «Назад») и главной рукоятки в положение «0»;
- перемещение реверсивной рукоятки в положения ОП1 — ОП3 при установке тормозной рукоятки только в положение «0».

Возможность перемещения главной и тормозной рукояток из положения «0» при нахождении реверсивной рукоятки в положении «0» отсутствует.

Привод кулачковых валов всех переключателей ручной. Рукоятка реверсивного переключателя съемная.

Главный переключатель служит для управления электровозом в тяговом режиме. Вал главного переключателя расположен соосно с валом реверсивного переключателя и имеет следующие позиции: «0» — нулевая; АВ — автоматическое выключение; РВ — ручное выключение; ФВ — фиксация выключения; ФП — фиксация пуска; РП — ручной пуск; АП — автоматический пуск; БВ — быстрое выключение.

Позиции «0», АВ, РВ, ФВ, ФП и РП — фиксированные, а позиции АП и БВ — с самовозвратом.

Реверсивный переключатель служит для подачи команд на изменение направления движения электровоза («Вперед» или «Назад»). Позиции реверсивного переключателя следующие: «0» — нулевая; ПП («Вперед») — полное возбуждение; ОП1 — ОП3 — первая — третья ступени ослабления возбуждения; ПП («Назад») — полное возбуждение. Все позиции реверсивного переключателя фиксированные.

Тормозной переключатель служит для управления электровозом в режиме реостатного торможения и для плавного регулирования тока возбуждения двигателей, которые работают при этом в режиме генераторов. Позиции тормозного переключателя следующие: «0» — нулевая; П — подготовка цепи к торможению; ПТ — предварительное торможение с тормозной силой до 12 тс (120 кН); «Торможение». Позиции «0», П, ПТ и крайние положения зоны «Торможение» фиксированные. Позиции зоны «Торможение» нефиксированные. На валу тормозного переключателя установлена профильная шайба, при помощи которой производится поворот ротора сельсина-датчика торможения.

На верхней раме контроллера машиниста установлен блок задатчика тормозной силы (БЗТС). Положение рукоятки БЗТС определяет тормозную силу электровоза в тонна-силах.

Кулачковый контактор КЭ-153 является коммутирующим элементом контроллера.

*Контроллер машиниста КМЭ-020*, устанавливаемый на электровозах ВЛ10 и ВЛ11, имеет два кулачковых вала — главный и тормозной. Валы приводятся в движение главной и тормозной рукоятками, которые связаны с соответствующими зубчатыми передачами. Реверсирование тяговых электродвигателей и выбор схемы их соединения в тормозном режиме осуществляются двумя кулачковыми барабанами, которые посажены на подшипниках на главном и тормозном валах; оба барабана управляются одной реверсивно-селективной рукояткой.

Кулачковые шайбы главного и тормозного валов переключают контакторные элементы, смонтированные на двух рейках. Главный вал имеет 48 позиций (не считая нулевой), из которых 18, 33 и 48-я являются ходовыми, а остальные — пусковыми. Тормозной вал имеет 4 позиции ослабления возбуждения и 28 позиций торможения. Фиксация главного и тормозного валов по позициям обеспечивается защелками рукояток, западающими в пазы секторов, расположенных на крышке контроллера.

Реверсивно-селективная рукоятка имеет шесть положений:

- 0 — нулевое (соответствует отключенному состоянию цепей тяговых электродвигателей);
- М — для пуска и разгона электровоза на последовательном, последовательно-параллельном и параллельном соединениях тяговых электродвигателей при движении «Вперед» и «Назад» в тяговом режиме;
- П, СП и С — для рекуперативного торможения при движении электровоза вперед на параллельном, последовательно-параллельном и последовательном соединениях тяговых электродвигателей.

Последовательность замыкания контактов определяется профилем кулачковых шайб.

Для предотвращения ошибочных действий при работе предусмотрена механическая блокировка, которая исключает следующие перемещения рукояток:

- главной — при установке реверсивно-селективной рукоятки на позиции «0», П, СП и С;
- тормозной — при установке реверсивно-селективной рукоятки на позицию «0»;
- реверсивно-селективной — при установке главной или тормозной рукоятки не на позицию «0»;
- тормозной в сторону позиций ОВ — при установке реверсивно-селективной рукоятки на позициях П, СП, С;
- тормозной в сторону позиций Я и ПТ — при установке реверсивно-селективной рукоятки на позицию М.

На контроллере машиниста установлен задатчик скорости движения электровоза, который связан с тормозным валом зубчатой передачей и служит также задатчиком тока рекуперации.

Реверсивная рукоятка может быть установлена на нулевую позицию и вынута из гнезда контроллера лишь после установки главной и тормозной рукояток на нулевые позиции и их блокирования.

**Контроллер режимный КР-005** предназначен для подготовки низковольтной цепи к соединению трех секций электровозов ВЛ11 или при работе по системе многих единиц (СМЕ).

На верхней части вала имеются диск, который фиксирует положение режимного контроллера при помощи рычага с пружи-

ной, и рукоятка с указателем положения позиций, закрепленным на верхней плите. На этой же плите установлен замок, запирающий главный вал на выбранной позиции контроллера.

Режимный контроллер имеет шесть позиций: 2 секции, 3 секции (головная, средняя, головная), 4 секции (головная, средняя). При спаривании электровозов из нескольких секций режимным контроллером соединяются цепи управления всех сцепленных электровозов.

### 9.9. Разрядники и ограничители перенапряжений

Для защиты от атмосферных и коммутационных перенапряжений электрооборудования ЭПС напряжением 3,3 кВ постоянного тока предназначен *вентильный коммутационный унифицированный разрядник РВКУ-3.3А-01*.

Технические данные разрядника таковы:

Номинальное напряжение, кВ .....	3,3
Наибольшее допустимое напряжение, кВ .....	4
Пробивное действующее напряжение, В, при переменном токе частотой 50 Гц в течение 1 мин:	
не менее .....	5,3
не более .....	6,0

В процессе длительной эксплуатации допускается снижение пробивного действующего напряжения до 5,0 кВ и импульсного — до 7,0 кВ.

Разрядник, подсоединенный к сети с напряжением 3,3... 4,0 кВ, выдерживает воздействие 500 импульсов тока с фронтом волны 8 мкс, длительностью 20 мкс и амплитудой 3,0 кА с последующим протеканием сопровождающего тока. При таких воздействиях искровые промежутки разрядника обрывают дугу сопровождающего тока. Разрядник при наименьшем напряжении сети 220 В надежно гасит дугу сопровождающего тока не менее 10 раз.

Разрядник, подключенный к сети с аналогичным напряжением, выдерживает 20 импульсов тока коммутационных перенапряжений амплитудой до 1,5 кА и длительностью до 5 мс с последующим протеканием сопровождающего тока или 100 импульсов тока коммутационных перенапряжений амплитудой 800... 1 000 А полной длительностью до 5 мс с последующим протеканием сопровождающего тока. При таких воздействиях искровые промежутки разрядника обрывают дугу сопровождающего тока.

Разрядник РВКУ-3.3А-01 (рис. 9.20) состоит из следующих основных элементов: фарфоровая крышка 1, внутри которой размещены все элементы, блок искровых промежутков 2, блок 3 нели-

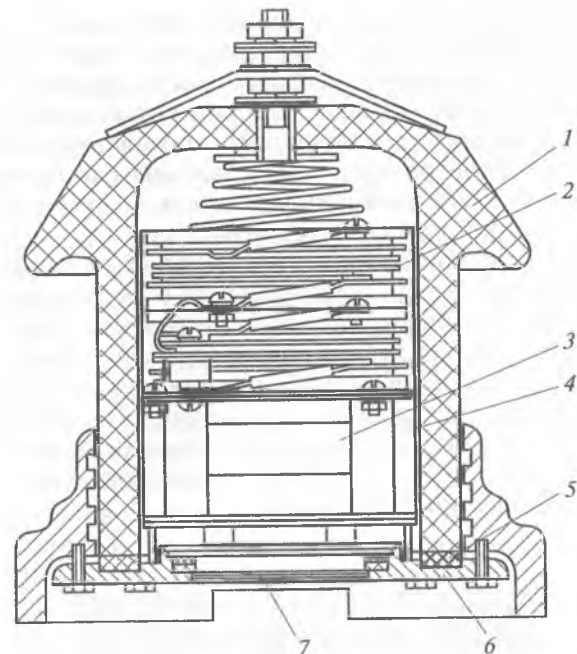


Рис. 9.20. Разрядник РВКУ-3.3А-01:

1 — фарфоровая крышка; 2 — блок искровых промежутков; 3 — блок нелинейных резисторов; 4 — прокладка; 5 — резиновое уплотнительное кольцо; 6 — днище; 7 — клапан

нейных резисторов и днище 6 с клапаном 7. Разрядник имеет два блока искровых промежутков.

Блок искровых промежутков (рис. 9.21) включает в себя две дугогасительные камеры, в каждой из которых имеется две пресованные крышки. На одной крышке 4 укреплены кольцевые электроды 10 и 11. Фигурный электрод 8 через элемент 9 шунтирующего резистора соединен с кольцевым электродом 10. На этом электроде имеется ламель А, отгибая которую регулируется пробивное напряжение разрядника. На наружной поверхности каждого блока размещена катушка 5 для создания магнитного поля.

Искровые промежутки разрядника имеют омическо-емкостное шунтирование, что позволяет улучшить вольт-секундную характеристику.

Блок нелинейных резисторов 3 (см. рис. 9.20) комплектуется из трех параллельных колонок, представляющих собой последовательно соединенные диски диаметром 70 мм, изготовленные из специальной массы «Гервит-2». Для обеспечения защиты фарфора от термического воздействия дуги между фарфоровой крышкой и



элементами разрядника устанавливается прокладка 4 из электро-технического картона. Днище 6 разрядника имеет взрывозащитное устройство — латунную диафрагму, которая при повреждении внутри разрядника исключает возможность повышения в нем давления. Разрядник герметизирован с помощью уплотнений из озонотермостойкой резины, имеет зажимы для присоединения к токоведущим и заземляющим проводам и, кроме того, комплектуется регистратором срабатывания.

Наружные металлические детали и находящиеся внутри разрядника стальные детали защищены от коррозии, а наружный цементный шов защищен влагостойким покрытием.

При появлении опасного для электрооборудования перенапряжения происходит пробой искровых промежутков между ламелью и кольцевым электродом 11 (см. рис. 9.21), а протекающий через разрядник импульсный ток вследствие нелинейности характеристик резисторов не создает чрезмерного для электрооборудования повышения напряжения.

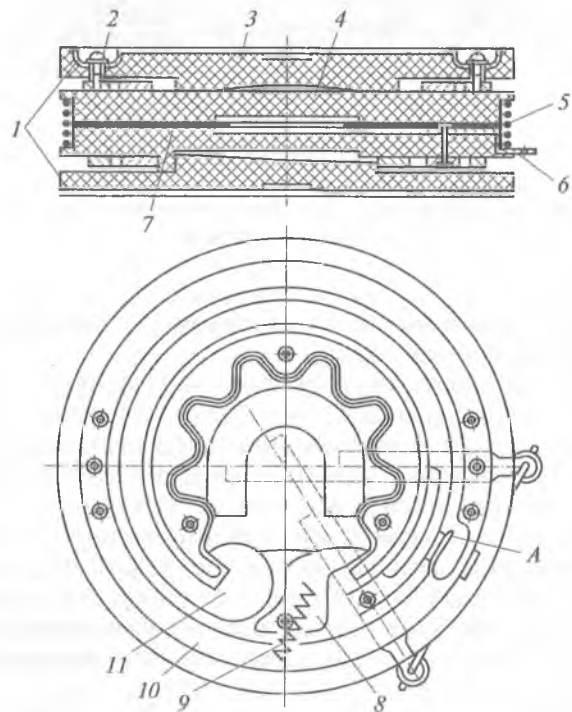


Рис. 9.21. Блок искровых промежутков:

1 — контактные пластины; 2 — винт; 3, 4 — крышки; 5 — катушка; 6 — электрод защитного искрового промежутка; 7 — прокладка; 8 — фигурный электрод; 9 — элемент шунтирующего резистора; 10, 11 — электроды; А — ламель

Гашение дуги в дугогасительных камерах происходит следующим образом. Сначала дуга под действием магнитного поля перемещается по кольцевому зазору между электродами 10 и 11. Достигнув электрода 8, она входит в камеру гашения и гаснет в ней, если напряжение на дуге и элементе 9 шунтирующего сопротивления меньше пробивного напряжения между ламелью и электродом 11.

Если в момент входа дуги в камеру гашения суммарные напряжения на дуге и элементе шунтирующего сопротивления больше указанного пробивного, то дуга не входит в камеру гашения, а после повторного пробоя искрового промежутка вновь перемещается по кольцевому зазору между электродами 10 и 11.

Гашение дуги будет происходить до тех пор, пока не израсходуется энергия перенапряжения и суммарные напряжения на дуге и резисторе не станут меньше пробивного напряжения между ламелью А и электродом 11. После этого дуга под действием магнитного поля катушки 5 входит в лабиринтную часть камеры, растягивается и гаснет. В этот момент работа разрядника закончена, и он снова готов к действию. Для контроля срабатывания разрядника на его днище устанавливается регистратор срабатывания РР-ЗТ1. Разрядник установлен на крыше электровоза. Вокруг него расположено ограждение, препятствующее падению с крыши осколков в случае растрескивания фарфорового корпуса.

Для защиты электрооборудования электровоза переменного тока от перенапряжений предназначены ограничитель перенапряжений ОПН-25УХЛ1 и разрядник РВМК-IV. Технические характеристики этих аппаратов следующие:

Номинальное напряжение, кВ .....	25
Наибольшее допустимое напряжение, кВ .....	29
Остающееся на разряднике напряжение, кВ, при импульсном токе с длиной фронта волны 8 мкс и амплитудой:	
1 500 А, не менее .....	80
5 000 А, не менее .....	90
Масса, кг .....	80

Ограничитель перенапряжений ОПН-25УХЛ1 (рис. 9.22) состоит из нелинейного резистора, заключенного в фарфоровый герметизированный корпус 2, и выполненного из последовательно и параллельно включенных керамических резисторов на основе оксида цинка. Ограничитель снабжен предохранительным клапаном, предотвращающим взрыв фарфорового корпуса при внутреннем повреждении аппарата.

При появлении на ограничителе перенапряжений, превышающих определенное значение, его сопротивление резко уменьшается и по нему протекает импульсный ток перенапряжения (на-

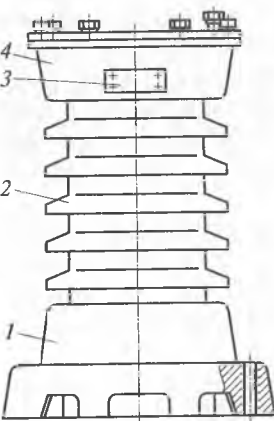


Рис. 9.22. Ограничитель перенапряжений  
ОПН-25УХЛ1:

1 — основание; 2 — фарфоровый корпус; 3 — заводская табличка; 4 — верхняя крышка

пряжение на ограничителе при прохождении импульсных токов называется остающимся).

При рабочем напряжении сила тока, протекающего через ограничитель, не превышает 2 мА.

Разрядник РВМК-IV на электровазах переменного тока предназначен для защиты от перенапряжений цепей, питающих выпрямительные установки. Разрядник РВМК-IV состоит из двух основных элементов: блока искровых промежутков и нелинейного резистора из вилитовых дисков, размещенных внутри фарфорового корпуса. Когда напряжение на разряднике превышает пробивное, искровой промежуток начинает проводить ток и нелинейный резистор оказывается под высоким напряжением. В этом случае сопротивление резистора резко уменьшается и через разрядник течет импульсный ток перенапряжения.

При снижении напряжения до нормального (рабочего) уровня через разрядник проходит небольшой сопровождающий ток частотой 50 Гц, что обеспечивает гашение дуги в разряднике.

#### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные требования к контактным элементам контакторов.
2. Поясните назначение и принцип действия элементов системы дугогашения контакторов.
3. На какие группы по типу привода контактной системы можно разделить контакторы? Опишите каждый тип привода. В каких цепях используются эти контакторы?
4. Каково назначение главных и блокировочных контактов контакторов?
5. Перечислите основные элементы конструкции токоприемников. Каковы требования, предъявляемые к токоприемникам?
6. Поясните назначение главных и быстродействующих выключателей. Перечислите основные требования, предъявляемые к ним.
7. Каково назначение групповых переключателей, главных и реостатных контроллеров? Поясните их назначение.
8. При помощи каких устройств осуществляется защита силовых электрических цепей электроподвижного состава от перенапряжения в контактной сети?

## РЕЛЕ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

**Общая характеристика реле.** Основным свойством реле является скачкообразное изменение выходной величины (сигнала) при плавном или скачкообразном изменении входной.

На ЭПС реле применяют при автоматизации процессов управления, для защиты электрооборудования, а также в качестве промежуточных реле для размножения сигналов или их передачи из одной цепи управления в другую. Наиболее широкое применение находят электрические реле, а для выполнения некоторых специальных функций защиты, регулирования температуры и давления — воздушно-струйные, тепловые и пневматические реле.

По принципу действия реле подразделяют на контактные (электромагнитные, электродинамические, тепловые, пневматические и т.п.) и бесконтактные (магнитные и полупроводниковые). По виду входной (регулируемой) величины различают электрические реле тока, напряжения, мощности, фазы и т.д.

Реле могут иметь одну, две (и более) входные величины. Дифференциальные реле реагируют на разность двух значений величины, реле мощности — на произведение тока и напряжения. Реле может реагировать не только на величину сигнала, но и на скорость его изменения и его знак (поляризованные реле). Реле обычно имеют два положения (реле одностороннего действия), реже — три (позиционные).

Входная величина может быть введена в воспринимающий орган реле непосредственно или через измерительный элемент, преобразующий ее, например понижающий напряжение или уменьшающий силу тока в измеряемой цепи.

В настоящее время существует тенденция к переходу на бесконтактные аппараты управления, в том числе на бесконтактные реле. Однако контактные реле, особенно электромагнитные, все еще широко применяют на ЭПС.

В *электромагнитных реле* входной сигнал подается на катушку (или группу катушек) электромагнитного привода. Выходным сигналом является замыкание или размыкание контактов, включенных в соответствующие цепи управления ЭПС.

Электромагнитный привод реле в отличие от привода электромагнитных контакторов и вентилях должен притягивать якорь или

отпускать его при определенном значении намагничивающей силы (НС) катушки.

Для токовых реле значение НС притяжения якоря или его отпущения соответствует току уставки.

Для реле напряжения НС притяжения или отпущения якоря также соответствует определенной силе тока в катушке, но уставка выражается значением напряжения на ее зажимах. Уставка изменяется по напряжению с изменением сопротивления катушки реле при ее нагреве. Чтобы повысить точность уставки, катушку реле напряжения соединяют последовательно с добавочным сопротивлением, выполненным из материала с малым температурным коэффициентом. При высоком напряжении добавочные сопротивления применяют также для понижения напряжения на катушке реле.

Реле, имеющие уставку при притяжении якоря, называют максимальными, а при отпадении якоря — минимальными. У тех и других могут быть замыкающие или размыкающие контакты.

Условия работы привода различны для максимальных и минимальных реле. В максимальных реле (реле максимального тока и максимального напряжения) якорь нормально находится в отпущенном положении и воздушный зазор имеет большую величину. При увеличении силы тока или напряжения до уставки якорь реле притягивается и переключает контакты. В минимальных реле якорь нормально находится в притянутом положении и отпадает при уменьшении силы тока или напряжения до значения уставки.

Для получения стабильной уставки подвижную систему реле выполняют с возможно меньшим трением и устойчивой величиной воздушного зазора. Более стабильная уставка характерна для реле с большим воздушным зазором, малые изменения которого не оказывают на нее заметного влияния. Имеет значение также стабильность характеристики выключающей пружины. Для уменьшения влияния на постоянство уставки тряски при движении ЭПС подвижные части реле выполняют с малой массой, а усилие выключающих пружин выбирают относительно большим. Уставку регулируют изменением натяжения выключающей пружины или воздушного зазора.

Однако изменение уставки возможно в некоторых пределах. Ослабление натяжения возвращающей пружины повышает чувствительность реле, особенно максимальных, к тряске. Ее натяжение должно обеспечивать сжатие притирающей пружины контактов, замкнутых при отпущенном якоря. Уменьшение зазора повышает нестабильность уставки, особенно при возникновении промежуточного устойчивого положения якоря с неполным сжатием притирающей пружины.

В большинстве случаев электромагнитные реле имеют относительно низкий коэффициент возврата. Максимальные реле обыч-

но вызывают выключение быстродействующего или главного выключателя, а затем восстанавливаются, поскольку питание катушки реле прекращается. Реле минимального напряжения, действующие на сигнал, выполняют с коэффициентом возврата, соответствующим отношению минимального и номинального напряжений. Нулевые реле восстанавливаются временным выключением части добавочного сопротивления.

Применяют также реле с дополнительным электромагнитным приводом. При возбуждении катушки такого реле его контакты возвращаются в исходное положение. Иногда для той же цели основной электромагнитный привод реле дополняют катушкой, которая служит или для восстановления реле — притяжения якоря (подъемная катушка), или для удержания якоря (удерживающая катушка). Дополнительные катушки иногда используют для оперативного изменения уставки реле; НС этих катушек, действуя согласно или встречно основной, вызывает изменение НС уставки реле.

Реле с высоким коэффициентом возврата, близким к единице, применяют редко. Их обычно выполняют с соленоидным приводом и жесткими (без притирания) контактами. Эти реле чувствительны к тряске и ненадежны в эксплуатации.

Промежуточные реле и реле времени, предназначенные для передачи сигнала из одной цепи управления в другую или в несколько других цепей, не имеют уставки. Эти реле подобно контакторам снабжены электромагнитным приводом, обеспечивающим их срабатывание при питании от цепей управления с учетом возможных колебаний напряжения в этих цепях. Реле выполняют с замыкающими и размыкающими контактами, в том числе с несколькими контактами того и другого типа.

Промежуточные электромагнитные реле часто используют как реле выдержки времени. Для увеличения времени притяжения и отпадения якоря применяют медные гильзы, которые размещают внутри катушки, около сердечника, или медные кольца, устанавливаемые на конце сердечника со стороны якоря.

Гильза или кольцо представляет собой вторичную короткозамкнутую обмотку, замедляющую изменение магнитного потока сердечника. Значительная выдержка времени имеет место при выключении катушки реле и отпадении якоря, так как процесс начинается с большего магнитного потока, соответствующего малому зазору. Низкий коэффициент возврата обеспечивает возрастание выдержки времени при отпадении якоря реле: она может быть увеличена до 3 с и более.

Малую выдержку времени можно обеспечить, шунтируя катушку промежуточного реле сопротивлением.

*Тепловые реле* иногда применяют для защиты от перегрузок вспомогательных машин, чаще всего асинхронных короткозамкнутых

двигателей. Действие этих реле основано на деформации биметаллической пластины при ее нагреве током защищаемой цепи. Реле срабатывает при нагрузке цепи, превышающей его уставку, причем тем быстрее, чем больше перегрузка.

**Температурные реле**, обычно называемые терморегуляторами, используют для автоматического регулирования температуры воздуха в пассажирских помещениях вагонов электропоездов.

Существуют терморегуляторы жидкостного типа (действующие при расширении жидкости в замкнутом объеме, которое передается на контакты с помощью сильфона — гофрированного тонкостенного цилиндра), с биметаллическими элементами и ртутные (контакты которых замыкаются ртутным столбиком).

**Реле давления**, или регуляторы давления, служат для автоматического включения контакторов компрессоров при падении давления сжатого воздуха в главных резервуарах до минимального и выключения их при повышении давления до максимального. Реле давления имеют диафрагменный привод, воздействующий на пружину, и перекидную контактную систему.

**Воздухоструйные реле** предназначены для контроля вентиляции полупроводниковых преобразователей, пускотормозных сопротивлений и калориферов отопления. Такие реле разной конструкции обычно имеют лопасть или чашку, на которую воздействует струя воздуха. Перемещение этой струи передается контактной системе.

**Промежуточные реле и реле времени.** Промежуточные реле РП-280, -282 и -287 (рис. 10.1, а) предназначены для увеличения числа независимых цепей, управление которыми осуществляется с помощью первичного реле.

Блок 10 контактов представляет собой самостоятельный узел. От попадания пыли и грязи контакты защищены прозрачным кожухом. В реле применяются контакты мостикового типа; материалом для контактных накладок служит серебро.

Реле времени РЭВ-292 и -294 (рис. 10.1, б), аналогичные по конструкции промежуточным реле, обеспечивают коммутацию цепей управления с выдержкой времени.

Реле времени РЭВ-294 предназначено для контроля положения ПКГ при изменении соединения тяговых электродвигателей и счетчика срабатывания БВП-5, а также совместно с РЭВ-292 — для управления аппаратами цепей управления с выдержкой времени.

**Реле повышенного и пониженного напряжений.** Реле повышенного напряжения, предназначенное для подачи светового сигнала при увеличении напряжения свыше 4 кВ, устанавливается на электровозах постоянного тока. При параллельном соединении тяговых электродвигателей в режиме тяги оно служит для отключения всех ступеней ослабления возбуждения, а в рекуперативном режиме — для уменьшения независимого возбуждения генератора

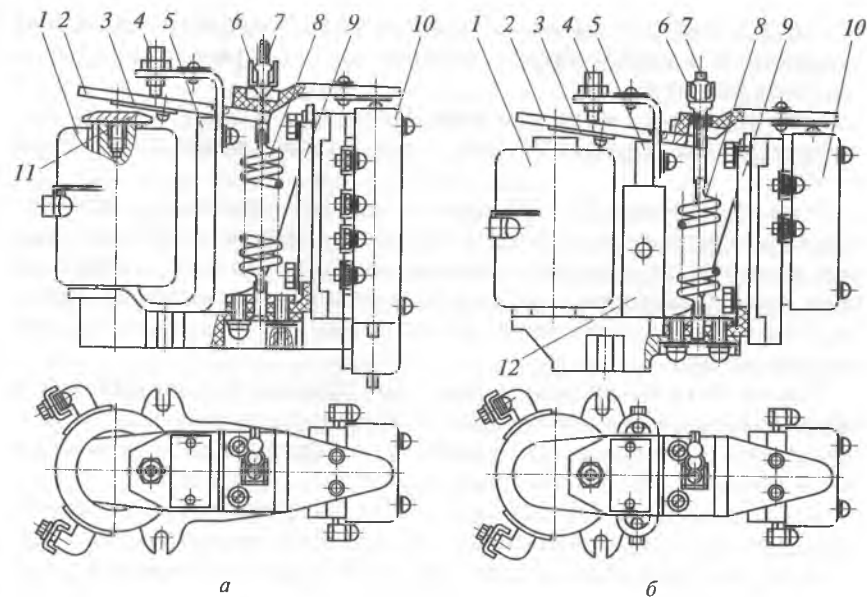


Рис. 10.1. Промежуточные реле РП-280, -282 и -287 (а) и реле времени РЭВ-292 и -294 (б):

1 — катушка; 2 — якорь; 3 — немагнитная прокладка; 4, 7 — регулировочные шпильки; 5 — ярмо; 6 — гайка; 8 — отключающая пружина; 9 — уголок; 10 — блок контактов; 11 — полюсный наконечник; 12 — гильза

преобразователя и отключения быстродействующего выключателя БВП-5-02 с выдержкой времени.

Реле повышенного напряжения РПН-496 по конструктивному исполнению максимально унифицировано с реле пониженного напряжения РНН-497, рекуперации РР-498, перегрузки РТ-500 и -502, времени РЭВ-294, а также с промежуточными реле РП-280 и -282.

Реле пониженного напряжения РНН-497, не имеющее принципиальных отличий от реле РПН-496, служит для сигнализации о снижении напряжения в контактной сети. Схема включения реле повышенного и пониженного напряжений приведена на рис. 10.2.

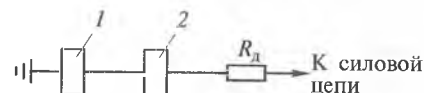


Рис. 10.2. Схема включения реле повышенного и пониженного напряжений электровоза постоянного тока:

1, 2 — катушки реле соответственно пониженного и повышенного напряжений;  $R_d$  — добавочное сопротивление, равное 18 кОм

Уставку, раствор и провал контактов реле проверяют при пуске электровоза в эксплуатацию, техническом обслуживании ТО-3 и текущем ремонте.

**Реле перегрузки и токовые реле.** На электровозах ВЛ11 устанавливают реле перегрузки РТ-500 и -502, а также реле тока РТ-612 и РТ-067.

Реле перегрузки РТ-500 служит для отключения быстродействующего выключателя БВП-5-02 (через дифференциальное реле) при перегрузке в цепи преобразователя. Катушка реле включена в цепь последовательно с якорем электродвигателя преобразователя. В случае перегрузки якорь реле притягивается и контакты реле размыкаются.

Ток срабатывания реле регулируют пружиной, удерживающей якорь в разомкнутом положении. Провал и раствор контактов реле проверяют при пуске электровоза в эксплуатацию, техническом обслуживании ТО-3 и текущем ремонте.

Реле перегрузки РТ-502 (рис. 10.3) предназначено для световой сигнализации о перегрузке тяговых электродвигателей. Силу тока уставки реле регулируют пружиной 9, удерживающей якорь 4

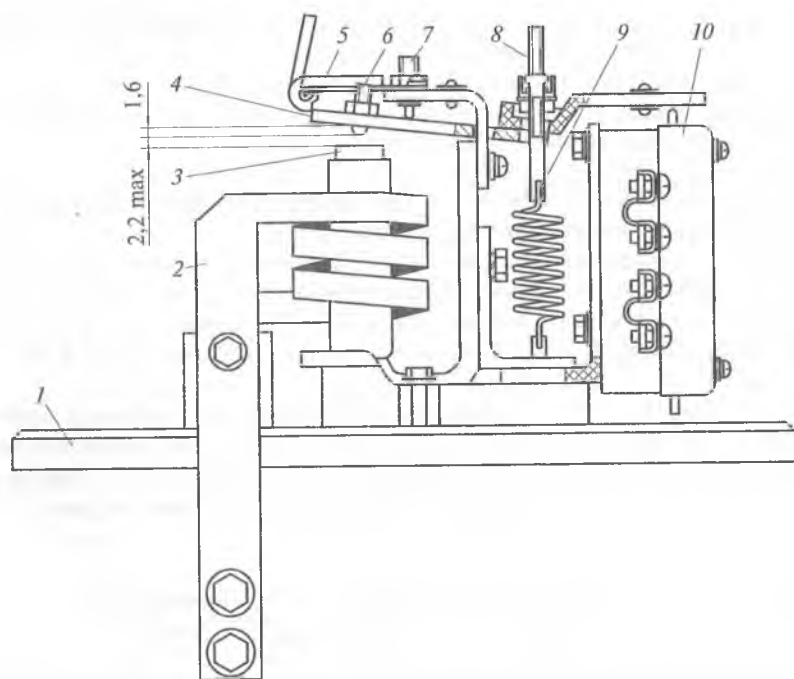


Рис. 10.3. Реле перегрузки РТ-502:

1 — панель; 2 — катушка; 3 — магнитопровод; 4 — якорь; 5 — указатель срабатывания; 6—8 — регулировочные шпильки; 9 — пружина; 10 — блок контактов

в разомкнутом положении. Сечение катушки 2 рассчитано на ток силовой цепи. Реле имеет указатель 5 срабатывания — «сигнальный флажок», по которому определяют срабатывание реле.

Уставку, провал и раствор контактов реле перегрузки РТ-502 проверяют при пуске электровозов в эксплуатацию, техническом обслуживании ТО-3 и текущем ремонте.

Реле тока РТ-612 служит для автоматического регулирования давления воздуха, поступающего в противоразгрузочные цилиндры электровоза, в заданных пределах в зависимости от изменения силы тока в цепи тяговых электродвигателей (включение соответствует 325 А, выключение — 160 А).

Ток срабатывания реле регулируют изменением усилия пружины и изменением воздушного зазора винтом.

Уставку, провал и раствор контактов реле тока РТ-612 проверяют при пуске электровозов в эксплуатацию, техническом обслуживании ТО-3 и текущем ремонте.

Реле тока РТ-067 служит для сигнализации о наличии тока в цепи электродвигателя вентилятора. Катушка реле включена в цепь электродвигателя последовательно. При номинальной силе тока в цепи реле включено, а при ее понижении якорь отпадает.

Реле регулируют пружиной, удерживающей якорь в разомкнутом положении.

**Реле рекуперации.** Реле рекуперации РР-498 служит для автоматического подключения электродвигателей к контактной сети при равенстве напряжения сети и электродвижущей силы тяговых двигателей в момент выхода на режим рекуперативного торможения.

Перед началом рекуперативного торможения при включении линейных контакторов якорь реле притягивается к сердечнику из-за появления большой разности напряжений на электродвигателях и в контактной сети. При этом контакты размыкаются. При разности напряжений, составляющей 80...100 В, реле срабатывает, замыкая контакты и подавая сигнал на сбор силовой цепи рекуперативного торможения.

**Реле боксования.** Электровозы постоянного тока с последовательным возбуждением тяговых двигателей имеют повышенную склонность к боксованию. Созданы и разрабатываются различные способы предупреждения боксования, в первую очередь для электровозов постоянного тока.

Развившееся боксование часто не прекращается при подсыпке песка, применение которого увеличивает коэффициент сцепления. Прервать боксование можно, уменьшив силу тяги, развиваемую тяговыми двигателями, настолько, чтобы она стала ниже силы трения скольжения бандажей по рельсам. Для этого необходимо перейти на низшие ступени регулирования. Однако тогда уменьшится сила тяги двигателей всех колесных пар, а не только

боксовых. Прекращение боксования таким способом обычно сопровождается снижением скорости. Поэтому для прекращения боксования целесообразно предусмотреть автоматическое снижение силы тяги, а следовательно, и момента только у боксующего двигателя.

На электровозах постоянного тока уменьшить момент, развиваемый двигателем, позволяет введение в его цепь секции пусковых реостатов. При параллельном соединении двигателей можно также перейти со ступеней ослабленного возбуждения на полное возбуждение, что приведет к уменьшению силы тока, потребляемого двигателем.

При последовательном соединении нескольких (не менее шести) двигателей силу тяги двигателя можно снизить, ослабляя его возбуждение, поскольку общая ЭДС всех двигателей уменьшится незначительно и, следовательно, не намного возрастет сила тока, потребляемого двигателями этой цепи. Зато в результате существенного ослабления магнитного потока боксующей колесной пары резко уменьшится сила тяги ее двигателя. Все эти меры, принимаемые в соответствии с схемой соединения двигателей в момент начала боксования, осуществлены на электровозе ВЛ11 в сочетании с автоматической подсыпкой песка под первые по ходу движения колеса каждой тележки и подачей светового сигнала на пульт машиниста.

Сигнал к осуществлению защиты от боксования поступает от специального бесконтактного полупроводникового датчика — одного на каждые два последовательно соединенных двигателя. Датчик сравнивает ЭДС этих двигателей и в случае необходимости выдает соответствующий сигнал.

Аналогичный принцип защиты от боксования используется на электровозах ВЛ10. На электровозах этой серии последних выпусков имеются датчики того же типа, что и на ВЛ11.

Реле боксования РБ (рис. 10.4) включено в одну из диагоналей моста  $VD1 - VD4$  (рис. 10.5). Другая диагональ подключена к точкам А и Б. При нормальной работе ЭДС якорей тяговых двигателей М1 и М2 равны. Если началось боксование, допустим, колесной пары, на оси которой расположен двигатель М1, то его ЭДС станет больше ЭДС двигателя М2 и ток от точки Б пойдет через диод  $VD3$ , катушку реле РБ и диод  $VD4$  к точке А. Реле боксования сработает и своим блок-контактом замкнет цепь светового сигнала и цепь включения подачи песка.

В случае боксования колесной пары с двигателем М2 ток пойдет от точки А через диод  $VD1$ , обмотку реле РБ и диод  $VD2$  к точке Б. Мостовая схема обеспечивает в том и другом случае прохождение тока по катушке реле в одном и том же направлении. Поэтому реле не размагничивается и не изменяется его уставка. Резисторы  $R1$  и  $R2$  ограничивают ток, проходящий через обмотку реле.

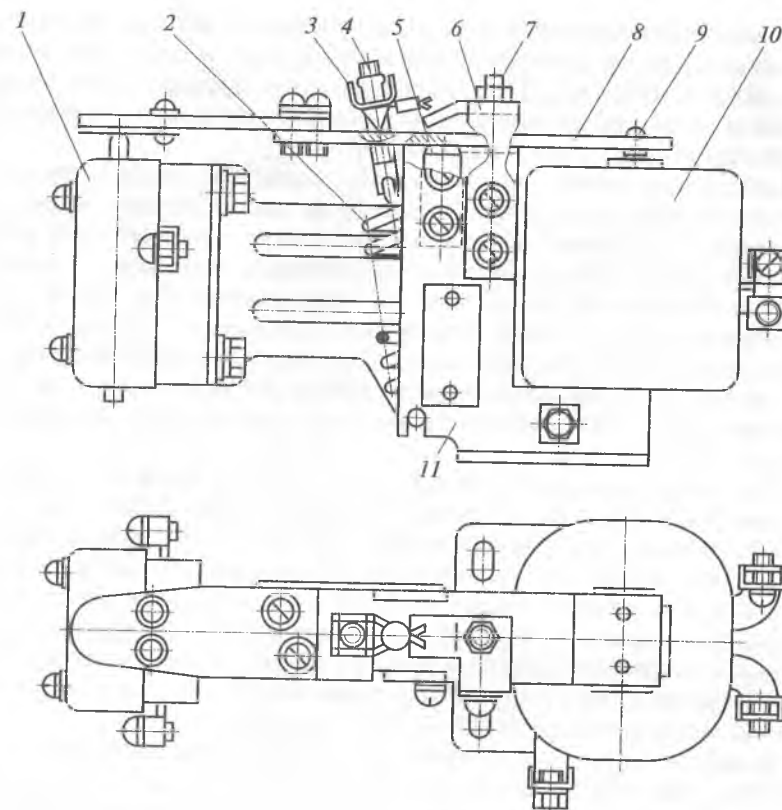


Рис. 10.4. Реле боксования РБ-469:

1 — блокировка; 2 — отключающая пружина; 3 — гайка; 4, 7 — регулировочные шпильки; 5 — призма; 6 — угольник; 8 — якорь; 9 — немагнитная заклепка; 10 — катушка; 11 — ярмо

Защита осуществляет перевод боксующего тягового двигателя на ослабленное возбуждение при последовательном соединении двигателей электровоза и с ослабленного на полное возбуждение при последовательно-параллельном или параллельном соединении двигателей. Кроме того, при двух последних схемах соединения двигателей включается уравнильный контактор, что приводит к повыше-

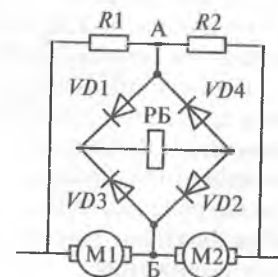


Рис. 10.5. Схема включения реле боксования РБ: А, Б — точки электрической схемы; М1, М2 — обмотки якорей тяговых двигателей;  $R1$ ,  $R2$  — резисторы;  $VD1 - VD4$  — диоды

нию жесткости характеристик. При замыкании контактора увеличивается сила тока возбуждения и уменьшается сила тока якоря боксующего двигателя. При последовательно-параллельном соединении в цепь, где находится боксующий двигатель, дополнительно вводится часть пусковых резисторов.

Боксование может возникнуть и вследствие перераспределения вертикальных нагрузок от колесных пар на рельсы. Перераспределение нагрузок вызывается моментом, создаваемым касательной силой тяги и силой сопротивления движению состава, приложенными на разной высоте. Этот момент стремится приподнять передние по ходу локомотива тележки и передние колесные пары каждой тележки, вследствие чего вертикальные нагрузки на передние тележки каждой секции уменьшаются, а на задние тележки — увеличиваются, что может вызвать боксование передних колесных пар.

Для того чтобы на все тележки и колесные пары действовали равные нагрузки, на электровозах ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80<sup>г</sup>, ВЛ80<sup>с</sup> и ВЛ80<sup>р</sup> установлены противоразгрузочные (догружающие) пневматические устройства. Как только электровоз с составом начинает двигаться, сжатый воздух подводится к передним по его ходу цилиндрам каждой тележки, и поршни этих цилиндров через штоки с роликами давят на раму тележек, как бы догружая их. В действительности цилиндры установлены на тележках горизонтально и передают давление на них через рычаги.

В зависимости от силы тяги специальный регулятор (реле тока РТ-612) изменяет давление сжатого воздуха. Регулирование давления осуществляется воздействием реле давления, включенных в цепь тяговых двигателей. Чем больше сила тока, проходящего через тяговые двигатели и обмотки реле давления, тем значительнее сила тяги и под большим давлением подается сжатый воздух в противоразгрузочные цилиндры.

**Реле оборотов РКО-28.** Это реле предназначено для отключения электродвигателя преобразователя в случае превышения допустимой частоты вращения якоря.

Реле оборотов (рис. 10.6) состоит из центробежного механизма 1, регулировочной пружины 2, рычагов 3 и 4 контактов 5 и 6, а также возвратной кнопки 8. Все детали реле смонтированы в литом корпусе 7, который закрывается крышкой, а центробежный механизм связан муфтой с валом якоря преобразователя.

При увеличении частоты вращения вала якоря диск механизма под действием центробежной силы преодолевает усилие регулировочной пружины 2, поворачивает один рычаг, выводя его из зацепления с другим, и под действием пружины 9 размыкает контакты реле, которые включены в цепь катушек контакторов преобразователя. Кнопка служит для ручного возврата реле в исходное положение.

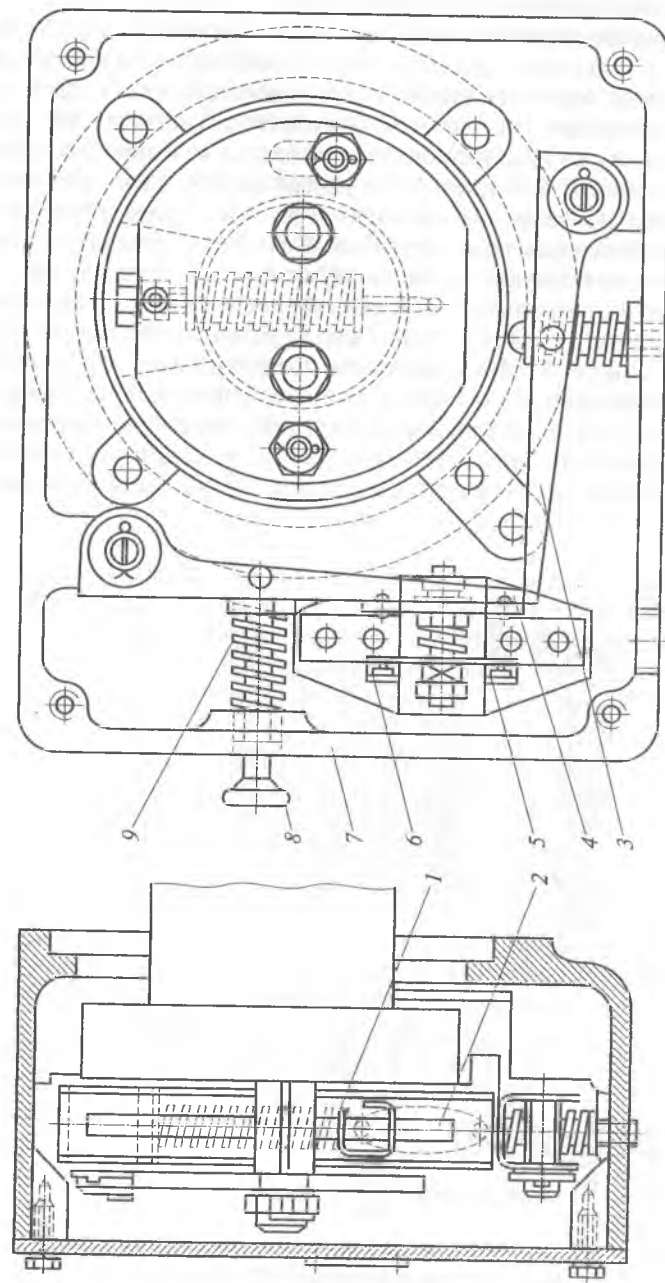


Рис. 10.6. Реле оборотов РКО-28:

1 — центробежный механизм; 2 — регулировочная пружина; 3, 4 — рычаги контактов; 5, 6 — контакты; 7 — корпус; 8 — возвратная кнопка; 9 — пружина

Реле регулируют изменением натяжения пружины 1, которая удерживает диск в исходном положении.

**Реле ускорения (торможения).** Такое реле используют на электропоездах для контроля процесса переключения пусковых и тормозных ступеней. Оно работает как реле минимального тока. Через его катушку проходит ток силовой цепи тяговых двигателей. Реле срабатывает при уменьшении силового тока до величины уставки.

Реле ускорения Р-40В (рис. 10.7), применяемое на электропоездах, имеет две катушки — силовую 6 и подъемную (включающую) 7, установленные на сердечнике 8. Намагничивающие силы обеих катушек действуют согласно. Контактными реле служат серебряные напайки на винтах. Подвижный контакт жестко (без притирающей пружины) связан с якорем 3, установленным на призматическом упоре 5. Между якорем, показанным на рисунке в притянутом положении, и сердечником 8 имеется большой воздушный зазор, который мало меняется при перемещении якоря.

При уменьшении силы тока до уставки, т.е. при достижении силы тока отпадания, якорь под действием пружины перемещает-

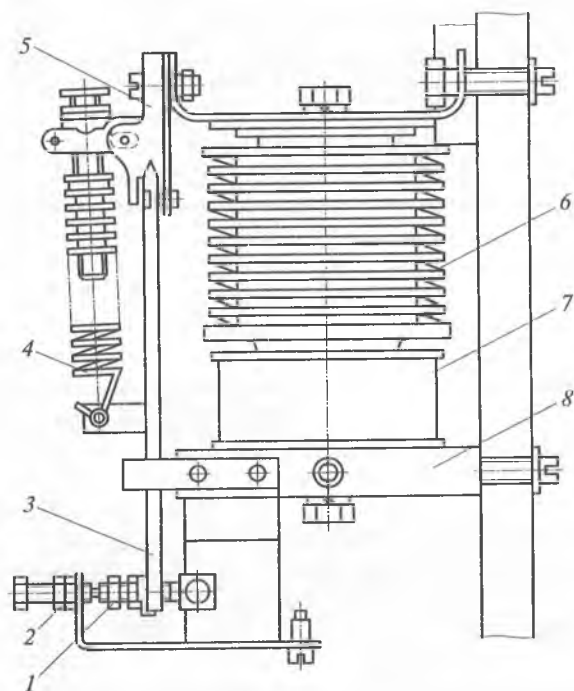


Рис. 10.7. Реле ускорения Р-40В:

1, 2 — регулировочные винты; 3 — якорь; 4 — пружина; 5 — упор; 6 — силовая катушка; 7 — подъемная (включающая) катушка; 8 — сердечник

ся влево, и подвижный контакт замыкается на неподвижный. Силу тока отпадания регулируют, изменяя воздушный зазор при помощи упорного винта (грубая регулировка) или натяжение пружины 4 (точная регулировка).

Подъемная катушка реле кратковременно получает питание от цепи управления в промежутках между фиксированными позициями группового контроллера в процессе его переключения. При этом она резко увеличивает магнитный поток реле, обеспечивая притяжение якоря даже при относительно малом приращении силы тока в силовой цепи. Якорь удерживается притянутым под действием НС той силовой катушки, сила тока которой увеличивается после переключения ступени.

Подъемную катушку используют также для уменьшения уставки реле. Для этого после притяжения якоря сохраняют цепь питания подъемной катушки, но вводят такое добавочное сопротивление, при котором НС подъемной катушки обеспечивает необходимое уменьшение силы тока отпадания. Иногда для этой цели предусматривают отдельную регулировочную катушку.

На электропоездах последних выпусков применяется электронный блок реле ускорения.

**Реле заземления.** Реле устанавливается на двухпроводных силовых цепях тяговых двигателей электровозов переменного тока. Оно снабжено указателем срабатывания. Катушка состоит из двух обмоток — включающей и удерживающей.

Реле предназначено для отключения главного выключателя путем снятия напряжения с его удерживающей катушки и подачи сигнала машинисту при возникновении замыкания «на землю» в силовой цепи. При этом замыкается цепь обмотка трансформатора Т — диодный мост — включающая катушка Р<sub>3</sub> — корпус электровоза — силовая цепь — диодный мост — трансформатор Т. Удерживающая катушка постоянно включена на напряжение 50 В через добавочный резистор.

Схема включения реле заземления приведена на рис. 10.8.

**Реле дифференциальной защиты РДЗ-068 и -068-01.** Для защиты однопроводных силовых цепей электровоза постоянного тока от неполного короткого замыкания используется реле, действие которого основано на сравнении значений силы входящего и выходящего из цепи тока.

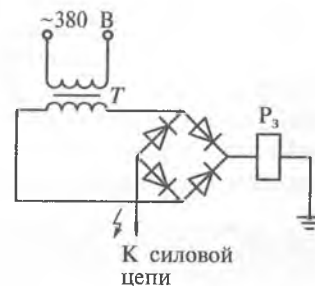


Рис. 10.8. Схема включения включающей катушки реле заземления Р<sub>3</sub>:

Т — трансформатор



На электровозе ВЛ11 цепи тяговых двигателей и вспомогательных машин защищены дифференциальными реле, срабатывание которых вызывает отключения быстродействующего выключателя. На электровозе ВЛ10 цепь тяговых двигателей защищена дифференциальным реле и быстродействующим выключателем, а цепь вспомогательных машин — отдельным быстродействующим выключателем, имеющим пониженную уставку, соответствующую нагрузкам вспомогательных машин.

Реле дифференциальной защиты РДЗ-068 (рис. 10.9) служит для защиты силовых цепей тяговых электродвигателей от токов короткого замыкания, а также используется в качестве реле тока для отключения цепей тяговых электродвигателей, включенных в

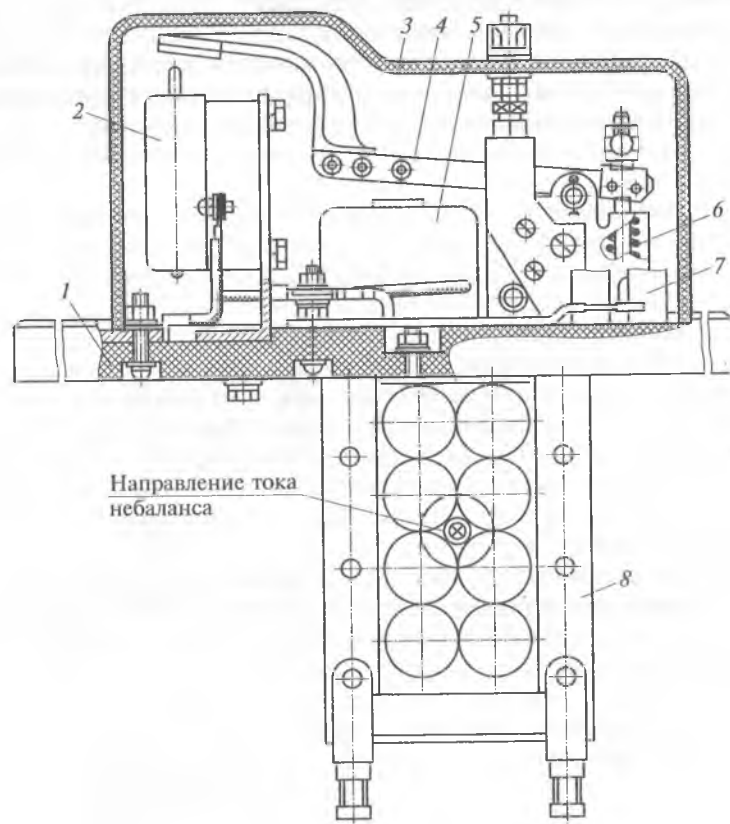


Рис. 10.9. Реле дифференциальной защиты РДЗ-068:

1 — панель реле; 2 — блок контактов; 3 — защитный кожух; 4 — якорь; 5 — катушка; 6 — регулировочная пружина; 7 — добавочный резистор; 8 — магнитопровод

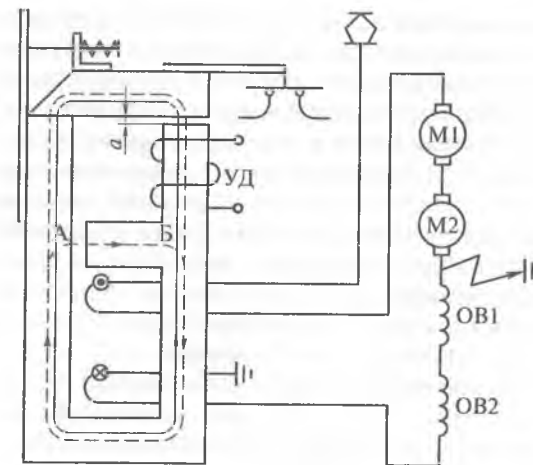


Рис. 10.10. Схема включения дифференциального реле:

*a* — воздушный зазор; АБ — участок магнитной цепи; М1, М2 — обмотки якоря; ОВ1, ОВ2 — обмотки возбуждения; УД — удерживающая катушка

режиме рекуперативного торможения, в случае появления тока тягового режима силой свыше 100 А.

Реле состоит из шихтованного магнитопровода 8, катушки 5, якоря 4, регулировочной пружины 6, блока контактов 2 и двух параллельно соединенных добавочных резисторов ПЭВ-15 7 сопротивлением по 390 Ом. Магнитопровод, блок контактов и добавочные резисторы установлены на панели 1. Реле закрыто прозрачным защитным кожухом 3.

Контакты реле дифференциальной защиты включены в цепь удерживающей катушки быстродействующего выключателя, а контакты реле тока — в цепь катушки линейного контактора.

Реле РДЗ-068-01 предназначено для защиты вспомогательной цепи электровоза от токов короткого замыкания.

Схема включения дифференциального реле приведена на рис. 10.10. Кабели начала и конца цепи, защищаемой реле, протянуты в окно магнитопровода. Катушка реле является включающей и удерживающей. При включении реле на катушку подается напряжение 50 В. Добавочный резистор вводится в цепь катушки после включения реле, причем оно остается включенным.

При отсутствии короткого замыкания на участке, защищаемом дифференциальным реле, магнитный поток, создаваемый токами, протекающими по силовым кабелям, равен нулю. Под действием магнитного потока катушки якорь притянут и контакты замкнуты.

Когда в цепи, защищаемой дифференциальным реле, происходит короткое замыкание, то возникает ток небаланса. Когда сила

тока небаланса достигает значения, равного силе тока уставки реле, магнитный поток становится таким, что усилие, создаваемое результирующим потоком в зоне рабочего зазора, становится меньше усилия регулировочной пружины, и якорь реле отпадает. При этом контакты размыкаются и разрывают цепь питания удерживающей катушки быстрodeйствующего выключателя. Последний отключается и разрывает цепь тока короткого замыкания.

Магнитный шунт служит для того, чтобы не произошло обратного включения якоря, так как при его отпадении ток короткого замыкания сразу не прекращается, а еще некоторое время протекает по силовым кабелям, и магнитный поток, создаваемый этим током, стремится снова притянуть якорь.

При наличии магнитного шунта магнитный поток, вызываемый током небаланса, будет проходить в основном по шунту, так как проводимость этого участка магнитной цепи (АВ) значительно больше, чем у воздушного зазора  $a$ , составляющего 4,5...5,5 мм.

По своей конструкции реле РДЗ-068-01 не отличается от РДЗ-068, за исключением того, что для обеспечения силы тока уставки 8,5 А на магнитопроводе реле РДЗ-068-01 размещены две силовые катушки, по 12 витков в каждой.

Реле РДЗ-068 настраивают на силу тока небаланса 100 А при одном проводе, заведённом в рамку. На стенде реле регулируют следующим образом. В рамку магнитопровода вводят провод, а на катушку подают напряжение. Якорь должен притягиваться при напряжении на катушке (без добавочного резистора) 50 В и надёжно удерживаться при напряжении 40 В, когда в цепь катушки включен добавочный резистор, установленный на реле. По проводу, введённому в рамку, пропускают ток, равный по силе току небаланса. Поскольку реле поляризованное, при испытаниях и монтаже следует строго придерживаться указанной полярности подключения.

Якорь должен отпадать при силе тока небаланса, на которую настроено реле, и напряжении на катушке 50 В с включённым добавочным резистором. Силу тока уставки реле регулируют изменением натяжения пружины.

На электровозах переменного тока дифференциальные реле защищают выпрямительные установки тяговых двигателей от короткого замыкания. По конструкции и принципу действия эти реле аналогичны устанавливаемым на электровозах постоянного тока.

**Панель реле переключения ПРП-124.** Некоторые реле объединены на панелях по функциональному признаку. Например, панель реле переключения ПРП-124 электровоза ВЛ80 предназначена для подачи команды на включение (или отключение) пневматических контакторов, шунтирующих часть тормозного резистора, и подачи сигнала на включение пневматического тормоза.

Панель реле переключения конструктивно выполнена следующим образом. На изоляционной панели установлены реле времени РЭВ-295 и -597. У каждого реле времени катушка шунтирована соединёнными последовательно диодом КД-209В и резистором МЛТ-2-1 кОм (шунтирующее устройство ШУ-001). В нижней части панели установлены колодки для подсоединения выводов катушек и контактов реле.

**Панель защиты от юза ЮЗ-305.** Применяемая на электровозах ВЛ80<sup>с</sup> панель ЮЗ-305 предназначена для защиты от юза колесных пар в режиме реостатного торможения. Ее устанавливают в каждой секции электровоза. Схема панели защиты от юза (рис. 10.11) действует следующим образом.

Катушки реле защиты от юза РЗЮ1 — РЗЮ4 с помощью блоков Д1 — Д4 диодов подключены к равнопотенциальным точкам цепей питания якорей четырех тяговых двигателей таким образом, что реле реагирует на юз только того двигателя, к которому оно подключено. Схема защиты от юза собирается в режиме реостатного торможения при помощи реле РЗЮ5. Промежуточное реле РП предназначено для подключения цепей другой группы двигателей.

При юзе одной из колесных пар между обмотками тяговых двигателей создается напряжение небаланса, которое вызывает срабатывание реле юза, что приводит к включению контактора ослабления возбуждения соответствующего тягового двигателя. При этом уменьшается момент на его валу и подается сигнал на включение клапанов соответствующих песочниц.

Так как коэффициент возврата реле защиты от юза низкий, то даже при прекращении юза якорь реле может не возвратиться в исходное положение. Поэтому необходимо принудительно разорвать цепь катушек реле юза.

Контакты реле времени РВ с выдержкой времени 1,5...2 с разрывают цепь катушки реле РЗЮ5. Контакты реле РЗЮ5 разрывают цепи катушек реле РЗЮ1 — РЗЮ4. Контакты реле переключаются, и снова собирается схема защиты от юза. Если юз не прекратился, то происходит повторное срабатывание системы защиты. В тяговом режиме защита от юза не включается.

В цепи катушек реле РЗЮ1 — РЗЮ4 включены добавочные резисторы  $R1 — R4$ , с помощью которых осуществляется регулировка уставки реле.

Панель защиты от юза ЮЗ-305 имеет общее изоляционное основание, на котором установлены реле защиты от юза РЗЮ-580-1, промежуточное реле РП-580-2, реле времени РВ-299 и блоки диодов Д1 — Д8. В верхней части панели находятся резисторы ПЭВР-50 сопротивлением 510 Ом и высоковольтные выводы 1 — 7 для подсоединения к силовой цепи электровоза, выполненные на шпильках. В нижней части панели смонтирована контактная рейка для подключения низковольтных выводов 8 — 20.

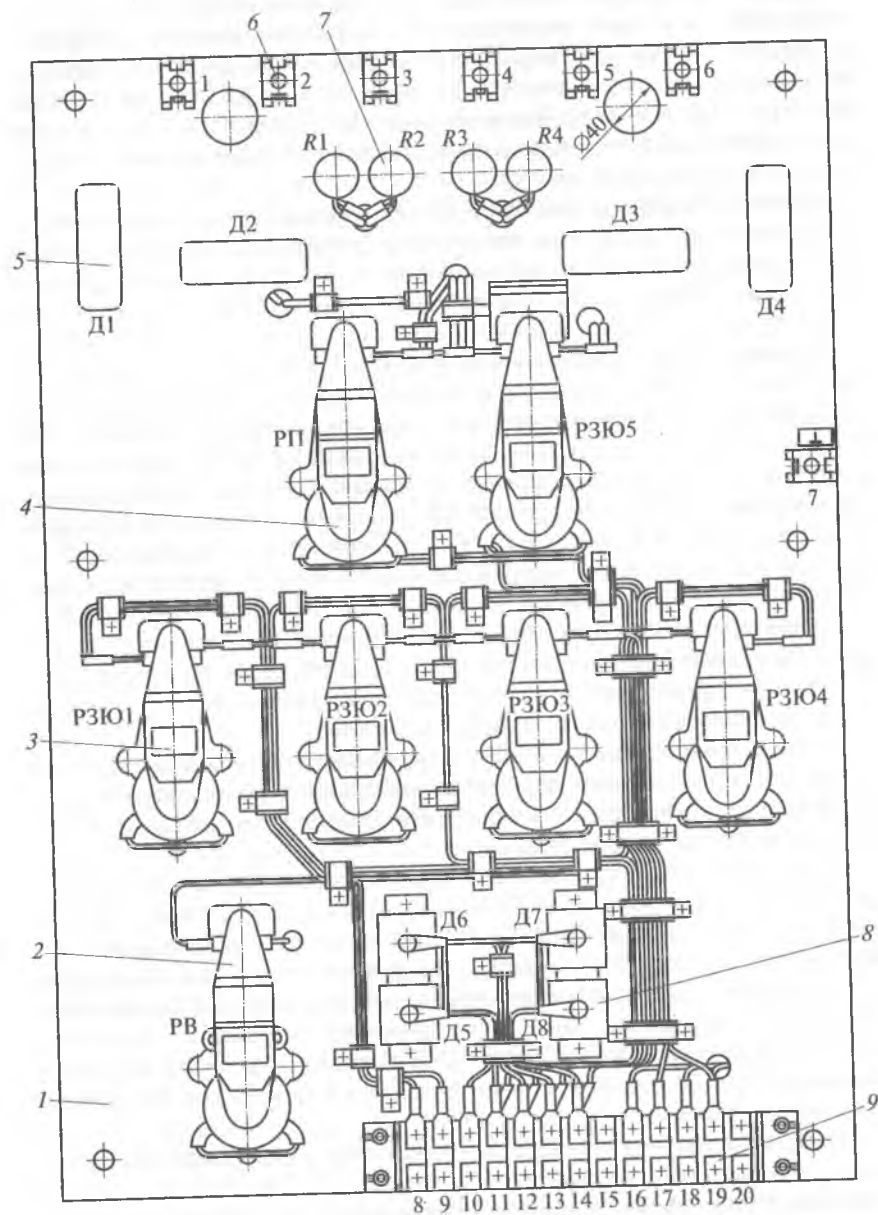


Рис. 10.11. Панель защиты от юза ЮЗ-305:

1 — основание; 2 — реле времени; 3 — реле защиты от юза; 4 — промежуточное реле; 5, 8 — блоки диодов; 6 — высоковольтные выводы; 7 — резистор; 9 — клеммная рейка; 1—7 — высоковольтные выводы; 8—20 — низковольтные выводы

**Регуляторы напряжения.** Основное назначение регулятора напряжения вспомогательных цепей — поддержание на заданном уровне напряжения независимо от возмущающих воздействий — изменений частоты вращения и силы тока якоря генератора управления во всем диапазоне рабочих режимов.

Условия работы регуляторов напряжения определяют основные требования к ним: автоматическое поддержание напряжения вспомогательных цепей на заданном уровне при изменении силы тока нагрузки, частоты вращения якоря генератора управления и температуры окружающей среды; наличие статистической погрешности поддержания напряжения, не превышающей  $\pm 2$  В; устойчивость и высокие показатели качества работы; простота конструкции и ее надежность в работе; простота и удобство настройки, технического обслуживания и ремонта.

По характеру изменения тока в обмотке возбуждения регуляторы напряжения подразделяются на непрерывные и дискретные.

В системах автоматического регулирования напряжения на электровозах объектами регулирования являются генераторы управления — электрические машины постоянного тока с независимым возбуждением и статические стабилизаторы напряжения.

По принципу действия любой регулятор напряжения можно представить в виде введенного в цепь обмотки возбуждения генератора (вспомогательного генератора) ключа, который некоторое время замкнут, а остальное время разомкнут.

Если ключ замкнут, напряжение питания приложено к обмотке возбуждения и по ней течет ток. Когда ключ разомкнут, напряжение обмотки возбуждения равно нулю, но благодаря электромагнитной энергии, накопленной обмоткой за время включения, ток продолжает протекать.

Изменяя время замкнутого состояния ключа в течение определенного периода, т. е. скважность импульсов, можно регулировать средние значения напряжения и силы тока обмотки возбуждения, поддерживая неизменным заданное напряжение генератора.

На электровозах постоянного тока питание цепей управления, освещения и заряда аккумуляторной батареи напряжением 50 В осуществляется от специального генератора управления, представляющего собой электрическую машину постоянного тока с независимым возбуждением.

На электровозе ВЛ11 поддержание напряжения генератора управления на каждой секции производится с помощью регулятора напряжения БРН, входящего в состав агрегата панели управления АПУ-009.

Конструктивно регулятор напряжения размещен на двух блоках: полупроводниковые элементы, регулировочные резисторы и слабогреющиеся элементы расположены в кассете, а сильногреющиеся резисторы — на отдельной панели.

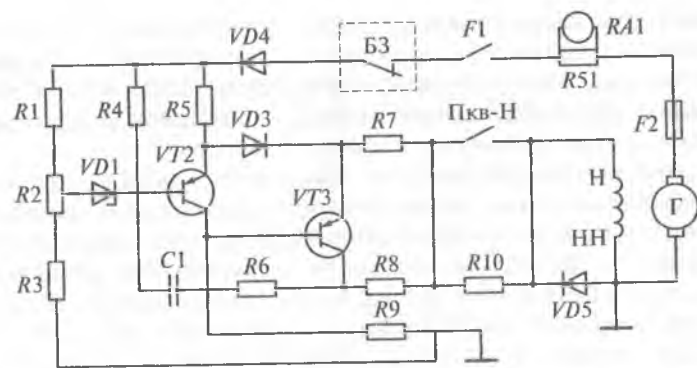


Рис. 10.12. Схема регулятора напряжения генератора управления

Основными элементами схемы регулятора напряжения генератора управления (рис. 10.12) являются измерительное устройство, выполненное по схеме нелинейного моста с транзистором  $VT2$  и кремниевым стабилитроном  $VD1$ , и регулирующее устройство на транзисторе  $VT3$ . С помощью потенциометра  $R2$  схема настраивается таким образом, чтобы при номинальном напряжении генератора  $\Gamma$  управления, равном 50 В, падение напряжения на стабилитроне было равно напряжению его пробоя.

При напряжении генератора управления ниже номинального стабилитрон заперт, и его сопротивление велико. Сила тока базы транзистора  $VT2$  мала (практически равна нулю), и он заперт. При этом транзистор  $VT3$  открыт, обмотка возбуждения  $H-HH$  получает питание и напряжение генератора растет.

Как только напряжение генератора возбуждения превысит номинальное значение, стабилитрон пробивается, сила базового тока транзистора  $VT2$  возрастает, и он открывается. Одновременно закрывается транзистор  $VT3$ , что приводит к отключению обмотки возбуждения генератора от источника питания и плавному уменьшению ее силы тока, который проходит через шунтирующий диод  $VD5$ . Напряжение генератора падает, и когда оно становится ниже определенного значения, стабилитрон восстанавливается. Процесс непрерывно повторяется в описанной последовательности.

Таким образом, напряжение генератора пульсирует около номинального значения, а его среднее значение поддерживается постоянным.

С помощью резистора  $R5$ , включенного в эмиттерную цепь транзистора  $VT2$ , осуществляется обратная связь по току возбуждения, компенсирующая изменение регулируемого напряжения, вызываемое изменением частоты вращения якоря и нагрузки генератора. Транзисторы работают в режиме переключения, и наибольшая мгновенная мощность, рассеиваемая в них, соответству-

ет моменту переключения. Для ускорения процесса переключения с целью уменьшения потерь мощности в схему введена ускоряющая цепочка  $R6-C1$ , позволяющая более резко открывать и закрывать транзисторы, увеличивая крутизну фронтов импульсов.

Действие этой цепочки состоит в следующем. По достижении на зажимах генератора номинального напряжения стабилитрон пробивается, в цепи базы транзистора  $VT2$  проходит ток, и конденсатор  $C1$  заряжается. При заряде конденсатора  $C1$  транзистор  $VT2$  открыт, а транзистор  $VT3$  закрыт. По мере заряда (до напряжения 50 В) и уменьшения силы зарядного тока транзистор  $VT2$  начинает закрываться, а транзистор  $VT3$  — открываться. Конденсатор  $C1$  разряжается, создавая положительное смещение на базе транзистора  $VT2$ , и тем самым надежно закрывает его. Переход из состояния насыщения в состояние отсечки и обратно у транзистора  $VT3$  происходит лавинообразно.

При работе транзистора  $VT3$  в режиме ключа каждое его переключение из состояния «Открыт» в состояние «Закрыт» сопровождается значительным перенапряжением, обусловленным большой индуктивностью нагрузки (обмотки возбуждения). В эти моменты напряжение эмиттера — коллектора силового транзистора может существенно превысить предельно допустимое. Для предотвращения подобного перенапряжения обмотка возбуждения шунтируется диодом  $VD5$ .

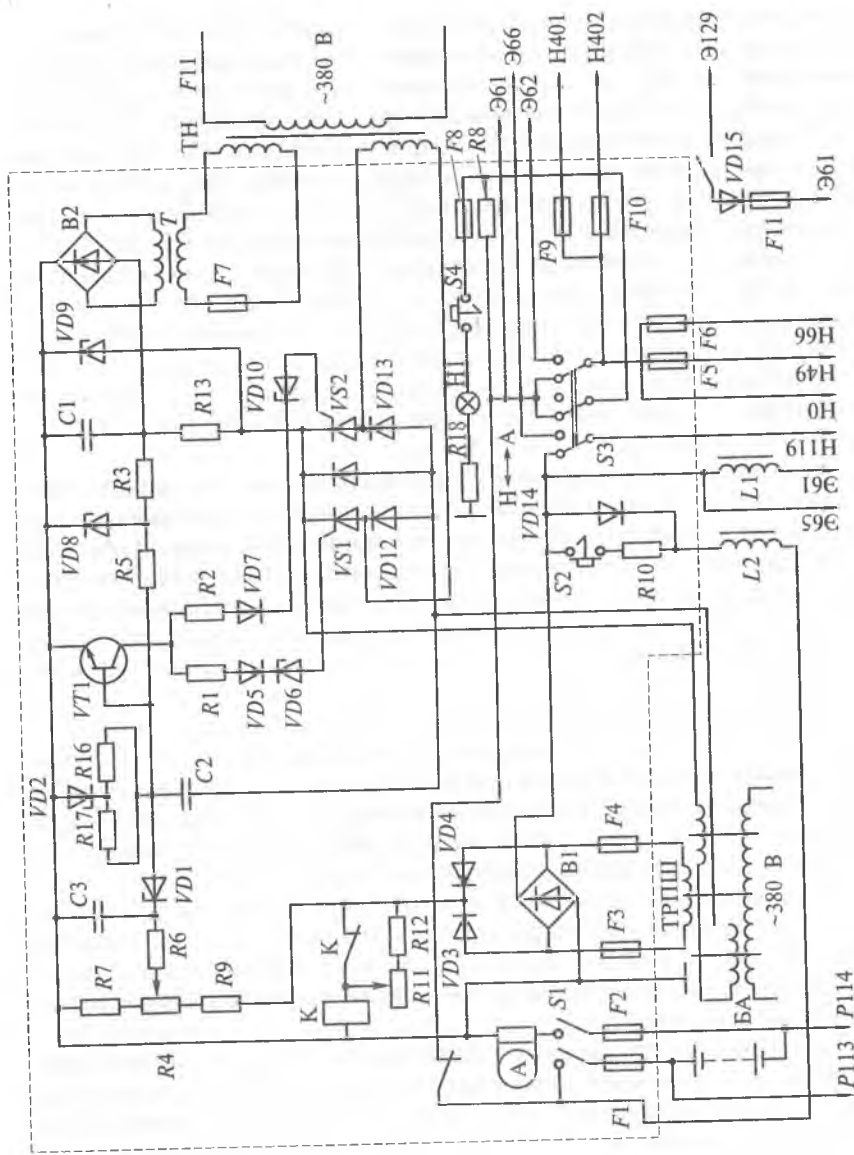
Резистор  $R4$ , включенный между базой транзистора  $VT2$  и положительным выводом генератора, предотвращает так называемый обрыв базы при закрытом стабилитроне и обеспечивает подачу положительного смещения на базу транзистора  $VT2$  за счет падения напряжения на резисторе  $R5$  при открытом транзисторе  $VT3$ . В результате транзистор  $VT2$  надежно запирается.

На электровозах ВЛ80 питание цепей управления, освещения и заряда аккумуляторной батареи осуществляется от трансформатора ТРПШ с системой выпрямления и регулирования напряжения (рис. 10.13), включающей в себя трансформатор ТН и аккумуляторные батареи АБ.

Питание трансформаторов ТРПШ и ТН производится напряжением 380 В переменного тока от обмотки собственных нужд тягового трансформатора. Независимо от питающего напряжения на первичной обмотке ТРПШ напряжение на вторичной обмотке стабилизируется бесконтактным регулятором напряжения, воздействующим на ток обмотки подмагничивания.

Питание последней осуществляется от вторичной обмотки трансформатора ТН через полууправляемый мостовой выпрямитель на основе тиристорov  $VS1, VS2$ , а также диодов  $VD12$  и  $VD13$ . Тиристоры включаются тогда, когда открыт транзистор  $VT1$  регулятора напряжения. Вторичная обмотка трансформатора ТРПШ с силовым выпрямителем В1 служит для заряда аккумуляторной

Рис. 10.13. Схема регулятора напряжения цепей управления



батареи БА и питания цепей управления стабилизированным выпрямленным напряжением 50 В. Дроссели  $L1$  и  $L2$  служат для сглаживания выпрямленного напряжения в цепях подзаряда аккумуляторной батареи и управления.

При отсутствии напряжения на первичной обмотке ТРПШ прекращается питание катушки контактора  $K$ , который переключает питание цепей управления с выпрямительного моста  $B1$  на аккумуляторную батарею (БА). С момента отключения переменного напряжения до полного переключения контактов контактора возникает кратковременный перерыв в питании цепей управления, но при этом не происходит ложных отключений аппаратов управления.

Цепь питания катушки контактора создается от выпрямителя  $B1$ . В эту цепь включаются резисторы  $R11$  и  $R12$ , а также шунтирующие блок-контакты контактора. Резисторы уменьшают коэффициент возврата контактора и время его отключения при снятии питающего переменного напряжения.

Контроль силы тока заряда аккумуляторной батареи осуществляется с помощью амперметра  $A$ .

#### Контрольные вопросы

1. Каково назначение реле в электрических цепях электроподвижного состава? Какие типы реле вы знаете?
2. Опишите основные особенности конструкции и включения в электрическую цепь реле перегрузки.
3. Приведите описание реле боксования и схему его включения.
4. Каковы особенности конструкции, принцип действия и схемы включения реле ускорения и реле дифференциальной защиты?
5. В чем состоит назначение регуляторов напряжения? Назовите основные требования, предъявляемые к ним.

## ТРАНСФОРМАТОРЫ НА ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

### 11.1. Назначение тяговых трансформаторов. Принципы регулирования их напряжения

Повышение напряжения контактной сети до 25 кВ и замена постоянного напряжения переменным с частотой 50 Гц, что соответствует общепринятым нормам, позволило значительно упростить устройства энергоснабжения электрофицированных участков и обеспечило уменьшение электрических потерь в контактной сети. Однако на электровозах сохранились коллекторные тяговые двигатели постоянного тока, которые имеют такие же рабочие характеристики, как и двигатели электровозов постоянного тока, рассчитанные на напряжение около 1,5 кВ.

Для приведения в соответствие напряжения, снимаемого с контактного провода, и напряжения, необходимого для питания главных двигателей, на электровозах устанавливают силовой (тяговый) понижающий трансформатор. В настоящее время на электровозах переменного тока применяют тяговые трансформаторы с масляным охлаждением.

Тяговые трансформаторы электровозов отличаются от обычных трансформаторов очень широким диапазоном регулирования выходного напряжения. Регулировать напряжение, подводимое к тяговым двигателям, можно изменением напряжения на первичной или вторичной обмотке трансформатора. Технические характеристики тяговых трансформаторов приведены в табл. 11.1.

Силовой трансформатор является основной частью энергетической цепи электровоза со статическими преобразователями.

Принципиальным отличием тягового трансформатора от трансформатора общепромышленного исполнения является совмещение ряда функций, наиболее важная из которых — изменение в широком диапазоне напряжения на нагрузке (электродвигателях). Кроме того, на вторичной стороне трансформатора располагаются обмотки, питающие постоянным стандартным напряжением вспомогательную нагрузку и других потребителей.

Конструкция тягового трансформатора в значительной степени зависит от принятого способа регулирования напряжения на электровозе. Напряжение на выходе трансформатора регулируют изменением числа включенных витков его обмоток. В практике отечественного электровозостроения наиболее широкое распространение получило регулирование путем изменения числа витков вторичной обмотки, или *низковольтное регулирование* (регулиру-

Технические характеристики тяговых трансформаторов

Показатель	Тип трансформатора				
	ОЦР-5600/25	ОЦР-5000/25В	ОДЦЭ-5000/25	ОДЦЭ-4000/25	
Типовая мощность трансформатора, кВ·А	5 600	5 000	5 000	4 000	
Номинальная мощность обмоток, кВ·А:					
	сетевой	5 244	4 630	4 485	3 680
	тяговой	4 942	4 300	4 220	3 620
	собственных нужд	300	325	225	80
отопления	800	—	—	—	
Напряжение холостого хода обмоток, В:					
	сетевой	25 000	25 000	25 000	25 000
	собственных нужд	399	625/479	638/406/232	332/240
отопления	3 027	—	—	—	
Номинальная сила тока обмоток, А:					
	сетевой	210	185	180	147
	тяговой	2 400	2 × 1 750	2 × 1 750	950
	собственных нужд	750	800	550	340
отопления	264	—	—	—	
Потери холостого хода, кВ·А	6,1	5,8	5,8	5,2	
Масса трансформатора, т	11,3	9,0	8,0	5,8	

вание на низшей стороне трансформатора). Возможны два способа такого регулирования: согласованное и встречно-согласованное, из которых чаще всего используется второй.

При низковольтном регулировании обмотка низкого напряжения разделяется на две части: нерегулируемую (основная обмотка) и регулируемую (регулирующая обмотка).

Первой на сердечнике располагают обмотку низкого напряжения, затем обмотку высокого напряжения, а снаружи — регулиро-



Рис. 11.1. Схема регулирования напряжения на низшей стороне тягового трансформатора ОЦР-5000/25

вочную обмотку низкого напряжения (рис. 11.1). Обмотка собственных нужд состоит из нескольких катушек. Их размещают во внешнем блоке катушек каждого стержня между группами катушек низкого напряжения.

Регулировочная обмотка разделена на несколько ступеней с равным числом витков. Наибольшее напряжение на обмотке низкого напряжения (вводы  $A1$  и  $O1$ ) обеспечивается при согласованном включении основной и всей регулировочной обмотки (соединение вывода  $X1$  с выводом 1). По мере выключения секций регулировочной обмотки напряжение снижается, и при ее полном выключении остается только напряжение на обмотке  $A1 - X1$ . Дальнейшего уменьшения напряжения достигают встречным включением основной обмотки и ступеней регулировочной обмотки. Обычно число витков основной обмотки несколько больше, чем у регулировочной. Так, при встречном включении небольшое напряжение (40...70 В) соответствует первой ступени регулирования.

Для высоковольтного регулирования (регулирования на высшей стороне трансформатора) можно применять один трансформатор

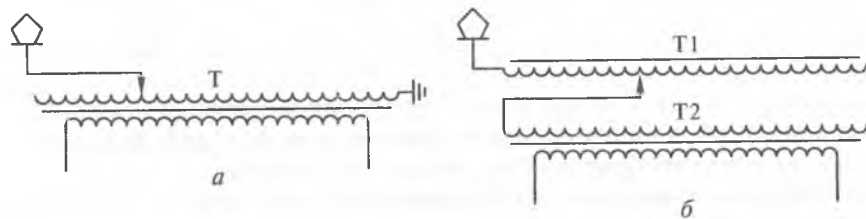


Рис. 11.2. Схемы высоковольтного регулирования напряжения:  
*a* — с помощью одного трансформатора  $T$ ; *b* — с помощью автотрансформатора  $T1$  и трансформатора  $T2$

(рис. 11.2, *a*) или два — автотрансформатор и трансформатор с постоянным коэффициентом трансформации (рис. 11.2, *b*). Их совмещение в одной магнитной системе позволяет получить так называемый трехстержневой трансформатор.

У трехстержневого трансформатора площадь поперечного сечения среднего стержня равна суммарной площади сечений двух крайних стержней. На одном из крайних стержней расположена обмотка автотрансформатора, подключаемая к контактной сети. Эта обмотка разбита на ряд ступеней, как правило, с одинаковым числом витков, выводы от которых присоединены к высоковольтному переключателю. На этом же стержне размещена обмотка собственных нужд.

При регулировании напряжения сила тока в секциях обмотки автотрансформатора зависит от положения переключателя. По этой причине его обмотку можно выполнять из проводов разного сечения: большего — для крайних секций и меньшего — для средних.

В отечественных тяговых трансформаторах используют в основном двухстержневые сердечники с цилиндрическими обмотками на обоих стержнях, расположенными концентрически. Обмотки могут быть соединены последовательно или параллельно.

Обмотки сердечника бронзового типа располагают на среднем стержне, площадь сечения которого вдвое больше площади сечения стержней, охватывающих обмотки снаружи. В этом случае отдают предпочтение чередующимся обмоткам дискового типа, хотя можно применять и цилиндрические обмотки, такие, как в стержневом трансформаторе.

На изготовленных отечественными заводами опытных электровозах ВЛ80<sup>в</sup> были установлены трехстержневые трансформаторы ОЦРН-7300/25 с высоковольтным регулированием напряжения. Для уменьшения размеров трансформатора и сокращения расстояния между осями стержней обмотка автотрансформатора имеет эллиптическую форму, а остальные обмотки — цилиндрическую.

Регулирование на стороне высшего напряжения осуществлено на электровозах ЧС4 и ЧС8.

## 11.2. Конструкция тяговых трансформаторов

**Магнитопроводы.** В отечественном электровозостроении используют трансформаторы со стержневыми магнитопроводами. Вертикальные стержни служат для размещения обмоток и соединяют ярма, которые образуют с ними замкнутую магнитную цепь. Магнитопроводы трансформаторов ОЦР-5600/25 и ОДЦЭ-5000/25 набирают из лакированных листов электротехнической холоднокатаной стали Э310 толщиной 0,5 мм.

Вертикальные стержни выполняют из листов разной ширины, ярма — из листов одинаковой ширины.

Площадь активного поперечного сечения стержня —  $629 \text{ см}^2$ , ярма —  $661 \text{ см}^2$ . Вертикальные стержни магнитопровода трансформатора ОДЦЭ-5000/25 на 130 мм короче стержней трансформатора ОЦР-5600/25.

Пакеты листов каждого стержня магнитопровода стягивают пятью шпильками с резьбой М12, изолированными от стали бумажно-бакелитовыми трубками и шайбами.

Вертикальные стержни трехстержневого магнитопровода трансформатора ОЦРН-7300/25 изготавливают из того же материала. Поскольку стальные листы имеют разную ширину, поперечные сечения стержней неодинаковы по форме и размерам. Стержень с поперечным сечением эллиптической формы предназначен для размещения обмотки автотрансформатора. На стержне круглой формы устанавливают обмотки трансформатора. Свободный стержень имеет Т-образное сечение.

**Обмотки.** Непрерывная первичная обмотка А—Х тягового трансформатора ОЦР-5600/25 (рис. 11.3), рассчитанная на напряжение 27,5 кВ, включает в себя четыре катушки, содержащие по  $10^{15/16}$  витка размерами сечения  $10 \times 3,53 \text{ мм}$ , 18 катушек, имеющих по  $15^{13/16}$  витка размерами сечения  $8,6 \times 2,83 \text{ мм}$ , и 54 катушки, содержащие по  $15^{15/16}$  витка того же сечения. Все катушки выполнены из провода марки ПББО. Применяемые катушки дискового типа в слоях имеют по одному витку. Между дисками катушек установлены изоляционные прокладки из электрокартона. Расстояние между катушками равно 5 мм. Для трех верхних и трех нижних катушек это расстояние увеличено до 7,5 мм.

Первичная обмотка распределена поровну на обоих стержнях магнитопровода между нерегулируемыми и регулируемыми частями вторичной обмотки, что позволяет снизить потоки магнитного рассеяния и индуктивное сопротивление трансформатора. Обе половины первичной обмотки соединены друг с другом параллельно.

Нерегулируемые части вторичной обмотки А1—Х1 и А2—Х2 состоят из двух катушек (плеч), совмещенных друг с другом по двухходовой спирали. В каждой катушке обмотки содержится

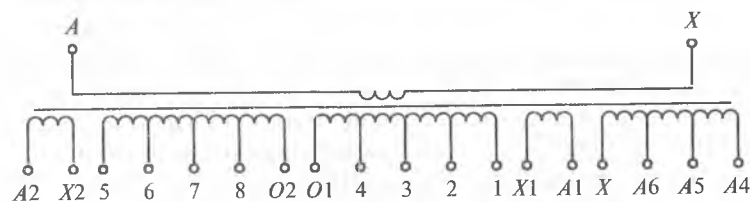


Рис. 11.3. Схема тягового трансформатора ОЦР-5600/25

25 витков. Виток катушки включает в себя 10 параллельных проводов ПББО размерами сечения  $12,5 \times 3,53 \text{ мм}$ . Нерегулируемые части обмотки расположены на обоих стержнях магнитопровода в непосредственной близости от их поверхности и соединены друг с другом последовательно, что упрощает их изоляцию от стального сердечника.

Регулируемые части вторичной обмотки О1—1 и О2—5 также состоят из двух плеч, в каждое из которых входят четыре дисковые катушки, соединенные последовательно. Секция плеча содержит две обмотки, включенные параллельно и расположенные на обоих стержнях магнитопровода. Плечи имеют по 48 витков.

Регулируемая часть обмотки включает в себя 64 катушки, каждая из которых выполнена из четырех параллельных проводов ПББО размерами сечения  $9,3 \times 3,05 \text{ мм}$ , намотанных в три слоя, по одному витку в слое.

Для вторичной обмотки допускается работа:

- при согласованном включении регулируемых и нерегулируемых частей, т.е. соединении ввода Х1 поочередно с вводами 4, 3, 2 и 1, а ввода Х2 — поочередно с вводами 8, 7, 6 и 5;
- при встречном включении нерегулируемых и регулируемых частей, т.е. соединении ввода Х1, поочередно с вводами 5, 6, 7 и 8, а ввода Х2 — поочередно с вводами 1, 2, 3 и 4;
- нерегулируемой части обмотки при соединении вводов Х1 с О1 и О2 с Х2.

При напряжении в контактной сети 25 кВ напряжение холостого хода нерегулируемых частей вторичной обмотки трансформатора равно 1 052 В, а регулируемых — 1 008 В, по 252 В в каждой из четырех ее секций. При встречном включении регулируемых и нерегулируемых частей минимальное напряжение трансформатора равно 44 В, а при согласованном их включении максимальное напряжение трансформатора равно 2 060 В.

Обмотка собственных нужд состоит из четырех двойных дисковых катушек (по  $4^{8/16}$  и 5 витков каждая), соединенных между собой параллельно. Обмотка расположена на обоих стержнях магнитопровода. На каждом стержне помещено по две катушки. Все катушки выполнены из провода марки ПББО размерами сечения  $13,5 \times 4,7 \text{ мм}$ . Обмотка собственных нужд имеет четыре ввода. При напряжении в контактной сети 25 кВ напряжение холостого хода обмотки на вводах Х—А6 равно 210 В, на вводах Х—А5 — 399 В, на вводах Х—А4 — 630 В.

**Отводы и вводы.** Отводы представляют собой провода, расположенные вне обмоток и служащие для соединения отдельных частей обмоток, концов обмоток с вводами и регулировочных ответвлений с переключающим устройством. В комплект отводов входят медные шины без изоляции или изолированные проводники и набор деревянных планок для их закрепления.



Схема отводов зависит от устройства обмоток, их группировки и схемы соединения. Так, в трансформаторе ОЦР-5600/25 отводы от первичной обмотки выполнены из изолированного провода, а отводы от вторичных обмоток — из медных шин без изоляции, укрепленных деревянными планками.

В масляных трансформаторах, применяемых на электровозах, обмотки соединяют с силовой схемой через вводы, расположенные в крышке трансформатора.

Ввод состоит из токоведущей части, выполненной из медного стержня, и изоляции. Конструкция ввода зависит прежде всего от класса изоляции обмотки, соединенной с ним. Ввод должен обладать необходимыми тепловыми характеристиками, электрической и механической прочностью.

**Баки.** Масляный тяговый трансформатор помещают в бак, представляющий собой стальной резервуар. При работе трансформатора осуществляется непрерывная конвекционная циркуляция масла. Масло, нагретое от магнитопровода и обмоток, отдает теплоту в окружающую среду через стенки бака и охлаждается.

Бак имеет достаточный запас прочности и выдерживает избыточное внутреннее давление 5 МПа, а при вакуумной сушке в нем обмоток трансформатора — атмосферное давление.

В комплект бака входит расширитель для масла, который предотвращает его увлажнение и снижение электрической прочности, а также ускоренное старение изоляции. В трансформаторе без расширителя уровень масла в баке находится ниже крышки, поэтому при изменении температуры масла его уровень поднимается либо опускается, в результате чего часть воздуха вытесняется наружу или засасывается из окружающей среды.

При всех режимах работы трансформатора и любой возможной температуре окружающей среды расширитель обеспечивает полное заполнение бака маслом. Температура масла в расширителе значительно ниже, чем в верхней части бака, что замедляет процесс окисления масла. Кроме того, в расширителе почти отсутствует конвекционная циркуляция масла. Поэтому влага, попавшая в масло из воздуха, осаждается в отстойнике и не проникает в бак.

**Система охлаждения трансформатора.** Система охлаждения включает в себя масляный насос с электродвигателем и трубопроводом, масляные радиаторы, воздухопровод, агрегат мотор-вентилятора и термосигнализирующие приборы.

Масло поступает в систему охлаждения из верхней части бака трансформатора и с помощью насоса подается по маслопроводу в радиаторы. Затем охлажденное масло поступает в нижнюю часть бака, проходит по каналам обмоток и в нагретом состоянии достигает верхней части бака, откуда возвращается в систему охлаждения.

В трансформаторах ОЦР-5000/25 и -5600/25 для охлаждения масла применяют моноблочный электронасос ЭЦТ63/10, устанавливаемый между баком и радиаторами.

Для лучшего рассеяния теплоты радиаторы принудительно обдуваются воздухом, поступающим по воздухопроводу от вентилятора: на электровозе ВЛ80 — от осевого вентилятора СВМ-6М, а на электровозе ВЛ60 — от центробежного вентилятора Ц13-50 или Ц8-19.

Расход воздуха, охлаждающего радиаторы, составляет около 20 000 м<sup>3</sup>/ч, а падение напора в системе охлаждения трансформатора — примерно 70 мм вод. ст. (700 Па).

Трансформаторы ОЦР-5600/25, установленные на электровозах ВЛ60 до № 754, имеют систему охлаждения, подобную рассмотренной. Принудительная циркуляция масла в трансформаторе осуществляется двумя центробежными насосами 2К-9 с приводом от трехфазных двигателей АОМ42-2. Каждый насос помещен в расширитель, наполненный маслом. Подача насоса составляет 22 м<sup>3</sup>/мин при напоре 17,5 мм вод. ст. (175 Па). Расход воздуха, охлаждающего радиаторы, не превышает 19 500 м<sup>3</sup>/ч.

На маслопроводе, идущем от насоса к радиаторам, установлено струйное реле СРЭ-2, которое при отсутствии циркуляции масла размыкает цепи управления, прекращая работу электровоза. Температура масла контролируется термометрическим сигнализатором.

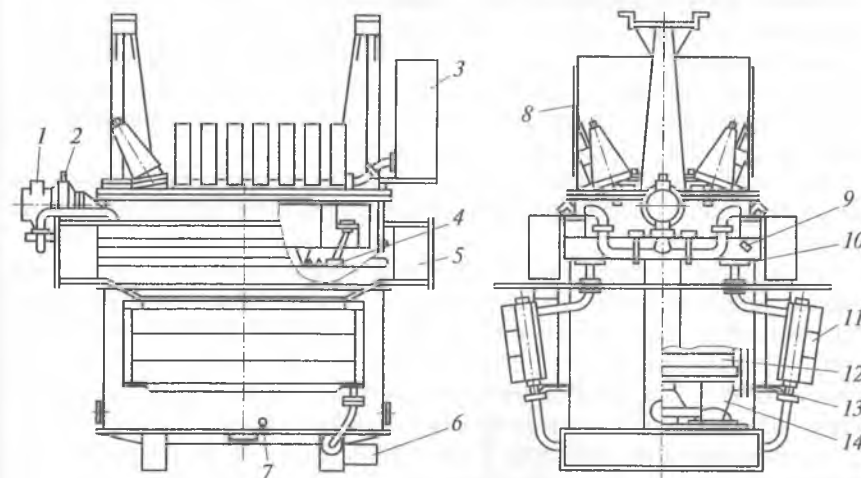


Рис. 11.4. Тяговый трансформатор ОДЦЭ-5000/25Б:

1 — масляный электронасос; 2 — запорное устройство; 3 — расширитель для масла; 4 — прижим; 5 — камера; 6 — вентиль; 7 — кран для слива масла; 8 — указатель уровня масла; 9 — бобышка для заземления трансформатора; 10 — стакан; 11 — масляный радиатор; 12 — активная часть обмоток; 13 — отводы обмоток; 14 — ярмовая балка

Трансформатор ОЦРН-7300/25 имеет систему охлаждения с одним контуром. Циркуляция масла между баком и радиатором осуществляется при помощи насоса 2К-9 с приводом от электродвигателя АОМ42-2. Подача насоса составляет 22 м<sup>3</sup>/мин при напоре 17,5 мм вод. ст. (175 Па), а полный расход воздуха — 20 500 м<sup>3</sup>/ч.

На рис. 11.4 изображена конструкция тягового трансформатора ОДЦЭ-5000/25Б с указанием элементов системы охлаждения. Такие трансформаторы применяют на электровозах ВЛ80. Их назначение — преобразование напряжения контактной сети в напряжение цепей тяговых двигателей, включенных через полупроводниковые преобразователи, и цепей собственных нужд электровоза.

### 11.3. Реакторное оборудование

**Сглаживающие реакторы.** Реакторы этого типа, предназначенные для уменьшения пульсации выпрямленного напряжения, представляют собой индуктивности, включаемые последовательно в цепь тяговых двигателей или их обмоток возбуждения. Считается, что в номинальном режиме коэффициент пульсации тока должен составлять 0,2...0,25. Однако значение этого коэффициента возрастает при уменьшении нагрузки тяговых двигателей. Необходимо, чтобы коэффициент пульсации тока не превышал 0,3 во всем рабочем диапазоне тяговых двигателей. Для этого сглаживающий реактор должен обеспечить соответствующее изменение индуктивности в цепи двигателей при изменении их нагрузки. Указанным требованиям в наибольшей мере отвечают сглаживающие реакторы с сердечниками из стали Э22, технические характеристики которых представлены в табл. 11.2.

На электровозах переменного тока используют сглаживающие реакторы как с замкнутой, так и с разомкнутой магнитными системами.

Реакторы с замкнутой магнитной системой имеют большую массу, приходящуюся на единицу мощности, чем реакторы с разомкнутой магнитной системой. Преимущество реакторов с замкнутой магнитной системой состоит в том, что их магнитное поле слабо влияет на расположенное рядом оборудование, поэтому специальных мер для ограничения этого влияния не требуется.

Сглаживающий реактор РЭД-4000А (рис. 11.5) предназначен для установки в кузове электровоза. Он состоит из двух основных узлов — магнитопровода 1 и обмотки 4. Магнитопровод набран из листов электротехнической стали, покрытых лаком № 202. В осевом направлении магнитопровод стянут четырьмя шпильками 2 с резьбой М24, изолированными бумажно-бакелитовыми трубками, и гайками с гетинаксовыми шайбами. Между стержнями магнитопровода имеются зазоры общей величиной 85 мм, заполнен-

Таблица 11.2

Технические характеристики сглаживающих реакторов

Показатель	Реакторы				
	РЭД-4000	РЭД-4000А	РЭДР-1500	РСМ-1	РС-53
Серия и номер электровоза	ВЛ60 (до № 1434)	ВЛ60 (с № 1435)	ВЛ80 <sup>В</sup> (№ 001—003)	ВЛ80 (по № 006)	ВЛ80 (с № 007)
Масса реактора, кг	1 835	1 575	570	960	810
Сила часового тока, А	1 545	1 545	915	1 850	1 850
Индуктивность, мГн: при часовом токе начальная	5,5	5,6	6,0	3,2	6,0
	9,5	10,5	10,4	5,25	4,0
Площадь сердечника, см <sup>2</sup>	430	430	540	800	800
Масса сердечника, кг	1 180	925	283,4	560	485
Размеры проводника, мм	4,4 × 10,8	5 × 50	4,4 × 10,0	3 × 50	4 × 65
Число витков	140	144	112	68 × 2	112
Материал обмотки	Провод ПСД	Медная шина	Провод ПСД	Медная лента	Шина ШММ
Масса обмотки, кг	634	498	264	290	235

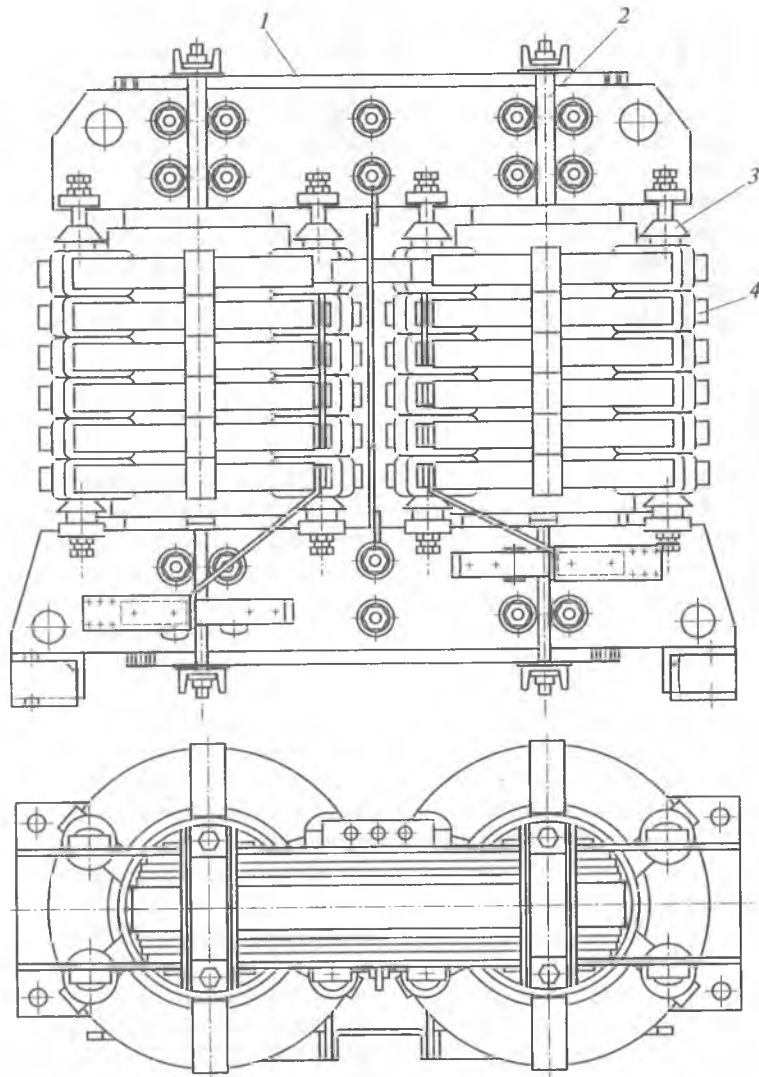


Рис. 11.5. Сглаживающий реактор РЭД-4000А:

1 — магнитопровод; 2 — шпилька крепления; 3 — изолятор; 4 — обмотка

ные гетинаксовыми прокладками. Верхний зазор равен 5 мм, остальные — по 20 мм.

Обмотка, установленная на стержнях, имеет 12 последовательно соединенных дисковых катушек, выполненных из медной шины с размерами сечения  $5 \times 50$  мм и зазорами между витками 6 мм.

В каждой катушке содержится по 12 витков. Катушки дважды пропитаны лаком ПЭ 933.

В радиальном направлении катушки стянуты шестью бандажми из стеклоленты. Между дисками в осевом направлении имеются зазоры, равные 12 мм. Обмотка изолирована от стержней бумажно-бакелитовыми цилиндрами и в осевом направлении стянута болтами с резьбой М12 через изоляторы 3. Электрическая прочность изоляции относительно «земли» испытывается при подаче напряжения 15 кВ частотой 50 Гц в течение 1 мин.

К реакторам с разомкнутой магнитной системой относятся реакторы РЭДР-1500 и РСМ-1 (см. табл. 11.2).

Магнитопровод такого реактора представляет собой шихтованный стержень из листов стали Э42 толщиной 0,5 мм, покрытых лаком № 202. Листы скреплены в сердечнике тремя шпильками с резьбой М12, изолированными бумажно-бакелитовыми трубками и прокладками, установленными под гайками. Этими же шпильками к сердечнику прикреплены две пластины толщиной 10 мм, предназначенные для монтажа реактора в горизонтальном положении на четырех стойках. Пластины изолированы от стоек и шпилек гетинаксовыми прокладками и бумажно-бакелитовыми трубками.

Обмотка представляет собой цилиндрическую четырехслойную катушку из двух параллельных проводов ПСД, намотанных на узкое ребро. Обмотка размещена на изоляционном стеклобакелитовом цилиндре и стеклотекстолитовых клиньях. Между слоями обмотки предусмотрены осевые вентиляционные каналы.

С торцов обмотка заканчивается кольцами из стеклобакелитовых цилиндров, скрепленными с крайними витками бандажми из стеклоленты шириной 100 мм. Снаружи обмотка скреплена двумя слоями стеклоленты. Заземленные части обмотки испытывают напряжением 9 кВ частотой 50 Гц в течение 1 мин.

Реактор РС-53, представляющий собой значительное индуктивное сопротивление, предназначен для сглаживания пульсаций выпрямленного тока в цепи тяговых двигателей. Он состоит из обмотки, магнитопровода, двух гетинаксовых боковин, кожухов, улучшающих охлаждение реактора, стяжных шпилек и установочных уголков. Обмотка изготовлена из медной шины ШММ с размерами сечения  $4 \times 65$  мм, намотанной на ребро с зазором между витками 4 мм. Витковая изоляция, выполненная из электронита, устанавливается на  $1/3$  высоты обмотки для улучшения охлаждения последней. Обмотку вместе с магнитопроводом спрессовывают в осевом направлении и подвергают вакуум-нагнетательной пропитке электроизоляционным лаком с последующей термообработкой.

Радиально-шихтованный магнитопровод выполнен из листов электротехнической стали 2212 толщиной 0,5 мм, покрытых ла-

ком. Цилиндрическая поверхность магнитопровода покрыта стеклопластом.

**Переходные реакторы.** Переходные реакторы служат для ограничения тока в контуре секций вторичной обмотки трансформатора при их закорачивании переключателем обмоток в процессе регулирования напряжения на вторичной стороне трансформатора.

При подключении реактора к обмотке трансформатора в его цепи возникает переходный ток, зависящий от напряжения секции трансформатора и сопротивления цепи. В случае применения переходного реактора со стальным сердечником амплитуда суммарного тока на фиксированной пусковой позиции может достигать 18...20 кА, что приводит к свариванию контактов переключателя.

Возникновение таких скачков тока объясняется насыщением магнитной системы реактора нагрузочным током на нефиксированных позициях пуска. Чтобы переключатель и реактор работали надежно, максимальное значение амплитуды суммарного тока не должно превышать 6 кА.

Реактор может быть выполнен и без стального сердечника с обмоткой, имеющей отвод от средней точки. Особенность такого реактора состоит в том, что его индуктивное сопротивление зависит от направления токов в полуобмотках: при их встречном включении сопротивление невелико, тогда как при согласованном включении или прохождении тока только в одной полуобмотке оно значительно больше.

Переходные реакторы без стального сердечника имеют меньшую массу, однако их магнитное поле нагревает расположенное рядом оборудование и элементы конструкции кузова. Поэтому необходимо принимать особые меры для предотвращения влияния магнитного поля.

На рис. 11.6 приведены схемы подключения переходного реактора ко вторичной обмотке трансформатора. На ходовых позициях возможна длительная работа электровоза. Переходный реактор Др подключен по схеме делителя тока. Суммарный ток цепи силой  $I$  распределяется равномерно по полуобмоткам реактора, их НС направлены встречно, результирующий магнитный поток и индуктивное сопротивление переходного реактора минимальны.

На промежуточной нефиксированной пусковой позиции по одной из полуобмоток реактора протекает полный ток тяговых двигателей.

На фиксированной пусковой позиции допускается лишь кратковременное включение, так как наложение тока намагничивания на ток нагрузки вызывает перегрузку одной из полуобмоток. В цепи реактора при его подключении к обмотке трансформатора

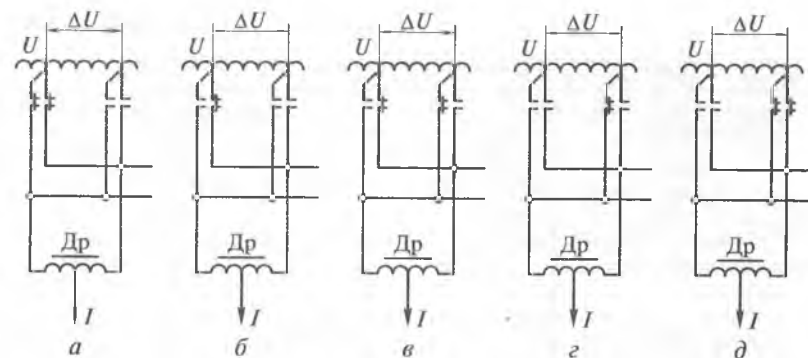


Рис. 11.6. Схемы подключения переходного реактора ко вторичной обмотке трансформатора на ходовых и пусковых позициях электровоза:

$a, д$  — ходовые позиции;  $б, г$  — промежуточные нефиксированные пусковые позиции;  $в$  — фиксированная пусковая позиция; Др — переходный реактор;  $I$  — суммарная сила тока цепи;  $U$  — напряжение на вторичной обмотке;  $\Delta U$  — напряжение секции обмотки трансформатора

возникает переходный ток, сила которого зависит от напряжения  $\Delta U$  секции обмотки трансформатора и сопротивления цепи.

Для увеличения числа ступеней регулирования напряжения при небольшом числе выводов вторичная обмотка трансформатора может быть разделена на две части: нерегулируемую (несекционированную) и регулируемую (секционированную) (рис. 11.7). Последняя состоит из четырех секций с одинаковым числом витков, а следовательно, и одинаковым напряжением  $U_c$ .

Сначала регулирующую и нерегулирующую части включают встречно. Напряжение  $U_n$  нерегулируемой части обмотки несколько больше суммарного напряжения  $4U_c$  секции регулируемой части. Далее последовательно уменьшают число встречно включенных секций. Их переключение осуществляют с помощью переходного

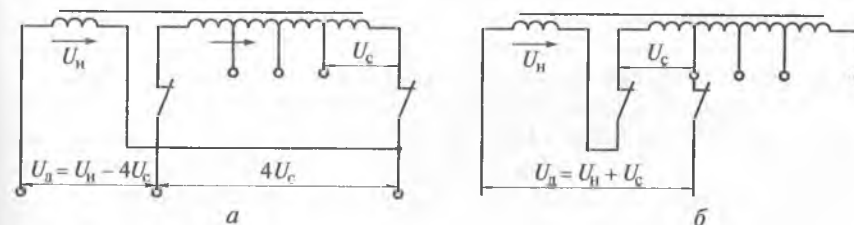


Рис. 11.7. Схемы нерегулируемой и регулируемой частей обмоток трансформатора при их встречном ( $a$ ) и согласованном ( $б$ ) включении:

$U_n$  — напряжение, подводимое к тяговым двигателям;  $U_n$  — напряжение нерегулируемой части обмотки;  $U_c$  — напряжение секции обмотки

Таблица 11.3

## Технические характеристики переходных реакторов

Показатель	Реакторы		
	ПРА-1М	ПРА-3	ПРА-48
Серия и номер электровоза	ВЛ60	ВЛ80 (с 004)	ВЛ80
Сила часового тока ветви, А	1 080	1 350	1 270
Индуктивное сопротивление, Ом	0,26	0,12	0,12
Марка стали магнитопровода	Э22	Э22	2212
Обмотка:	Алюминиевая шина А		
материал			
размер сечения, мм	6 × 60	8 × 60	8 × 60
число витков	44	32	32
Масса реактора, кг	580	570	450

реактора. Когда все секции выключены, напряжение  $U_d$ , подводимое к тяговым двигателям, равно номинальному.

Для дальнейшего повышения напряжения нерегулируемую и регулируемые части обмотки включают согласованно, последовательно подключая к нерегулируемой части одну за другой секции регулируемой.

Все переключения обмоток и секций с помощью контакторов с дугогашением и без него должны производиться в строго определенной последовательности. Эти переключения осуществляют групповым аппаратом, называемым главным контроллером.

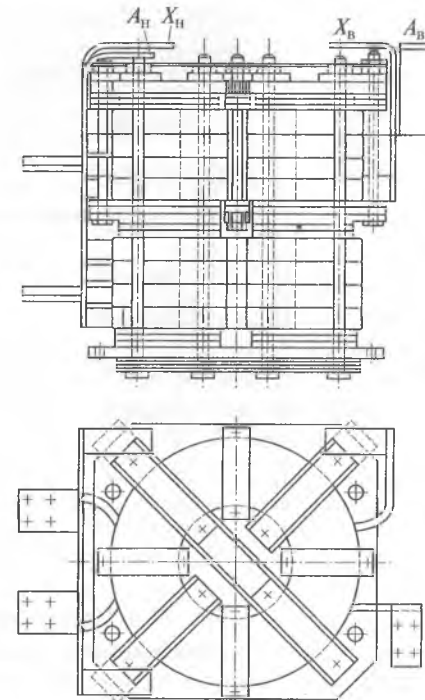
На электровозах переменного тока применяют переходные реакторы как со стальными сердечниками, так и без них. Технические характеристики переходных реакторов приведены в табл. 11.3.

К переходным реакторам без стального сердечника относится реактор ПРА-1М (рис. 11.8). Он представляет собой комплект из двух самостоятельных реакторов, содержащих по четыре катушки. Каждый реактор включен в одно из плеч трансформатора.

Все катушки реактора намотаны на ребро в один слой. Они выполнены из двух параллельных алюминиевых шин и имеют по 11 витков. Зазоры между шинами равны 3 мм, а между витками — 7 мм. Каждая катушка в радиальном направлении скреплена восьмью бандажами из стеклоленты, а в осевом — шпильками из дю-

Рис. 11.8. Переходный реактор ПРА-1М:

$A_n, A_n$  — начала обмоток;  $X_n$  и  $X_n$  — концы обмоток



ралюминия. Катушки реактора соединены друг с другом последовательно с транспозиционными переходами на внутренних выводах. Расстояние между катушками составляет 24 мм. Для упрочнения бандажей катушки дважды пропитаны лаком. Поверхность алюминиевых шин защищена лаком от коррозии и загрязнения.

Для предотвращения перегрева стальных деталей, находящихся вблизи реактора, предусмотрено экранирование магнитных потоков рассеяния шихтованными пакетами, играющими роль магнитных шунтов. Верхние пакеты (8 шт.) крепят к реактору специальными шпильками, а нижние (16 шт.) — к гетинаксовому основанию толщиной 30 мм, на котором закреплены и реакторы. Расстояние от поверхности основания до шины нижней катушки нижнего реактора равно 68 мм, а между смежными катушками обоих реакторов — 116 мм. Эти расстояния выдерживают с помощью гетинаксовых прокладок. Расстояния между реакторами, а также между реактором и крышкой трансформатора выбирают исходя из условий теплоотдачи поверхностей токоведущих частей и необходимой толщины изоляции.

Переходный реактор ПРА-48 (рис. 11.9) представляет собой комплект из двух реакторов (ветвей), работающих самостоятельно в разных плечах вторичной обмотки трансформатора. Каждый из них состоит из четырех спиральных катушек  $I$ , намотанных двумя параллельными алюминиевыми шинами с размерами сечения  $8 \times 60$  мм и зазором между ними, равным 7 мм.

Для уменьшения магнитных потоков рассеяния в торцовых частях каждого реактора расположены шихтованные экранирующие пакеты из листов электротехнической стали 2212 толщиной 0,5 мм. Оба комплекта катушек установлены на основании 3 из

## ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

## 12.1. Полупроводниковые приборы

Наиболее широкое применение на ЭПС находят тяговые двигатели постоянного тока. Для преобразования переменного тока в постоянный (точнее, пульсирующий) на электровозах переменного тока устанавливают выпрямители, в которых используют полупроводниковые приборы. Принцип действия этих приборов основан на их свойстве пропускать ток только в одном направлении.

Для изготовления полупроводниковых вентилей применяют германий, кремний и другие материалы. Пластины, изготовленные из этих материалов, после введения специальных примесей имеют слоистую структуру, в которой чередуются слои с электронной и дырочной проводимостью.

В неуправляемых выпрямителях используют неуправляемые вентили — *диоды*, которые проводят ток, когда к ним приложено напряжение в прямом (проводящем) направлении. Диоды имеют двухслойную структуру; для них характерна высокая электрическая проводимость в прямом направлении и низкая — в обратном.

В преобразователях, предназначенных не только для выпрямления, но и для регулирования выпрямленного напряжения и инвертирования (т.е. преобразования постоянного напряжения в переменное), применяют полупроводниковые управляемые вентили — *тиристоры*.

Полупроводниковые приборы подразделяют на различные типы по виду исходного материала, назначению, конструкции, мощности, способу охлаждения, диапазону рабочих частот и т.д. В силовых цепях ЭПС используют мощные (силовые) кремниевые полупроводниковые приборы с принудительным воздушным охлаждением.

*Силовые диоды* способны выдерживать высокое (до 4 кВ) обратное (приложенное в непроводящем направлении) напряжение при незначительной силе тока утечки (до 5 мА). У силового диода (рис. 12.1, а) наружный конец гибкого вывода является одним из электродов вентилей; на него насажен стандартный наконечник для включения прибора в схему. Положительный электрод называется *анодом*, а отрицательный — *катодом*. Направление тока в вентиле (от верхнего гибкого вывода к основанию или, наоборот, от основания к выводу) указывают значком на его корпусе.

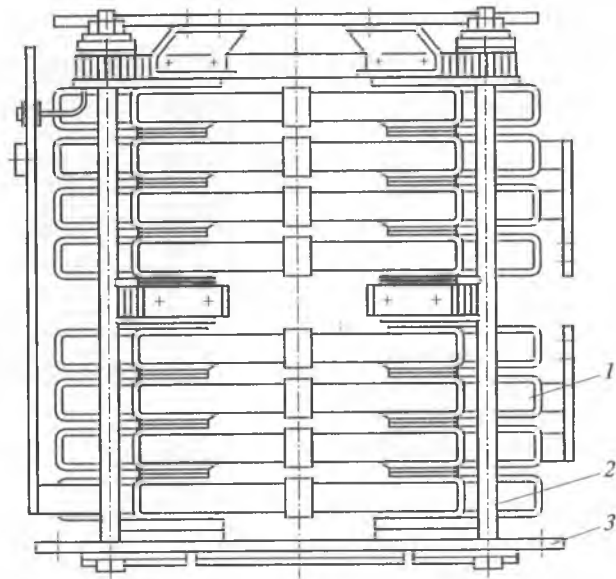


Рис. 11.9. Переходный реактор ПРА-48:  
1 — катушка; 2 — шпилька; 3 — основание

гетинакса толщиной 30 мм и в осевом направлении стянуты восемью шпильками 2 из дюралюминиевого сплава.

Над верхними катушками укреплены асбоцементные листы толщиной 12 мм во избежание попадания между витками обмотки посторонних предметов. При установке реактора на крышке трансформатора расстояние между крышкой и основанием реактора должно составлять не менее 100 мм.

## Контрольные вопросы

1. Каково назначение тяговых трансформаторов? Назовите основные элементы их конструкций.
2. Какие виды регулирования напряжения вторичной обмотки тяговых трансформаторов вы знаете?
3. В чем состоит назначение сглаживающих и переходных реакторов? Опишите особенности их конструкций.

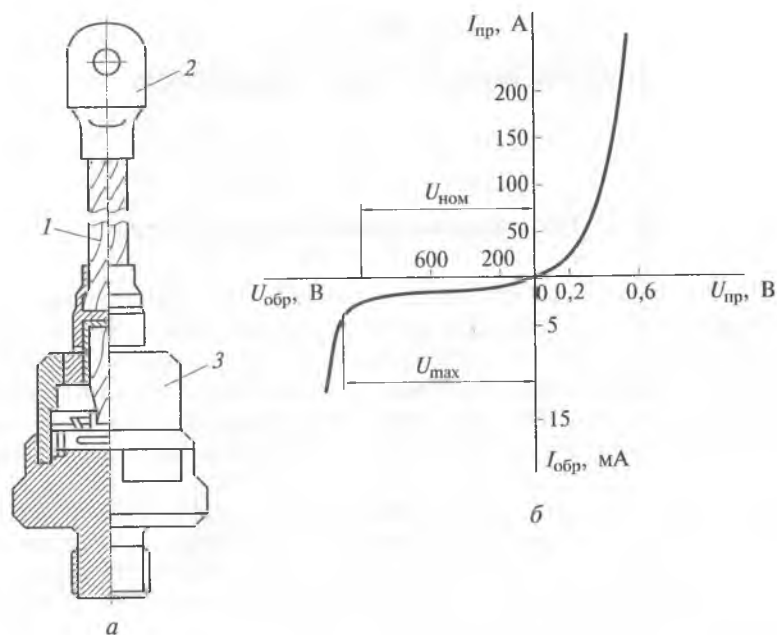


Рис. 12.1. Общий вид силового диода (а) и его вольт-амперная характеристика (б):

1 — гибкий вывод; 2 — наконечник; 3 — корпус

Радиатор имеет массивное основание и ребра, увеличивающие поверхность теплоотдачи.

Основной для полупроводниковых вентилях является вольт-амперная характеристика — зависимость силы тока, проходящего через прибор в прямом и обратном направлениях, от приложенного напряжения (рис. 12.1, б).

При прохождении прямого тока  $I_{пр}$  через вентиль в нем происходит падение напряжения (прямое падение напряжения  $U_{пр}$ ) на внутреннем электрическом сопротивлении, и возникают потери энергии в виде теплоты. Поэтому ток, проходящий через диод в прямом направлении, ограничивается допустимой температурой нагрева полупроводниковой структуры и условиями охлаждения. Современные силовые диоды с воздушным охлаждением рассчитаны на предельную силу прямого тока до 1,6 кА.

При включении диода в непроводящем направлении сила тока  $I_{обр}$  с увеличением обратного напряжения  $U_{обр}$  медленно возрастает. Затем по достижении предельного напряжения  $U_{max}$  наступает пробой вентиля, и он утрачивает свои запирающие свойства. Поэтому напряжение, приложенное к вентилю, должно быть меньше значения, при котором происходит его пробой.

Вентили рассчитывают на определенное обратное номинальное (повторяющееся) напряжение  $U_{ном}$ , при котором завод-изготовитель гарантирует их длительную работу без пробоя.

В соответствии с номинальным напряжением вентиля подразделяют на классы. Значение номинального напряжения, деленное на 100, условно означает класс вентиля. Например, кремниевый вентиль 8-го класса имеет номинальное напряжение  $8 \times 100 = 800$  В. Очевидно, что при повышении класса вентиля его стоимость возрастает. На электровозах устанавливают вентили не ниже 8-го класса. Для того чтобы приложенное напряжение не превысило предельное значение, вентили выбирают с соответствующим запасом напряжения.

Устанавливаемые на современных отечественных электровозах полупроводниковые вентили могут кратковременно, без повреждения, пропускать в прямом направлении ток силой более 1 кА, но не выдерживают обратного тока силой 1 А. Это связано с тем, что прямой ток, как и выделяющаяся при его прохождении теплота, распределяются равномерно по всему объему полупроводника.

Обратный же ток проходит лишь по отдельным небольшим каналам. Поэтому в некоторых точках может выделяться значительное количество теплоты, достаточное для пробоя вентиля.

С учетом данного обстоятельства кремниевые пластины вентилях в настоящее время изготавливают по особой технологии. Это обеспечивает прохождение обратного тока равномерно по всему объему пластины, что уменьшает вероятность ее перегрева и пробоя. Такие вентили, получившие название *лавинных*, широко применяются на электровозах.

*Силовые тиристоры*, также используемые на ЭПС, способны находиться в закрытом состоянии в случае приложения к ним как прямого, так и обратного напряжений, если на вентиль не подается сигнал управления, и пропускать ток при весьма малом падении напряжения в прямом направлении, если прибор открыт управляющим сигналом.

После того как тиристор откроется, он продолжает работать независимо от того, поступает сигнал на его управляющий вывод или нет. Закрыть его можно, только уменьшив силу прямого тока почти до нуля. Тиристоры имеют более сложную, чем у диодов, четырехслойную структуру, обеспечивающую указанные свойства.

Управляемые вентили (штыревые и др.) конструктивно сходны с неуправляемыми. Их отличие состоит в том, что кроме силового (гибкого) они имеют дополнительный вывод в корпусе от управляющего электрода. В мощных тиристорах толщина кремниевой пластины, находящейся в корпусе полупроводникового прибора, не превышает 0,35 мм. Ее диаметр зависит от силы пропускаемого тока.

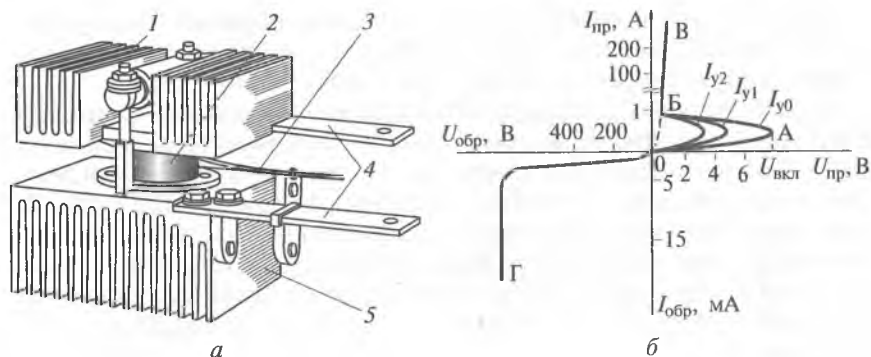


Рис. 12.2. Общий вид тиристора таблеточного типа (а) и его вольт-амперная характеристика (б):

1, 5 — радиаторы; 2 — корпус; 3 — управляющий вывод (электрод); 4 — силовые выводы (электроды); ОА, АБ, БВ, ОГ, БО — участки характеристики;  $I_{y0}$ ,  $I_{y1}$ ,  $I_{y2}$  — импульсы тока на управляющем электроде ( $I_{y0} = 0$ ,  $I_{y2} > I_{y1} > I_{y0}$ );  $U_{вкл}$  — напряжение включения тиристора

Широкое распространение получили тиристоры (рис. 12.2, а) и диоды таблеточного типа, так как у них по сравнению со штыревыми полупроводниковыми приборами существенно увеличена поверхность охлаждения, улучшена теплоотдача и повышена стойкость к перегрузкам. Таблеточные тиристоры и диоды зажимают контактными поверхностями, представляющими собой анодный и катодный электроды прибора, между двумя изолированными друг от друга радиаторами.

Участок ОА вольт-амперной характеристики (рис. 12.2, б) соответствует закрытому состоянию тиристора в случае приложения к нему прямого напряжения. Если оно превысит напряжение включения, то тиристор перейдет в открытое состояние (участок АБ), хотя и не будет импульса тока на управляющем электроде. Участки БВ и ОГ вольт-амперной характеристики тиристора аналогичны прямой и обратной ветвям характеристики диода. Участок БО соответствует лавинообразному переходу тиристора из открытого состояния в закрытое по достижении некоторой минимальной силы прямого тока (менее 1 А).

Напряжение включения можно значительно снизить, если на управляющий электрод подать импульс тока. Очевидно, что тиристоры должны выдерживать в закрытом состоянии не только обратное напряжение, но и прямое. Переход тиристора в открытое состояние должен происходить только при наличии импульса тока в цепи управления.

Для тиристорov, как и для диодов, основными параметрами являются предельная сила прямого тока, обратное номинальное напряжение, прямое падение напряжения и сила обратного тока

утечки. Кроме того, существует ряд дополнительных параметров: прямое номинальное напряжение, сила тока управления, напряжение управления, время включения и выключения и др.

Обозначения тиристорov и диодов расшифровываются следующим образом. Например, в марке ДЛ123-320-20 буквы и цифры означают: Д — диод; Л — лавинный; 123 — группа цифр, характеризующих модификацию прибора, условный диаметр и конструктивное исполнение корпуса; 320 — предельная сила тока, А; 20 — класс вентиля. В марке Т253-1250-16 буква Т означает тиристор, а цифры расшифровываются так же, как в обозначении диода.

## 12.2. Полупроводниковые преобразователи для режима тяги

**Неуправляемые выпрямители.** На электровозах переменного тока для питания тяговых двигателей в режиме тяги широко применяют неуправляемые выпрямители. Они предназначены для преобразования переменного тока в постоянный (пульсирующий). Выпрямители могут быть соединены с обмоткой трансформатора различными способами и вследствие этого имеют различную структуру.

Наиболее простая схема выпрямления приведена на рис. 12.3, а, где выпрямитель состоит из одного диода VD.

Напряжение во вторичной обмотке трансформатора, как и в первичной, изменяется по синусоиде. Когда оно приложено к выпрямителю таким образом, что потенциал анода диода выше, чем у катода, через выпрямитель проходит ток. В противном случае выпрямитель ток не пропускает. Таким образом, по цепи нагрузки проходит не постоянный, а пульсирующий ток, который постоянен только по направлению (рис. 12.3, б).

Рассмотренная схема однополупериодного выпрямления на электровозах не используется.

Для того чтобы через нагрузку проходил ток в оба полупериода, применяют схему двухполупериодного выпрямления — либо

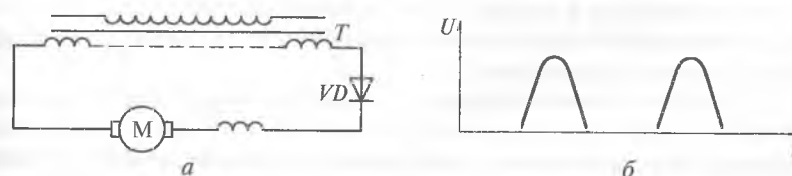


Рис. 12.3. Схема однополупериодного выпрямления (а) и характеристика выпрямленного напряжения (б):

М — двигатель; Т — трансформатор; VD — диод



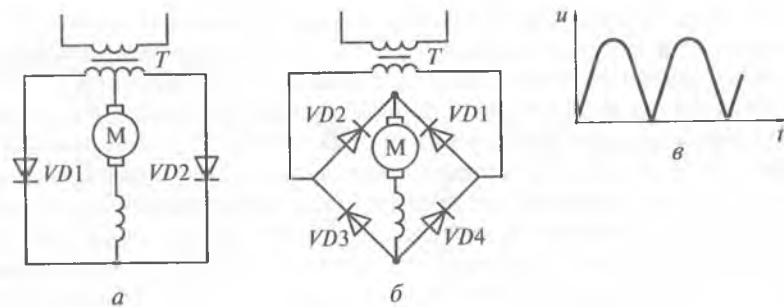


Рис. 12.4. Двухполупериодное выпрямление:

*a* — схема с нулевой точкой; *б* — мостовая схема; *в* — характеристика выпрямленного напряжения; М — двигатель; Т — трансформатор; VD1—VD4 — диоды

с нулевым выводом вторичной обмотки трансформатора, либо мостовую.

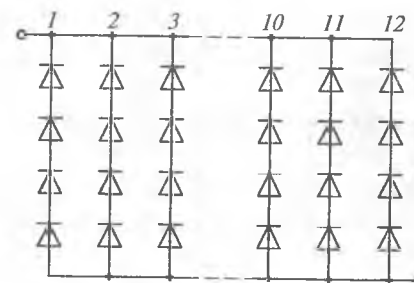
В схеме с нулевым выводом вторичную обмотку трансформатора делят на две равные части, а выпрямитель и двигатель включают так, как показано на рис. 12.4, *a*. В первый полупериод проводит ток (открыт) тот диод, к которому напряжение приложено в прямом направлении, а другой диод закрыт. В следующий полупериод состояние диодов меняется на противоположное. Таким образом, в течение каждого полупериода через двигатель проходит ток, сила которого изменяется от нуля до амплитудного значения и вновь до нуля.

Недостаток такой схемы выпрямления заключается в том, что постоянно работает только половина обмотки трансформатора, а это приводит к неэффективному использованию устройства.

Выпрямительная установка, собранная по мостовой схеме, состоит из четырех плеч (рис. 12.4, *б*). Если в первый полупериод ток проходит от обмотки трансформатора через диод VD1, нагрузку (двигатель) и диод VD4 в обмотку трансформатора, то во второй полупериод при изменении направления напряжения — через диод VD2, нагрузку, диод VD3 в обмотку трансформатора. Следовательно, как и в предыдущей схеме, ток в каждый полупериод проходит через нагрузку в одном и том же направлении (рис. 12.4, *в*), однако в мостовой схеме вторичная обмотка тягового трансформатора работает полностью.

Каждое плечо моста содержит несколько последовательно соединенных диодов и параллельных ветвей. Так, плечо моста выпрямителя восьмиосного электровоза ВЛ80Р включают в себя 12 параллельных ветвей (рис. 12.5), в каждую из которых входят четыре последовательно соединенных лавинных диода. Таким образом, в состав одного выпрямителя входят  $4 \times 4 \times 12 = 192$  диода.

Рис. 12.5. Схема плеча выпрямителя восьмиосного электровоза ВЛ80Р: 1—12 — номера параллельных ветвей



Выпрямитель рассчитан на номинальную силу выпрямленного тока 3 200 А и номинальное напряжение 1 350 В. Он питает два тяговых двигателя. Поэтому на восьмиосных электровозах устанавливают четыре таких выпрямителя; общее число диодов в них равно 768. Коэффициент полезного действия выпрямителя составляет 99 %. Выпрямитель размещен в двух шкафах и работает только с принудительным охлаждением. Каждый выпрямитель снабжен довольно сложной системой защиты.

**Управляемые выпрямители.** Собранные на тиристорах управляемые выпрямители позволяют не только осуществить преобразование переменного тока в постоянный, но и перейти от ступенчатого к плавному регулированию напряжения, подводимого к тяговым двигателям электровозов переменного тока.

Рассмотрим, как осуществляется плавное регулирование напряжения. В выпрямителе, собранном на тиристорах VS по мостовой схеме (рис. 12.6, *a*), можно изменять угол их открытия, т.е. подавать в соответствующие моменты управляющие импульсы тока. При этом можно регулировать среднее значение напряжения  $U_{cp}$  от нуля до максимального возможного (рис. 12.6, *б*). Последнее

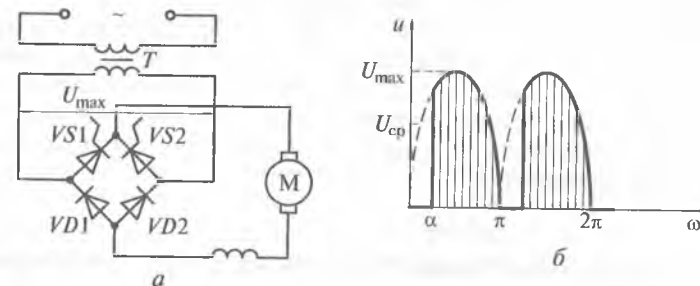


Рис. 12.6. Схема плавного регулирования напряжения, выполненная на управляемых тиристорах (*a*), и характер изменения напряжения в зависимости от угла их открытия  $\alpha$  (*б*):

М — двигатель; Т — трансформатор; VD1, VD2 — диоды; VS1, VS2 — тиристоры;  $U_{cp}$ ,  $U_{max}$  — среднее и амплитудное значения напряжения

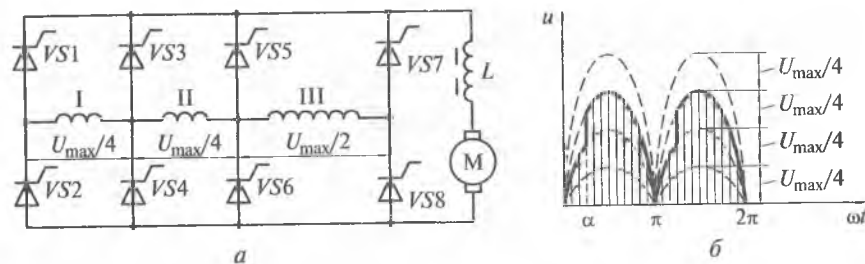


Рис. 12.7. Принципиальная схема регулирования напряжения тяговых двигателей электровоза ВЛ80<sup>р</sup> (а) и характер изменения напряжения в секции вторичной обмотки трансформатора (б):

$L$  — катушка индуктивности;  $M$  — двигатель;  $VS1$ — $VS8$  — тиристоры;  $U_{max}$  — амплитудное значение напряжения

соответствует среднему значению выпрямленного напряжения в неуправляемых выпрямителях.

Как видно из рис. 12.6, б, при таком регулировании, называемом глубоким, возникают большие пульсации напряжения и выпрямленного тока, что существенно осложняет работу тяговых двигателей.

Для устранения таких пульсаций на электровозе ВЛ80<sup>р</sup> осуществляется более плавное регулирование напряжения (рис. 12.7). Здесь тяговый трансформатор имеет три секции вторичной обмотки, а выпрямитель, выполненный по мостовой схеме, — восемь плеч. Предусмотрены четыре зоны регулирования выпрямленного напряжения, в каждой из которых осуществляется плавное регулирование в пределах четверти амплитуды подаваемого напряжения. Тиристоры позволяют осуществлять переключение с одной секции на другую при отсутствии тока, что исключает необходимость применения контакторов с дугогашением.

Напряжение, возникающее в процессе его плавного изменения в пределах регулируемой секции, складывается с напряжением, индуцируемым в секциях, где уже был завершен этот процесс. Поэтому глубокое регулирование осуществляется только в первой секции вторичной обмотки (когда на двигатели подается небольшое напряжение).

### 12.3. Выпрямительные установки электровозов

**Выпрямительные установки электровозов ВУК-4000Т-02 и ВОППД-3,15к-1,4к-02.** Эти установки осуществляют преобразование переменного тока в постоянный, предназначенный для питания тяговых двигателей. Основные технические характеристики установок совпадают:

Номинальная сила выпрямленного тока, А.....	3 150
Номинальное выпрямленное напряжение, В.....	1 400
КПД, %, не менее.....	99,4

Воздушное охлаждение установок производится принудительно.

Установка представляет собой выпрямительный мост, обеспечивающий питание двух параллельно соединенных двигателей. Она выполнена в виде двух шкафов прямоугольной формы, в каждом из которых размещены диоды двух плеч моста.

В установке ВУК-4000Т-02 используются лавинные диоды ВЛ200-8 не ниже 8-го класса. Каждое плечо состоит из 12 параллельных ветвей, содержащих по четыре последовательно соединенных диода.

В установке ВОППД-3,15к-1,4к-02 применяются лавинные диоды таблеточного типа ДЛ 153-1250 не ниже 24-го класса. Каждое плечо состоит из трех параллельных ветвей, включающих в себя по два последовательно соединенных диода.

Для равномерного распределения токов по параллельно соединенным ветвям последовательно соединенные диоды устанавливают так, чтобы обеспечить одинаковую сумму импульсных прямых напряжений в каждой ветви одного плеча с допустимым отклонением не более 0,05 В.

Выпрямитель сохраняет работоспособность при выходе из строя одного диода в любом плече моста.

**Выпрямительная установка возбуждения.** Для выпрямления и плавного регулирования силы тока в обмотках возбуждения тяговых двигателей при электрическом торможении предназначена выпрямительная установка возбуждения (ВУВ) (рис. 12.8).

К обмоткам двигателя подключены два блока ВУВ, которые работают поочередно в соответствующие полупериоды. Таким образом, через обмотки протекает ток, выпрямленный по двухполупериодной схеме с нулевой точкой. Блок ВУВ-758 электровоза ВЛ80<sup>р(с)</sup> имеет следующие технические характеристики:

Номинальное напряжение питания ВУВ (эффективное значение), В.....	1 175
Амплитудное значение номинального обратного напряжения, приложенного к выводам А—Б, В.....	580
Номинальное напряжение изоляции выводов А—Б, В.....	1 200
Среднее значение силы выпрямленного тока, А:	
номинального.....	850
20-минутного режима.....	1 300
Расход охлаждающего воздуха, м <sup>3</sup> /мин.....	17
Масса блока, кг.....	92

Изменение силы тока в обмотках возбуждения тяговых двигателей осуществляется регулированием угла открытия тиристоров

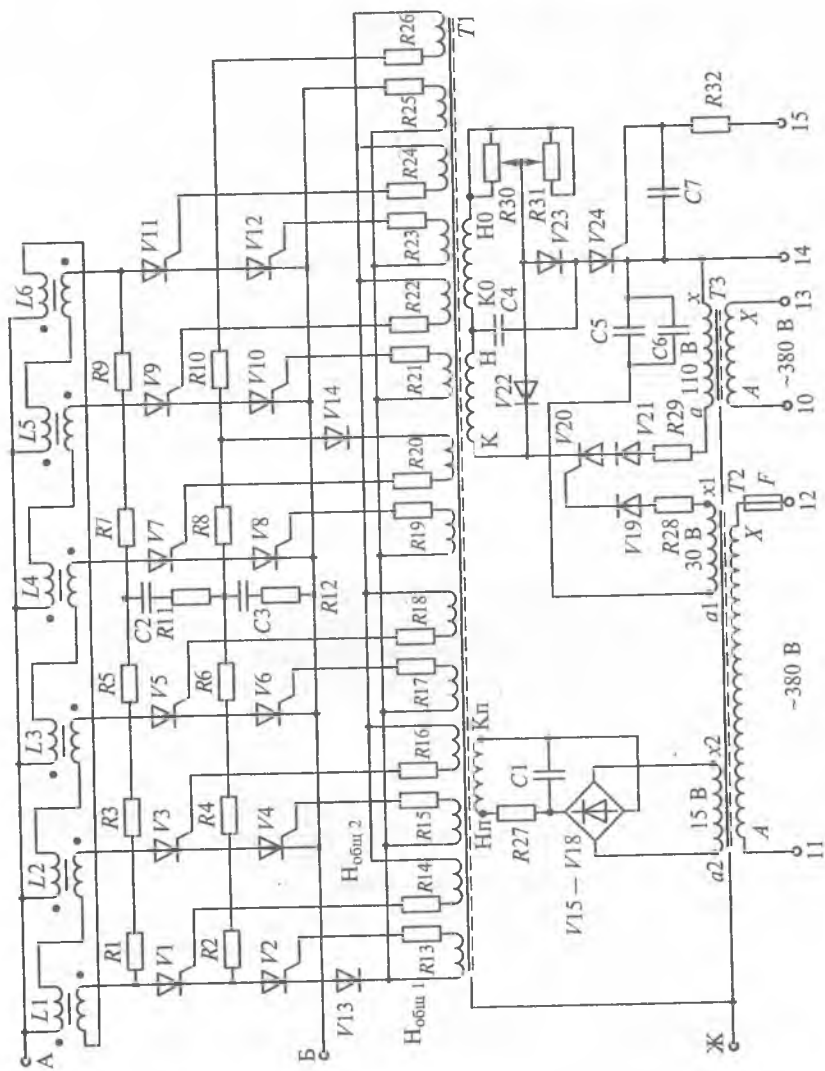


Рис. 12.8. Схема блока выпрямительной установки возбуждения

$V1 - V12$  путем подачи управляющих импульсов, формируемых схемой управления. В момент, когда на тиристоры  $V1 - V12$  подано обратное напряжение, импульсы управления в импульсном трансформаторе  $T1$  не формируются и тиристоры не проводят ток. В это время происходит заряд конденсаторов  $C5$  и  $C6$  через открытый тиристор  $V20$ , управляемый импульсами, формируемыми обмоткой  $a1 - x1$  трансформатора  $T2$ . Тиристор  $V24$  заперт. В следующий полупериод к тиристорам  $V1 - V12$  приложено прямое напряжение. Через открытый в этот полупериод тиристор  $V24$  происходит разряд конденсаторов  $C5$  и  $C6$ . В обмотках трансформатора  $T1$  формируются импульсы управления, которые открывают тиристоры, и они проводят ток.

Обмотка размагничивания  $Hп - Kп$ , включенная через выпрямительный мост  $V15 - V18$  и фильтр  $R27 - C1$  встречно обмоткам  $H - K$  и  $H0 - K0$ , изменяет магнитную индукцию сердечника трансформатора  $T1$  от максимального до минимального значения, что позволяет существенно уменьшить габаритные размеры сердечника при заданной длительности импульса. Индуктивные шунты  $L1 - L6$  предназначены для выравнивания силы тока в параллельных ветвях тиристоров.

Цепочки  $R11 - C2$  и  $R12 - C3$  служат для уменьшения амплитуды коммутационных перенапряжений. Резисторы  $R1 - R10$  позволяют применить общую  $R - C$ -цепочку для параллельно включенных тиристоров и распределять импульсы управления при соединении начала обмоток в общую точку.

Импульсный разделительный высоковольтный трансформатор осуществляет передачу импульсов по управляющим цепям тиристоров  $V1 - V12$ . Резисторы  $R13 - R26$ , включенные в обмотки управления, служат для выравнивания силы тока управления. Диоды  $V13$  и  $V14$  предназначены для исключения подачи отрицательного напряжения на управляющие электроды при перемагничивании сердечника.

Обмотка  $a2 - x2$  трансформатора  $T2$  питает обмотку размагничивания  $Hп - Kп$ . В обмотке  $a1 - x1$  формируются импульсы управления тиристором  $V20$ . Для изменения режима работы тиристора  $V20$  последовательно с ним установлен диод  $V21$ . Для устойчивой работы тиристора  $V24$  применен шунтирующий диод  $V22$ .

#### Контрольные вопросы

1. Каково назначение силовых выпрямителей электроподвижного состава? Перечислите основные требования к выпрямителям.
2. Что называется вольт-амперной характеристикой диода? Назовите ее основные участки.
3. Опишите конструкции силового диода и тиристора.
4. Каковы особенности конструкции и принцип действия управляемых и неуправляемых выпрямителей?

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОВЗОВ И ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

### 13.1. Схема силовых цепей электровоза постоянного тока

Электрические цепи ЭПС можно разделить на три группы: силовые цепи для питания тяговых двигателей, вспомогательные цепи (цепи вспомогательных машин) для питания электродвигателей вентиляторов, компрессоров, преобразователей, а также низковольтные цепи управления для управления коммутацией в силовой и вспомогательной цепи, включения и выключения различных устройств и аппаратов.

Принципиальные схемы тяговых силовых цепей электровозов выполняют разнесенным способом. Отдельные цепи на схеме располагают горизонтально одна под другой — они образуют параллельные строки.

Силовые цепи разных электровозов отличаются одна от другой прежде всего числом тяговых двигателей (4; 6; 8; 12 и 16). Кроме того, на построении схемы сказывается наличие или отсутствие рекуперативного либо реостатного торможения, используемый способ перехода от одного соединения двигателей к другому, число ступеней ослабления возбуждения и способы защиты силовых цепей.

Контакты аппаратов, не имеющие отключенного положения, изображают для положения, принятого за исходное (нормальное).

К таким аппаратам силовой цепи относятся реверсоры, тормозные и групповые переключатели. Для реверсоров исходным считают положение «Вперед», для тормозных переключателей — положение, соответствующее тяговому режиму, для групповых переключателей — последовательному соединению тяговых двигателей.

Очередность замыкания и размыкания контактов аппаратов силовой цепи определяется при разработке схем. Замыкание либо размыкание тех или иных контактов в заданной последовательности обеспечивается введением в цепь управления электровоза катушек вентиля, блокировок и других аппаратов. Переключения в цепи управления, а следовательно, и в силовой цепи осуществляют с помощью контроллера машиниста. Машинист, устанавливая главную рукоятку контроллера на ту или иную позицию, подключает провода цепи управления к источнику питания. При этом срабатывает определенный аппарат силовой цепи. Каждая позиция рукоятки контроллера фиксируется специальным образом,

чтобы исключить самопроизвольный переход с позиции на позицию без участия машиниста.

Для того чтобы выяснить, какие контакты контакторов замкнуты и какие разомкнуты при разных положениях рукоятки контроллера, т. е. чтобы проследить путь тока, силовую схему дополняют таблицей последовательности замыкания и размыкания контакторов. В ней для каждого вида соединения тяговых двигателей (С, СП и П) указаны позиции рукоятки контроллера. Пользуясь этой таблицей, можно узнать, какие контакторы (индивидуальные, группового переключателя или ослабления возбуждения) замкнуты и какие разомкнуты на каждой позиции рукоятки контроллера, а также в какой последовательности включаются и выключаются индивидуальные контакторы реостата и контакторы группового переключателя при переходе с одного соединения тяговых двигателей на другое.

На рис. 13.1 в качестве примера приведена несколько упрощенная принципиальная схема силовых цепей электровоза постоянного тока ВЛ10 для первой позиции главной рукоятки контроллера машиниста. Элементы электрического оборудования, входящие в схему, изображены условными графическими символами. Силовая схема имеет четыре горизонтальные строки. В двух верхних строках приведены элементы оборудования, относящиеся к 1-й секции кузова, а в двух нижних — ко 2-й. Силовые цепи секций подключены друг к другу межкузовными соединениями.

Прежде чем рассмотреть прохождение тока в силовой цепи, отметим следующее: элементы электрооборудования, рядом с буквенными обозначениями которых стоит цифра 1, размещены в 1-й секции электровоза (кузова), а элементы с цифрой 2 — во 2-й; на схеме для упрощения приведены не все обозначения, а только использованные при описании. Некоторые цепи, не упоминаемые при описании, не показаны.

В силовую цепь электровоза ВЛ10 входят дифференциальное реле РДФ, реле перегрузки РП и реле боксования (на схеме не показано), которые защищают силовую цепь при режимах, отличающихся от нормальных. Дроссель Др и конденсатор С необходимы для защиты схемы от радиопомех.

Электрический ток из контактной сети проходит через один из поднятых токоприемников, например Т1, крышевой разъединитель РК1, дроссель Др, обмотку дифференциального реле РДФ, быстродействующий выключатель БВ, линейный контактор 1—1 (в действительности их два для облегчения разрыва цепи), первую группу секций пускового реостата R1—R2 и контакторный элемент 2—1 группового переключателя ПкГ. Затем ток проходит через вторую группу секций пускового реостата R3—R4, шунт амперметра А, обмотку реле перегрузки РП1 в цепи тяговых двигателей I и II, нож отключателя ОД1—II, контакты Р1—II ревер-

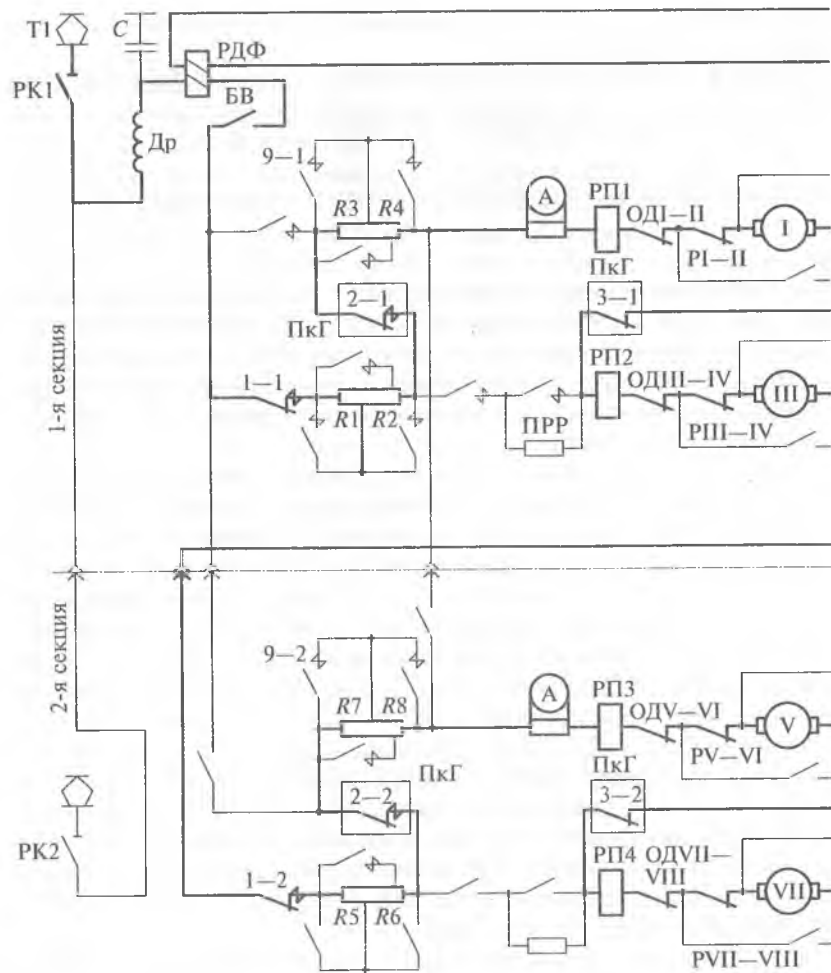
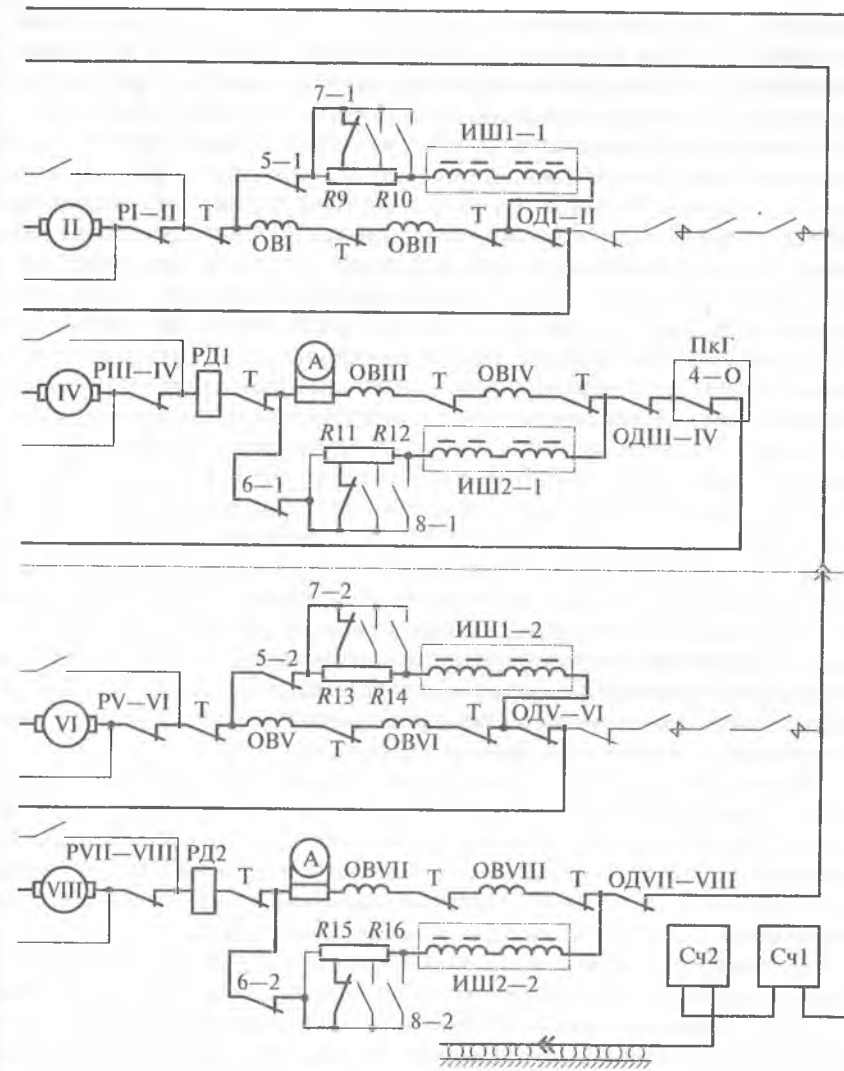


Рис. 13.1. Принципиальная схема силовых цепей электровоза постоянного тока

сора, обмотки якорей двигателей, контакты Р1—II реверсора, контакты тормозного переключателя Т, обмотку возбуждения ОВ1 двигателя I, контакты тормозного переключателя Т, обмотку возбуждения ОВII двигателя II, контакты тормозного переключателя Т и нож отключателя ОД1—II двигателя.

Далее ток через замкнутый контакторный элемент 3—1 группового переключателя проходит в цепь двигателей III и IV, в которую включены реле перегрузки РП2, отключатели и другие аналогичные элементы, упомянутые при описании прохождения тока в верхней строке схемы. Цепь двигателей III и IV отли-



чается от цепи двигателей I и II лишь наличием реле давления воздуха РД1 догрузателей.

Во 2-ю секцию ток проходит через замкнутый контакторный элемент группового переключателя 4—O (буква O означает, что контакторный элемент относится к групповому переключателю, общему для обеих секций кузова) и межкузовное соединение. Прохождение тока в силовой цепи 2-й секции аналогично его прохождению в 1-й. Силовая цепь замыкается на рельсы («землю»), с которыми находятся в постоянном контакте колесные пары, через вторую обмотку дифференциального реле РДФ и токовые обмотки

двух счетчиков электрической энергии Сч. На 1-й позиции рукоятки контроллера в цепь тяговых двигателей полностью введен пусковой реостат. Цепь, по которой проходит ток на 1-й позиции рукоятки контроллера, показана на схеме утолщенными линиями.

Отметим особенность схем силовых электровоза ВЛ10. На 1-й позиции рукоятки контроллера замкнуты контакты контакторов 5—1, 6—1, 5—2, 6—2, 7—1, 8—1, 7—2, 8—2, т.е. включена первая ступень ослабления возбуждения (75%) тяговых двигателей. Это противоречит утверждению о том, что ослабление возбуждения применяют только на ходовых позициях, и вызвано следующим. В процессе эксплуатации первой партии электровозов ВЛ10 недопустимо нагревались некоторые секции пускового реостата. Поэтому на локомотивах следующих выпусков была повышена мощность секций, т.е. увеличено число параллельно включенных элементов. Однако возникли трудности с их размещением, и пришлось уменьшить сопротивление пускового реостата на 1-й позиции. В результате сила тока тяговых двигателей на 1-й позиции превысила допустимую по условиям плавного трогания. При этом тяговые двигатели развивали бы больший крутящий момент и большее тяговое усилие. Чтобы сохранить первоначальное тяговое усилие при увеличившейся силе тока, пришлось уменьшить магнитный поток (применить ослабление возбуждения), а значит, и крутящий момент двигателей, так как при пуске ЭДС в якорях двигателей равна нулю и уменьшение потока возбуждения не вызывает изменения силы тока двигателей.

На 2-й позиции прекращается ослабление возбуждения и сила тяги возрастает. На 3-й позиции включается контактор 9—2 и тем самым выводится ступень пускового реостата R7—R8. При дальнейшем перемещении главной рукоятки контроллера происходит ступенчатое уменьшение сопротивления пускового реостата; оно выводится полностью на 16-й (ходовой) позиции.

Переходя с одной реостатной позиции на другую, машинист, ориентируясь на показания амперметров А, следит за тем, чтобы сила тока двигателей не превысила допустимую по условиям сцепления. Для предотвращения перегрева секций пускового реостата, рассчитанных на кратковременное включение, рукоятку контроллера задерживают на реостатных позициях не более чем на 30 с.

После того как рукоятка контроллера будет установлена на ходовую позицию, машинист для увеличения скорости применяет четыре ступени ослабления возбуждения. Чтобы еще больше увеличить скорость движения, он осуществляет переход на последовательно-параллельное соединение двигателей, но предварительно переводит их в режим полного возбуждения. Для этого сначала машинист устанавливает рукоятку контроллера на 17-ю позицию, и в силовой цепи происходят переключения двигателей на СП соединения. Затем, переводя рукоятку контроллера, он вновь сту-

пенями повышает сопротивление пускового реостата, увеличивая при этом напряжение, подводимое к двигателям. На 27-й позиции полностью выводится реостат; эта позиция является ходовой.

Затем машинист может вновь использовать четыре ступени ослабления возбуждения, и скорость движения поезда дополнительно возрастет. Предварительно переведя двигатели в режим полного возбуждения, машинист устанавливает рукоятку контроллера на 28-ю позицию, т.е. осуществляет переход на параллельное соединение двигателей. На 38-й позиции пусковой реостат выводится — эта позиция также ходовая.

При ведении поезда чаще всего осуществляют параллельное соединение двигателей и применяют при этом ослабление возбуждения. Если сила тока достигнет чрезмерно большого значения, например на крутом подъеме, то переходят на более низкую ступень ослабления возбуждения или на полное возбуждение.

В том случае, когда необходимо значительно понизить скорость, машинист переводит рукоятку контроллера с 38-й на 27-ю или 16-ю ходовую позицию.

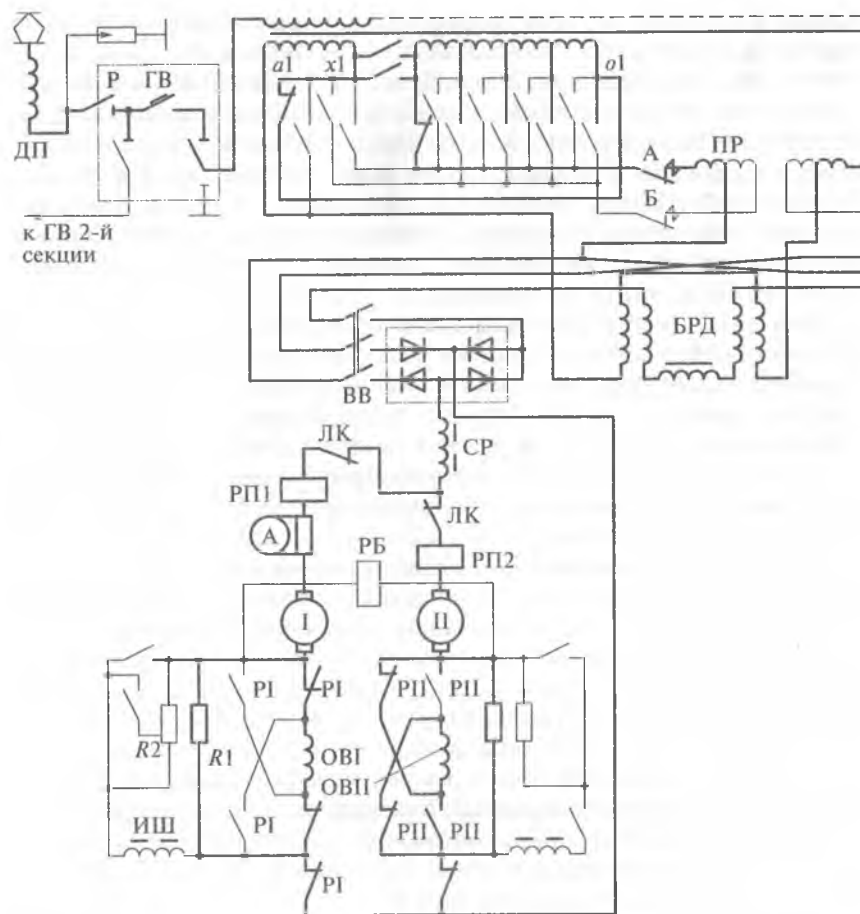
В процессе работы может произойти повреждение одного из тяговых двигателей. Чтобы поезд мог дойти до станции, предусмотрена возможность работы электровоза с двумя отключенными двигателями. Их отключают ножами отключателей двигателей. Например, при повреждении двигателя I ножами ОД1 и ОДН отключают двигатели I и II и электровоз работает по аварийной схеме.

Для учета расхода электрической энергии установлены два счетчика. Счетчик Сч1 учитывает расход электрической энергии на тягу поезда и собственные нужды. В режиме рекуперации диск этого счетчика вращается в направлении, противоположном направлению его вращения в режиме тяги. Счетчик Сч2 предназначен для учета только рекуперированной энергии.

На электровозах постоянного тока с тяговыми двигателями последовательного возбуждения для осуществления пуска и регулирования частоты вращения двигателей требуется большое число индивидуальных и групповых контакторов. Например, только для получения различных соединений секций пускового реостата на электровозе ВЛ10 установлен 21 индивидуальный электропневматический контактор. Реверсирование осуществляется изменением направления тока якорей тяговых двигателей.

### 13.2. Схема силовых цепей электровоза переменного тока

Рассмотрим несколько упрощенную принципиальную схему силовых цепей с неуправляемыми выпрямителями (рис. 13.2) секции восьмиосного электровоза переменного тока.



Ток от токоприемника проходит через дроссель ДП, снижающий уровень помех радиоприему, разъединитель Р, главный выключатель ГВ, первичную обмотку тягового трансформатора на рельсы через колесные пары.

Две вторичные обмотки  $a1-o1$  и  $o2-a2$  имеют несекционированную и секционированную части, которые могут включаться встречно и согласованно. От каждой вторичной обмотки питается отдельный выпрямитель. Наименьшее напряжение (58 В) подводится к тяговым двигателям при встречном включении обмоток, а наибольшее (1218 В) — при их согласованном включении. Все переключения во вторичной цепи трансформатора, обеспечивающие ступенчатое регулирование напряжения, подводимого к тяговым двигателям, выполняют с помощью главного контроллера. Переключение выводов секционированной обмотки трансфор-

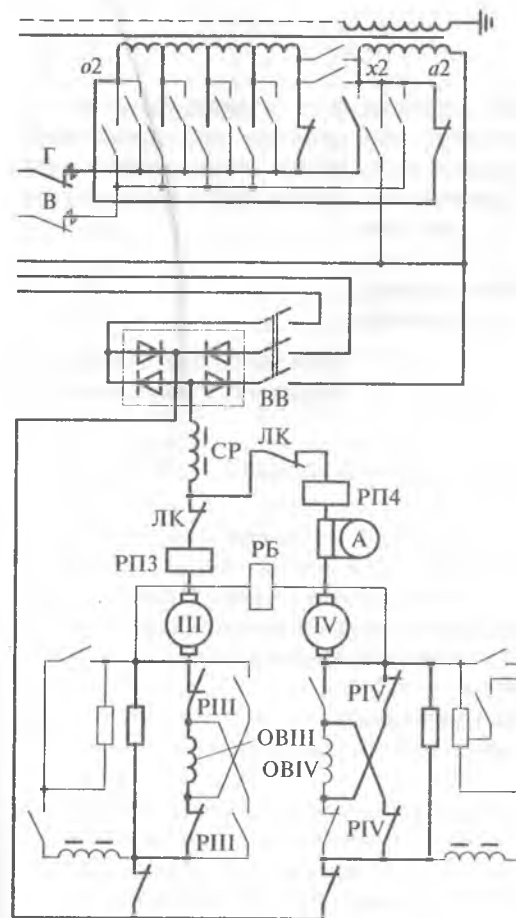


Рис. 13.2. Принципиальная схема силовых цепей электровоза переменного тока

матора производится без разрыва цепи тяговых двигателей с применением переходного реактора ПР.

Для того чтобы узнать, какие контакторные элементы замкнуты на каждой позиции главного контроллера, пользуются диаграммой замыканий, часть которой показана на рис. 13.3. Черные жирные линии на диаграмме соответствуют замкнутому положению контакторного элемента. Контактные элементы с дугогашением обозначают на схемах буквами А—Г. К тридцати контакторным элементам без дугогашения относятся и четыре элемента для переключения обмоток трансформатора на встречное или согласованное соединение.

В силовых цепях электровозов переменного тока обычно применяют небольшое число индивидуальных контакторов и все необходимые переключения выполняют с помощью групповых ап-

Обозначение силового контактора	Позиции переключателя									
	0	П1	1	2	3	29	30	31	32	33
Б	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
В	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
А	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Г	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
22				■	■					
26					■					
11		■	■	■	■					
15			■	■	■					
9						■	■	■	■	■
39						■	■	■	■	■

Рис. 13.3. Диаграмма замыкания контакторов главного контроллера

паратов. Поэтому специальных пометок, указывающих на принадлежность контактов к групповым переключателям, не делают.

Благодаря тому что пуск и регулирование скорости тяговых двигателей осуществляют изменением выпрямленного напряжения, оказалось возможным использовать постоянное параллельное соединение тяговых двигателей.

Необходимость в пусковых резисторах отсутствует. При наличии реостатного торможения силовая схема содержит тормозные резисторы.

Так как к тяговым двигателям подводится пульсирующий ток, их конструкция имеет некоторые особенности. Для уменьшения пульсаций (сглаживания тока) в цепь каждого двух тяговых двигателей после выпрямителя включен сглаживающий реактор СР.

В процессе нарастания силы тока (участок *ab* на рис. 13.4) в реакторе накапливается электромагнитная энергия, что препятствует резкому увеличению силы тока. При уменьшении силы тока



Рис. 13.4. Кривые выпрямленного тока без сглаживающего реактора (1) и при его наличии (2):

*ab*, *bc* — участки нарастания и спада силы тока соответственно

(участок *bc*) реактор отдает накопленную энергию в цепь, поддерживая ток. В результате пульсация тока в обмотках возбуждения значительно сглаживается. Для еще большего ослабления пульсации тока параллельно обмоткам постоянно включен шунтирующий резистор *R1* (см. рис. 13.2). Поскольку обмотки возбуждения обладают относительно большим индуктивным сопротивлением, переменная составляющая тока почти полностью проходит через резистор, имеющий чисто омическое сопротивление, и лишь ее незначительная часть — через обмотку возбуждения. Постоянная составляющая тока распределяется между обмоткой возбуждения и шунтирующим резистором обратно пропорционально омическим сопротивлениям параллельных цепей. Для того чтобы существенная часть переменной составляющей тока проходила через резистор, его омическое сопротивление должно значительно превышать омическое сопротивление обмотки возбуждения и соответствовать ослаблению возбуждения двигателя на 3...5%.

Следовательно, тяговые двигатели электровозов переменного тока постоянно работают в режиме несколько ослабленного возбуждения. Кроме того, предусмотрены три степени его ослабления при включении параллельно обмоткам возбуждения с помощью контакторов резистора *R2* (1-я степень), его части (2-я степень) и только индуктивного шунта ИШ.

Как и на некоторых электровозах постоянного тока, направление вращения якорей тяговых двигателей изменяют, переключая их обмотки возбуждения реверсором, имеющим контакты *P1* и *P1V*. С помощью отключателя можно отсоединить любой из тяговых двигателей в случае его неисправности. Если выйдет из строя какой-либо выпрямитель, его также можно отключить соответствующим выключателем вентилей *ВВ*. Одновременно отключают и линейные контакторы ЛК в цепи этой же группы двигателей.

Отметим следующую особенность подключения тяговых двигателей к выпрямительным установкам. Проще всего, казалось бы, включить их так, чтобы каждый выпрямитель питал одни и те же тяговые двигатели. Практически же этого делать нельзя, поскольку на четных позициях главного контроллера напряжения на двигателях будут неодинаковы.

Чтобы тяговые двигатели были нагружены одинаково и обеспечивали наибольшую силу тяги без нарушения сцепления колес с рельсами, плечи выпрямителей разомкнуты и включены так, как показано на упрощенной схеме рис. 13.5. В первый полупериод ток из обмотки *a1—o1* трансформатора проходит через плечо *VD1* выпрямителя, тяговый двигатель *I* (на схеме для упрощения показано по одному тяговому двигателю вместо двух) и плечо *VD3* в обмотку *a1—o1*.

Ток из обмотки *o2—a2* проходит через плечо *VD5*, тяговый двигатель *II*, плечо *VD7* и возвращается в обмотку *o2—a2*. На-



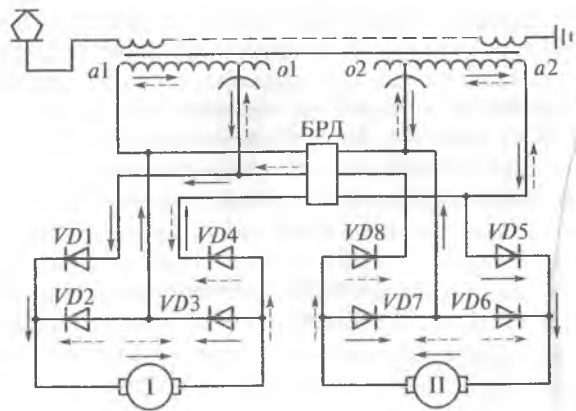


Рис. 13.5. Схема силовых цепей с разомкнутыми плечами выпрямительного моста

правления токов, соответствующие этому полупериоду, показаны на рис. 13.5 сплошными стрелками.

В следующий полупериод ток из обмотки  $o1 - a1$  проходит через плечо  $VD6$ , двигатель II, плечо  $VD8$  и возвращается в обмотку  $o1 - a1$  трансформатора. Ток из обмотки  $a2 - o2$  идет через плечо  $VD2$ , двигатель I, плечо  $VD4$  и возвращается в обмотку  $a2 - o2$ . Следовательно, в течение одного периода изменения тока двигатели поочередно подключаются сначала к одной («своей») вторичной обмотке, а затем к другой («чужой»). Тем самым обеспечивается одинаковое среднее напряжение на всех тяговых двигателях при неравных напряжениях во вторичных обмотках трансформатора.

### 13.3. Схема вспомогательных цепей электровоза постоянного тока

Построение электрической цепи вспомогательных машин зависит от значения напряжения и рода тока, выбранного для питания их привода, способов ограничения силы пускового тока, способа обогрева кабин электровоза, характера защиты цепей от перегрузок и коротких замыканий. Электрические цепи привода вспомогательных машин на электровозах постоянного и переменного тока значительно различаются.

Рассмотрим схему высоковольтных вспомогательных цепей секции электровоза постоянного тока ВЛ11, показанную на рис. 13.6. Вспомогательные цепи каждой секции включают в себя электромашинный преобразователь АМ—Г, электродвигатель компрессора МК, электродвигатель вентилятора МВ и восемь электриче-

ских печей Пч1—Пч8 мощностью 1 кВт каждая. Это оборудование объединено в общую цепь, для защиты которой от перегрузок и коротких замыканий применены различные реле (в частности, дифференциальные ДР1 и ДР2), воздействующие на быстродействующий выключатель БВ.

Электромашинный преобразователь, состоящий из двигателя и генератора, смонтированных на одном валу, служит для питания обмоток возбуждения тяговых двигателей в режиме рекуперации.

Электродвигатели вентиляторов могут работать в режимах высокой и низкой скорости. При работе в режиме высокой скорости к двигателям вентиляторов подводится полное напряжение контактной сети 3 кВ. Когда вентиляторы работают в режиме низкой

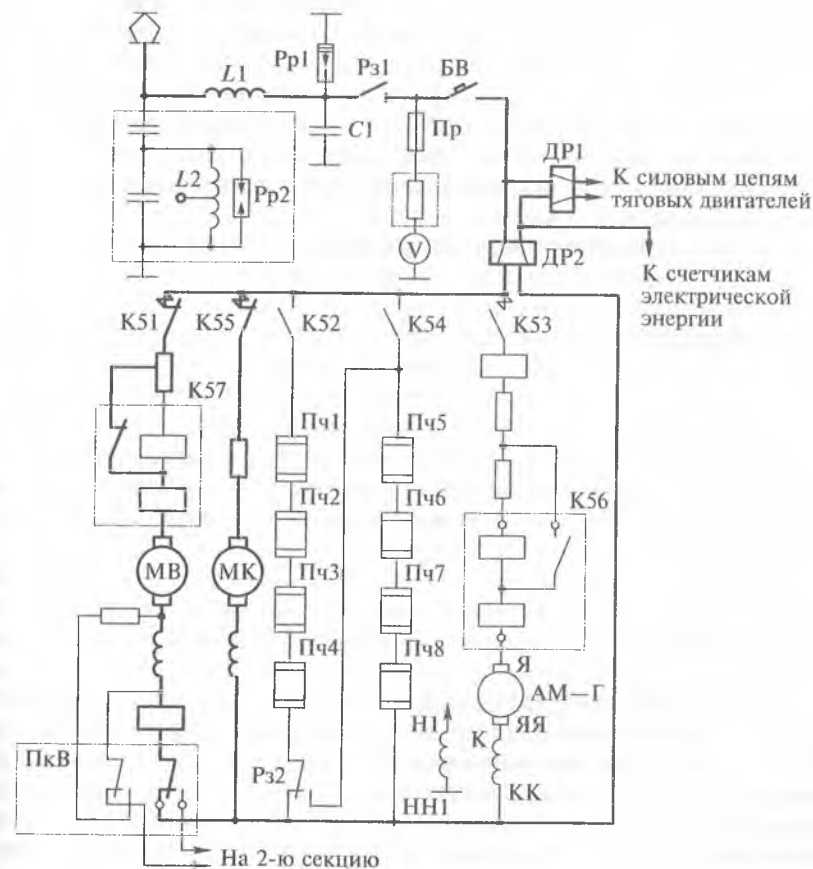


Рис. 13.6. Схема высоковольтных вспомогательных цепей электровоза постоянного тока

скорости на двухсекционном электровозе и двух двухсекционных электровозах, управляемых по системе многих единиц, соединяют последовательно два двигателя вентиляторов (на каждом двигателе напряжение 1,5 кВ), а на трехсекционном — три (на каждом двигателе напряжение 1 кВ). Переключение с одного режима на другой производится специальным дистанционным двухпозиционным переключателем вентиляторов ПкВ.

Переключатели вентиляторов могут быть кулачкового или барабанного типа. Электровозы ВЛ8 и ВЛ10 имеют переключатели, по своему устройству подобные реверсору. Разница заключается только в ином расположении кулачков. На электровозе ВЛ11 установлен переключатель барабанного типа. Так как генераторы управления приводятся во вращение двигателями вентиляторов, при переходе с высокой частоты вращения на низкую напряжение генераторов уменьшается. Если в режиме высокой частоты вращения напряжение каждого генератора равно 50 В, то при низкой частоте оно будет примерно в 2 раза меньше (25 В). Чтобы не нарушать нормальной работы цепи управления, генераторы управления также переключают с параллельного соединения на последовательное. Для этого используют переключатель вентиляторов с дополнительными сегментами и пальцами.

Кабины машиниста отапливаются электрическими печами Пч1 — Пч8, включенными в две параллельные группы, в каждой из которых четыре печи соединены последовательно. Для обогрева недействующей кабины машиниста последовательно соединяют восемь печей. Для этого необходимо поставить нож переключателя Рз2 в верхнее положение и включить соответствующую кнопку «Электрические печи I группы» (контактор К52).

На электровозах ВЛ8 и ВЛ10 в кабине машиниста установлено по шесть электрических печей, также разделенных на две параллельные группы. Локомотивная бригада может включить одну или две группы печей.

Кожухи печей надежно соединены (заземлены) с кузовом электровоза. Это предохраняет обслуживающий персонал от случайного попадания под высокое напряжение при повреждении изоляции печи.

Напряжение в контактном проводе иногда колеблется в очень широких пределах. В соответствии с этим изменяются частота вращения двигателей вентиляторов и напряжение генераторов управления. Чтобы автоматически поддерживать напряжение генераторов на постоянном уровне, используют специальные регуляторы напряжения. В зависимости от частоты вращения двигателей эти регуляторы изменяют силу тока возбуждения, вводя в цепь возбуждения или выводя из нее резисторы или подключая их параллельно обмоткам возбуждения.

Автоматическое включение и выключение компрессоров осуществляется специальным регулятором давления. Регулятор включает компрессор, когда давление в главных резервуарах достигает 900 кПа, и включает, когда оно понижается до 750 кПа. Разница давлений 150 кПа не сказывается на работе аппаратов, приводимых в действие сжатым воздухом (тем более что ко всем аппаратам, за исключением устройств пескоподачи и подачи звуковых сигналов, сжатый воздух подводится через понижающие редукторы), зато появляется возможность реже включать и выключать компрессоры. Это снижает расход электрической энергии и уменьшает износ оборудования.

Для облегчения пуска в цепях электродвигателя вентилятора и электромашиного преобразователя установлены электромагнитные контакторы К56 и К57, автоматически шунтирующие пусковые резисторы после того, как машины приведены в действие. В каждой вспомогательной цепи, содержащей двигателя, имеются постоянно включенные демпферные резисторы, ограничивающие силу тока в двигателях.

Вспомогательные машины и электрические цепи включаются электромагнитными контакторами К51 — К55, управление которыми осуществляется с помощью кнопочных выключателей из кабины машиниста. На рис. 13.6 во включенном положении находятся цепи мотор-вентилятора и мотор-компрессора.

#### 13.4. Схема вспомогательных цепей электровоза переменного тока

Рассмотрим схему высоковольтных вспомогательных цепей восьмиосного электровоза переменного тока на примере секции электровоза ВЛ80<sup>р</sup> (рис. 13.7). Расщепитель фаз ФР присоединен параллельно к шинам Х1 — Х3. Шины Х1 и Х2 подключены к обмотке собственных нужд трансформатора, рассчитанной на напряжение 400 В.

Пуск расщепителя фаз осуществляется с помощью пускового резистора R. Потребителями трехфазного тока являются асинхронные электродвигатели (с короткозамкнутым ротором) вентиляторов охлаждения тяговых двигателей (МВ1 и МВ2), спаренных вентиляторов охлаждения выпрямительно-инверторных преобразователей, сглаживающих реакторов и радиаторов тягового трансформатора (МВ3 и МВ4), вентилятора охлаждения блока стабилизирующих резисторов и выпрямительной установки возбуждения (МВ5), компрессора (МК) и масляного насоса системы охлаждения трансформатора (МН).

Перечисленные асинхронные двигатели включаются соответствующими контакторами; при этом включаются конденсаторы

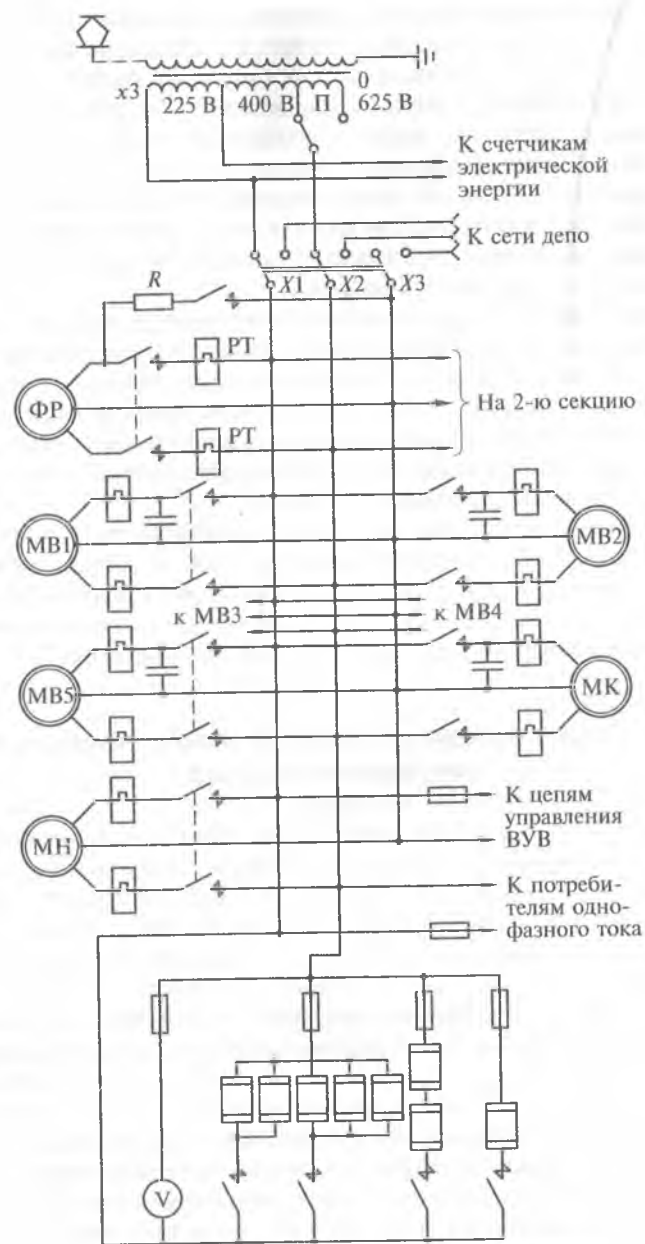


Рис. 13.7. Схема высоковольтных вспомогательных цепей электровоза переменного тока

между линейной и генераторной фазами двигателя (кроме электродвигателя МН), что облегчает пуск и условия работы двигателей, так как улучшается симметрия трехфазной системы.

Электродвигатель вентилятора МВ5 включается только в режиме рекуперативного торможения.

Отметим, что на электровозах ВЛ80 других модификаций установлены четыре двигателя для вентиляции силового оборудования каждой секции. Охлаждение оборудования, используемого в режиме торможения, осуществляется спаренными вентиляторами.

Все двигатели защищены от перегрузок и коротких замыканий тепловыми реле. От обмотки собственных нужд получают питание печи для обогрева кабины машиниста, обогреватели санитарного узла и нагреватели калорифера обдува лобовых стекол кабины.

В исключительных случаях допускается снижение напряжения в контактной сети до 19 кВ. Для того чтобы к вспомогательным машинам по-прежнему подводилось напряжение 400 В, с помощью переключателя П их подключают к выводу 0 обмотки собственных нужд трансформатора. Вольтметры, включенные во вспомогательные цепи, отградуированы по напряжению контактной сети.

### 13.5. Схемы управления токоприемниками

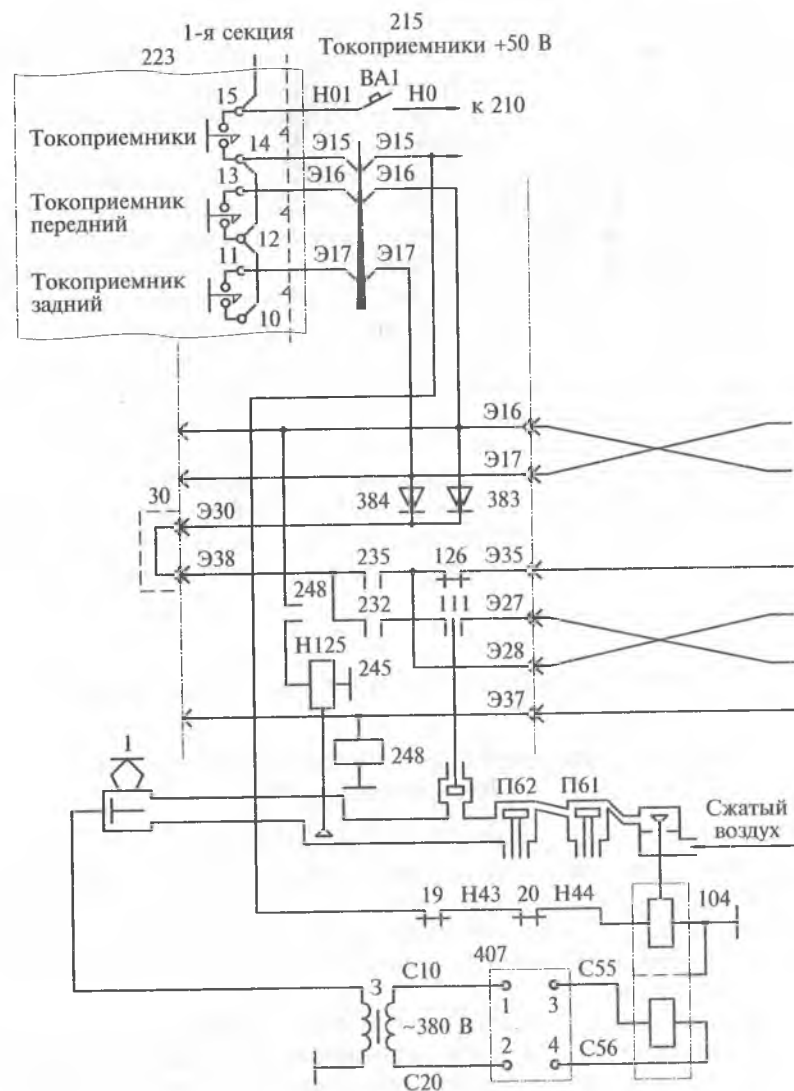
#### 13.5.1. Управление токоприемниками электровоза переменного тока

В отличие от принципиальных схем полумонтажные схемы весьма разнообразны, содержат значительно больше информации и служат не только для изучения принципа и последовательности работы узла, но и позволяют находить и устранять неисправности. В полумонтажных схемах указаны номера проводов, клеммных реек, блокировок реле и т. д.

В практической работе следует пользоваться только той полумонтажной схемой, которая соответствует данному электровозу. Даже для электровозов одной серии возможны существенные различия в исполненных схемах.

Рассмотрим полумонтажные схемы особо важных узлов — подъема токоприемника и защиты силовой цепи.

Питание цепей управления токоприемниками электровоза ВЛ80 осуществляется от распределительного щита 210 (рис. 13.8) через выключатель ВА1. Для подъема токоприемников необходимо включить кнопки «Токоприемники» и «Токоприемник передний» (подъем токоприемника 1-й секции) или «Токоприемник задний» (подъем токоприемника 2-й секции). После этого подается питание на провод Э15 и через контакты разъединителей 19



и 20 — на катушку вентиля 104 защиты. Через возбужденный вентиль 104 и пневматические блокировки ПБ1 и ПБ2 закрытых дверей и штор высоковольтной камеры воздух подается к клапану электромагнитного вентиля 245 токоприемника. Одновременно по цепи 210—Н0—ВА1 «Токоприемники»—Н01—кнопки «Токоприемники» и «Токоприемник передний» (или «Токоприемник задний») — Э16 (или Э17)—диод 383 (или 384)—Э30—30—Э38—232 (или 235)—Э28—126—Э35—126—Э28—232 (или 235)— Э38—37 (при одиночной работе электровоза вилка 37 со-

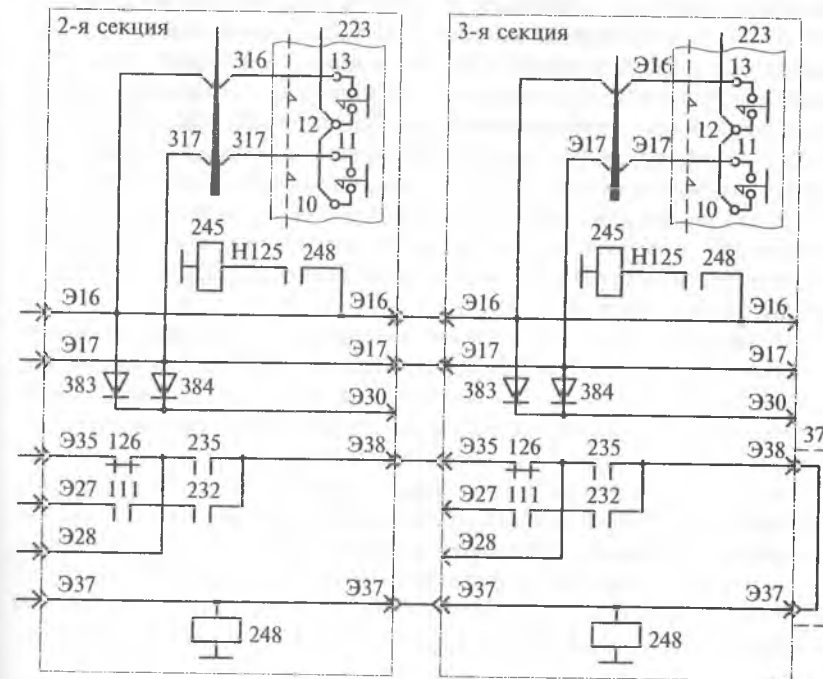


Рис. 13.8. Схема электрических соединений, обеспечивающих управление токоприемником трехсекционного электровоза переменного тока

единяет друг с другом провода Э38 и Э37 2-й секции) — Э37 получает питание катушка реле 248.

Реле 248 своими контактами в проводах Э16—Н125 включает клапан токоприемника 245 передней или задней секции, а контактами в проводах Э13—Н68 и Н19—Н85 (см. также рис. 13.10) подает питание на удерживающую и включающую катушки главных выключателей обеих секций.

Подъем токоприемника любой секции возможен только при закрытых шторах и дверях высоковольтных камер обеих секций.

Схемой цепей управления токоприемниками предусматриваются следующие блокирования. Если двери высоковольтных камер секций электровоза открыты, то пневматические блокировки ПБ1 и ПБ2 перекрывают поступление воздуха к клапану токоприемника и подъем токоприемника невозможен. Контроль за блокированием высоковольтной камеры 2-й секции осуществляет пневматический выключатель управления 232, который в пневматической цепи включен после пневматических блокировок штор. Поэтому, если высоковольтная камера не заблокирована пневматическими блокировками, то доступ воздуха к пневматическому выключателю 232 закрывается и он своим контактом прерывает цепь питания реле 248, которое, в свою очередь, прерывает электрическую цепь питания клапана токоприемника. Подъем токоприемника в этом случае невозможен.

Если разъединитель 19 или 20 находится в положении, соответствующем питанию двигателей от сети депо, то контактом разъединителя разрывается цепь питания вентиля защиты, который в выключенном положении перекрывает поступление воздуха к пневматическим блокировкам и клапану токоприемника.

В случае когда будут выключены кнопки «Токоприемники», «Токоприемник передний» и «Токоприемник задний», а сам токоприемник по какой-либо причине не опустился, при включенном главном выключателе вход в высоковольтную камеру будет невозможен. В этом случае обмотка переменного тока вентиля 104 обтекает током, клапан вентиля не выпускает воздух из пневматических блокировок, и шторы двери остаются закрытыми.

Если необходимо поднять токоприемник 1-й секции, не накачивая воздух в пневматическую систему 2-й секции (пневматический выключатель 232 отключен), то контроль за блокированием высоковольтной камеры 2-й секции осуществляется блокировочным устройством 235. Включение контактов этого устройства возможно только при закрытых шторах и дверях высоковольтной камеры, а также ключах, вынутых из замков штор высоковольтной камеры, вставленных в замки блокировочного устройства 235 и повернутых на угол 90° в положение «Реле давления зашунтировано». Включение контактов устройства 235 возможно ключами замков штор высоковольтной камеры только своей секции.

Если необходимо перейти в режим работы включения электродвигателя компрессора на отключенной секции, когда включаются разъединители 126 1-й и 2-й секций, то поднять токоприемник можно только при отключенном в среднее положение переключателе 111 вспомогательных цепей в одной из секций. При этом контактом переключателя 111 шунтируются отключенные контакты разъединителей 126 1-й и 2-й секций. Это блокирование необходимо для предотвращения включения обмоток собственных нужд тяговых трансформаторов 1-й и 2-й секций на парал-

лельную работу. При параллельной работе указанных обмоток и отключении на одной из секций главного выключателя от действия аппаратов защиты возникает трансформация напряжения обмотки 380 В на обмотку 25 кВ на отключенном трансформаторе, что может привести к повреждениям в секции.

Реле 248 предназначено для обеспечения опускания токоприемника без тока. При поднятом одном переднем (или заднем) токоприемнике в случае выключения кнопки «Токоприемник передний» («Токоприемник задний» или «Токоприемники») реле 248 отключается и своими контактами обеспечивает отключение клапана токоприемника и главных выключателей. В связи с тем что главный выключатель отключится раньше, чем начнет опускаться токоприемник, отрыв полоза токоприемника от контактного провода будет происходить без тока. При поднятых токоприемниках (переднем и заднем), если необходимо быстро отключить главные выключатели и токоприемники, следует выключить общую кнопку «Токоприемники».

Панели диодов 383 и 384 необходимы для отдельного питания вентиля 245 токоприемников 1-й и 2-й секций.

Вилки 30 и 37 обеспечивают блокирование высоковольтных главных выключателей и токоприемников в случаях понижения до недопустимого значения давления воздуха в цепи вентиля токоприемника при отстое электровоза в депо.

### 13.5.2. Управление токоприемниками электровоза постоянного тока

На электровозе ВЛ11 перед подъемом токоприемника необходимо главную рукоятку контроллера машиниста в секции, откуда производится управление электровозом, установить на нулевую позицию, отключить силовую цепь электровоза от шин депоского питания Ш1 и Ш2 (ножи шинных разъединителей во всех секциях должны находиться в нижнем положении), закрыть двери ВВК и люки крыш всех секций и включить аккумуляторные батареи в каждой секции. Выполнение этих операций контролируется контактами ВУП1 и разъединителем Рз3. При давлении воздуха под поршнем пневматического выключателя управления ВУП1 300...350 кПа его контакты замыкаются.

При отсутствии сжатого воздуха на электровозе подъем токоприемника возможен с помощью вспомогательных компрессоров, для пуска которых необходимо включить импульсную кнопку «Вспомогательный компрессор» на выключателе БлКн5. При этом от провода 304 через предохранитель Пр, контакты кнопки «Вспомогательный компрессор» напряжение подается на катушку контактора К70. Контакторы К70 всех секций включаются, и напряжение от аккумуляторной батареи через провода 304 и главные

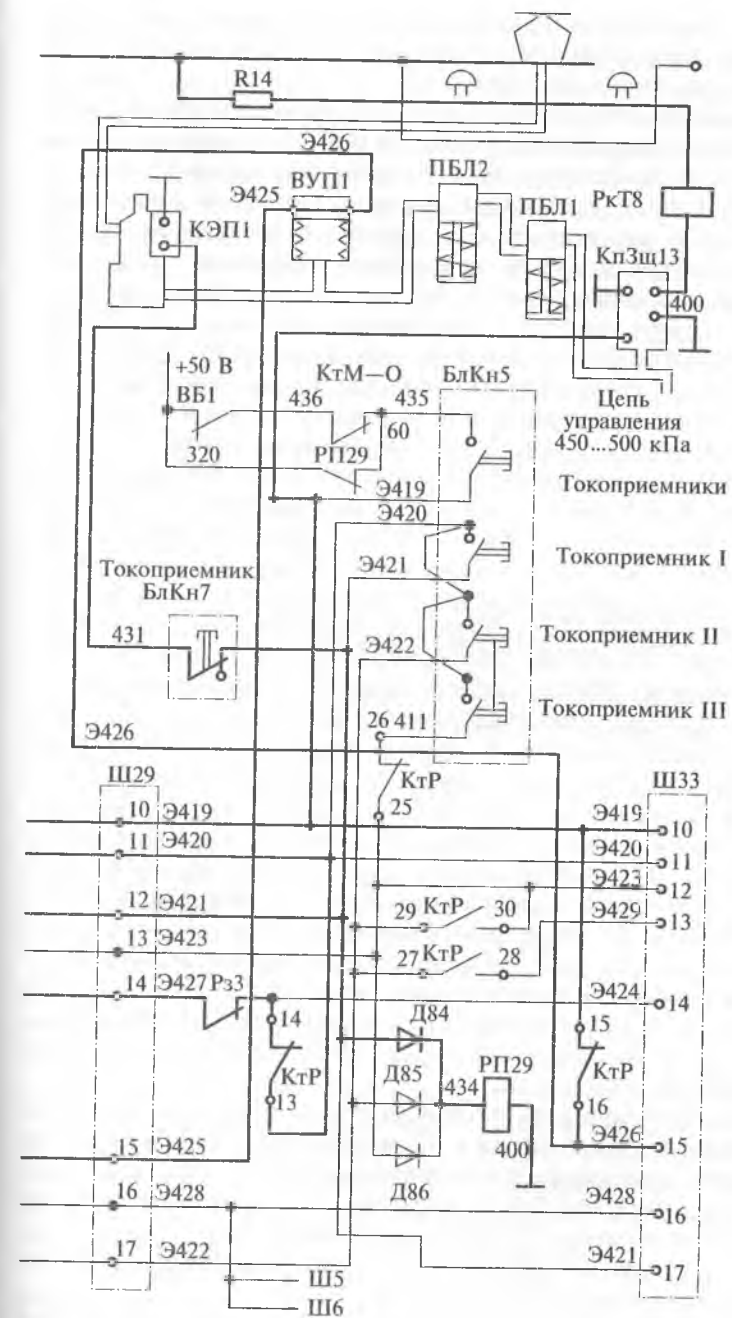
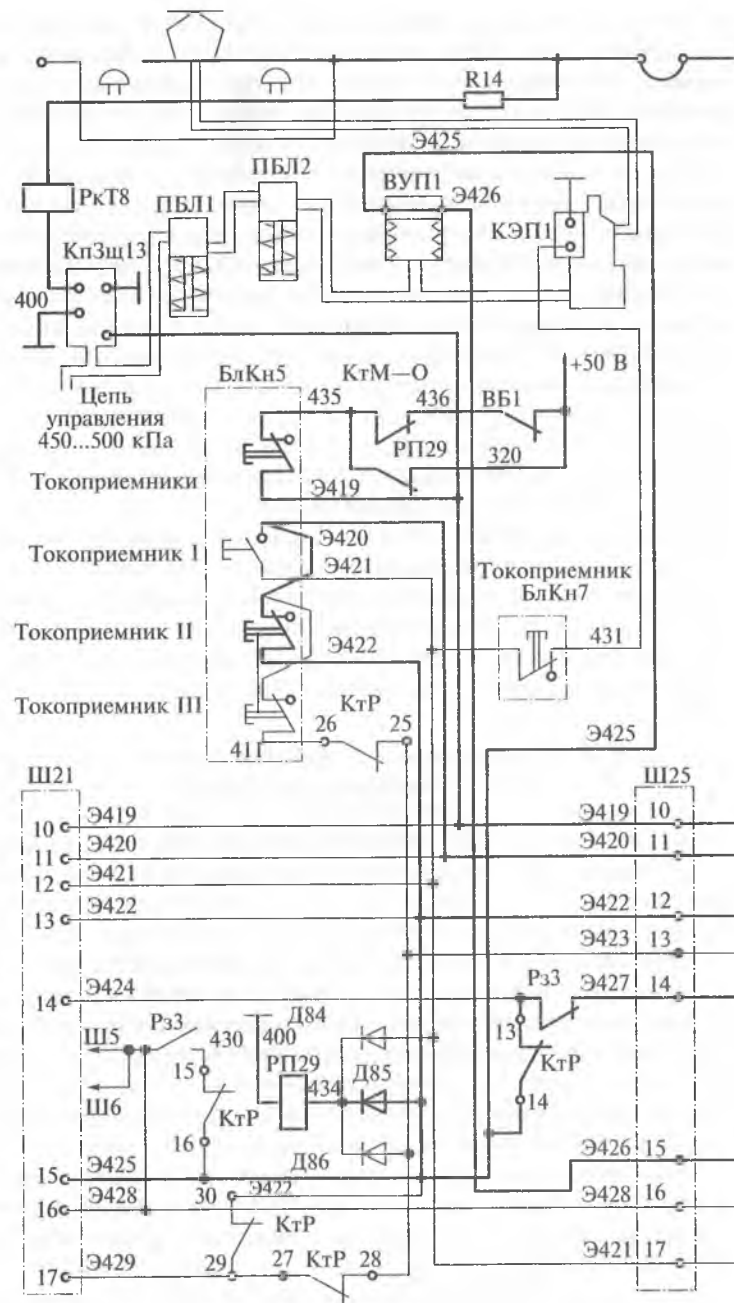


Рис. 13.9. Схема электрических соединений, обеспечивающих управле-

ние токоприемниками двухсекционного электровоза постоянного тока

контакты контакторов К70 подается к электродвигателям вспомогательных компрессоров МК10 каждой секции. Происходит пуск электродвигателей компрессоров.

Для подъема токоприемника с помощью вспомогательного компрессора специальных переключений в пневматической схеме не требуется. Воздух от вспомогательного компрессора через предохранительный клапан и обратный клапан поступает к вентилям клапана КпЗщ13 (вентиля защиты), быстродействующего выключателя и манометру на пульте помощника машиниста.

По достижении давления 500 кПа для подъема токоприемника необходимо нажать кнопку «Токоприемники» на выключателе БлКн5. При этом от автоматического выключателя В21 (рис. 13.9), установленного в кабине, через провод 320, вспомогательный контакт ВВ1 быстродействующего выключателя, провод 436, контакт 4—12 контроллера машиниста, замкнутый при нулевом положении главной рукоятки, провод 435, контакт кнопки «Токоприемники» ведущей секции и провод Э419 напряжение подается на низковольтные катушки вентиля защиты всех секций. После включения клапана КпЗщ13 сжатым воздухом блокируются двери ВВК и крышечные люки и включаются электрические контакты выключателей управления ВУП1 всех секций. Затем напряжение от провода Э419 через замкнутый контакт КТР секции Б, провод Э426, замкнутый контакт ВУП1, провод Э425, межсекционное соединение, провод Э426, замкнутый контакт ВУП1 секции А, провод Э425, замкнутый контакт КТР, разъединитель Рз3, провод Э427, межсекционное соединение, провод Э427, разъединитель Рз3 секции Б, провод Э424, замкнутый контакт КТР и провод Э420 подается на кнопки «Токоприемник I», «Токоприемник II» и «Токоприемник III». Из условия допустимой токовой нагрузки на один токоприемник на трех- и двухсекционных электровозах, управляемых по СМЕ, необходимо одновременно поднимать по два токоприемника — 2-й и 3-й, 2-й и 4-й соответственно по ходу поезда. Для обеспечения одновременного подъема и работы двух токоприемников на трехсекционном электровозе кнопки «Токоприемник II» и «Токоприемник III» кнопочного выключателя БлКн5 механически спарены.

При нажатии кнопки «Токоприемник» напряжение по проводу Э421 через контакт кнопки «Токоприемники» выключателя БлКн7 подается на клапан токоприемника КЭП1. При этом поднимается токоприемник 1-й по ходу поезда секции. При нажатии кнопок «Токоприемник II» и «Токоприемник III» подается напряжение на клапаны КЭП 2-й и 3-й секций и токоприемники этих секций поднимаются.

В случае работы двух электровозов по системе многих единиц при нажатии кнопки «Токоприемник I» поднимаются токоприемники 1-й и 3-й по ходу поезда секций, а при нажатии кнопки

«Токоприемник II» — 2-й и 4-й. Одновременно от проводов Э421, Э422 и Э423 через диоды Д84, Д85 и Д86 напряжение подается на катушку промежуточного реле РП29. Реле срабатывает и замыкающим контактом шунтирует контакт 11—12 контроллера машиниста, замкнутого только на нулевой позиции главной рукоятки в цепи проводов 436 и 435, обеспечивая при этом питание на проводе 435 с 1-й по 48-ю позицию. Контакт 11—12 исключает возможность подъема токоприемника при нахождении главной рукоятки контроллера машиниста не на нулевой позиции.

На двухсекционном электровозе рекомендуется поднимать задний по ходу поезда токоприемник, а на трехсекционном — 2-й и 3-й. После подъема токоприемников с подачей напряжения на токоприемник срабатывает реле контроля тока и его контактом размыкается цепь сигнальной лампы РКЗ реле контроля защиты. Если это произошло во всех секциях, то лампа РКЗ на пульте машиниста гаснет, что свидетельствует о наличии напряжения на токоприемнике и исправности силовой катушки защитного вентиля.

### 13.5.3. Цепи управления главными выключателями электровоза переменного тока

Включение главных выключателей электровоза ВЛ80 (рис. 13.10) возможно только при закрытых дверях и шторах высоковольтных камер (контролируется реле 248).

Для включения главного выключателя необходимо включить выключатель ВА1, кнопки «Токоприемники», «Токоприемник передний» (или «Токоприемник задний») и кнопку «Выключение ГВ», а также одновременно (на 1...3 с) включить кнопку с самовозвратом «Включение ГВ и возврат реле». При этом включением кнопки «Выключение ГВ» подается напряжение на удерживающую катушку главного выключателя по цепи Н88—61—62 (КМЭ) — Э13—248—Н68—ПР—Н72—ГП0—Н73—204 (катушка реле времени 204 получает питание по проводу Н72 через контакт ГП поз. 1) — Н74—88—Н75—113—Н76—РТВ1 (только на 1-й секции) — Н77—РМТ (4). Включением кнопки «Включение ГВ и возврат реле» подается напряжение на включающую катушку главного выключателя по цепи Э14—510—Н19—248—Н85—ПР—Н99—ГП0—Н86—207—Н87—БП—Н84—4. Удерживающая и включающая катушки главного выключателя соединены с «землей» через контакт реле РД минимального давления воздуха.

После включения главного выключателя размыкается собственный контакт в цепи включающей катушки и замыкается контакт в цепи питания катушки реле 207. Реле 207 включается, самоблокируется и размыкает контакт в цепи включающей катушки ГВ, что предотвращает повторное включение главного выключателя.

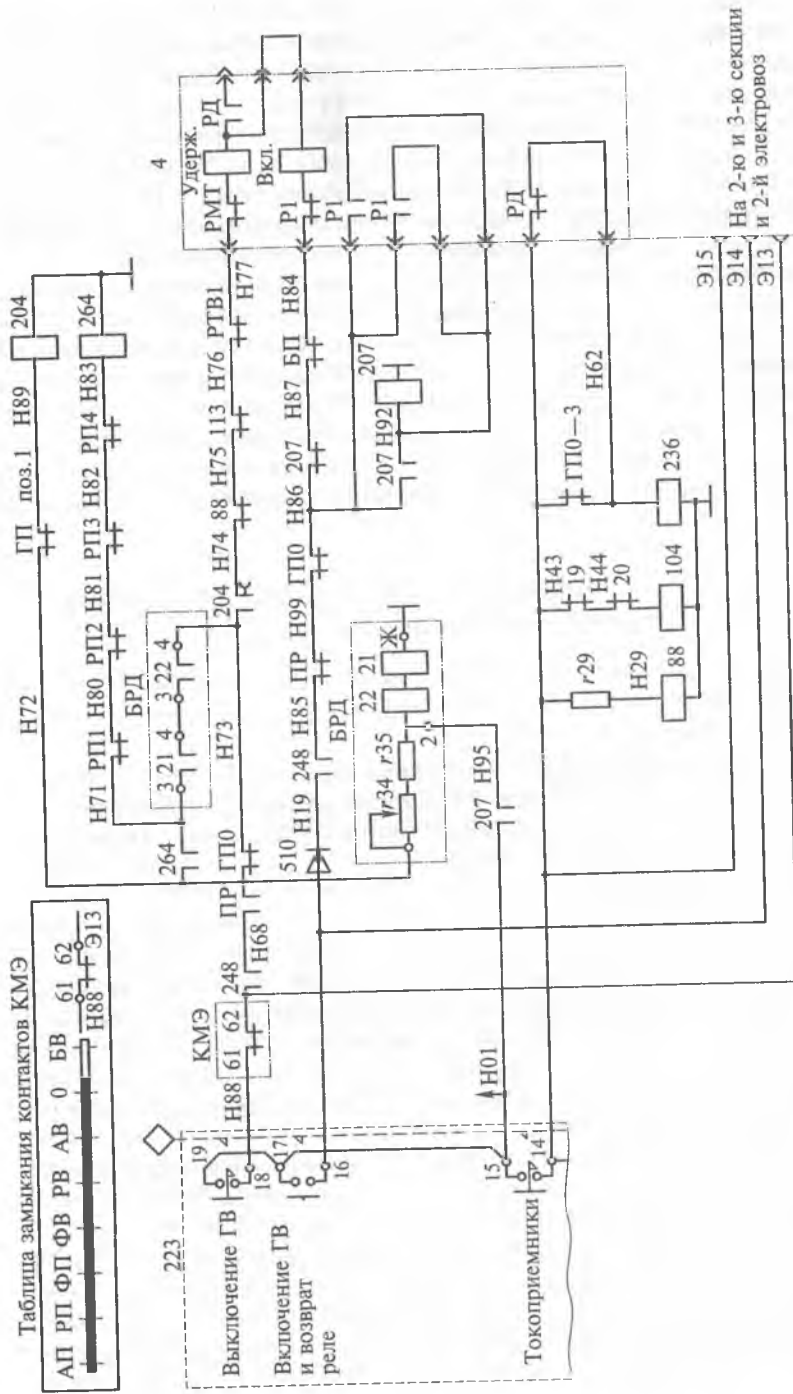


Рис. 13.10. Схема управления главным выключателем

чателя при возможном коротком замыкании в силовой цепи. Реле 207 находится во включенном положении только в период нажатия кнопки «Включение ГВ и возврат реле» и камер трех секций при работе по СМЕ.

Вилка 30 (см. рис. 13.8) вставляется в лобовую розетку 487, а вилка 37 — в розетку 487 3-й секции. Этим достигается последовательное включение контактов реле 232 давления воздуха и блокировочных устройств 235 каждой секции. Они замыкают при заблокированных дверях и шторах камеру цепи питания реле 248, с помощью которого обеспечивается поднятие токоприемника и включение главного выключателя. При одиночной работе электровоза в розетку 487 1-й секции вставляется вилка 30, а в розетку 487 2-й секции — вилка 37. Эта же схема включения вилок 30 и 37 сохраняется у каждого электровоза при их работе по СМЕ. Вилки 30 и 37 можно менять местами. Требуемая последовательность включения контактов аппаратов 232 и 235 от этого не нарушается.

При самостоятельной работе секции вилка 30 вставляется только в розетку 487, а вилка 286 — в розетку 286. При этом в цепи катушки реле 248 соединяются провода: Э30 — с Э38 и Э35 — с Э37.

Вилки 30 и 37 представляют собой диски со штырями и переключателями между ними. Такая конструкция позволяет закрывать крышку розетки при вставленной в нее вилке.

При включении кнопок «Токоприемники», «Токоприемник передний» или «Токоприемник задний» в кабине головной секции при работе трех секций по СМЕ поднимается передний или задний токоприемник сцепа из трех секций, а при работе двух электровозов по СМЕ — передний или задний токоприемник на каждом электровозе. При работе трех секций по СМЕ для исключения в нормальных режимах работы электровоза поднятия токоприемника во 2-й (средней) секции разобщительный кран у клапана токоприемника на этой секции должен быть отключен.

Выключатель 232 (см. рис. 13.10) также обеспечивает отключение реле 248 и, следовательно, главных выключателей и токоприемников в случаях понижения до недопустимого значения давления воздуха в цепи вентиля токоприемника при отстое электровоза в депо.

Включение реле 207 после включения главного выключателя производится с целью исключения задержки последнего в промежуточном положении из-за преждевременного отключения включающей катушки ГВ контактом реле 207 с проводами Н86—Н87.

Контакт ГП0 главного контроллера и контакт блокировочного переключателя БП в цепи включающей катушки ГВ соответственно обеспечивают включение ГВ только на нулевой позиции ГП, когда значение силы тока якорей тяговых двигателей равны нулю, и исключают включение ГВ в режиме электрического торможения.



Катушка промежуточного реле 264 получает питание по проводу Н72 цепи питания удерживающей катушки ГВ через контакт главного контроллера ГП0, контакты включенных дифференциальных реле 21 и 22 блока дифференциальных реле БРД и контакты реле перегрузки РП1—РП4.

После перехода вала ГП с нулевой позиции катушка реле 264 будет продолжать получать питание через собственный контакт, а удерживающая катушка главного выключателя — через контакт главного контроллера ГП0 или последовательно соединенные контакты реле 264 и дифференциальных реле 21 и 22.

Катушка ГВ отключается тогда, когда прекращается питание удерживающей его катушки. Это происходит при установке главной рукоятки КМЭ в положение БВ, выключении кнопки «Выключение ГВ», установке переключателя режимов УТР в отключенное положение, срабатывании одного из реле защиты — 264, 21, 22, 204, 88, 113, РТВ1, РМТ (4) или РД (4), отключении реле 248 и отключении выключателя ВА1.

При включении кнопки «Токоприемники» по проводу Э15 через контакт ГП0—3 (разомкнут на позициях ГП выше 3-й) подается напряжение на катушку промежуточного реле 236. Это реле, включившись, разрывает своими контактами цепь питания (напряжением 380 В) отключающего электромагнита переменного тока ГВ, что исключает ложные отключения ГВ на позициях 0—3 вала главного контроллера ГП.

Для предотвращения сгорания резистора и отключающего электромагнита переменного тока при пониженном давлении воздуха в резервуаре выключателя в цепь катушки реле 236 включен контакт реле давления воздуха главного выключателя.

Панель диодов 510 в цепи включающей катушки ГВ исключает паразитную цепь питания реле 207 по проводу Э13 через удерживающую и включающую ГВ катушки при отключенном реле давления РД.

#### 13.5.4. Цепи управления быстродействующими выключателями электровоза постоянного тока

Для включения быстродействующего выключателя нажимают кнопку БВ на выключателе БлКн5. При этом напряжение от аккумуляторной батареи, автоматический выключатель В21, вспомогательный контакт ВВ1, контакт КтМ, провод 320 и контакт кнопки БВ выключателя БлКн5 подается на провод Э404 (рис. 13.11). Затем через контакт кнопки БВ выключателя БлКн7, провод 405, резистор R36, провод 416, катушку реле РДФ1, провод 400, корпус электровоза и параллельно через размыкающий контакт реле РТ34 перегрузки преобразователя, провод 414, резистор R37, провод 415, катушку реле РДФ2, провод 400 и корпус

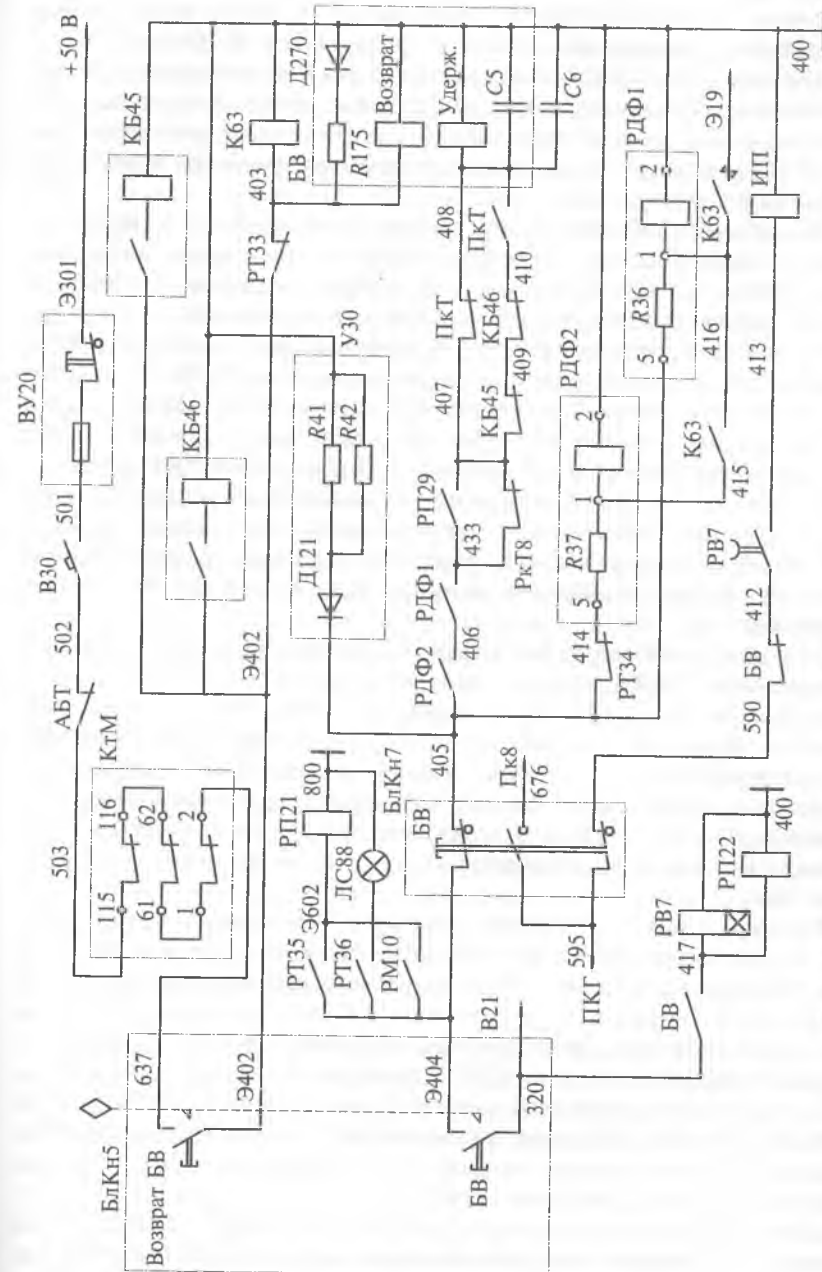


Рис. 13.11. Схема управления быстродействующим выключателем

напряжение подается на катушки дифференциальных реле РДФ1 тяговых электродвигателей и РДФ2 вспомогательных машин. Однако реле РДФ1 и РДФ2 не срабатывают, так как в последовательной цепи резистор — катушка реле (R36 и РДФ1 или R37 и РДФ2) сила тока не достигает уставки. Параллельно удерживающей катушке БВ и катушкам дифференциальных реле подключен шунтирующий контур R41 и Д121, необходимый для ограничения ЭДС самоиндукции, возникающей при разрыве цепи удерживающей катушки БВ.

При кратковременном нажатии на импульсную кнопку «Возврат БВ» напряжение от провода 503 по цепи, содержащей контакты 115—116, 61—62 и 1—2 контроллера машиниста, замкнутые на нулевых позициях тормозной, реверсивной и главной рукояток соответственно, провод 637, контакт кнопки «Возврат БВ», провод Э402, размыкающий контакт реле тока РТ33 перегрузки двигателя вентилятора и провод 403, подается на катушки контактора К63 и вентиля «Возврат БВ». При возбуждении вентиля сжатый воздух поступает в цилиндр БВ и вызывает перемещение включающего рычага. Одновременно включается контактор К63. От аккумуляторной батареи через замыкающие силовые и вспомогательные контакты контактора К63 получают форсированное питание катушки дифференциальных реле РДФ1 и РДФ2, и они срабатывают.

От провода 405 через замыкающий контакт реле РДФ2, провод 406, контакт РДФ1, провод 433, контакт РП29 (контакты реле РКт8 разомкнуты, так как поднят токоприемник), провод 407, контакт тормозного переключателя ПКТ, замкнутый при положении переключателя в тяговом режиме, и провод 408 питание подается на удерживающую катушку БВ. Якорь удерживающего электромагнита притягивается к полюсам, но силовые контакты выключателя остаются разомкнутыми до опускания кнопки «Возврат БВ».

После отключения кнопки «Возврат БВ» теряют питание катушки контактора К63 и вентиля «Возврат БВ». При этом включается БВ и переключаются его вспомогательные контакты. Получают питание катушки реле времени РВ7 и промежуточного реле РП22 (размножитель вспомогательных контактов БВ). Замыканием контактов реле времени РВ7, имеющего выдержку при возврате 3...5 с, подготавливается цепь катушки счетчика ИП отключений БВ. Катушки дифференциальных реле после отключения контактора К63 продолжают получать питание через добавочные резисторы R36 и R37 от провода 405.

В режиме рекуперации после поворота вала переключателя ПКТ в тормозное положение удерживающая катушка БВ получает напряжение по цепи провод 405 — замыкающие контакты дифференциальных реле РДФ2 и РДФ1 — реле РП29 — провод 407 —

вспомогательный контакт ПКТ — провод 410 — размыкающие вспомогательные контакты быстродействующих контакторов КБ45 и КБ46 — провод 408.

Быстродействующие контакторы имеют размыкающие силовые контакты, которые при коротком замыкании в цепи тяговых электродвигателей отключаются и удерживаются в выключенном положении защелкой. Если силовые контакты одного или обоих быстродействующих контакторов находятся в разомкнутом положении, то их замыкающие вспомогательные контакты замкнуты (нормальное положение силовых контактов быстродействующих контакторов замкнутое) и при нажатии импульсной кнопки «Возврат БВ» от провода Э402 через замыкающие вспомогательные контакты КБ45 и КБ46 напряжение подается на включающие катушки защелок отключенных быстродействующих контакторов КБ45 и КБ46. При этом защелки освобождают силовые контакты КБ45 и КБ46, которые замыкаются, равно как и их размыкающие вспомогательные контакты, включенные в цепи удерживающей катушки БВ, подготавливая цепь включения быстродействующих выключателей. Далее этот процесс повторяется.

После размыкания размыкающих вспомогательных контакторов в цепях сигнализации гаснут красные сигнальные лампы пульта машиниста, что свидетельствует о включении БВ на всех секциях. Если на одной из секций БВ не включится, то через вспомогательный контакт сохранит питание сигнальная лампа быстродействующего выключателя соответствующей секции, а через другой вспомогательный контакт — общая лампа БВ.

Для возможности включения БВ при отключенных кнопках «Токоприемник I» — «Токоприемник III» схемой предусмотрено шунтирование замыкающего контакта реле РП29 размыкающим контактом реле РКт8. Если при случайном выключении кнопок находящихся в работе токоприемников главная рукоятка контроллера машиниста находилась в рабочем положении, то из-за размыкания контактов реле РП29 удерживающая катушка БВ потеряет питание, он выключится и опускание токоприемников будет происходить при обесточенной силовой цепи электровоза.

Число срабатываний быстродействующего выключателя БВ при наличии повреждений в цепи тяговых электродвигателей фиксируется счетчиком импульсов ИП, катушка которого возбуждается от провода 590 через замыкающий контакт реле времени РВ7. Катушка реле времени РВ7 получает питание по цепи провод 320 — замыкающий вспомогательный контакт БВ — провод 417. Если БВ срабатывает, то замыкается его размыкающий вспомогательный контакт в цепи катушки счетчика, размыкается замыкающий контакт в цепи катушки РВ7 и она теряет питание. Однако замыкающий контакт реле РВ7 в течение некоторого вре-

мини остается замкнутым. Катушка счетчика при этом находится под напряжением, достаточным для его срабатывания. Счетчик не регистрирует оперативных отключений БВ, а также отключений, вызванных повреждениями в цепи вспомогательных машин при нахождении главной рукоятки контроллера в нулевом положении.

После включения БВ (см. рис. 13.6) от токоприемника на каждой секции через крышевой разъединитель Рз1, главный ввод и силовой контакт БВ напряжение подается по проводу, проложенному через дифференциальное реле, к неподвижным контактам линейных контакторов, подающих питание в силовую цепь тяговых двигателей. Через вторую катушку дифференциального реле напряжение подается к неподвижным контактам электромагнитных контакторов вспомогательных машин и электрических печей через двухсекционный резистор общим сопротивлением 160 кОм, обмотку напряжения счетчика электрической энергии, токовую обмотку счетчика электрической энергии и токосъемные устройства на «землю».

По обмотке напряжения счетчика проходит ток, но его подвижная система не вращается, так как ток через его токовую обмотку не протекает. Одновременно через последовательно включенные секции добавочных резисторов общим сопротивлением 188,5 кОм и последовательно включенные пусковые резисторы первой и второй групп получают питание последовательно соединенные катушки реле рекуперации, реле пониженного и повышенного напряжения. Вывод катушки реле пониженного напряжения соединен с «землей». Таким образом создается цепь контроля уровня напряжения в контактной сети. Якорь реле рекуперации притягивается, и его размыкающие контакты размыкаются, но в цепях никаких изменений не происходит.

### 13.6. Электрические схемы электропоездов

#### 13.6.1. Схемы моторных вагонов электропоездов ЭР2Т и ЭД2Т

В силовую цепь моторного вагона (рис. 13.12) входят токоприемник, устройство защиты от радиопомех, разрядники, аппараты защиты, тяговые двигатели и ряд специальных аппаратов. С их помощью осуществляют соединение пускотормозных резисторов и тяговых двигателей с контактной сетью и рельсами, изменяют направление вращения якорей двигателей, регулируют ток возбуждения, выводят резисторы, переключают тяговые двигатели из режима тяги в режим электрического торможения и обратно.

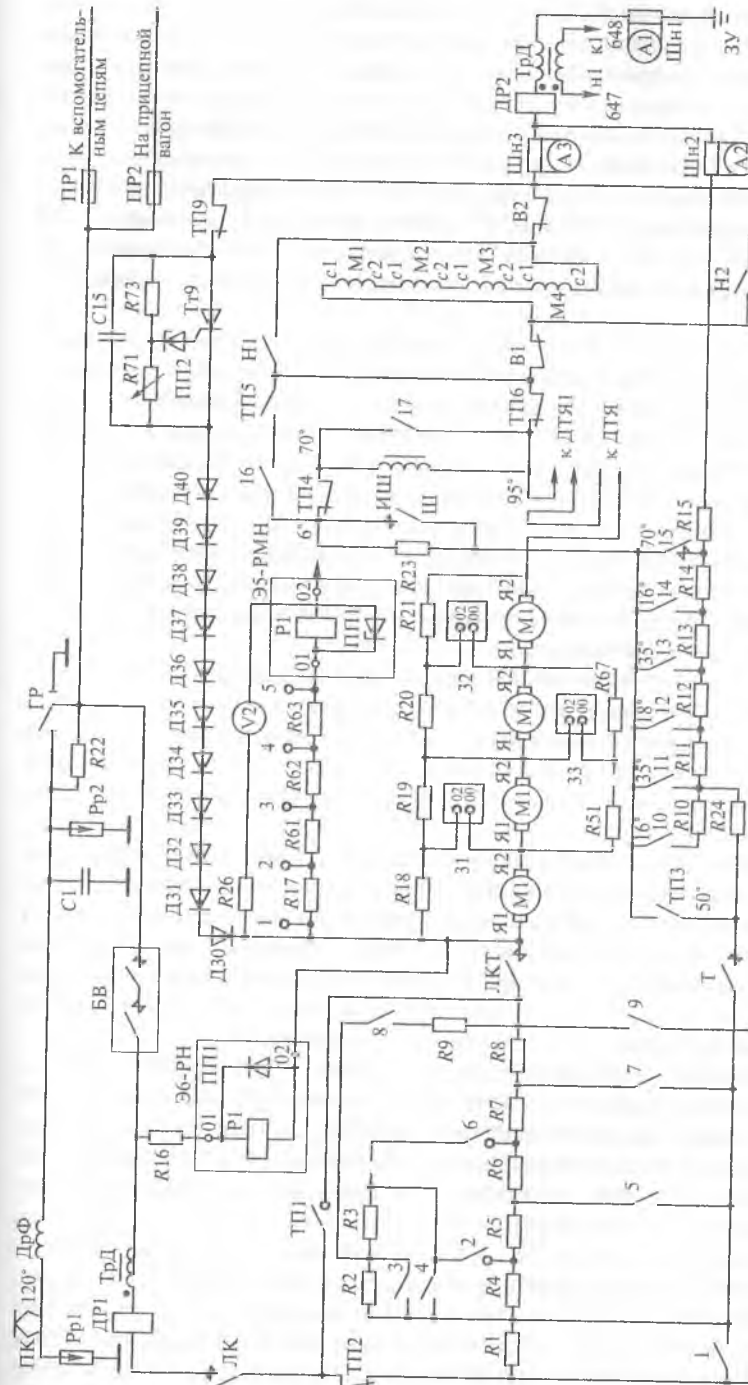


Рис. 13.12. Схема силовой цепи моторного вагона электропоезда ЭД2Т

Электрическая схема электропоезда обеспечивает автоматический пуск тяговых двигателей при управлении контроллером машиниста, выход двигателей на естественную безреостатную характеристику и переход в тормозной режим с автоматическим поддержанием тормозного тока якорей тяговых двигателей. Режим рекуперации действует начиная с максимальной скорости до скорости 50...45 км/ч. Затем схема автоматически переходит на реостатное торможение с самовозбуждением тяговых двигателей до скорости 15...10 км/ч. После этого применяют электропневматическое дотормаживание малой ступенью давления в тормозных цилиндрах.

Тяговые двигатели получают питание от контактной сети через токоприемники ПК, Г-образный фильтр, состоящий из дросселя ДрФ и конденсатора С1, снижающего уровень радиопомех, создаваемых во время работы электропоезда. Разрядники Рр1 и Рр2 защищают силовую схему от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Первый из них, присоединенный к токоприемнику, воспринимает основную нагрузку, а второй, включенный параллельно первому после фильтра, гасит остаточные перенапряжения на конденсаторе С1 и облегчает работу первого разрядника. После прохождения волны перенапряжения аппараты возвращаются в исходное состояние.

Главный разъединитель ГР предназначен для отключения силовых цепей тяговых двигателей и высоковольтных цепей вспомогательных машин от токоприемника и их заземления во время осмотра или ремонта. Кроме того, в заземленном положении ножа через резисторы R22 сопротивлением 102 кОм разряжается конденсатор С1 фильтра.

Быстродействующий выключатель БВ служит для отключения цепей тяговых двигателей в аварийных ситуациях и работает только в режиме тяги. В режиме рекуперации ток силовой цепи имеет противоположное направление, поэтому возрастающая сила тока размагничивающих витков БВ при коротком замыкании вызывает обратный эффект — происходит усиление магнитного потока удерживающей катушки, и выключатель не срабатывает.

Две катушки дифференциального реле — ДР1 и ДР2, введенные в силовую цепь последовательно с первичными обмотками дифференцирующего трансформатора ТрД в начале и конце схемы, повышают чувствительность срабатывания БВ при значительно меньшей силе тока короткого замыкания (так называемое неполное короткое замыкание).

Силовые контакторы ЛК, ЛКТ, Т и Ш служат для оперативного включения или отключения питания тяговых двигателей: через контакторы ЛК и ЛКТ ток проходит в режимах тяги и рекуперации, через контактор Т — в режиме реостатного торможения. Контактор Ш подключает шунтирующую цепь, состоящую из индук-

тивного шунта ИШ и резисторов R10—R15, параллельно обмоткам возбуждения двигателей в режиме тяги. В режиме реостатного торможения с самовозбуждением через контактор Ш замыкается ток тяговых двигателей.

Реверсор предназначен для изменения направления тока в обмотках возбуждения (для изменения направления вращения якоря). В положении «Вперед» замкнуты его силовые контакты В1 и В2, в положении «Назад» — Н1 и Н2. Тормозной переключатель переводит схему тяговых двигателей из режима тяги в режим электрического торможения. В положении «Тяга» (или «Ход») замкнуты его четные контакты с ТП2 по ТП12 и ТП9, в положении «Тормоз» — нечетные с ТП1 по ТП11.

Диоды Д30—Д40 (на ЭД2Т — Д30—Д37) вместе с тиристором Тт9 и контактом тормозного переключателя ТП9 образуют шунтирующую цепь, которая используется кратковременно в моменты отключения тяги. Через нее замыкаются токи самоиндукции, возникающие в обмотках возбуждения тяговых двигателей. Благодаря этой цепи в моменты отключения тяги уменьшаются коммутационные перенапряжения на коллекторах тяговых двигателей и улучшаются условия дугогашения линейных контакторов ЛК и ЛКТ. Делитель напряжения на резисторах R71, R73, стабилитрон ПП2 и конденсатор С15 создают условия для открытия тиристора Тт9 волной перенапряжения. По окончании переходного процесса при отключении тяговых двигателей тиристор Тт9 закрывается и предотвращает протекание токов, вызываемых ЭДС самоиндукции.

Основным аппаратом управления тяговыми двигателями является реостатный контроллер РК. В процессе разгона поезда он уменьшает сопротивление пусковых резисторов и увеличивает степень ослабления возбуждения двигателей. Кулачковый вал реостатного контроллера РК имеет 20 позиций. Первые 14 из них являются позициями реостатного пуска, последние 6 позиций служат для изменения степени (коэффициента) возбуждения двигателей.

Реостатный контроллер имеет 17 силовых кулачковых контакторов. Контактторы 1—9 обеспечивают вывод резисторов R1—R9, контакторы 10—15 выводят резисторы шунтирующей цепи R10—R14. Контактторы 16 и 17 требуются для электрического торможения: один из них соединяет якоря с обмотками возбуждения, второй закорачивает индуктивный шунт при реостатном торможении с самовозбуждением. Вывод резисторов R10—R14 не вызывает затруднений.

Для защиты цепей от возможных перенапряжений тяговых двигателей в режиме рекуперации предусмотрено гериконовое реле максимального напряжения Э5-РМН, которое срабатывает при напряжении в контактной сети 3 950 В и переключает схему реку-

перации на реостатное торможение (при продолжающемся независимом возбуждении). Аналогичное устройство — реле напряжения Э6-РН также контролирует уровень напряжения в контактной сети. В случае снятия напряжения или его недопустимом снижении реле отключает линейные контакторы (тягу). Для учета расхода электрической энергии в режиме тяги и рекуперации имеются счетчики электрической энергии. Электроизмерительные приборы и реле напряжения подсоединены через ограничивающие резисторы  $R17$ ,  $R26$  и  $R61 — R63$ .

Перечислим возможности существующей электрической схемы:

- изменение направления движения электропоезда;
- автоматический пуск тяговых двигателей и режим электрического торможения;
- дотормаживание электропневматическим тормозом всех вагонов поезда от скорости 15 км/ч до полной остановки;
- включение электропневматического торможения на отдельной секции в случае отказа электрического торможения на моторном вагоне данной секции;
- совместное (комбинированное) рекуперативное или реостатное торможение моторных вагонов с электропневматическим торможением прицепных вагонов;
- электропневматическое торможение на всех вагонах (служебное торможение ЭПТ) после установки контроллера машиниста в тормозное положение 5.

Схема обеспечивает колебания силы тока при пуске не более  $\pm 15\%$  ее среднего значения. При переходах с одного режима на другой скачок силы тока не превышает 150 А. Средняя сила тока при торможении с независимым возбуждением не должна превышать 360 А, а при самовозбуждении — 480 А. Кроме того, возможно изменение уставки пускового тока, а также тормозного тока при торможении с самовозбуждением на всех вагонах поезда.

В электрической схеме предусмотрены следующие виды защиты:

- от коротких замыканий и перегрузок тяговых двигателей, в том числе в режиме электрического торможения;
- пробоя на «землю» цепи тяговых двигателей;
- атмосферных и коммутационных перенапряжений;
- снижения или снятия напряжения в контактной сети;
- чрезмерного повышения напряжения сети при рекуперации;
- коротких замыканий в высоко- и низковольтных вспомогательных цепях и цепях управления;
- обратных токов в цепи двигателя преобразователя;
- перегрузок и разноса преобразователя;
- повышения и понижения напряжения питания цепей ПО и цепей напряжения 220 В;

- перегрузок трехфазных асинхронных двигателей;
- повышения напряжения на выпрямительном мосту Тг1 — Тг6 статистического возбудителя;
- боксования и юза колесных пар;
- разносного боксования колесных пар.

### 13.6.2. Силовая схема в режиме тяги

Упрощенная силовая схема моторного вагона электропоезда в режиме тяги при серийном соединении тяговых двигателей приведена на рис. 13.13. Чтобы собрать замкнутую цепь через тяговые двигатели, необходимо заблаговременно восстановить быстродействующий выключатель, развернуть реверсор в требуемое положение (обычно «Вперед»), повернуть тормозной переключатель в положение «Тяга» (замкнуть его четные контакты ТП2, ТП6 и т.д.), а затем включить линейные контакторы ЛК и ЛКТ. Перед сбором схемы кулачковый вал реостатного контроллера должен находиться в исходной 1-й позиции, а тормозная магистраль заряжена сжатым воздухом.

Работой силовой схемы управляют с помощью контроллера машиниста, на котором имеется одно маневровое и четыре ходовых положения. После установки главной рукоятки (штурвала) контроллера в маневровое положение реверсор занимает положение, соответствующее положению реверсивной рукоятки. Тормозной переключатель поворачивается в положение тяги, после чего включаются линейные контакторы ЛК и ЛКТ. Кулачковый вал РК остается на 1-й позиции, и все пусковые резисторы вводятся в цепь тяговых двигателей.

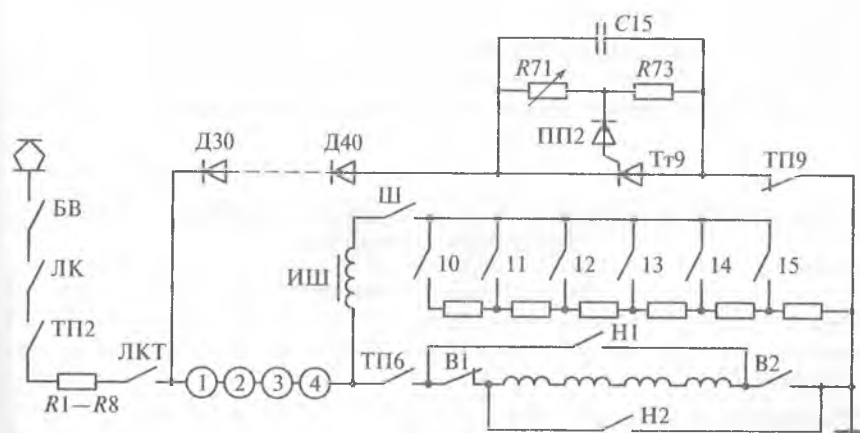


Рис. 13.13. Упрощенная силовая схема моторного вагона электропоезда в режиме тяги при серийном соединении тяговых двигателей

Питание тяговых двигателей осуществляется по цепи токоприемник — индуктивно-емкостный фильтр ДрФ—С1 — главный разъединитель ГР — быстродействующий выключатель БВ — катушка дифференциального реле ДР1 — обмотка трансформатора ТрД — линейный контактор ЛК — контактор тормозного переключателя ТП2 — пусковые резисторы R1, R4—R8 — контактор ЛКТ — обмотки якорей тяговых двигателей М1—М4 — датчики силы тока якорей ДТЯ и ДТЯ1 — контактор тормозного переключателя ТП6 — контактор реверсора В1 — обмотки возбуждения двигателей М1—М4 — контактор реверсора В2 — шунт амперметра А3 — обмотка трансформатора ТрД — катушка дифференциального реле ДР2 — шунт амперметра А1 — шунты счетчиков электрической энергии — заземляющее устройство ЗУ на осях колесных пар. Моторный вагон (поезд) приводится в движение с минимальной скоростью.

После перевода рукоятки контроллера в положения 1—4 кулачковый вал РК под контролем реле ускорения (блока БРУ) автоматически переключается на соответствующие позиции. Соответствие положений рукоятки (штурвала) контроллера машиниста позициям РК приведено в табл. 13.1.

После перевода рукоятки контроллера в положение 1 скорость электропоезда начинает увеличиваться. При этом кулачковый вал РК, перемещаясь с позиции на позицию под контролем блока реле ускорения, выводит пусковые резисторы R1—R9 из цепи тяговых двигателей. На позиции 14, где реостатный контроллер автоматически фиксируется, пусковые резисторы выведены полностью.

Сопrotивления пусковых резисторов рассчитаны так, чтобы при выводе ступеней сопротивления скачки силы тока были минимальными и обеспечивался плавный пуск. Кроме того, при этом применена так называемая верньерная схема (термин «верньер» означает устройство, позволяющее плавно изменять параметры электрической цепи). Такая схема вывода резисторов за счет их

последовательно-параллельного пересоединения позволяет получить большее число позиций при меньшем числе контакторов РК и элементов резисторов.

После установки штурвала контроллера машиниста в положение 2 вал реостатного контроллера переходит на 15-ю, а затем на 16-ю позицию и останавливается. При этом включаются контактор Ш и контактор 10 реостатного контроллера. Создается шунтирующая цепь, подсоединенная параллельно обмоткам возбуждения: индуктивный шунт ИШ, контактор Ш и резисторы R10—R15. Это приводит к увеличению силы якорного тока, тягового усилия и скорости электропоезда. На позиции 16 включается контактор 11 реостатного контроллера, уменьшая сопротивление шунтирующей цепи.

После перевода главной рукоятки контроллера в положение 3, а затем в положение 4 происходит ступенчатый вывод резисторов кулачковыми контакторами РК: R1 и R12 находятся в положении 3; R13, R14 — в положении 4. Снижение сопротивления шунтирующей цепи приводит к максимальному ослаблению возбуждения тяговых двигателей и переходу на соответствующую скоростную характеристику. Скорость электропоезда достигает наибольшего значения.

Отключение тяги в положениях 2—4 происходит в два приема: контактор Ш отключается сразу, вызывая усиление возбуждения двигателей и снижение силы якорного тока, затем с некоторой задержкой (примерно через 1,2 с) отключаются линейные контакторы ЛК и ЛКТ. Такой алгоритм облегчает условия работы щеточно-коллекторного аппарата и дугогашение линейных контакторов. Как отмечалось ранее, важную роль при этом играет контур «нулевых» диодов Д30—Д40.

### 13.6.3. Цепи управления токоприемниками

Для подъема токоприемников кратковременно нажимают кнопку Кн11 (рис. 13.14) на пульте кабины управления. При этом от поездного провода 25 на каждом моторном вагоне получает питание катушка поднимающего вентиля клапана токоприемника КЛТ—П и токоприемники поднимаются. Нажатием кнопки Кн12 запитывают провод 26 и опускающие вентили клапанов токоприемников КЛТ—О, после чего токоприемники опускаются.

Цепи поднятия токоприемника контролируют два реле блокировок безопасности — РББ1 и РББ2 (реле РББ1 должно быть включено, РББ2 — выключено). Реле РББ1 получает питание через ограничивающий резистор R57 при условии, что все устройства, находящиеся под высоким напряжением (крышки подвагонных ящиков, двери шкафов, лестницы на крышу, высоковольтные междувагонные соединения и т.д.), закрыты. В цепь блокировок

Таблица 13.1

Соответствие положений рукоятки контроллера машиниста позициям реостатного контроллера

Показатель	Положения рукоятки контроллера				
	М	1	2	3	4
Позиция РК	1	14	16	18	20
Пусковое сопротивление, Ом	15,12	0	0	0	0
Коэффициент ослабления возбуждения	100	100	41,5	26,5	18

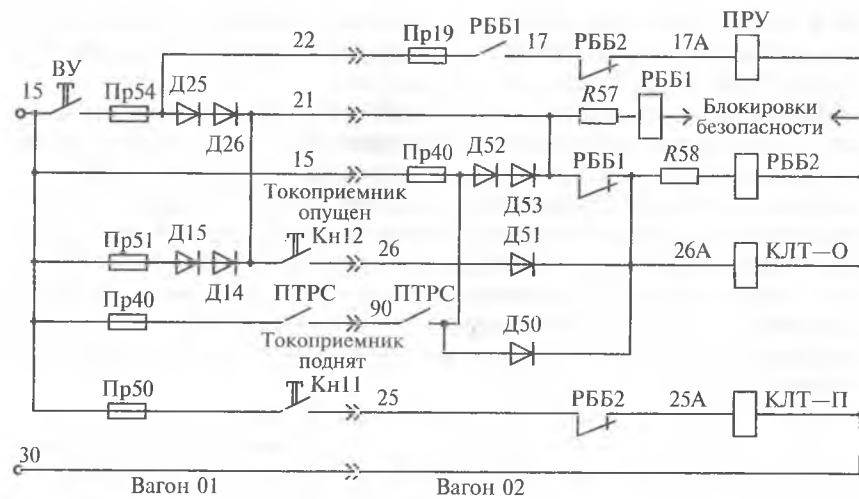


Рис. 13.14. Схема управления токоприемниками

безопасности введены соответствующие блокировки для прицепного вагона, и через них происходит соединение с проводом 30. Если в поезде имеется трехвагонная секция (дополнительный прицепной вагон), то его блокировочные устройства также включаются в данную цепь. В этом случае провода 30 и 31 соединяются на крайнем прицепном вагоне трехвагонной секции через соответствующие блок-контакты.

Вентиль КЛТ-П получит питание только в том случае, если будет обесточено реле РББ2. Например, попытка открыть высоковольтный шкаф при поднятом токоприемнике приведет к тому, что РББ1 также обесточится и своей блокировкой в проводах 21—26А замкнет цепь опускающего вентиля и реле РББ2. Контакт РББ2 в проводах 25—25А разомкнется и не позволит ошибочно поднять токоприемник, а контакт РББ2 в проводах 17—17А обесточит реле ПРУ. Отключится двигатель преобразователя, и обесточится удерживающая катушка БВ, т.е. опускание токоприемника произойдет при отключенной нагрузке.

Чтобы повысить надежность системы опускания токоприемников, в схему введен поездной провод 21. Напряжение подается на него по нескольким цепям: через предохранитель Пр51 и диоды Д15 и Д14; через диоды Д25 и Д26 при включенном ВУ (на головном вагоне); через диоды Д52 и Д53 (на моторном вагоне).

В схеме предусмотрено автоматическое опускание токоприемника при опасном повышении температуры в шкафах или чердачных помещениях. Для этого служит промежуточное реле термосигнализации ПТРС, которое срабатывает и запитывает секционный провод 90. Независимо от того, на каком вагоне сработало

реле ПТРС — на моторном или прицепном, от провода 90 поступает питание на провод 26А, включаются вентиль КЛТ-О и реле РББ2, диод Д51 исключает подачу напряжения на провод 26, поэтому остальные токоприемники не опускаются.

### 13.7. Аккумуляторные батареи

**Устройство аккумуляторов.** Аккумулятор представляет собой электрохимический аппарат для накопления энергии с целью ее последующего использования. Существуют кислотные и щелочные аккумуляторы.

В *кислотном* аккумуляторе отрицательные пластины состоят из губчатого свинца Pb, а положительные — из порошкообразного оксида свинца (свинцового сурика) PbO<sub>2</sub>, запрессованного в свинцовую решетку. При воздействии электролита, состоящего из раствора серной кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в дистиллированной воде H<sub>2</sub>O, при разряде происходит реакция



Соединение PbSO<sub>4</sub> — сульфат свинца — образуется как на положительных, так и на отрицательных пластинах. При заряде аккумулятора сульфат свинца разлагается на образующие его вещества, и состояние аккумулятора восстанавливается.

Плотность электролита зависит от степени заряженности аккумулятора: заряженный аккумулятор имеет большую плотность электролита, а разряженный — меньшую. По плотности электролита можно определить степень его заряженности, зная плотность первоначально залитого электролита.

В *щелочном* аккумуляторе отрицательные пластины состоят из железа Fe, а положительные — из гидроксида никеля Ni(OH)<sub>2</sub>. Электролитом служит водный раствор гидроксида калия KOH. Токообразующая реакция записывается в виде



Электролит в реакции не участвует, и его плотность не зависит от степени заряженности аккумулятора.

К щелочным аккумуляторам относятся никель-кадмиевые аккумуляторы. В системах электропневматических тормозов применяются никель-кадмиевые аккумуляторы 40-КН-10, не отличающиеся по конструкции и обслуживанию от любого другого щелочного аккумулятора, но имеющие большую удельную емкость.

Как и любое техническое устройство, аккумулятор имеет КПД, равный отношению полезной емкости, выраженной в ампер-часах (А·ч), к энергии, затраченной на его заряд, выраженной также в ампер-часах.

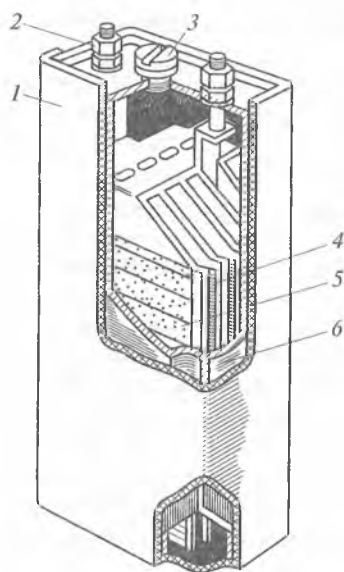
Коэффициент полезного действия аккумуляторов изменяется в широких пределах и зависит от их назначения, температуры электролита, силы разрядного тока и других факторов.

Емкость аккумулятора также величина непостоянная. В обозначении типа аккумулятора содержится число, характеризующее его номинальную (паспортную) емкость, которая может быть получена при разряде его номинальным током. Силу номинального тока можно получить делением номинальной емкости на 10 для кислотных и на 5 для щелочных аккумуляторов. Например, кислотный аккумулятор емкостью 450 А·ч имеет номинальный ток силой 45 А, а щелочной такой же емкости — 90 А.

Сила разрядного тока существенно влияет на емкость, которую можно снять с аккумулятора (полезная емкость). Щелочные аккумуляторы более стойки к большим токам, нежели кислотные.

Конструкция пластин аккумулятора предопределяет его срок службы. Пористые пластины кислотного аккумулятора плохо переносят вибрацию и большие кратковременные токи. Замерзание электролита приводит к разрушению пластин. Щелочные аккумуляторы устойчивы к воздействию отрицательных температур.

При использовании аккумуляторов на подвижном составе их соединяют в батареи. Для получения необходимого напряжения (напряжение одного кислотного аккумулятора составляет 2,2 В, щелочного — 1,2 В) аккумуляторы включают последовательно; при параллельном соединении обеспечивается необходимый по силе ток нагрузки.



Щелочной аккумулятор содержит два блока положительных и отрицательных пластин, которые размещены в стальном корпусе 6 (рис. 13.15). Пластины представляют собой коробочки (ламели), соединенные друг с другом в замок и укрепленные стальными ребрами, к которым приварены контактные планки. Пластины изолированы перфорированными се-

Рис. 13.15. Устройство щелочного аккумулятора КН-125:

1 — резиновый чехол; 2 — борн; 3 — пробка; 4 — эбонитовый сепаратор; 5 — пакет с активной массой; 6 — стальной корпус

параторами 4 и резиновыми шнурами. Каждый блок имеет два борна 2, выведенных через отверстия в крышке и изолированных винипластовыми и резиновыми кольцами, препятствующими вытеканию электролита. Корпус аккумулятора окрашен снаружи эпоксидной эмалью и защищен резиновым чехлом 1.

В качестве электролита используется 20%-ный водный раствор гидроксида калия КОН или натрия NaOH плотностью 1,19... 1,21 г/см<sup>3</sup> с добавкой 20 г/л гидроксида лития LiOH, улучшающего условия работы активной массы.

Электролит приготавливают в стальной сварной емкости. Запрещается пользоваться оцинкованными, лужеными, медными, свинцовыми и керамическими емкостями.

Уход за батареей в эксплуатации сводится к доливке дистиллированной воды и содержанию аккумуляторов в чистоте. Аккумуляторы не требуют ремонта, уход за ними сводится к промывке при содержании в электролите угольной кислоты более 17,5 г/л. Разработаны методы восстановления щелочных аккумуляторов, имеющих пониженную емкость.

С понижением температуры проводимость электролита уменьшается, что приводит к росту потерь внутри батареи и ограничивает полезную емкость. Кроме того, при пониженной температуре увеличивается плотность электролита, ухудшается его циркуляция в аккумуляторе и снижается полезная емкость, которую может отдать аккумулятор при разряде. Понижение температуры особенно неблагоприятно сказывается на работе кислотных аккумуляторов, плотность электролита которых находится в прямой зависимости от степени заряда. Следовательно, внутреннее сопротивление батареи зависит одновременно от остаточной емкости и плотности электролита. У щелочных аккумуляторов внутреннее сопротивление фактически зависит только от остаточной емкости, поэтому работа щелочных элементов более устойчива.

**Применение аккумуляторов.** При напряжении в электрических цепях вагона 50 В устанавливается 40 щелочных или 26 кислотных аккумуляторов, а при напряжении 110 В — 56 кислотных или 86 щелочных аккумуляторов, соединенных последовательно.

На отечественных электровозах и мотор-вагонных поездах используются аккумуляторы типа КН-125, из которых составляются батареи 40КН-125, обеспечивающие напряжение рабочей сети 50 В.

Электровозы чешского производства серии ЧС оборудованы аккумуляторными батареями 40КН-125, правила эксплуатации которых аналогичны правилам для щелочных аккумуляторов отечественного выпуска.

Электропоезда метрополитена оснащены аккумуляторами НКН-55 и -80, соединенными в батареи на любое необходимое напряжение.



**Приготовление электролита.** Электролит для свинцовых аккумуляторов приготавливается путем разбавления серной кислоты дистиллированной водой. Применяется концентрированная кислота плотностью 1,83... 1,84 г/см<sup>3</sup> или частично растворенная до получения плотности 1,40 г/см<sup>3</sup>. Плотность кислоты и электролита измеряется ареометром. При разбавлении концентрированной серной кислоты раствор сильно нагревается. Во избежание попадания брызг кислоты на кожу лица и одежду всегда следует наливать кислоту в воду, а не наоборот. Пока кислота подливается в воду, необходимо непрерывно перемешивать раствор для того, чтобы более тяжелая кислота не опускалась на дно сосуда, не перешиваясь с водой.

Если требуется изменить концентрацию электролита в элементе, то следует доливать только дистиллированную воду, а не электролит.

В соответствии с назначением батарей при полной зарядке может быть рекомендована следующая плотность электролита, г/см<sup>3</sup>:

Стационарные .....	1,225... 1,250
Тяговые .....	1,260... 1,280
Стартерные .....	1,260... 1,300
Вагонные .....	1,210... 1,230

Плотность электролита измеряется ареометром при температуре 18 °С. При другой температуре электролита она пересчитывается по таблице. Аккумуляторы с разной плотностью электролита имеют разное напряжение на борнах.

Применение дистиллированной воды обусловлено наличием в природной воде вредных для аккумуляторов примесей. Так, нитраты в концентрации 0,001 % заметно увеличивают сульфатацию пластин, стимулируя саморазряд. Органические соединения (крахмал, сахар и др.) отрицательно влияют на положительные пластины, вызывая их разрушение. Железо, соляная кислота, марганец, хлор и его соединения разрушают пластины аккумуляторов, снижая их полезную емкость. В последнее время получают распространение присадки к электролиту, восстанавливающие емкость аккумулятора.

Электролитом для щелочных железоникелевых аккумуляторов служит раствор гидроксида калия. К этому раствору обычно добавляется небольшое количество гидроксида лития, который увеличивает длительность работы аккумулятора, но не является необходимым для реакций, происходящих в аккумуляторе. Гидроксид калия — белое вещество, хорошо растворяющееся в воде. Он поглощает углекислый газ и влагу из воздуха, поэтому электролит не должен соприкасаться с воздухом как при его приготовлении, так и в процессе работы.

Об изменении параметров щелочного электролита в зависимости от содержания в нем щелочи можно судить по следующим данным:

Содержание КОН, % .....	15	20	25	30	35	40
Плотность при температуре 18 °С, г/см <sup>3</sup> .....	1,140	1,188	1,239	1,290	1,344	1,399
Температура замерзания электролита, °С .....	-15	-24	-38	-59	—	—

**Способы заряда аккумуляторов.** Заряд аккумуляторов производится только постоянным или пульсирующим током. Общепринятыми являются две системы заряда: при постоянной силе тока или постоянном напряжении. Положительный зажим источника напряжения соединяется с положительным зажимом батареи, отрицательный — с отрицательным.

Заряд при постоянной силе тока осуществляется следующим образом. Сила зарядного тока регулируется либо величиной зарядного напряжения, либо включением в цепь аккумулятора добавочного сопротивления. Изменение напряжения, не вызывающее дополнительных потерь, предпочтительнее. При заряде от выпрямителя обычно используется добавочное переменное сопротивление.

Заряд производится при номинальной силе тока и продолжается до «кипения» электролита. Появление пузырьков на поверхности электролита свидетельствует о том, что дальнейший заряд током этой силы аккумулятором не воспринимается, зарядный ток способствует разложению воды и, как следствие, разрушению пластины. Для более полного заряда можно продлить процесс, уменьшив силу зарядного тока в 2 раза, с последующим доведением до «кипения».

Процесс может быть продолжен, если не достигнуто постоянство плотности электролита. Такой заряд, если он содержал два-три уровня изменения силы тока, называют уравнивающим. Он улучшает состояние пластин, которые освобождаются от имеющегося на них сульфата.

Заряд аккумуляторов сопровождается нагревом электролита, поэтому по достижении температуры 40... 45 °С необходимо делать перерыв.

Если батарея ставится на заряд при постоянном напряжении, то оно должно оставаться постоянным независимо от силы тока заряда, которая постепенно снижается до достижения установившегося значения. Этот простой способ заряда часто применяется на всех видах подвижного состава и транспортных средств. Источниками тока могут служить вспомогательные генераторы локомотивов и генераторы вагонов, напряжение которых устанавливает-

ся на 2...3 В выше номинального напряжения аккумуляторных батарей. Однако процесс заряда происходит в течение всего времени работы подвижного состава, что приводит к перезаряду аккумуляторов, «кипению» электролита и довольно быстрому их разрушению. В стационарных условиях заряда аккумуляторных батарей этот способ не имеет недостатков.

**Причины неисправностей аккумуляторов.** Работоспособность аккумуляторных батарей зависит от условий их эксплуатации. Плохое обслуживание батареи может привести ее в неисправное состояние независимо от срока службы.

Рассмотрим основные причины неисправностей аккумуляторных батарей.

**Перезаряд** вызывает коррозию решеток положительных пластин и газообразование, разрушающее активный материал пластин, особенно положительных. Шлам (материал, образующийся в результате разрушения пластин), оседая на дно сосуда, может замкнуть пластины. При перезаряде повышается температура электролита и происходит излишнее разложение воды. В результате пластины оголяются и требуется добавление воды.

**Недозаряд** (систематический) вызывает постепенный выход из строя аккумулятора. Возможна переплюсовка аккумулятора в батарее, коробление пластин при накоплении на них сульфата свинца.

**Коррозия зажимов** (борнов) увеличивает сопротивление цепи, уменьшая отдачу батареи.

**Наличие трещины** в сосуде может вызвать утечку электролита, оголение пластин и потерю работоспособности аккумулятора. Вытекание электролита особенно вредно для отрицательных пластин.

**Короткие замыкания внутри аккумулятора** возникают в результате повреждения сепараторов дендритами кристаллического сульфата либо замыкания пластин шламом. Признаками короткого замыкания являются уменьшение плотности электролита, низкое напряжение на аккумуляторе и потеря емкости всей батареи. Определить аккумулятор с внутренним замыканием можно с помощью обычного компаса при разомкнутой цепи.

**Пониженный уровень электролита** в результате несвоевременной доливки приводит, в частности, к короблению пластин.

**Замерзание электролита**, вызванное его низкой плотностью, губительно действует на пластины аккумулятора.

**Сульфатация** — образование сульфата свинца на поверхности и в порах положительных пластин. При этом ухудшается работа аккумулятора, снижается плотность электролита и происходит коробление пластин. При саморазряде сульфат свинца прочной пленкой покрывает активный материал пластин, что приводит к снижению емкости аккумуляторной батареи. Аналогичное отрицательное влияние оказывает колебание температуры электролита.

**Перемена полярности** аккумулятора — нежелательное явление, вызываемое его перезарядом при недостаточной емкости или соединении с другим аккумулятором, большей емкости.

**Взрывы** связаны с выделением при работе (особенно при заряде) водорода и кислорода, которые являются взрывоопасными и легко воспламеняющимися газами. Поэтому аккумуляторные отсеки и помещения должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию. Открытый огонь вблизи батареи запрещен. Соединение и разъединение элементов во время заряда опасны, так как могут возникнуть искры.

Аккумуляторы, составляющие батарею, обычно монтируют в блоки, содержащие несколько элементов. Эти блоки затем помещают в ящики кузовов, расположение которых на подвижном составе должно обеспечивать возможность естественной либо принудительной вентиляции при подаче воздуха 100 м<sup>3</sup>/ч. Между блоками аккумуляторов и корпусом подвижного состава устанавливают дополнительные изоляторы.

#### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой нормально замкнутые и нормально разомкнутые контакты коммутирующих аппаратов?
2. На какие группы по назначению можно разделить электрические цепи электровозов и электропоездов?
3. Как работает силовая схема при пуске электровоза переменного тока?
4. Как работает силовая схема при пуске электровоза постоянного тока?
5. Как осуществляется реверсирование тяговых двигателей?
6. Какие химические превращения происходят в щелочном аккумуляторе в процессе его разряда и заряда?

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРОВОЗОВ И ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

### Глава 14

#### БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА ПРИ РАБОТЕ С ЭЛЕКТРОПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ

##### 14.1. Требования безопасности труда при эксплуатации электровозов

**Общие положения.** Все работы по подготовке электровоза к эксплуатации должны выполняться специально подготовленным персоналом локомотивных депо с соблюдением требований безопасности труда.

К управлению электровозом следует допускать локомотивные бригады, знающие устройство и правила эксплуатации электровоза в соответствии с действующим руководством по эксплуатации.

Необходимо помнить о том, что при работе электровоза под контактным проводом или при подаче напряжения извне электрооборудование электровоза находится под напряжением и прикосновение к токоведущим частям опасно для жизни.

Запрещается выполнять любые работы на электровозе лицам, не сдавшим очередной экзамен по безопасности труда, а также не имеющим соответствующего удостоверения на право работы с установками высокого напряжения. Классификация установок по уровню напряжения условна и определяет лишь различие в организационно-технических мероприятиях, обеспечивающих безопасность обслуживающего персонала. Низкое (до 1 кВ) напряжение не гарантирует безопасности при работе. Более того, даже напряжение 50 В в цепи управления является опасным для жизни человека.

**Защитные меры и средства.** Для защиты обслуживающего персонала на электровозе выполнено блокирование входа в высоковольтную камеру (ВВК), включения токоприемников, главного и быстродействующего выключателей, а также кнопок управления.

Защитные ограждения и двери ВВК изготовлены из сплошных листов или стальной сетки с ячейкой размерами 12×12 мм.

Оборудование в ВВК установлено таким образом, чтобы его открытые токоведущие части располагались на определенном расстоянии от сетчатого ограждения, зависящем от напряжения:

Расчетное напряжение, кВ, не более .....	1,0	1,5	25
Наименьший воздушный зазор, мм .....	100	175	300

Для обеспечения безопасности предусмотрены соответствующее цветовое оформление и установка щитов со знаками, предупреждающими об опасности: все задвижные щиты, двери и съемные листы ограждения ВВК окрашены в желтый цвет, на них нанесены знаки — символы высокого напряжения в виде треугольника и стрелы-молнии. Ко всем дверям и задвижным щитам должны быть прикреплены таблички с текстом «Не открывать при поднятом токоприемнике!», к крышке люка выхода на крышу — табличка «Не подниматься на крышу без заземления контактного провода!», над краном умывальника необходимо установить щиток с символическим знаком «Пить воду запрещено», а на крышке ящика аккумуляторной батареи — щиток, запрещающий работу с открытым огнем.

На крышках коллекторных люков тяговых двигателей нанесены предупреждающие знаки и знаки электрического напряжения. Осуществляется заземление на кузов электровоза:

- корпусов аппаратов цепей управления, изолированных от корпуса электровоза и установленных вне ВВК;
- магнитопроводов аппаратов, включенных в высоковольтные цепи и имеющих цепи низкого напряжения;
- корпусов вспомогательных машин;
- бака тягового трансформатора;
- корпуса главного выключателя ВОВ-25А-10/400УХЛ1.

Средства защиты, сигнальные принадлежности и инструмент необходимо применять в соответствии с их назначением и хранить в специально выделенных местах. На средствах защиты должны быть проставлены клейма, свидетельствующие о прохождении периодических испытаний, дата очередного испытания и значение испытательного напряжения, на которое рассчитано защитное средство.

Пользование изолирующими защитными средствами, не имеющими указанных клейм, или с просроченным сроком испытания запрещается.

**Меры безопасности при входе в высоковольтную камеру.** При необходимости войти в ВВК электровоза должен соблюдаться следующий порядок:

- отключите главный выключатель и опустите токоприемник выключением соответствующих кнопок выключателей в кабине машиниста. Убедитесь в том, что токоприемник опустился;
- заблокируйте кнопки выключателей на пульте управления блокирующими ключами и снимите ключи;
- снимите реверсивную рукоятку с контроллера машиниста. Блокирующие ключи выключателей и реверсивная рукоятка должны находиться у лица, входящего в ВВК электровоза;

- закройте доступ сжатому воздуху к токоприемнику разобши- тельным краном в цепи подвода сжатого воздуха к вентилю то- коприемника;

- откройте штору ВВК в проходном коридоре у тягового транс- форматора (на электровозе переменного тока); снимите заземля- ющую штангу, расположенную в проходном коридоре; коснув- шись штангой выводов тягового трансформатора, снимите емко- стный заряд с силовой цепи электровоза; заземлите высоковольт- ный ввод А тягового трансформатора и повесьте штангу на шину у главного крышевого ввода.

Только после этого разрешается приступить к работе внутри ВВК. По окончании работ снимите заземляющую штангу с выво- да трансформатора, закройте шторы и двери ВВК.

**Меры безопасности при поднятии токоприемника.** При необхо- димости поднятия токоприемника соблюдайте следующий поряд- ок работы:

- заблокируйте ВВК, предварительно сняв заземляющую штангу с вывода Л тягового трансформатора;

- откройте разобши- тельный кран в цепи подвода сжатого воз- духа к вентилю токоприемника;

- установите блокирующие ключи в выключатели той каби- ны, из которой будет вестись управление, и разблокируйте кнопки.

После выполнения указанных операций можно, подав предуп- редительный сигнал, поднять токоприемник и включить главный выключатель.

Категорически запрещается включение вручную и закрепле- ние во включенном состоянии вентилях токоприемников, а так- же непосредственный подвод к ним напряжения (помимо приме- нения кнопки и блокировок).

При поднятом токоприемнике категорически запрещается:

- пытаться открыть двери ВВК;

- подниматься на крышу;

- осматривать тяговые двигатели и электродвигатели вспомога- тельных машин, сняв крышки коллекторных люков и крышки соответственно, и заправлять их подшипники смазкой;

- открывать крышку панелей измерительных приборов на пульте машиниста, а также менять сигнальные лампы;

- вскрывать выводные коробки и разъединять выводы проводов вспомогательных электродвигателей;

- открывать крышки электрических печей и нагревательных при- боров;

- открывать крышки желобов с проводами;

- снимать кожу с пультов машиниста и помощника машини- ста, контроллера машиниста, кнопочных выключателей и друго- го оборудования;

- выполнять какие-либо работы по прозвонке, ремонту или наладке низковольтных цепей;

- ремонтировать заземляющие шунты на пультах в кабине, а также кожухах электрических печей и вспомогательных электро- двигателей;

- открывать или разбирать крышки розеток питания электро- воза от сети депо;

- разъединять вилки и розетки в межсекционном соединении, в соединении между электровозом и третьей секцией и между двумя электровозами при работе по СМЕ;

- ремонтировать механическое и пневматическое оборудова- ние;

- протирать лобовые стекла снаружи кабины машиниста и вы- полнять любые другие работы с внешней стороны кабины выше нижней кромки лобовых стекол при установленной токоведу- щей лобовой шине в цепи напряжением 25 кВ над коробкой про- жектора.

При поднятом токоприемнике разрешается:

- заменять лампы прожектора из кабины машиниста, лампы освещения кабины, коридоров, машинного помещения и теле- жек при обесточенных цепях;

- заменять предохранители в цепи напряжением 50 В при усло- вии отключения соответствующей цепи;

- протирать стекла кабины машиниста, кроме случая, указан- ного ранее;

- осматривать тормозное оборудование;

- настраивать регулятор давления воздуха;

- проверять выход штоков тормозных цилиндров.

**Меры безопасности при самостоятельной работе секции и пода- че напряжения на электровоз от сети депо.** Категорически запре- щается работа сцепленных секций электровоза и третьей (при- цепной) секции при работе трех секций по СМЕ в режиме само- стоятельной работы секции, так как в этом случае контроль за блокированием ВВК другой секции отсутствует, а при включен- ном вручную главным выключателе другой секции возможен дос- туп к оборудованию, находящемуся под высоким напряжением.

В случае передвижения электровоза в депо или из депо при проверке работы вспомогательных машин и работе зарядного агре- гата от деповского источника тока необходимо помнить о том, что аппарата ВВК электровоза находится под напряжением и прикосновение к токоведущим частям опасно для жизни.

Подачу напряжения 380 В переменного тока во вспомогатель- ные цепи и напряжения 150... 200 В постоянного тока к тяговым двигателям производите при выключенном главном выключате- ле, опущенном токоприемнике и заблокированной секции элек- тровоза. Перед подачей питания на электровоз от сети депо на

входных дверях электровоза вывесите предостерегающие плакаты. При питании электровоза от сети депо действуют те же запрещения, что и при поднятом токоприемнике.

Подачу питания к тяговым двигателям электровоза ВЛ80 от сети депо осуществляйте в такой последовательности:

- откройте ВВК и включите разъединители ОД1—ОД4, 19 и 20 того двигателя, на который необходимо подать питание от сети депо;

- заблокируйте ВВК электровоза;
- установите рукоятку главного вала контроллера машиниста в положение АВ;

- подсоедините кабель питания к розетке;
- подайте питание на катушку контактора К2 (принадлежность депо) через розетку электровоза. С включением контактора К2 будет подано питание в цепь тяговых двигателей;

- после выполнения необходимых работ отключите контактор К2, отсоединив провода его питания от розетки; отсоедините кабель питания контактора от розетки.

Подачу напряжения питания 380 В во вспомогательные цепи от сети депо осуществляйте в такой последовательности:

- откройте ВВК и переведите переключатель в нижнее положение;

- заблокируйте ВВК;
- подсоедините кабель питания к розеткам;
- подайте питание на катушку контактора К1 (принадлежность депо) через розетку электровоза. С включением контактора К1 будет подано питание во вспомогательные цепи электровоза;

- после выполнения необходимых работ отключите контактор А7, отсоединив провода питания катушки контактора от розетки;
- отсоедините кабели питания от розеток.

**Меры безопасности при устранении неисправностей в пути следования.** Осмотр тяговых двигателей и вспомогательных машин, а также работы по выявлению и устранению какой-либо неисправности можно начинать лишь при опущенных токоприемниках после полной остановки электровоза и прекращения вращения валов вспомогательных машин, при выключенных и заблокированных кнопках выключателей.

При *устранении неисправностей на крыше* выходить на крышу разрешается только после снятия напряжения с контактного провода. Перед началом работ заземлите контактный провод заземляющей штангой и убедитесь в надежности заземления.

Прежде чем выйти на крышу, выполните следующее:

- выключите кнопки управления выключателей, заблокируйте их и выньте блокирующие ключи;
- установите рукоятки контроллера машиниста в нулевое положение и выньте реверсивную рукоятку;

- для выхода на крышу разблокируйте ВВК в ранее указанном порядке.

Реверсивная рукоятка и ключи от выключателей должны находиться у лица, осуществляющего работу на крыше.

При *прозвонке низковольтных цепей* напряжением 50 В помните о том, что катушки электрических аппаратов имеют значительную индуктивность. При различных переключениях и разрывах цепи в схеме появляются перенапряжения, представляющие опасность для человека при прикосновении в этот момент к блокировкам или наконечникам проводов. Поэтому включение или отключение проводов выполняйте после обесточивания участка цепи соответствующими кнопками.

Кратковременное, но опасное для жизни напряжение может появиться на обмотках тягового трансформатора при прозвонке силовых цепей и цепей вспомогательных машин, а также при случайном касании неизолированным проводом, находящимся под напряжением, выводов трансформатора или связанных с ним цепей. Поэтому категорически запрещается прозвонка цепей без заземления и закорачивания обмоток тягового трансформатора.

Необходимость *замены предохранителя* может появиться в случае перегорания плавкой вставки. Предохранители расположены на панелях, установленных в ВВК. Замену предохранителей осуществляйте при выключенном главном выключателе, опущенном токоприемнике и разблокированной предусмотренным способом ВВК.

Замену предохранителей в цепях напряжением 50 В выполняйте при обесточенной цепи.

В пути следования электровоза может произойти повреждение защитных устройств: пневматических блокировок штор и дверей ВВК какой-либо секции, а также вентиля. В этом случае для предотвращения доступа к электрооборудованию этой секции, которое может находиться под напряжением, секцию необходимо немедленно отключить путем переключения тумблеров в положение «Отключено».

## 14.2. Требования безопасности труда при техническом обслуживании и текущем ремонте

При выполнении технического обслуживания и текущего ремонта запрещаются работы на соединенных по СМЕ двух электровозах, а также электровозе и третьей секции, если на одном из электровозов, электровозе или третьей секции поднят токоприемник. Ремонтному персоналу запрещается иметь и применять личные реверсивные рукоятки контроллера машиниста, блокировочные ключи кнопочных выключателей и других блокировоч-

ных устройств, а также пользоваться заменяющими их приспособлениями.

Перед постановкой электровоза на ремонт все выводы обмоток тягового трансформатора соедините накоротко и заземлите специальным гибким соединением. Это необходимо для исключения возможности появления высокого напряжения, например, при случайном прикосновении электродом к электрическим цепям трансформатора при выполнении *сварочных работ*.

Перед выполнением ремонтных работ на крыше электровоза выключите кнопки выключателей и заблокируйте их; перекройте краном доступ воздуха к резервуару главного выключателя и вывесите плакат «Не включать! Работают люди!»; выпустите через кран оставшийся сжатый воздух из резервуара главного выключателя.

В случае выполнения работ на крыше обращайтесь особое внимание на соблюдение мер безопасности при ремонте (осмотре) главного выключателя и разъединителей. По возможности избегайте находиться в зоне движущихся частей этих аппаратов, так как при их включении или отключении они могут нанести удар.

*Осмотр аккумуляторной батареи* следует производить только с закрытым источником света. Категорически запрещается пользоваться при этом спичками или факелами.

При испытании изоляции электрооборудования повышенным напряжением, прозвонке электрических цепей и измерении сопротивления изоляции мегомметром нужно учитывать, что в цепях электровоза имеются электрические конденсаторы, обладающие большой емкостью, которые могут заряжаться от мегомметра и представлять смертельную опасность в случае прикосновения к их цепям. Поэтому каждый раз после прозвонки цепей с конденсаторами или измерения сопротивления их изоляции разряжайте эти конденсаторы, закорачивая их выводы.

Все работы по ремонту ходовой части выполняйте при заторможенном электровозе. При ремонте (осмотре) по возможности не находитесь под электровозом. При замене тормозных колодок выпустите воздух из пневматической системы (для исключения возможности случайного приведения в действие тормозов), а под колеса электровоза установите тормозные башмаки.

Замена тормозных колодок при наличии сжатого воздуха в пневматической системе допускается при соблюдении следующих условий: блокировочные устройства тормозов (усл. № 367) в обеих кабинах должны быть перекрыты, а на кранах (усл. № 254 и 395) в обеих кабинах должен быть вывешен плакат «Не включать! Работают люди!».

При осмотре и ремонте электрических машин необходимо выполнять следующие правила безопасности.

Перед началом осмотра или ремонта тяговых двигателей убедитесь в отсутствии напряжения в контактной сети над смотровой

канавой. Запрещается открывать крышки коллекторных люков и коробок выводов, а также выполнять какие-либо работы на тяговых двигателях при поднятом и находящемся под напряжением токоприемнике. При необходимости открыть крышку коллекторной камеры или коробки выводов обязательно опустите оба токоприемника и заземлите их, если электровоз находится под контактным проводом.

При проверке сопротивления изоляции тяговых двигателей мегомметром запрещается выполнять любые работы на тяговых двигателях и аппаратах, входящих в проверяемую цепь. По окончании измерения сопротивления изоляции каждой независимой электрической цепи разрядите ее на заземленный корпус. Продолжительность разрядки должна составлять не менее 15 с. Обращайте особое внимание на заземление тягового двигателя, подерживая его в исправном состоянии. Заземляющий кабель должен быть надежно подсоединен к бобышке, приваренной ко входному вентиляционному люку тягового двигателя.

При обточке и шлифовке коллекторов напряжение, подаваемое на тяговый двигатель, не должно превышать 100 В. При этом соблюдайте правила безопасности, указанные в соответствующих инструкциях.

Тележки, на которых не производятся работы, зафиксируйте ручным тормозом или подклиниванием колесных пар. Обточку и шлифовку коллекторов выполняйте под наблюдением второго лица. Колодка для шлифовки должна иметь изолированную ручку. После ремонта осмотрите двигателя, убедитесь в отсутствии посторонних предметов в коллекторной камере, продуйте двигатели сжатым воздухом и установите крышки коллекторных люков на место. Необходимо, чтобы при продувке двигателей у наконечника был разобщительный кран, а шланг не имел переломов. Работу выполняйте в респираторе, защитных очках и рукавицах.

При осмотре и ремонте тяговых двигателей соблюдайте осторожность в момент открытия крышек коллекторных люков. Для предотвращения пружинящего удара одной рукой придерживайте крышку, а другой открывайте замок. При транспортировании двигателей обращайте внимание на исправность чалочных приспособлений, которые должны быть испытаны в установленные сроки.

Запрещается транспортировать и кантовать тяговые двигатели со снятыми крышками, так как возможно выпадение наружного кольца подшипника, травмирование обслуживающего персонала и повреждение двигателя. Транспортирование и такелажные работы при разборке двигателя проводите с применением «технологических» крышек.

При осмотре щеткодержателей и щеток поднимайте и опускайте нажимные пальцы, держа их за специальный выступ, чтобы исключить повреждение пальцев руки.

К выполнению работ по демонтажу и монтажу компенсационных катушек, подогреву и сушке их в остове допускаются лица, прошедшие инструктаж и имеющие определенные навыки. При единичных случаях ремонта компенсационных катушек принятия специальных мер безопасности не требуется. Промазку компенсационных пазов в полюсах и ветвей компенсационных катушек компаундом К-110 или ЭК-5, установку катушек в пазы полюсов и крепление их клиньями производите при включенной общей вытяжной вентиляции. В процессе сушки компенсационных катушек в остове должна быть включена вытяжная вентиляционная установка.

По окончании работ по монтажу компенсационных катушек и промазке их компаундом необходимо тщательно протереть руки салфеткой, смоченной в толуоле или ксилоле, а затем промыть их теплой водой с мылом. Перед выполнением на тяговом двигателе сварочных работ подготовьте рабочее место с учетом правил пожарной безопасности, примите меры к защите проводов и внутренней части двигателей от искр и брызг расплавленного металла. При наличии электрической изоляции сварочные работы выполняйте с обязательным удалением изолированных частей от мест соприкосновения с нагреваемым металлом. Не допускайте теплового воздействия на подшипники тягового двигателя.

При работе с промышленными маслами общего назначения пользуйтесь перчатками с защитным покрытием или применяйте защитные мази и пасты. По окончании работ необходимо тщательно вымыть руки теплой водой с мылом.

Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала все двигатели должны быть надежно заземлены. Запрещается включать электродвигатели при открытой крышке коробки выводов и открытых люках на корпусе двигателя. Любые работы с электродвигателями можно производить только после отключения их от питающей сети с соблюдением Правил технической эксплуатации электроустановок и Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок. При монтаже и демонтаже электродвигателей, а также транспортировании тяговых двигателей и вспомогательных электрических машин пользуйтесь специальными проушинами или рым-болтами.

К обслуживанию электродвигателей допускаются лица, прошедшие обучение и специальный технический инструктаж и изучившие указанные правила.

По окончании ремонта подъем токоприемника и проверку электропровода под высоким напряжением должен выполнять работник, имеющий право на управление электровозом. Убедитесь в том, что закрыты коллекторные люки и выводные коробки тяговых двигателей и вспомогательных электрических машин, закреплены съемные щиты ограждения ВВК, причем в ВВК, на крыше и под

кузовом нет людей и посторонних предметов, с отремонтированных машин и аппаратов сняты временные присоединения и ВВК заблокирована.

### Контрольные вопросы

1. Каков порядок допуска персонала к работе на электроподвижном составе?
2. Назовите основные технические и организационные мероприятия, направленные на предотвращение поражения персонала электрическим током на электроподвижном составе.
3. Перечислите средства индивидуальной защиты, используемые персоналом при обслуживании электроподвижного состава.
4. Какие меры безопасности необходимы при входе в высоковольтную камеру?
5. Перечислите меры безопасности, принимаемые при поднятии токоприемника.
6. Какие меры безопасности должны быть приняты при устранении неисправностей в пути следования?

## ВИДЫ, ПЕРИОДИЧНОСТЬ И ОБЪЕМ РЕМОНТА ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Система плановых работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту определяет порядок поддержания электровозов в работоспособном и исправном состоянии. При техническом обслуживании и текущем ремонте должны выполняться требования распоряжения по ОАО «РЖД» от 17.01.2005 № 3р «О системе технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД».

Плановые работы включают в себя несколько видов технического обслуживания (ТО-2 и ТО-4) и текущего ремонта (ТР-1, ТР-2 и ТР-3).

Техническое обслуживание — это комплекс операций по поддержанию работоспособности и исправности локомотива.

Техническое обслуживание ТО-1, ТО-2 и ТО-3 является периодическим, предназначенным для контроля технического состояния узлов и систем локомотива в целях предупреждения отказов в эксплуатации. Техническое обслуживание ТО-4, ТО-5а, ТО-5б, ТО-5в и ТО-5г планируется при необходимости в нем.

При выполнении технического обслуживания ТО-1 и ТО-2 (в соответствии с установленными нормами продолжительности) локомотивы учитываются в эксплуатируемом парке. Локомотивы, поставленные на остальные виды технического обслуживания и на ремонт, исключаются из эксплуатируемого парка и учитываются как неисправные.

**Техническое обслуживание ТО-1.** Этот вид технического обслуживания выполняет локомотивная бригада при приемке и сдаче локомотива на путях основного или оборотного депо, в пунктах смены локомотивных бригад на станционных путях, при остановках на промежуточных станциях в случае отставления локомотивов в резерв, ожидании работы и вводе в работу, а также экипировке локомотивов.

Объем работ, выполняемых локомотивной бригадой при ТО-1 с распределением обязанностей между машинистом и помощником, устанавливается перечнем, который составляется начальниками депо приписки локомотивов и утверждается начальниками служб локомотивного хозяйства. Перечень работ является обязательным для локомотивных бригад на всем участке обращения. Кроме работ, указанных в перечне, локомотивные брига-

ды обязаны выполнять требования действующих инструкций, приказов и указаний дороги по техническому обслуживанию локомотивов.

Ответственность за качественное выполнение технического обслуживания ТО-1 и соблюдение правил безопасности труда возлагается на машиниста, который должен контролировать работу помощника машиниста и обучать его рациональным методам технического обслуживания.

Бригада, принимающая электровоз, обязана по журналу формы ТУ-152 установить даты выполнения последнего технического обслуживания ТО-2, проверки автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН) и радиосвязи, ознакомиться с замечаниями бригады, сдающей электровоз, и с записями о выполнении ремонта по замечаниям. При наступлении срока выполнения ТО-2 машинист должен сообщить об этом локомотивному диспетчеру.

Бригада, принимающая электровоз, обязана:

- проверить выполнение ТО-1 сдающей бригадой и, если работы не выполнены или выполнены некачественно, сделать об этом запись в журнале формы ТУ-152;
- осмотреть механическую часть электровоза, обратив особое внимание на крепление и состояние бандажей колесных пар, рессорного подвешивания, автосцепных устройств, тормозной рычажной передачи и предохранительных устройств;
- проверить состояние и нагрев (на ощупь) буксовых узлов колесных пар и осмотреть крышное оборудование (без подъема на крышу);
- убедиться в правильности работы электрических и пневматических аппаратов управления, вспомогательных машин, четкости работы токоприемников при их подъеме и опускании;
- проверить работу звуковых и световых сигналов, освещения, наличие песка и работу песочниц, наличие масла в компрессорах;
- удалить конденсат из резервуаров, влагосборников, маслоотделителей, пневматического оборудования;
- проверить исправность контрольно-измерительных приборов и сигнальных ламп на пульте управления, наличие и исправность инструмента, инвентаря (в том числе противопожарного), запасных частей, материалов, приспособлений для сборки аварийных схем, сигнальных принадлежностей, защитных средств, медицинской аптечки, обтирочных и смазочных материалов, а также средств снегозащиты и при необходимости пополнить их, если электровоз принимается в основном депо или на пункте оборота.

При проверке средств обеспечения противопожарной безопасности электровоза принимающая локомотивная бригада обязана убедиться:



- в исправности противопожарной установки и огнетушителей (по наличию бирок с датой заправки и пломб на предохранителе и маховичке запорного вентиля), защитных устройств электрического оборудования, раструба и подводящего шланга;

- отсутствии признаков нарушения электрических контактов, отсоединенных, неизолированных и незакрепленных проводов либо проводов с обгоревшей или поврежденной изоляцией, нетиповых плавких предохранителей (жучков) или предохранителей, номинальная сила тока которых не соответствует техническим требованиям.

Если при приемке электровоза в основном депо или пункте оборота локомотивная бригада выявляет некачественное выполнение или невыполнение ремонта либо обнаруживает неисправность, которая не может быть устранена за время, предусмотренное на приемку электровоза, то машинист ставит об этом в известность дежурного по депо (пункту оборота), производит запись об неисправности в журнале формы ТУ-152 и по распоряжению дежурного по депо (пункту оборота) заменяет неисправный электровоз.

О приемке и сдаче электровоза машинисты обязаны расписаться в журнале формы ТУ-152.

После приемки электровоза локомотивная бригада несет полную ответственность за его сохранное состояние до сдачи электровоза другой бригаде, очередного технического обслуживания ТО-2 или ТО-3 либо текущего ремонта.

Запрещается принимать электровозы хотя бы с одной неисправностью следующих узлов и оборудования:

- прибор для подачи звукового сигнала;
- пневматический, ручной тормоз или компрессор;
- тяговый электродвигатель;
- мотор-вентилятор;
- автостоп, АЛСН или прибор бдительности и скоростемер;
- устройство поездной или маневровой радиосвязи;
- ударно-тяговые устройства;
- система подачи песка;
- прожектор, буферный фонарь, освещение, контрольный или измерительный прибор;
- буксовый или моторно-осевой подшипник;
- устройство, предотвращающее падение деталей на путь;
- кожух зубчатой передачи;
- защитная блокировка высоковольтной камеры;
- токоприемник;
- средства пожаротушения;
- устройство защиты от токов короткого замыкания, перегрузки и перенапряжения;
- колесные пары;

- люлечное подвешивание;
- манометр в кабине управления;
- аккумуляторная батарея;
- генератор управления.

Помимо этого запрещается принимать электровозы, у которых имеется хотя бы одна трещина в хомуте, рессорной подвеске или коренном месте рессоры, излом рессорного листа или пружины, трещина в корпусе буксы, излом или трещина хотя бы одного зуба тяговой зубчатой передачи, а также трещина в раме тележки.

В пути следования локомотивная бригада обязана:

- внимательно следить за показаниями контрольно-измерительных приборов;
- контролировать работу тяговых электродвигателей, вспомогательных машин, коммутационных аппаратов и тормозов, периодически сверять показания приборов в кабинах машиниста;
- быстро реагировать на резкие изменения показаний приборов, появление посторонних шумов, искрение, вспышки света, запах горелой изоляции или масла и другие факторы, сопутствующие возможным неисправностям оборудования;
- периодически удалять конденсат из резервуаров и влагосборников маслоотделителей пневматического оборудования;
- быстро обнаруживать и технически грамотно устранять возникающие на локомотиве отказы.

При стоянке локомотива на промежуточной станции локомотивная бригада обязана проверить состояние ходовых частей и проконтролировать нагрев буксового узла колесных пар на ощупь тыльной стороной кисти руки. В случае необходимости следует закрепить ослабшие соединения деталей и смазать отдельные узлы. При срабатывании аппаратов защиты машинист обязан выявить и устранить причину этого.

Повторное включение цепей без устранения неисправности следует осуществлять с принятием мер предосторожности и только тогда, когда не установлена ее причина или возникло предложение о ложном срабатывании аппаратов защиты.

Обо всех подобных случаях с указанием обстоятельств, причин и места появления неисправности машинист обязан сделать запись в журнале формы ТУ-152. Отключать аппараты защиты, шунтировать или отключать их блокировки разрешается лишь при аварии.

Если необходимо остановить поезд для устранения неисправности, то локомотивная бригада обязана:

- поставить в известность по радио локомотивную бригаду идущего следом поезда, дежурного ближайшей станции и поездного диспетчера;
- согласовать порядок выполнения работ с помощником, приготовить инструмент и приспособления, необходимые для устранения неисправности;

- остановить поезд по возможности на площадке так, чтобы в последующем был обеспечен правильный режим работы электровоза при трогании, приняв при этом меры предосторожности, предусмотренные ПТЭ при остановке поезда на перегоне;

- действовать без спешки, взаимно контролируя последовательность операций;

- убедиться в правильности произведенных действий и готовности электровоза к движению, после чего начать движение, сообщив об этом дежурному ближайшей станции и поезвному диспетчеру.

Сдающая локомотивная бригада при необходимости должна выполнить дополнительную проверку неисправных устройств с целью уточнения их состояния и причин повреждения; закончить цикл работ по техническому обслуживанию и уборке электровоза в соответствии с утвержденным перечнем, о чем сделать запись в журнале формы ТУ-152; при отсутствии инструмента, инвентаря и сигнальных принадлежностей сделать запись об этом в журнале формы ТУ-152 и приложить акт формы ТУ-156; сделать подробную запись в журнале формы ТУ-152 обо всех замеченных отклонениях от нормальной работы узлов и оборудования электрических и пневматических схем, о работе АЛСН и приборов бдительности радиостанции, а также о расходе электрической энергии и показаниях счетчика, срабатывании защиты; поставить дату, время и подпись.

Машинист, сдающий электровоз, помимо записи в журнале ТУ-152 должен устно подробно проинформировать принимающую локомотивную бригаду обо всех неисправностях, замеченных признаках отклонений в работе электровоза, введении в действие систем резервирования и применении аварийных схем. При использовании нетиповых аварийных схем для устранения неисправностей машинист, сдающий электровоз, должен подробно объяснить техническое решение принимающей локомотивной бригаде. При сдаче в основном депо электровоза, на котором применена аварийная схема, локомотивная бригада должна полностью разобрать ее.

При наличии на сдаваемом электровозе неисправностей, которые можно устранить силами бригады, сдающая и принимающая бригады обязаны совместно устранить их и принять необходимые меры против срыва графика движения.

В случаях обнаружения неисправностей или необходимости пополнения песочниц машинист электровоза обязан своевременно поставить в известность локомотивного диспетчера о необходимости замены электровоза, его ремонта или экипировки.

**Другие виды технического обслуживания.** Техническое обслуживание ТО-2 выполняется, как правило, работниками пунктов технического обслуживания локомотивов. Основные требования к

организации и проведению технического обслуживания локомотивов ТО-1 и ТО-2 установлены Инструкцией по техническому обслуживанию электровозов и тепловозов в эксплуатации, утвержденной МПС России 27.09.1999 (ЦТ-685).

Техническое обслуживание ТО-3 обычно осуществляется в локомотивном депо приписки локомотива.

Техническое обслуживание ТО-4 производится в целях поддержания профиля бандажей колесных пар в пределах, установленных Инструкцией по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм, утвержденной МПС России 14.06.1995 (ЦТ-329). При техническом обслуживании ТО-4 выполняется только обточка бандажей колесных пар (без выкатки из-под локомотива).

Если обточка бандажей колесных пар совмещается с операциями по техническому обслуживанию ТО-3, текущему ремонту ТР-1 или ТР-2, то локомотив не зачисляется на техническое обслуживание ТО-4, а учитывается как находящийся на техническом обслуживании ТО-3 (текущем ремонте ТР-1, ТР-2) с обточкой.

Техническое обслуживание ТО-5а осуществляется с целью подготовки локомотива к перевозу в запас или резерв железной дороги.

Техническое обслуживание ТО-5б производится для подготовки локомотива к отправке в недействующем состоянии.

Техническое обслуживание ТО-5в выполняется при подготовке к эксплуатации локомотива, прибывшего в недействующем состоянии (после постройки, ремонта вне локомотивного депо приписки или передислокации).

Техническое обслуживание ТО-5г обеспечивает подготовку локомотива к эксплуатации после содержания в запасе или резерве железной дороги.

**Ремонты.** Ремонт представляет собой комплекс операций по восстановлению исправности, работоспособности и ресурса локомотива.

Текущий ремонт локомотива — это ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности локомотива и состоящий в замене и восстановлении его отдельных узлов и систем.

Текущий ремонт ТР-1 осуществляется, как правило, в локомотивных депо приписки локомотивов.

Текущий ремонт ТР-2 обычно производится в специализированных локомотивных депо железных дорог приписки локомотивов.

Текущий ремонт ТР-3 выполняется в специализированных локомотивных депо железных дорог (базовых локомотивных депо).

Средний ремонт локомотива осуществляется в целях восстановления его исправности и частичного восстановления ресурса. Этот вид ремонта производится в базовых локомотивных депо, на локомотиворемонтных заводах ОАО «РЖД» или в сторонних организациях.

Капитальный ремонт локомотива обеспечивает восстановление эксплуатационных характеристик и исправности локомотива, а также почти полное восстановление его ресурса. Капитальный ремонт выполняется на локомотиворемонтных заводах ОАО «РЖД» или в сторонних организациях.

Объемы и порядок производства обязательных работ при плановом техническом обслуживании и ремонте, браковочные признаки и допускаемые методы восстановления деталей и сборочных единиц определяются действующей эксплуатационной и ремонтной документацией, согласованной и утвержденной в установленном порядке.

Средние для ОАО «РЖД» нормы периодичности технического обслуживания и ремонта электровозов приведены в табл. 15.1.

Периодичность технического обслуживания ТО-2 исчисляется временем нахождения локомотива в эксплуатируемом парке, а периодичность технического обслуживания ТО-3 и планового ре-

Таблица 15.1

**Нормы периодичности технического обслуживания и ремонта электровозов**

Сери электровозов	Периодичность						
	технического обслуживания, ч		текущего ремонта, тыс. км			среднего ремонта, тыс. км	капи- тального ремонта, тыс. км
	ТО-1	ТО-2	ТР-1	ТР-2	ТР-3		
ВЛ10, ВЛ11, ВЛ15, ВЛ80, ВЛ82 всех ин- дексов, ВЛ85	Во время поездки	72	25	200	400	800	2 400
ЧС2, ЧС2Т, ЧС4, ЧС4Т, ЧС6, ЧС7, ЧС8		48	20	180	360	720	2 160
ЧС200		12,5	20	180	360	720	2 160
ВЛ65, ЭП1		48	25	200	600	1 200	2 400
ВЛ60К, ВЛ60ПК		48	18	180	360	720	2 160

монта для электровозов, указанных в табл. 15.1, — их линейным пробегом.

Дифференцированные нормы периодичности ремонта для отдельных локомотивных депо или групп локомотивов с учетом конкретных условий (профиль и план пути, масса поездов, скорости движения на участке обращения, протяженность участка, средне-суточный пробег локомотивов и др.) устанавливаются с отклонением, не превышающем 20 % средних нормативных значений для ОАО «РЖД».

Для локомотивов, применяемых для вождения пассажирских (в том числе пригородных) поездов, периодичность технического обслуживания ТО-2 не должна превышать 48 ч. Техническое обслуживание ТО-2 локомотивов, используемых для вождения скоростных пассажирских поездов, необходимо производить каждый раз перед выдачей под поезд.

Текущий ремонт ТР-1 магистральных локомотивов, применяемых в грузовом и пассажирском движении, следует осуществлять не реже одного раза в 6 мес (если техническое обслуживание ТО-3 не выполняется, то не реже одного раза в 3 мес), текущий ремонт ТР-2 — не реже одного раза в 2 года, текущий ремонт ТР-3 — не реже одного раза в 4 года, средний ремонт — не реже одного раза в 8 лет и капитальный — не реже одного раза в 16 лет.

Техническое обслуживание и ремонт магистральных локомотивов, используемых в грузовом и пассажирском движении со среднесуточным пробегом менее 300 км, допускается производить в соответствии с нормами периодичности для магистральных локомотивов, применяемых на маневровой работе, в хозяйственном, вывозном и передаточном движении.

Локомотивы, на которые распространяются гарантийные обязательства изготовителя после постройки или капитального ремонта (модернизации) с продлением срока службы, должны проходить техническое обслуживание и ремонт в соответствии с сопроводительной эксплуатационной документацией конкретного локомотива.

Система технического обслуживания и ремонта локомотивов железной дороги организуется начальником железной дороги по согласованию с департаментом локомотивного хозяйства МПС России. Начальник железной дороги устанавливает дифференцированные нормы периодичности технического обслуживания и ремонта для отдельных локомотивных депо или групп локомотивов, определяет порядок взаимодействия структурных подразделений с работниками железной дороги при организации технического обслуживания и ремонта локомотивов.

Независимо от периодичности технического обслуживания и ремонта параметры бандажей колесных пар должны измеряться не реже одного раза в 30 сут.

Таблица 15.2

**Средние для ОАО «РЖД»  
нормы продолжительности технического обслуживания  
и ремонта электровозов**

Серии электровозов	Продолжительность				
	технического обслуживания ТО-3, ч	текущего ремонта			среднего ремонта, сут
		ТР-1, ч	ТР-2, сут	ТР-3, сут	
ВЛ10, ВЛ11, ВЛ15, ВЛ60 всех индексов, ВЛ65, ВЛ80, ВЛ82, ВЛ85, ЭП1	12	18	3	6	6
ЧС2, ЧС2Т, ЧС4, ЧС4Т, ЧС6, ЧС7, ЧС8, ЧС200	12	18	3	6	6

Учет времени нахождения локомотивов на техническом обслуживании и ремонте осуществляется в соответствии с Инструкцией по учету наличия, состояния и использования локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава.

Нормы продолжительности и трудоемкости технического обслуживания и ремонта локомотивов устанавливаются начальником железной дороги дифференцированно по каждому локомотивному депо с учетом фактического уровня технологической оснащенности и других особенностей конкретного локомотивного депо на основании средних для ОАО «РЖД» норм продолжительности технического обслуживания и ремонта локомотивов, а также средних для ОАО «РЖД» норм трудоемкости технического обслуживания и ремонта локомотивов и технически обоснованных норм времени, утверждаемых департаментом локомотивного хозяйства МПС России.

Нормы продолжительности технического обслуживания ТО-2 локомотивов устанавливаются в следующих пределах:

- для пассажирских локомотивов — не более 2 ч;
- трехсекционных локомотивов, а также электровозов ВЛ15 и ВЛ85 — не более 1,5 ч;
- четырехсекционных локомотивов — не более 2 ч;
- остальных локомотивов — не более 1 ч.

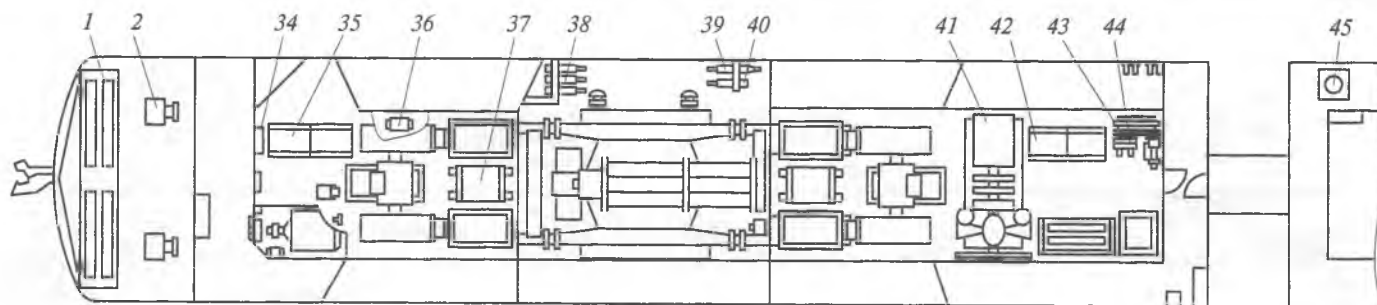
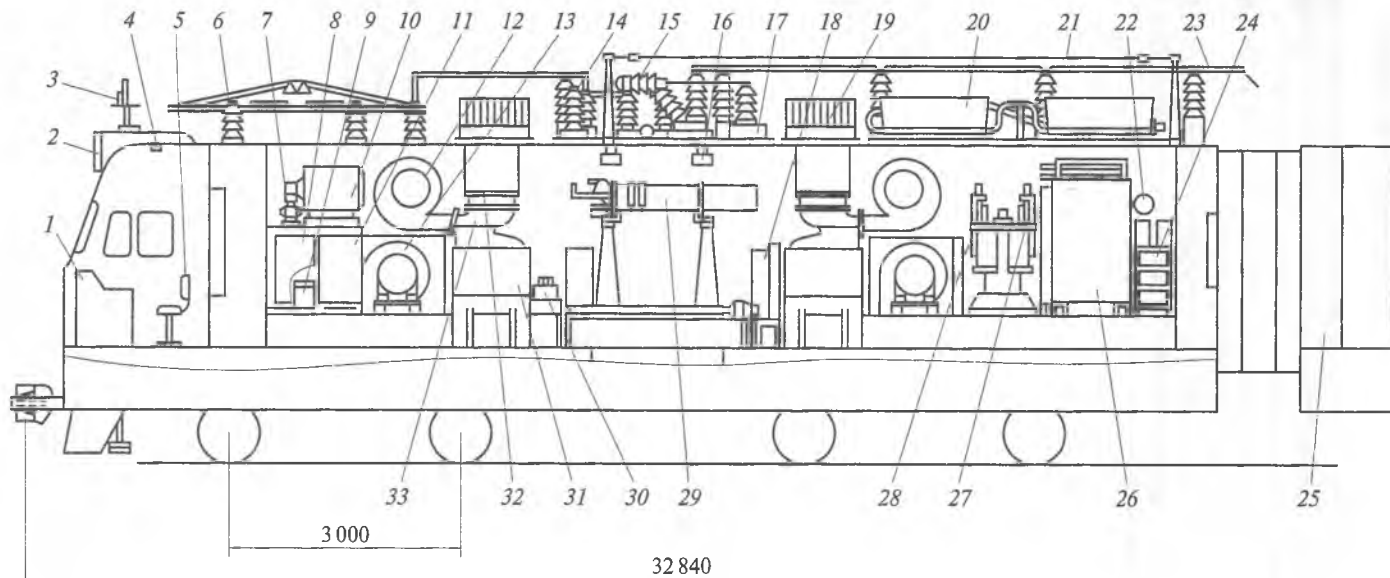
Средние для ОАО «РЖД» нормы продолжительности технического обслуживания ТО-3 и планового ремонта электровозов в условиях локомотивных депо приведены в табл. 15.2.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные нормативные документы, устанавливающие периодичность технического обслуживания и ремонта, а также перечень выполняемых работ.

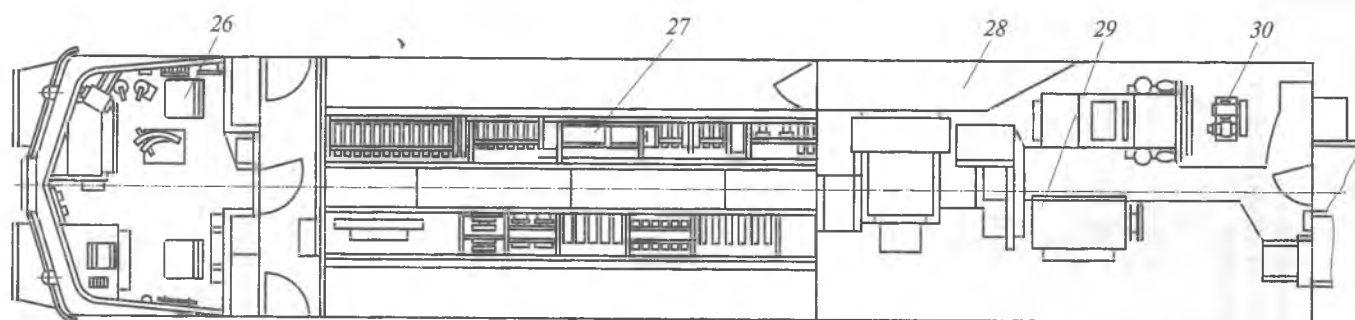
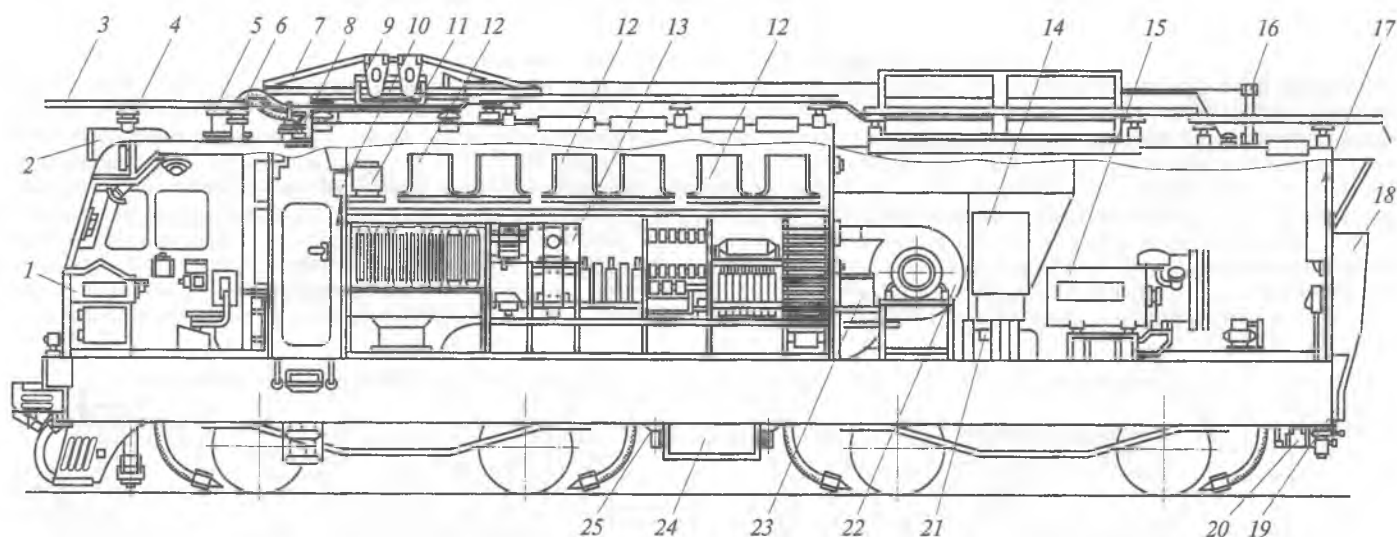
2. Каково назначение технического обслуживания ТО-1? Перечислите виды выполняемых работ.

3. В чем состоит назначение технического обслуживания ТО-2? Укажите периодичность его выполнения. Приведите краткий перечень выполняемых работ.

РАСПОЛОЖЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРОВОЗЕ ВЛ80<sup>С</sup>

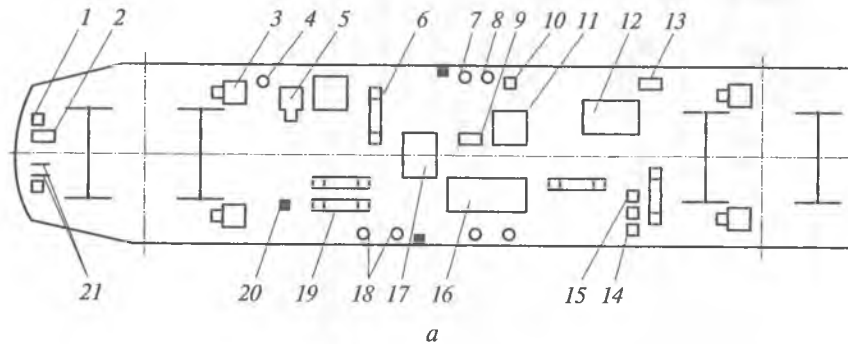
1 — пульт управления; 2 — лобовой прожектор; 3 — тифон (ревун); 4 — потолочный светильник; 5 — кресло машиниста; 6 — токоприемник; 7 — вспомогательный компрессор; 8 — панель № 3; 9 — реактор; 10 — расщепитель фаз; 11 — распределительный щит; 12 — блок центробежного вентилятора; 13 — блок мотор-вентилятора; 14 — разрядник РВЭ-25М; 15 — воздушный выключатель ВОВ-254МУХЛ1; 16 — разъединители выпрямителя; 17 — главный ввод с трансформатором тока; 18 — панель № 2; 19 — жалюзи для выброса воздуха; 20 — главные резервуары; 21 — антенна; 22 — счетчик электрической энергии; 23 — стальная шина трубчатого сечения для электрического соединения токоприемников; 24 — блок управления реостатным торможением; 25 — кузов 2-й секции; 26 — панель № 1; 27, 28 — переключатели; 29 — блок тягового трансформатора; 30 — блок конденсаторов; 31 — выпрямительная установка; 32 — блок тормозных резисторов; 33 — устройство переключения подачи воздуха; 34 — блок автоматических выключателей; 35 — блок силовых выключателей; 36 — индуктивный шунт; 37 — сглаживающий реактор; 38, 39 — контакторы торможения; 40 — добавочный резистор; 41 — блок мотор-компрессора; 42 — блок силовых аппаратов; 43 — реле перегрузки; 44 — выпрямительная установка возбуждения; 45 — санузел

## РАСПОЛОЖЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРОВОЗЕ ВЛ11

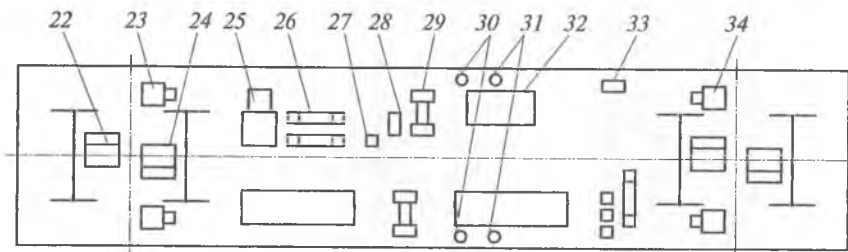


1 — пульт управления; 2 — лобовой прожектор; 3 — токоведущий угольник; 4 — опорный изолятор; 5 — разрядник; 6 — шина; 7 — токоприемник; 8 — главный ввод; 9 — реактор помехоподавления; 10 — высоковольтный разъединитель; 11 — блок индуктивных шунтов; 12 — блоки пусковых резисторов; 13 — блок аппаратов № 2; 14 — панель управления; 15 — блок мотор-компрессора; 16 — антенна радиостанции; 17 — санузел; 18 — переходная площадка; 19 — коробка межсекционного соединения; 20 — воздухораспределитель; 21 — панель заземления; 22 — центробежный вентилятор МЦ13-50 № 8 с двумя выходными патрубками; 23 — дешифратор; 24 — аккумуляторная батарея; 25 — главные резервуары; 26 — кресло машиниста; 27 — блок аппаратов № 1; 28 — форкамера; 29 — машинный преобразователь НБ-436В; 30 — вспомогательный мотор-компрессор для подъема токоприемника

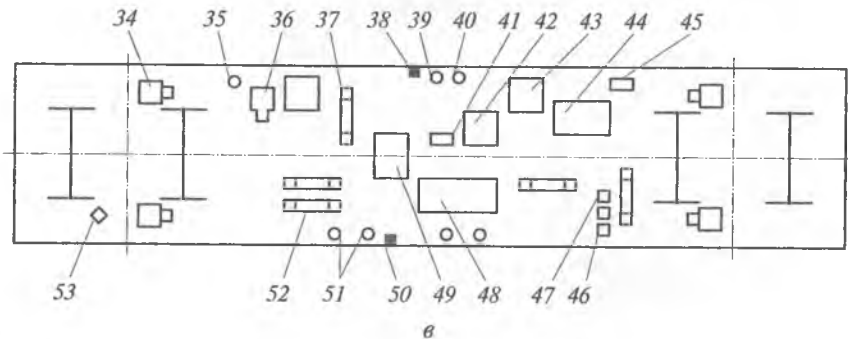
**РАСПОЛОЖЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ  
ПОД КУЗОВОМ ГОЛОВНОГО, МОТОРНОГО И ПРИЦЕПНОГО  
ВАГОНОВ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ЭР2Р**



a



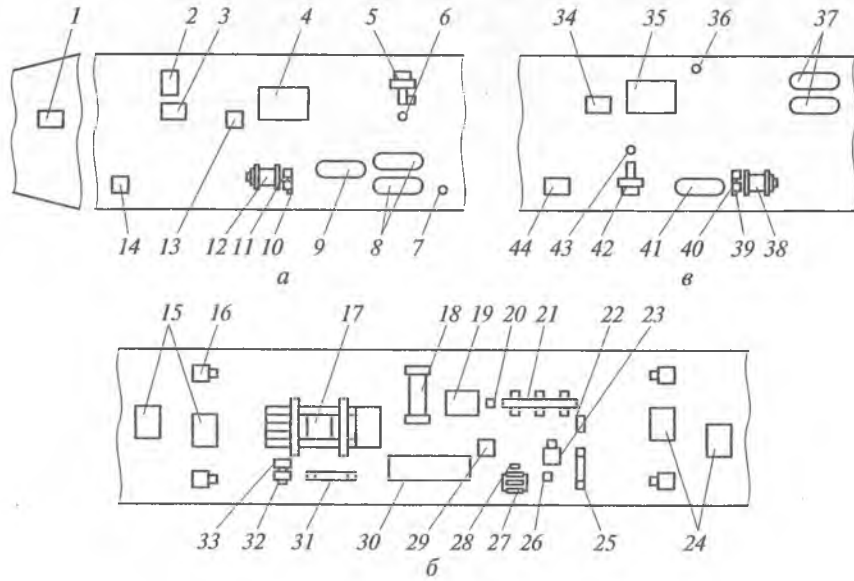
б



в

a, б, в — головной, моторный и прицепной вагоны соответственно; 1 — свисток; 2 — уравнильный резервуар вместимостью 20 л; 3, 23, 34 — тормозные цилиндры; 4, 35 — воздушные фильтры компрессора; 5, 36 — мотор-компрессоры; 6, 26, 37 — воздушные резервуары вместимостью 78 л; 7 — розетка деповского питания; 8, 31, 39 — патрубки водоснабжения механизированной уборки вагона; 9, 27, 41 — мусоросборники; 10, 30, 40 — вакуумные патрубки механизированной уборки вагона; 11 — блок пусковых резисторов; 12, 44 — аккумуляторные батареи; 13, 33, 45 — воздушные резервуары вместимостью 12 л; 14, 46 — электровоздухораспределители усл. № 305; 15, 47 — воздухораспределители усл. № 292; 16, 48 — ящики с контакторами вспомогательных цепей; 17, 49 — преобразователи; 18, 51 — маслоотделители; 19, 52 — главные резервуары вместимостью 170 л; 20, 53 — обогреватели сливной трубы; 21 — тифон; 22, 24 — тяговые двигатели; 25 — быстродействующий выключатель; 28 — индуктивный шунт; 29 — блок шунтирующих резисторов; 32 — ящик с силовыми контакторами; 38, 50 — розетки деповского питания; 42 — блок демпферных резисторов; 43 — ящик для колодок

РАСПОЛОЖЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ  
ПОД КУЗОВОМ ГОЛОВНОГО, МОТОРНОГО  
И ПРИЦЕПНОГО ВАГОНОВ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ЭР9Е



а, б, в — головной, моторный и прицепный вагоны соответственно; 1 — уравнивательный резервуар вместимостью 20 л; 2 — трансформатор; 3 — реактор (дроссель); 4, 35 — аккумуляторные батареи; 5, 42 — мотор-компрессоры; 6, 43 — воздушные фильтры; 7, 36 — маслоотделители; 8, 37 — главные резервуары вместимостью 170 л; 9, 41 — запасные резервуары вместимостью 78 л; 10, 32, 39 — электровоздухораспределители усл. № 305; 11, 33, 40 — воздухораспределители усл. № 292; 12, 16, 38 — тормозные цилиндры; 13, 29, 34 — мусоросборники; 14, 44 — обогреватели сливной трубы; 15, 24 — тяговые двигатели; 17 — тяговый трансформатор со встроенным реактором; 18 — охладитель масла тягового трансформатора; 19 — ящик с контакторами и трансформаторами тока; 20 — ящик с разрядником; 21 — тяговый выпрямитель; 22 — резистор расщепителя фаз; 23 — расщепитель фаз; 25, 31 — воздушные резервуары; 26 — реле давления; 27, 28 — резисторы; 30 — камера высоковольтной аппаратуры

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОВОЗЫ И ЭЛЕКТРОПОЕЗДА

В связи с тем, что действующий ЭПС в основном выработал свой ресурс, а производство эксплуатируемых серий электровозов неоправданно, поскольку они морально устарели, ОАО «РЖД» разрабатывает заказ на изготовление перспективных электровозов, технические характеристики которых приведены в табл. П.1 и П.2.

Таблица П.1

Технические характеристики перспективных грузовых электровозов

Показатель	Серии электровозов (условные обозначения)			
	Э3	Э5	Э4	Э6
Род тока	Переменный, напряжением 25 кВ и частотой 50 Гц		Постоянный, напряжением 3 кВ	
Осевая характеристика	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>		2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>	
Мощность продолжительного режима, кВт	6 600	4 400	4 400	6 600
			Двойное питание	
			2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>
			4 400	6 600
			Э10	Э9
			6 600	4 400

Примечание. У электровозов всех серий бесколлекторный тяговый привод переменного тока, осевая нагрузка 24,0 тс (235 кН) и максимальная скорость 120 км/ч.



Технические характеристики перспективных пассажирских электровозов

Показатель	Серии электровозов (условные обозначения)											
	ЭП1	ЭП3	ЭП5	ЭП200 (ЭП201)	ЭП2	ЭП4	ЭП6	ЭП100 (ЭП101)	ЭП9	ЭП10		
Род тока	Переменный, напряжение 25 кВ и час-готовой 50 Гц		Постоянный, напряжением 3 кВ								Двойное питание	
Осевая характеристика	$2_0 - 2_0 - 2_0$	$2_0 - 2_0$	$2_0 - 2_0 - 2_0$	$2_0 - 2_0 - 2_0$	$2(2_0 - 2_0)$	$2_0 - 2_0 - 2_0$	$2_0 - 2_0$	$2_0 - 2_0 - 2_0$	$2(2_0 - 2_0)$	$2_0 - 2_0$	$2_0 - 2_0$	
Мощность про-должительного режима, кВт	4 400	6 600	4 400	7 800	5 200	4 400	6 600	7 800	4 400	4 400	7 200	
Осевая на-грузка, тс (кН)	21,4 (210)	22,5 (220)	22,5 (220)	21,5 (211)	22,0 (216)	22,5 (220)	22,5 (220)	21,5 (211)	22,5 (220)	22,5 (220)		
Максимальная скорость, км/ч	140	140...160	140...160	200 (160)	140	140...160	140...160	200 (160)	140...160	140...160		
Тяговый привод	Коллекторный	Бесколлекторный		Бесколлекторный	Коллекторный	Бесколлекторный						

Приведем описание некоторых перспективных электровозов и электропоездов, в настоящее время находящихся в эксплуатации.

*Пассажирский электровоз ЭП10*, рассчитанный на два рода тока, мощностью 7 200 кВт имеет опорно-рамный привод, асинхронные двигатели, микропроцессорную систему управления, диагностики и безопасности движения и рекуперативный тормоз. Его сила тяги составляет 29,7 тс (291 кН), а конструкционная скорость — 160 км/ч.

Электровоз предназначен для работы на участках, электрифицированных на переменном и постоянном токе, может проходить границы этих участков без остановки.

Опытный электровоз ЭП10-001 изготовлен в 1998 г. ОАО «НПО НЭВЗ» совместно с ОАО «ВЭЛНИИ» (г. Новочеркасск). Электрооборудование поставлено компанией Adtranz (Германия).

Электровоз создан в соответствии с принятой Правительством Российской Федерации (постановление от 28.11.1996 № 1400) Федеральной программой производства пассажирского подвижного состава нового поколения на предприятиях России.

При разработке конструкции электровоза использован передовой отечественный и зарубежный опыт. Так, его механическая часть выполнена ОАО «ВЭЛНИИ» и «НПО НЭВЗ» на основе кузова и тележек современного электровоза серии ВЛ65, а электрическая — на базе схемных решений и компонентов, примененных компанией Adtranz в электровозах серий 460 (построенных для железных дорог Швейцарии) и 145 (построенных для железных дорог Германии).

Принципиальными новшествами электровоза ЭП10 являются его двухсистемность (возможность питания от систем электроснабжения постоянного тока напряжением 3 кВ, а также переменного тока напряжением 25 кВ и частотой 50 Гц) и наличие привода с отечественными асинхронными тяговыми двигателями, выполненными по схеме двойной звезды.

Контрактом с компанией Adtranz предусмотрено создание в России совместных предприятий, на которых будет организован выпуск электрооборудования асинхронного тягового привода для следующих локомотивов (серии ЭП10 и др.). К оборудованию, предназначенному для освоения отечественными предприятиями, относятся главный выключатель, тормозные резисторы, система охлаждения главного трансформатора и преобразователей, разделительный трансформатор вспомогательных нужд, вспомогательные асинхронные электрические машины, устройство питания цепей управления и заряда аккумуляторной батареи, ряд реле, контакторов и др.

В дальнейшем на базе отработанных решений по двум системам электроснабжения электровоза ЭП10 запланирована разработка односистемных электровозов постоянного и переменного тока, а также тепловозов с использованием унифицированных блоков (например, инвертора с двумя питаемыми от него тяговыми электродвигателями, тележек и т.п.) при любом числе осей. Таким образом будет решена проблема оснащения асинхронным приводом всего перспективного тягового подвижного состава железных дорог России, что позволит локомотивному хозяйству подняться на качественно новый уровень.

Магистральный шестиосный электровоз ЭП10 предназначен для вождения пассажирских и почтово-багажных поездов в составе, включающем в себя до 24 вагонов, на линиях с руководящим подъемом 12‰ и 20 вагонов с подъемом 16‰.

В конструкции электровоза применены:

- опорно-рамный привод второго класса;
- электрическое (рекуперативное и реостатное) торможение;
- двухступенчатая схема преобразования (первая ступень — четырехквadrантный регулятор-выпрямитель, вторая — инвертор) на базе запираемых тиристоров (ОТО) с промежуточным звеном постоянного напряжения;
- трехуровневая микропроцессорная система управления с подсистемой технической диагностики;
- жидкостное охлаждение силовой электрической и электронной аппаратуры;
- система автоматического управления тормозами (САУТ-ЦМ);
- комплексное локомотивное устройство безопасности (КЛУБ).

Предусмотрена возможность эксплуатации электровоза в режиме «Автowedение», с обслуживанием одним лицом, а также (по отдельному заказу) с управлением по системе многих единиц.

Отличительными особенностями нового электровоза являются комфортабельные кабины управления с удобными рабочими местами машиниста и его помощника, оснащенные современной аппаратурой управления и контроля (в том числе электронным скоростемером и дисплеем системы диагностики), а также, что довольно непривычно, кузов с центральным проходом, без окон в боковых стенках. Это объясняется отсутствием необходимости входа членов локомотивной бригады в машинное отделение при движении, так как бортовые средства автоматизации в случае возникновения проблемных ситуаций позволяют выполнять все необходимые переключения на специальной панели без вмешательства иного рода.

Повышенные тягово-энергетические показатели и надежность электровоза благодаря применению бесколлекторных тяговых двигателей, модульной конструкции, рекуперативно-реостатного торможения, регулируемой вентиляции и системы диагностики приведут, как ожидается, к снижению на 30 % затрат на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт электровоза ЭП10 по сравнению с тем же показателем эксплуатируемых в настоящее время локомотивов аналогичного назначения.

В 1999 г. — первом полугодии 2000 г. были проведены приемочные испытания, в мае — июле 2000 г. — эксплуатационные испытания, а 1 августа 2006 г. электровоз ЭП10-002 был отправлен с поездом № 7 сообщения Москва — Минск на участок протяженностью 750 км. Участок стыкования контактной сети двух родов тока на станции Вязьма поезд прошел без остановки. В конце 2006 г. в эксплуатации уже находились девять электровозов серии ЭП10, обслуживающих поезда на участках Москва — Минск, Москва — Казань, Москва — Выборг.

Магистральный электровоз ВЛ65 предназначен для вождения пассажирских и почтово-багажных поездов на железных дорогах, электрифици-

рованных на однофазном переменном токе промышленной частоты 50 Гц с номинальным напряжением 25 кВ.

Оборудование обеспечивает работу как одного, так и двух электровозов по СМЕ в режимах тяги и электрического (рекуперативного) торможения с автоматическим управлением. Предусмотрено ручное управление в режиме тяги.

Электровоз изготавливается в специальном климатическом исполнении. Рабочие значения температуры окружающей среды при эксплуатации составляют  $-50 \dots +40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Оборудование способно противостоять воздействию вибрационных и ударных нагрузок (группы условий М25 — М27).

Электрическое оборудование электровоза надежно работает при повышении напряжения на токоприемнике до 29 кВ и понижении до 19 кВ.

Конструкция электровоза обеспечивает безопасность обслуживающего персонала в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.056—81.

Электровоз ВЛ65 имеет следующие технические характеристики:

Номинальное напряжение на токоприемнике, кВ .....	25
Частота тока, Гц .....	50
Колея, мм .....	1 520 (1 524)
Сцепная масса электровоза с 0,67 запаса песка, т .....	138
Номинальная длина по осям автосцепок, мм .....	22 500
Номинальный диаметр колеса по кругу катания при новых бандажах, мм .....	1 250
Минимальный радиус проходимых кривых при скорости до 10 км/ч, м .....	125
Мощность на валах тяговых электродвигателей, кВт, не менее:	
в часовом режиме .....	4 750
в продолжительном режиме .....	4 450
Сила тяги, тс (кН), не менее:	
в часовом режиме .....	25 (245)
в продолжительном режиме .....	23 (225)
Скорость, км/ч, не менее:	
в часовом режиме .....	68
в продолжительном режиме .....	70,2
конструкционная .....	120
Тормозная сила, тс (кН), не менее, развиваемая в режиме рекуперативного торможения до скорости, км/ч:	
72 .....	27,6 (270)
120 .....	10,2 (100)

Гарантийный срок службы электровоза 2 года со дня ввода в эксплуатацию, назначенный срок службы до списания 33 года.

Кузов электровоза представляет собой цельнометаллическую конструкцию полуобтекаемой формы с кабинами по концам, сваренную из прокатных и гнутых профилей и листового материала. Соединение электровоза с вагонами осуществляется автосцепкой. Ходовая часть состоит из трех несочлененных двухосных тележек.

Рессорное подвешивание двухступенчатое: первая ступень выполнена в виде спиральных пружин, опирающихся на приливы корпуса буксы и гидродемпферов, вторая — в виде люлечных подвесок с соосно расположенными пружинами на крайних тележках и в виде сжатых упругих стержней на средней тележке. Двухступенчатое рессорное подвешивание обеспечивает малое динамическое воздействие электровоза на путь при прохождении неровностей.

Продольная связь кузова с тележками осуществляется с помощью наклонных тяг двустороннего действия, что приводит к автоматическому выравниванию осевых нагрузок внутри тележек.

Основным элементом кузова, несущим все виды нагрузок, является рама, которая включает в себя продольные балки, изготовленные из прокатных профилей (швеллеров), связанных друг с другом листом. По концам продольные балки скреплены между собой буферными брусьями, в средней части между тележками — двумя фермами, а над тележками — тремя поперечными балками коробчатого сечения и трансформаторными балками. Конструкция тележек и кузова обеспечивает возможность монтажа и демонтажа тяговых двигателей вниз вместе с колесной парой, а также снятия кожухов зубчатых передач без подъема кузова.

Колесная пара включает в себя ось, колесные центры коробчатого сечения, на которые насажены бандажы, и два зубчатых колеса. Последние находятся в зацеплении с шестернями, напрессованными на оба конца вала тягового двигателя. От воздействия внешней среды зубчатая передача защищена металлическим кожухом, состоящим из двух половин. Нижняя часть кожуха является масляной ванной для смазывания зубчатой передачи.

На электровозе выполнена блочная компоновка оборудования. Доступ к аппаратуре при ее обслуживании обеспечивается в основном из проходного коридора (через двери и задвижные щиты) и поперечных проходов в высоковольтной камере. Задвижные щиты и двери снабжены механической пневматической блокировкой, препятствующей подъему токоприемника при открытых дверях и задвижных щитах высоковольтной камеры и открытию их при поднятом токоприемнике. В высоковольтной камере установлены тяговый трансформатор, выпрямительно-инверторные преобразователи, блок выпрямительной установки возбуждения, блоки центробежных вентиляторов, охлаждающих тяговый трансформатор, преобразователи, тяговые двигатели и балластные резисторы, блоки силовых аппаратов и компрессоров, а также другое оборудование.

На крыше кузова установлены токоприемники, главный выключатель, дроссели помехоподавления, ограничитель перенапряжений, главные воздушные резервуары и др. Предусмотрены проемы с открывающимися люками для обеспечения возможности монтажа и демонтажа блоков электрического и пневматического оборудования. Выход на крышу — по лестнице, расположенной в высоковольтной камере, через люк. Электровоз имеет четыре входные двери, расположенные в боковых стенках кузова. Вход в кабину — через дверь в поперечной стенке.

В кабинах машиниста размещены органы управления электрическим и пневматическим оборудованием, контрольно-измерительные приборы, аппаратура автоматической локомотивной сигнализации и диспетчерской радиосвязи. Кабины имеют усиленную тепло- и звукоизоляцию, оборудованы калориферами, электрическими печами и кондиционерами.

Лобовые окна электровоза выполнены из особо прочного многослойного стекла. На боковой стенке кабины установлены пневматические стеклоочистители.

Система вентиляции состоит из четырех отдельных систем: двух идентичных систем охлаждения выпрямительно-инверторного преобразователя, сглаживающего реактора и двух тяговых двигателей; системы охлаждения тягового трансформатора, блока выпрямительной установки возбуждения и двух тяговых двигателей; системы охлаждения блока балластных резисторов.

В режиме тяги двигатели работают с последовательным возбуждением. Их питание осуществляется от тиристорных преобразователей с плавным четырехзонным регулированием напряжения. На электровозе установлены два тиристорных преобразователя, к каждому из которых подключены три двигателя, соединенных параллельно. Для расширения диапазона регулирования скорости электровоза предусмотрены три ступени ослабления возбуждения двигателей.

Направление движения электровоза изменяется реверсированием тока в обмотках возбуждения с помощью реверсивных переключателей.

Переход из режима тяги в режим электрического торможения осуществляется после предварительного обесточивания цепей тяговых двигателей. Все переключения в силовых цепях при переходе в режим электрического торможения выполняются тормозными переключателями. При этом якорь каждого тягового двигателя отключается от обмотки возбуждения и подключается через балластный резистор к тиристорному преобразователю, действующему в режиме электрического торможения в качестве инвертора. Обмотки возбуждения шести тяговых двигателей соединяются друг с другом последовательно и подключаются контактором к обмотке возбуждения тягового трансформатора электровоза через блок выпрямительной установки возбуждения.

Для обеспечения устойчивости электрического торможения в цепи якорей тяговых двигателей включены балластные резисторы. Выравнивание токов якорей в режиме электрического торможения производится с помощью тиристорных, включенных параллельно обмоткам возбуждения каждого тягового двигателя через резисторы ослабления возбуждения.

Защита силового электрооборудования от токов короткого замыкания осуществляется главным выключателем, включенным в цепь первичной обмотки тягового трансформатора, токовыми реле, отключающими главный выключатель при срабатывании, и быстродействующими выключателями в цепях якорей тяговых двигателей. Защита от перенапряжений обеспечивается нелинейными ограничителями перенапряжений. Предусмотрена защита от замыканий на «землю» цепей тяговых двигателей.

Для приведения в действие вентиляторов, компрессора и насоса системы масляного охлаждения тягового трансформатора применены трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором. Питание двигателей вспомогательных машин производится от обмотки собственных нужд тягового трансформатора по конденсаторно-расщепительной схеме. Особенность такой схемы состоит в том, что две фазы двигателя включаются на обмотку собственных нужд тягового трансформатора, а третья — последовательно с конденсаторными. Этим обеспечивается работа двигателя в трехфазном режиме, близком к симметричному.

Для пуска первого двигателя емкость конденсаторов должна быть увеличена, поэтому на время пуска параллельно рабочим конденсаторам подключаются пусковые конденсаторы. Отключение пусковых конденсаторов выполняется автоматически при помощи реле напряжения, реагирующего на повышение напряжения на конденсаторах после разгона двигателя. Схемой предусмотрена возможность питания двигателей вспомогательных машин от источника однофазного переменного тока депо через специальные розетки.

Защита цепей от токов короткого замыкания осуществляется с помощью токового реле. От токовых перегрузок двигателя защищены с помощью электротепловых токовых реле, при срабатывании которых отключается контактор соответствующего двигателя. Защита от перенапряжений обеспечивается нелинейным ограничителем перенапряжений. Для защиты от замыканий на «землю» используется реле, срабатывающее при замыкании токоведущих частей на «землю» в любой точке цепи.

Питание низковольтных цепей электровоза производится номинальным напряжением 50 В от статического преобразователя и щелочной аккумуляторной батареи. Нормальное питание цепей управления осуществляется от статического преобразователя. Аккумуляторная батарея предназначена для питания цепей управления при отключенном статическом преобразователе, например при вводе электровоза в работу или проезде нейтральных вставок. Цепи управления защищены от токов короткого замыкания автоматическими выключателями и плавкими предохранителями.

Для управления тиристорами выпрямительно-инверторных преобразователей и выпрямительной установки возбуждения на электровозе установлены один блок автоматического управления и два блока управления выпрямительно-инверторными преобразователями, один из которых является резервным.

В тяговом режиме работы электровоза система автоматического управления обеспечивает:

- разгон электровоза до заданной скорости с заданной силой тока тяговых двигателей;
- поддержание заданной скорости движения;
- ограничение силы тока якорей тяговых двигателей;
- снятие импульсов управления тиристорами выпрямительно-инверторного преобразователя при скорости нарастания силы тока якорей тяговых двигателей свыше 1 кА/с;
- защиту от боксования.

В режиме электрического торможения система автоматического управления обеспечивает:

- торможение с заданной силой тока якорей тяговых двигателей до полной остановки;
- торможение с заданной силой тока якорей тяговых двигателей до заданной скорости движения;
- поддержание заданной скорости движения на спусках;
- автоматическое ограничение силы тока якорей и обмоток возбуждения тяговых двигателей;
- работу инверторов с постоянным углом запаса;
- защиту от юза.

Для контроля работы основного электрооборудования в каждой кабине расположены приборы для измерения следующих электрических величин:

- напряжение контактной сети;
- напряжение на тяговом двигателе;
- сила тока якоря первого по ходу движения тягового двигателя;
- сила тока наиболее нагруженного тягового двигателя;
- сила тока возбуждения последовательно включенных обмоток возбуждения тяговых двигателей в режиме электрического торможения;
- заданная скорость движения;
- сила тока и напряжение в цепях электропневматического тормоза.

Кроме того, предусмотрена световая сигнализация, информирующая об отключении тяги, электрического торможения, главного выключателя, тяговых двигателей и двигателей вспомогательных машин, а также о переключении цепей управления на питание от аккумуляторной батареи, боксовании, юзе, разрядке тормозной магистрали, пневматическом торможении электровоза, замыкании на «землю» цепей тяговых двигателей и двигателей вспомогательных машин.

Схема пневматического тормоза электровоза позволяет использовать его как с пассажирским поездом, так и с грузовым составом. Для этого на электровозе применены два электровоздухораспределителя: грузовой типа 483М и пассажирский усл. № 305 в комплекте с воздухораспределителем усл. № 292. Воздухораспределители работают на общую систему тормозов.

Автоматическое управление тормозами осуществляется при различных аварийных ситуациях, также возможно выполнение экстренного торможения со своего рабочего места машинистом или его помощником. Пневматический тормоз обеспечивает остановку одиночного следующего электровоза на горизонтальном пути на расстоянии 1 050 м при начальной скорости торможения 120 км/ч.

На электровозе установлены два компрессора типа ВУ-3,5 с подачей 3 500 л/мин каждый. Расчетным является такой режим, при котором работает один компрессор, управляемый регулятором давления. Предусмотрена поочередная, а при необходимости и одновременная работа обоих компрессоров.

Специальный резервуар вместимостью 150 л, заряжаемый от питательной магистрали и отключаемый от пневматических магистралей элект-

тровоza специальным вентилем повышенной плотности, длительное время сохраняет запас сжатого воздуха, что обеспечивает уверенный подъем токоприемника при отсутствии сжатого воздуха в общей системе электровоза.

Тяговый электродвигатель НБ-514 приводит колесную пару во вращение (индивидуальный привод) через двустороннюю жесткую косозубую передачу.

Тяговый электродвигатель представляет собой двигатель пульсирующего тока с последовательным возбуждением, шестью главными и шестью добавочными полюсами и независимой системой охлаждения. В нем применена компенсационная обмотка, расположенная в пазах наконечников главных полюсов и соединенная последовательно с обмоткой якоря.

Остов двигателя цилиндрической формы одновременно служит магнитопроводом. В верхней и нижней частях остова со стороны коллектора выполнены смотровые люки, а также вентиляционный люк для входа охлаждающего воздуха. Щетки и щеткодержатели размещены на поворотной траверсе с ручным приводом, что позволяет выполнять их замену через верхний люк и устанавливать на нейтраль.

Шкаф питания ШП-21 предназначен для питания радиостанции, цепей управления, освещения и сигнализации, а также для подзаряда аккумуляторной батареи. Предусмотрено быстродействующее автоматическое переключение цепей нагрузки с выпрямителя на аккумуляторную батарею и обратно.

По номинальному напряжению электрические аппараты подразделяют на следующие группы: аппараты напряжения 25 кВ, аппараты цепей вторичной обмотки трансформатора (1,5 кВ), цепей тяговых электродвигателей (1 кВ), цепей вспомогательного оборудования (380 В), цепей управления и освещения (50 В). Электрические аппараты имеют приводы трех типов: электропневматический групповой, индивидуальный электромагнитный и индивидуальный ручной. Аппараты с электропневматическим приводом работают при давлении сжатого воздуха 367,5... 667,5 кПа.

Электрическая аппаратура сконструирована с учетом необходимой механической прочности деталей, имеет надежную электрическую изоляцию и размещена в основном в кузове электровоза. Стойкость деталей аппаратов к атмосферным воздействиям обеспечивается гальваническими и лакокрасочными покрытиями и применением надлежащей смазки.

Тяговый трансформатор ОНЦЭ-5700/25 предназначен для преобразования напряжения контактной сети в напряжение питания тяговых двигателей, включенных через тиристорный преобразователь, а также питания цепей собственных нужд и отопления поезда. Трансформатор имеет двухстержневой магнитопровод. На стержнях размещены две группы концентрических тяговых обмоток. Трансформатор оснащен системой принудительного масляно-воздушного охлаждения с направленной циркуляцией трансформаторного масла в обмотках.

Воздушный выключатель ВОВ-25А-10/400УХЛ1 предназначен для оперативной коммутации (включение-отключение) электрического питания электровоза и контактной сети в рабочем режиме, а также автома-

тического отключения электрооборудования электровоза при коротких замыканиях, перегрузках и других аварийных режимах.

Выключатель состоит из дугогасительной камеры, воздухопроводного изолятора, разъединителя, блока управления, воздушного резервуара и высоковольтного варистора ВВ-25УХЛ1. В комплект выключателя входят трансформатор тока ТПОФ-25 и реле максимального тока. Электрическая система выключателя соединяется с системой электровоза при помощи штепсельных розеток, рассчитанных на напряжение 50 В постоянного тока и 380 В переменного тока, что обеспечивает быстрый монтаж и демонтаж выключателя на электровозе.

Гашение дуги при отключении производится сжатым воздухом. Импульс на автоматическое отключение выключателя при перегрузке и коротких замыканиях подается на катушку реле от трансформатора тока ТПОФ-25, смонтированного в проходной изолятор, который одновременно служит вводом высокого напряжения в кузов электровоза. Реле разрывает цепь катушки удерживающего электромагнита, и происходит отключение выключателя.

Ограничитель перенапряжений ОПН-25УХЛ1 служит для защиты оборудования электровоза от коммутационных перенапряжений.

Реактор РС-38 сглаживает пульсации выпрямленного тока в цепи тяговых двигателей, состоит из шихтованного магнитопровода замкнутого типа на основе листов электротехнической стали с теплостойким электроизоляционным покрытием ТШ и обмотки, представляющей собой спирально намотанные катушки из медной шины с зазорами между витками. Межвитковая изоляция выполнена из электроинита. Комплект катушек, пропитанных электроизоляционным лаком, надевается на стеклопластовый цилиндр и устанавливается на стержень магнитопровода. Катушки соединены последовательно.

Быстродействующий выключатель ВВ-8 предназначен для включения и отключения силовых цепей тяговых двигателей, а также для их защиты от токов большой силы в режимах тяги и электрического торможения. Выключатель содержит поворотный электромагнит с подвижным главным контактом, два токопроводящих кронштейна и пневматический включающий привод. К кронштейнам крепится изоляционная панель с неподвижным главным контактом, дугогасительной системой и двумя парами размыкающих и замыкающих вспомогательных контактов. Выключатель оборудован электромагнитным вентилем для возбуждения привода и отключающими пружинами.

Двухпозиционный групповой кулачковый аппарат ПКД-15А применяется на электровозе в качестве реверсивного и тормозного переключателя. Реверсивное переключение обмоток возбуждения тяговых двигателей осуществляется с целью изменения направления движения электровоза. Тормозной переключатель переводит цепи тяговых двигателей из режима тяги в режим торможения.

Индуктивный шунт ИШ-009 способствует улучшению работы тяговых двигателей в переходных режимах.

Контроллер машиниста КМ-87 предназначен для управления электровозом во всех рабочих режимах. Контроллер имеет три вала: главный,

реверсивно-режимный и вал скорости. Главный и реверсивно-режимный валы вместе с кулачковыми контакторами составляют соответственно главный и реверсивно-режимный переключатели.

Реверсивно-режимный переключатель служит для подачи команд на изменение направления движения и режима работы электровоза (режим тяги или режим электрическое торможение), а также для ослабления возбуждения тяговых электродвигателей.

Главный переключатель связан с сельсином, который при ручном регулировании задает угол открытия тиристорных выпрямительно-инверторных преобразователей, а при автоматическом регулировании — силу тяги и торможения соответственно в режимах тяги и электрического торможения.

Вал скорости также связан с сельсином, который при автоматическом регулировании задает скорость движения в режимах тяги и рекуперативного торможения.

Пневматические контакторы ПК-9А, -10А и -358 предназначены для включения и отключения силовых цепей электровоза, а ПК-5А — для подключения цепи отопления вагонов к обмотке тягового трансформатора. Контактторы аналогичны по конструкции и принципу действия и состоят из следующих основных узлов: неподвижные и подвижные главные контакты, пневматический привод, дугогасительная камера и вспомогательные контакты. У контакторов ПК-358 система дугогашения отсутствует.

*Пассажирские электровозы переменного тока ЭП200 и ЭП201* мощностью 8 000 кВт имеют конструкционную скорость 200 и 160 км/ч соответственно. Их высокие ходовые и динамические качества обеспечены за счет применения экипажной части с двумя четырехосными тележками оригинальной конструкции (опорно-рамное подвешивание бесколлекторных тяговых двигателей и тяговых редукторов, двухступенчатое ресорное подвешивание с винтовыми пружинами и наличие гидравлических гасителей колебаний).

Электровозы оборудованы электрическим рекуперативным тормозом мощностью 8 000 кВт и системой энергоснабжения поезда мощностью 1 200 кВт. Электрооборудование в кузовах электровозов смонтировано в отдельных модулях, что значительно упрощает его ремонт и обслуживание.

Охлаждение электрооборудования осуществляется осевыми вентиляторами с регулируемым асинхронным электроприводом. Установленные в лобовой части кузова ударопоглощающие устройства, высокопрочные лобовые стекла с электрообогревом, а также кондиционеры кабин и экологически чистый санитарный узел соответствуют требованиям безопасности и обеспечивают комфортные условия для работы локомотивных бригад.

*Электропоезд ЭД4М* создан ОАО «Демидовский машиностроительный завод» (ОАО «ДМЗ») — головным предприятием по разработке и освоению серийного производства электропоездов постоянного и переменного тока, успешно реализующим Федеральную целевую программу «Разработка и производство пассажирского подвижного состава нового по-

коления на предприятиях России». Серийное производство электропоезда постоянного тока ЭД4М освоено в 1997 г.

По сравнению с электропоездом ЭД2Т этот поезд имеет следующие конструктивные отличия, повышающие его потребительские свойства, безопасность эксплуатации и технический уровень:

- новая конструкция лобовой части головного вагона;
- окна кабины большого размера, пятислойные лобовые окна толщиной 21 мм повышенной прочности;
- наличие в кабине машиниста дисплея для индикации сигналов системы противопожарной сигнализации и получения информации о неисправностях вагонов поезда;
- применение в салонах вагонов пожаробезопасных отделочных материалов;
- изготовление окон салонов на основе герметичных стеклопакетов;
- наличие люминесцентного освещения в салонах;
- электронные маршрутные указатели в головных вагонах;
- информационные табло над входными дверями салонов вагонов (световая информация в салонах дублируется речевым сообщением);
- наличие электронной системы сигнализации о возгорании и неисправностях и стационарных установок аэрозольного пожаротушения.

*Первый электропоезд переменного тока ЭД9Т* с отечественным электрооборудованием производства ОАО «ДМЗ» предназначен для пассажирских перевозок на пригородных электрифицированных участках железных дорог колеи 1 520 мм при номинальном напряжении в контактной сети переменного тока 25 кВ.

Вагоны электропоезда оборудованы комбинированными выходами, обеспечивающими возможность эксплуатации на линиях как с высокими, так и с низкими платформами.

Электропоезд серии ЭД9Т имеет следующие отличительные особенности по сравнению с электропоездом серии ЭР9Т:

- более высокая (на 17 %) пассажировместимость вагонов;
- увеличенные (на 60 %) площадки накопительных тамбуров;
- более широкие (на 28 %) входные двери;
- меньшая на 30 % продолжительность посадки и высадки пассажиров;
- наличие эффективной системы электродинамического реостатного торможения;
- более комфортабельная кабина машиниста, отвечающая современным требованиям эргономики;
- наличие эффективной противобоксочной и противоюзной электронной защиты с системой диагностики;
- возможность формирования поездов четной и нечетной составности путем включения в секции дополнительных прицепных вагонов;
- возможность формирования сочлененных электропоездов.

Предложен широкий выбор составностей электропоездов ЭД9Т.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров В. Н. Магистральные электровозы / В. Н. Бочаров, И. Ф. Кодинцев. — М. : Машиностроение, 1991. — 220 с.
2. Васько Н. М. Электровоз ВЛ80<sup>с</sup> : руководство по эксплуатации / Н. М. Васько, А. С. Девятков, А. Ф. Кучеров. — М. : Транспорт, 2001. — 454 с.
3. Калинин В. К. Электровозы и электропоезда / В. К. Калинин. — М. : Транспорт, 1991. — 480 с.
4. Кикнадзе О. А. Электровозы ВЛ10 и ВЛ10<sup>м</sup> : руководство по эксплуатации / О. А. Кикнадзе. — М. : Транспорт, 1981. — 519 с.
5. Сидоров Н. И. Как устроен и работает электровоз / Н. И. Сидоров, Н. Н. Сидорова. — М. : Транспорт, 1988. — 223 с.
6. Тихменев Б. Н. Подвижной состав электрических железных дорог. Теория работы электрооборудования, электрические схемы и аппараты / Б. Н. Тихменев, Л. М. Трахтман. — М. : Транспорт, 1969. — 408 с.
7. Электровоз ВЛ11<sup>м</sup> : руководство по эксплуатации. — М. : Транспорт, 1994. — 416 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
-------------------	---

### РАЗДЕЛ I

#### МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

<b>Глава 1. Тележки .....</b>	<b>5</b>
1.1. Рама тележки .....	5
1.2. Колесные пары и буксовый узел .....	9
1.3. Рессорное подвешивание .....	17
<b>Глава 2. Подвешивание тяговых двигателей и тяговый привод .....</b>	<b>23</b>
2.1. Общие сведения .....	23
2.2. Опорно-осевое подвешивание тягового двигателя .....	24
2.3. Опорно-рамное подвешивание тягового двигателя .....	28
<b>Глава 3. Кузов, автосцепное устройство и пневматические цепи управления .....</b>	<b>36</b>
3.1. Кузов и автосцепное устройство .....	36
3.2. Пневматические цепи управления .....	42
<b>Глава 4. Системы охлаждения и вентиляции .....</b>	<b>53</b>

### РАЗДЕЛ II

#### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

<b>Глава 5. Устройство электрических машин .....</b>	<b>57</b>
5.1. Принцип действия и общее устройство электрических машин .....	57
5.2. Изоляция .....	66
5.3. Обмотки якоря электрических машин .....	68
5.4. Обмотки возбуждения главных полюсов электрических машин .....	74
5.5. Коммутация в машинах постоянного тока .....	77
<b>Глава 6. Нагрев и режимы работы электрических машин .....</b>	<b>81</b>
6.1. Особенности работы электрических машин локомотивов .....	81
6.2. Допустимое превышение температуры частей электрической машины .....	82

6.3. Режимы нагрузки электрических машин локомотивов .....	86
6.4. Вентиляция электрических машин .....	89
<b>Глава 7. Электрические машины электроподвижного состава .....</b>	<b>94</b>
7.1. Тяговые электродвигатели .....	94
7.2. Вспомогательные электрические машины .....	98
7.3. Мотор-генераторы (преобразователи) .....	99
7.4. Электродвигатели привода вспомогательных агрегатов .....	102
7.5. Генераторы управления .....	109
7.6. Расцепитель фаз НБ-455А .....	112
7.7. Сельсины и тахогенераторы .....	115
<b>Глава 8. Осмотр и испытание электрических машин .....</b>	<b>118</b>
8.1. Осмотр коллектора .....	118
8.2. Перегрев коллектора и состояние изоляции .....	119
8.3. Испытания электрических машин .....	120

### РАЗДЕЛ III

#### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

<b>Глава 9. Аппараты силовых цепей .....</b>	<b>132</b>
9.1. Требования к контакторным элементам .....	132
9.2. Электропневматические контакторы .....	133
9.3. Электромагнитные контакторы .....	136
9.4. Токоприемники .....	139
9.5. Разъединители и главные выключатели электровозов переменного тока .....	143
9.6. Разъединители и быстродействующие выключатели электровозов постоянного тока .....	147
9.7. Групповые переключатели .....	153
9.8. Контроллеры машиниста и режимные контроллеры .....	169
9.9. Разрядники и ограничители перенапряжений .....	174
<b>Глава 10. Реле управления и защиты электроподвижного состава .....</b>	<b>179</b>
<b>Глава 11. Трансформаторы на электроподвижном составе .....</b>	<b>202</b>
11.1. Назначение тяговых трансформаторов. Принципы регулирования их напряжения .....	202
11.2. Конструкция тяговых трансформаторов .....	205
11.3. Реакторное оборудование .....	210
<b>Глава 12. Выпрямительные установки .....</b>	<b>219</b>
12.1. Полупроводниковые приборы .....	219
12.2. Полупроводниковые преобразователи для режима тяги .....	223
12.3. Выпрямительные установки электровозов .....	226

<b>Глава 13. Электрические схемы электровозов и электропоездов .....</b>	<b>230</b>
13.1. Схема силовых цепей электровоза постоянного тока .....	230
13.2. Схема силовых цепей электровоза переменного тока .....	235
13.3. Схема вспомогательных цепей электровоза постоянного тока .....	240
13.4. Схема вспомогательных цепей электровоза переменного тока .....	243
13.5. Схемы управления токоприемниками .....	245
13.6. Электрические схемы электропоездов .....	260
13.7. Аккумуляторные батареи .....	269

### РАЗДЕЛ IV

#### ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРОВОЗОВ И ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

<b>Глава 14. Безопасность труда при работе с электроподвижным составом .....</b>	<b>276</b>
14.1. Требования безопасности труда при эксплуатации электровозов .....	276
14.2. Требования безопасности труда при техническом обслуживании и текущем ремонте .....	281
<b>Глава 15. Виды, периодичность и объем ремонта электроподвижного состава .....</b>	<b>286</b>
Приложения .....	296
Список литературы .....	316



*Учебное издание*

**Грищенко Александр Васильевич,  
Стрекопытов Виктор Васильевич,  
Ролле Игорь Александрович**

**Устройство и ремонт электровозов и электропоездов  
Учебник**

Редактор *И. П. Гаврилова*  
Технический редактор *Н. И. Горбачёва*  
Компьютерная верстка: *Р. Ю. Волкова*  
Корректоры *В. А. Жилкина, Г. Н. Петрова*

Изд. № 101109312. Подписано в печать 31.03.2008. Формат 60 × 90/16.  
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Бумага тип. № 2. Усл. печ. л. 20,0.  
Тираж 3 000 экз. Заказ № 1628

Издательский центр «Академия». [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)  
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.004796.07.04 от 20.07.2004.  
117342, Москва, ул. Булterова, 17-Б, к. 360. Тел./факс: (495)330-1092, 334-8337.

Отпечатано с электронных носителей издательства.  
ОАО "Тверской полиграфический комбинат". 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.  
Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34, Телефон/факс: (4822)44-42-15  
Home page - [www.tverpk.ru](http://www.tverpk.ru) Электронная почта (E-mail) - [sales@tverpk.ru](mailto:sales@tverpk.ru) 