

**Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта**

Московский государственный университет путей сообщения

Самарская государственная академия путей сообщения

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ

**Под редакцией
профессора В.П. Феоктистова
профессора Ю.Е. Просвинова**

**Рекомендовано учебно-методическим объединением в качестве учебника
для студентов вузов железнодорожного транспорта**

**Москва Самара
2006**

УДК 629.423
ББК 39.232.
Э 45

Рецензенты:

Профессор, заведующий кафедрой «Подвижной состав
и энергоснабжение железных дорог и метрополитена» РАПС
Э.Э. Ридель

Заместитель начальника
Отдела Департамента технической политики ОАО «РЖД»
Н.А. Сидоров

Генеральный директор ЗАО «Кронид-ЭЛ»
В.Н. Ляпустин

Авторы:

Профессор **В.П. Феоктистов** (главы 1 и 2, словарь терминов);
профессор **Г.Г. Рябцев** (глава 2); профессор **Ю.Е. Просви́ров** (главы 4, 6, 7
и 8, словарь терминов); профессор **В.Н. Пупынин** (глава 5), профессор
Е.К. Рыбников (глава 3, словарь терминов); доцент **С.В. Володин** (глава 3);
доцент **В.В. Иванов** (глава 8)

Э 45 **Электрические железные дороги** [Текст] : учебник / под ред. проф. В.П. Феоктистова, проф. Ю.Е. Просви́рова ; Моск. ун-т путей сообщения; Самарская гос. акад. путей сообщения. – Самара : СамГАПС, 2006. – 312 с. – 500 экз. – ISBN 5-98941-032-8; ISBN 5-7876-0020-7.

Приведены основные сведения об электрических железных дорогах, описана конструкция основных узлов и агрегатов электроподвижного состава, рассмотрены вопросы электроснабжения электрических железных дорог, эксплуатационной деятельности железных дорог, локомотивного хозяйства. Учебник рассчитан на студентов специальности 190303 «Электрический транспорт железных дорог». Отдельные разделы могут использоваться студентами других специальностей.

УДК 629.423
ББК 39.232

ISBN 5-7876-0020-7
ISBN 5-98941-032-8

© МИИТ, 2006
© СамГАПС, 2006

**Игорю Петровичу Исаеву,
посвящается**



19 (06).08.1916 – 27.11.2001

Эта книга посвящена выдающемуся ученому в области железнодорожного транспорта, заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, профессору, академику Российской Академии транспорта ИСАЕВУ Игорю Петровичу.

Нет уголка на просторах нашей страны, где бы специалисты железнодорожного транспорта не знали этого имени. Инженеры, научные работники, руководители многих организаций железнодорожного транспорта, бывшие и теперешние студенты знают его не только как преподавателя, профессора, заведующего кафедрой, но и как ученого, автора и соавтора длинного ряда учебников по многим отраслям знаний железнодорожного транспорта.

Везде, где есть выпускники вузов нашей отрасли, есть частичка Игоря Петровича ИСАЕВА. Он подготовил шестьдесят кандидатов и девять докторов технических наук. Его научная школа, основанная на применении методов теории вероятностей и математической статистики, статистической физики, а также теории случайных процессов открыла новую страницу в исследовании, изучении и решении насущных задач железнодорожного транспорта. Статистические расчеты при определении надежности работы локомотивов, силы тяги, коэффициента сцепления, показателей динамических качеств электрического подвижного состава, виброустойчивости механического, электросилового и электронного оборудования электровозов позволили значительно повысить эффективность использования их работы, что в полной мере было реализовано на сети железных дорог России и стран СНГ.

Его многократно переиздававшийся учебник по основам теории электрической тяги стал настольной книгой не для одного поколения инженеров-электромехаников путей сообщения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие

Глава 1. Система локомотивной тяги на отечественных железных дорогах

- 1.1. Подвижной состав железных дорог
- 1.2. Виды тяги – автономные и неавтономные
- 1.3. Особенности электрической тяги – непрерывное взаимодействие э.п.с. и системы электроснабжения железной дороги
- 1.4. Механика движения поезда
- 1.5. Режимы движения поезда
- 1.6. Природа сил, действующих на поезд
- 1.7. Определение массы поезда
- 1.8. Энергетика движения поезда
- 1.9. Эффективность электрической тяги
- 1.10. Перспективные виды систем электрической тяги

Глава 2. Электрическое оборудование электрического подвижного состава

- 2.1. Основные элементы силовой цепи э.п.с. постоянного тока
- 2.2. Основные элементы силовой цепи э.п.с. переменного тока
- 2.3. Электрическое оборудование цепей управления э.п.с.
- 2.4. Защита электрического оборудования э.п.с.
- 2.5. Вспомогательное оборудование э.п.с.
- 2.6. Расположение электрооборудования на э.п.с.

Глава 3. Механическая часть электровозов и электропоездов постоянного и переменного тока

- 3.1. Общие сведения
- 3.2. Назначение основных узлов и классификация механической части
- 3.3. Устройство тележек электроподвижного состава
- 3.4. Устройство колёсных пар, букс и рам тележек
- 3.5. Кузова электровозов и электропоездов
- 3.6. Взаимодействие колесных пар и рельсового пути
- 3.7. Рессорное подвешивание, его характеристика

Глава 4. Железнодорожный путь

- 4.1. Основы устройства железнодорожного пути, план и профиль. Габариты
- 4.2. Земляное полотно, верхнее строение пути
- 4.3. Рельсы, крепления, шпалы, стрелочные переводы
- 4.4. Понятие об устройстве рельсовой колеи
- 4.5. Искусственные сооружения, их виды и назначение

Глава 5. Электроснабжение электрических железных дорог

- 5.1. Системы тяги и тягового электроснабжения
- 5.2. Классификация и структурные схемы тяговых подстанций
- 5.3. Защита систем тягового электроснабжения от перегрузок и коротких замыканий
- 5.4. Контактные сети и железнодорожные высоковольтные линии электропередачи

Глава 6. Автоматика, СЦБ и связь

- 6.1. Автоблокировка, принципы ее работы
- 6.2. Полуавтоматическая блокировка
- 6.3. Диспетчерская централизация
- 6.4. Устройства автоматики и телемеханики на станциях
- 6.5. Автоматическая локомотивная сигнализация. Автостоп
- 6.6 Связь на железнодорожном транспорте

Глава 7. Организация эксплуатационной работы

- 7.1. Грузовая работа. Пассажирские перевозки
- 7.2. План и порядок формирования поездов. Порядок приема, отправления и движения поездов
- 7.3. Пропускная и провозная способности. График движения поездов. Основные показатели эксплуатационной работы.
- 7.4. Оперативное планирование и руководство поездной работой. Функции поездного диспетчера. Роль дежурного по отделению дороги

Глава 8. Организация эксплуатации и ремонта локомотивов

- 8.1 Структура локомотивного хозяйства. Классификация и распределение локомотивного парка
- 8.2 Показатели использования локомотивов. Способы обслуживания поездов локомотивами и локомотивов бригадами
- 8.3 Локомотивные бригады
- 8.4 Экипировка локомотивов
- 8.5 Основы технического обслуживания и ремонтов локомотивов

Словарь железнодорожных терминов

Библиографический список

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электрические железные дороги являются основой нашей транспортной системы, они реализуют около 75% всего грузооборота железнодорожного транспорта. Ещё на рубеже 50 - 60-х годов СССР вышел на первое место в мире по протяжённости железных дорог с электрической тягой и по выполняемому ими грузообороту, а также по количеству и по суммарной мощности выпускаемого нашими заводами электроподвижного состава - электровозов и электропоездов.

Столь значительные количественные показатели сопровождались соответствующим развитием научно-исследовательских и конструкторских разработок по электрической тяге и электровозостроению. Поэтому электрические железные дороги представляют собой самостоятельную транспортную отрасль со своей специфической технической базой, включающей подвижной состав и энергоснабжение, со своей отраслевой наукой, а также с инфраструктурой, опирающейся на те отрасли транспортного машиностроения и электротехнической промышленности, которые обеспечивали производство оборудования для технической базы электрических железных дорог. В эту инфраструктуру входят такие строительные организации, обеспечивающие электрификацию: монтаж контактной сети, подстанций, линий электропередач, реконструкцию локомотивных и мотор-вагонных депо.

Благодаря этому, как у нас, так и за рубежом электрические железные дороги выделились в самостоятельный вид транспорта и ему соответствует самостоятельная инженерная специальность и комплекс учебных дисциплин. Первый в мире учебный курс «Электрические железные дороги» начал читать в 1907 г. в Петербургском технологическом институте академик Графтио Генрих Осипович - один из основоположников электрической тяги в России, несомненная заслуга которого состоит в том, что он развивал теорию электрификации железных дорог как составную часть комплексной электрификации России. Он рассматривал электрификацию как ключевую отрасль научно-технического прогресса на транспорте, в промышленности и сельском хозяйстве.

Данный учебник продолжает отечественную традицию лидирующей роли электрификации, заложенную академиком Графтио Г.О., и представляет собой расширенный вводный курс для студентов при подготовке инженеров в области эксплуатации электрических железных дорог, а также по электровозостроению. При этом соблюден принцип построения интегрированного курса, поскольку всё, относящееся к электрическим железным дорогам, рассматривается как единая и самостоятельная научная и учебная дисциплина.

Этот учебник позволяет изучить принципы электрической тяги, режимы работы электроподвижного состава постоянного и переменного токов магистрального и пригородного сообщений.

Авторы учебника надеются, что оно будет полезным не только студентам транспортных вузов и техникумов, но также и локомотивным бригадам, ремонтному персоналу и всем желающим познакомиться с принципами и особенностями работы электрической железной дороги.

Замечания и отзывы просим присылать по адресам:

101475, Москва, ул. Образцова, 15, МИИТ, кафедра «Электрическая тяга»;

443066, Самара, 1-й Безымянный пер., 18, СамГАПС, кафедра «Локомотивы».

1. СИСТЕМА ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

1.1. Подвижной состав железных дорог

В технике железнодорожного транспорта выделяют подвижной состав, т.е. локомотивы и вагоны, а также инфраструктуру, т.е. неподвижные устройства (путь, искусственные сооружения и т.д.). Классификация подвижного состава приведена на рис. 1.1. подвижной состав разделяют на тяговый подвижной состав и вагоны.

Подвижной состав железных дорог									
Тяговый подвижной состав					Нетяговый подвижной состав (вагоны)				
локомотивы		мотор-вагонные поезда			грузовые			пассажирские	
грузовые	пассажирские	маневровые	пригородные	местные	скоростные	универсальные	специализированные	До 160 км/ч	До 200 км/ч

Рис. 1.1. Классификация подвижного состава железных дорог

Движение поездов на железнодорожном транспорте осуществляется с помощью тягового подвижного состава. К нему относятся локомотивы и мотор-вагонный подвижной состав; последний состоит из моторных и прицепных вагонов. Мотор-вагонные поезда (электрические и дизельные) эксплуатируются в составах постоянного формирования. На локомотивах и моторных вагонах энергия, полученная от первичного источника, превращается в механическую энергию движения поезда (путем создания касательной силы тяги в точках контакта колес с рельсами).

Первоначально преобразование тепловой энергии, получаемой при сжигании топлива, в механическую производилось установкой с паровым котлом и паровой машиной. Локомотивы с такими установками получили название паровозов – это были первые локомотивы железных дорог.

В дальнейшем на смену паросиловым установкам пришли более совершенные тепловые двигатели: дизели и газовые турбины. Локомотивы с поршневыми двигателями внутреннего сгорания (дизелями) называются тепловозами, а локомотивы с газотурбинными установками – газотурбовозами.

Паровозы, тепловозы и газотурбовозы являются автономными локомотивами, т.е. механическая энергия для движения поездов вырабатывается в результате сгорания топлива на самом локомотиве.

Развитие транспортной техники и развитие энергетики привело к созданию локомотивов и моторных вагонов неавтономной тяги. В отличие от автономного тягового подвижного состава здесь первичная (электрическая) энергия поступает на локомотив или моторный вагон от внешних источников. На самом локомотиве или моторном вагоне осуществляется лишь преобразованием электрической энергии в механическую энергию движения поезда. Неавтономный тяговый подвижной состав получает электропитание от электрической энергосистемы через тяговые подстанции и контактную сеть, расположенную над железнодорожными путями. При электрической тяге мощность локомотивов не ограничена первичным двигателем; поэтому электровозы имеют большие мощности на каждую ось в сравнении с автономными локомотивами.

Коэффициент полезного действия локомотива, характеризующий степень использования тепла сгорания топлива для получения полезной работы, тем выше, чем совершеннее первичная энергетическая установка. Энергия, потребляемая неавтономными локомотивами, вырабатывается на электростанциях.

Коэффициент полезного действия электротяги при питании от тепловых электростанций составляет 25–26%. При этом тепловые электростанции работают, как правило, на дешевых видах топлива (бурый уголь, торф). Если учесть долю гидроэлектростанций в электроснабжении электрических железных дорог, то КПД электротяги повышается до 32%.

Автономные локомотивы в зависимости от типа теплового двигателя и степени его использования имеют КПД достигающий у тепловозов 29–31%, а паровозов 5–7%. За счет улучшения использования и повышения экономичности дизеля КПД тепловоза может быть несколько повышен. КПД газотурбовоза пока еще несколько ниже, чем у тепловоза. Однако существенным преимуществом газовой турбины является её небольшой вес – она в 4–6 раз легче дизеля, такой же мощности. Это позволяет создавать газотурбовозы, идентичные по мощности электровоза.

Тяговые электродвигатели у электровозов позволяют при движении на расчетных подъемах работать на режимах с нагрузками, превышающими номинальные, если при этом перегрев обмоток электродвигателей не превышает допустимых пределов. У моторных вагонов электродвигатели обычно работают с токами больше номинальных во время пуска (разгона) поезда, что важно для пригородного сообщения с частыми остановками.

Электровозы могут при торможении возвращать в тяговую сеть часть энергии движения поезда (рекуперативное торможение). Эксплуатационные затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт электровозов примерно в 2–3 раза ниже, чем при автономных локомотивах. Провозная способность электрифицированных линий значительно превышает провозную способность неэлектрифицированных железных дорог. Элек-

травозы имеют значительно больший срок службы, ремонт и обслуживание их проще, чем тепловозов.

Вместе с тем введение электрической тяги требует больших капиталовложений (устройство контактной сети, линий электропередачи, тяговых подстанций). Однако они быстро окупаются на железных дорогах с большой интенсивностью движения. Поэтому электрическая тяга нашла широкое применение на наиболее грузонапряженных и тяжелых по профилю линиях, а также в пригородном пассажирском движении.

По роду работы локомотивы подразделяются на грузовые, пассажирские и маневровые. Грузовые локомотивы должны развивать силу тяги, позволяющую водить поезда большой массы до 6000 т. Пассажирские локомотивы предназначены для вождения более легких поездов, но с большими скоростями.

Моторвагонный подвижной состав на электрифицированных линиях состоит из электровагонов, включаемых в электропоезда; на неэлектрифицированных линиях применяют дизель-поезда. В отличие от локомотивов моторные вагоны служат не только для тяги поезда, а используются одновременно и для размещения и перевозки пассажиров.

Сила тяги, которая вызывает перемещение поезда, появляется в результате взаимодействия колес локомотива или моторного вагона с рельсами при передаче вращающего момента от двигателя к колесным парам.

Применение на электровозах или тепловозах тяговых электродвигателей дает возможность использовать как индивидуальный, так и групповой привод. При индивидуальном приводе каждая движущая колесная пара соединена со своим тяговым двигателем зубчатой передачей. При групповом приводе движущие колесные пары, размещенные в одной жесткой раме, соединяются между собой промежуточными зубчатыми колесами, но все колесные пары получают вращение от одного двигателя.

Если число колесных пар не превышает шести, локомотив всегда выполняется с одним кузовом. Такой локомотив называется односекционным. При большом числе колесных пар кузов локомотива оказывается слишком длинным и тяжелым, что сильно усложняет его конструкцию и затрудняет прохождение кривых. Поэтому такие локомотивы обычно выполняются не с одним, а с двумя и даже с тремя самостоятельными кузовами (секциями), соединенными между собой автосцепками или специальными шарнирными соединениями. Такие локомотивы называются двух- или трехсекционными. В некоторых случаях оборудование многосекционных локомотивов позволяет каждой его секции самостоятельно водить поезда. В последнее время односекционными стали выполнять и 8-осные локомотивы (электровоз ЭП200).

Расположение колесных пар в экипаже, род первичного двигателя, связи от тяговых электродвигателей к колесным парам и способ передачи тягового усилия принято выражать осевой характеристикой, в которой цифрами показывается число колесных пар. В осевой характеристике знак «—» означает, что обе тележки несочлененные – не связаны шарнирно – и тяговое усилие от движущих колесных пар к автосцепке локомотива пере-

дается через рамы тележки. Знак «+» указывает, что тележки сочлененные – соединены между собой и сила тяги передается через раму кузова.

Если движущие колесные пары имеют индивидуальный привод, то к цифре, показывающей число осей в тележке, добавляется индекс «0». Так, электровоз с осевой характеристикой 3_0+3_0 представляет собой локомотив с двумя сочлененными трехосными тележками и с индивидуальным приводом движущих колесных пар. Тепловоз с осевой характеристикой $2(3_0-3_0)$ – двухсекционный локомотив, каждая секция которого имеет две трехосные тележки с индивидуальным приводом движущих колесных пар и может работать самостоятельно. Если же секции не могут работать самостоятельно, то осевая характеристика в данном случае имела бы вид $3_0-3_0-3_0-3_0$.

На железных дорогах широко применяют, особенно при тяжелых поездах, кратную тягу, т.е. совместную работу нескольких локомотивов. В связи с этим многие электровозы и тепловозы имеют оборудование, позволяющие им работать по системе нескольких (многих) единиц, что дает возможность помощью электрических цепей управлять всеми секциями локомотива или локомотивов из одной кабины машиниста; достигается точно согласованная и синхронная работа локомотивов и отпадает необходимость иметь на каждом из них полный состав локомотивных бригад. Особенно широко управление по системе многих единиц используется на электропоездах и дизель-поездах. Здесь поезд составляют из нескольких постоянных по составу поездных единиц – секций.

Каждая секция включает в себя один моторный вагон и несколько (обычно один или два) прицепных (немоторных вагонов). Управляют таким поездом из одной кабины, расположенной в головном вагоне.

На железных дорогах страны эксплуатируются электровозы около 20 серий и модификаций. Одним из самых мощных является двухсекционный 12-осный электровоз ВЛ85 с рекуперативным торможением, предназначенный для работы на магистральных, электрифицированных по системе однофазного переменного тока напряжением 25 кВ. электровоз состоит из двух шестиосных секций; кузов каждой из них подвешен на трех двухосных тележках. Электровоз может водить поезда массой 6000 т и более. Для вождения более тяжелых поездов и для работы на участках с более трудным профилем предусмотрена возможность работы двух электровозов при управлении одним машинистом из кабины любой секции. На электровозе предусмотрено автоматическое управление режимом движения. Мощность локомотива 10 000 кВт, сила тяги 740 кН, конструкционная скорость 110 км/ч.

В числе новых локомотивов грузовой 12-осный электровоз ВЛ15, он предназначен для вождения тяжеловесных поездов на магистральных участках с напряжением 3000 В постоянного тока. Мощность локомотива 9000 кВт, сила тяги 657 кН, конструкционная скорость 100 км/ч.

Современные электровозы и тепловозы могут совершать пробег между экипировками в зависимости от массы поездов и профиля пути до 1200 км, а между техническими обслуживаниями – от 1200 до 2000 км.

К электрическому подвижному составу относятся электровозы и электрические моторные вагоны. В зависимости от рода применяемого тока различают электровозы постоянного и переменного тока и двойного питания; также различаются и электропоезда.

Электровозы и моторвагоны состоят из механической части, электрического оборудования и имеют пневматические системы. К механической части современного электровоза или моторвагона относятся кузов и тележки. Электрическое оборудование состоит из тяговых электродвигателей, вспомогательных электрических машин, аппаратуры для управления двигателями и вспомогательными машинами, а на электроподвижном составе переменного тока и двойного питания, кроме того, – из трансформаторов и преобразователей тока (выпрямителей для питания электродвигателей переменного тока или автономных инверторов для питания асинхронных электродвигателей).

1.2. Виды тяги – автономные и неавтономные

В различных регионах мира и даже в отдельных странах железнодорожный транспорт отличается своеобразием применяемых решений. Здесь необходимо иметь в виду такие параметры, как ширина колеи и габариты (подвижного состава и приближения строений), предельно допустимые осевые нагрузки (15–33 т/ось), скорость движения поездов, типаж локомотивов и вагонов. Одна из принципиальных особенностей связана с использованием принципа автономности или неавтономности тяги. Обычно любая страна использует оба указанных рода тяги, но сочетание долей их участия в перевозочном процессе существенно различно. Например, в США преобладает автономная тяга с использованием самых мощных в мире тепловозов. В Швейцарии и Норвегии почти все перевозки осуществляются на неавтономной (электрической тяге) – причина состоит в чрезвычайно низкой цене электроэнергии, получаемой на гидроэлектростанциях, построенных на горных реках). Поэтому можно сделать вывод о том, что развитие железнодорожного транспорта, как системы и создание новых видов локомотивов и в целом локомотивной тяги, определялось в каждой стране ее экономическим потенциалом, наличием энергетических и сырьевых ресурсов, производственной базой, уровнем подготовки инженерных кадров, способных возглавить научно-технический прогресс, состоянием транспортного машиностроения и электротехнической промышленности.

В мире и в целом пройден огромный и трудный путь исторического развития в локомотивостроении и тяге поездов от традиционного колеса паровоза до магнитного подвешивания высокоскоростных электропоездов (400–500 км/ч). К последним относятся построенная в Москве и введенная в эксплуатацию эстакадная монорельсовая дорога с линейными электродвигателями.

Ниже эта проблема рассматривается применительно к конкретным условиям железных дорог России.

Исторически на железных дорогах России, как и в других странах, сложились два вида тяги. При одном из них (автономная тяга) на локомотивах находятся полные запасы топлива, расходуемые на выработку энергии, необходимой для движения поезда. Запасы топлива, воды и смазки по мере их расходования пополняют обслуживающие бригады в специальных заправочных (экипировочных) пунктах на участковых станциях.

Локомотивы другого вида тяги не имеют на борту собственного источника энергии, а получают питание извне, т.е. централизованно: через контактную сеть от тяговых подстанций, специально сооружаемых при электрификации железных дорог. Тяговые подстанции получают электроэнергию от единой энергосистемы ЕЭС, в составе которой в России находятся более 100 крупных электростанций – тепловых (73%), гидравлических (15%) и атомных (12%).

Отсюда и получили свое название эти виды тяги: первая – автономная, вторая – неавтономная. Их классификация приведена на рис.1.2.

Если рассматривать эту проблему в историческом аспекте, то нужно начать анализ с автономных локомотивов, потому что они появились первыми. Сначала они использовали паровые машины (самые простые тепловые двигатели), потом – двигатели внутреннего сгорания (дизели). Предпринимаются также попытки использования газовых турбин (газотурбовозы).

Локомотивы автономной тяги подразделяют по наиболее характерному признаку – принципу действия их тепловых машин. Такими на паровозах являются паровые машины – в них используется пар, вырабатываемый паровым котлом. На тепловозах используют дизели – двигатели внутреннего сгорания, работа которых основана на самовоспламенении топлива, подаваемого в цилиндры при его сжатии. На газотурбовозах установлены газовые турбины, широко применяемые в авиации.

На неэлектрифицированных участках дорог пригородные и местные пассажирские перевозки осуществляют дизель-поезда. Два крайних их вагона являются моторными, часть пассажирского помещения в них занимают дизельные установки. В каждом поезде имеется от одного до четырех прицепных вагонов для размещения пассажиров. В газотурбовозах источником энергии, вырабатываемой для движения поезда, является установка с газотурбинными двигателями. Газотурбовозы пока менее экономичны, чем дизельный подвижной состав, и поэтому не получили широкого распространения. К тому же ресурс (срок службы) газовой турбины в 10–15 раз меньше, чем у дизеля.

Локомотивы неавтономной тяги – электрической классифицируют также на основе ее наиболее характерного признака – по роду тока и напряжению в контактной сети. На отечественных дорогах применяются две системы: постоянного тока напряжением 3 кВ и однофазного переменного тока напряжением 25 кВ стандартной частоты 50 Гц.

Чем выше напряжение в электрической цепи, тем меньше потери энергии при передаче ее на расстояние. Поэтому стремятся иметь в контактной сети возможно более высокое напряжение, изыскивая экономич-

ные способы преобразования его до значения, подходящего для питания тяговых двигателей.

Однако в условиях СССР и России преимущественное распространение получила электрическая тяга. Такая тенденция характерна для большинства стран Евросоюза, Японии, Китая, Кореи.

В России на электрической тяге выполняется свыше 80% грузооборота и эта доля постоянно растет.

1.3. Особенности электрической тяги – непрерывное взаимодействие электроподвижного состава и системы электроснабжения железной дороги

Электрическая тяга на железных дорогах предполагает питание электроподвижного состава (э.п.с.), т.е. электровозов и электропоездов, по сложной электрической цепи (рис. 1.3), которая включает:

- электростанции Э (тепловые, гидравлические и атомные), причем все электростанции вырабатывают 3-фазное переменное напряжение частотой 50 Гц. В России долевое участие указанных электростанций в общем энергобалансе страны можно оценить примерно как 73, 15 и 12%;
- линии электропередачи ЛЭП, по которым вырабатываемая электростанциями электроэнергия переменного тока передается потребителям (обычно магистральные ЛЭП выполняются на напряжение 500–1000 кВ);
- районные распределительные подстанции РРП, расположенные в крупных городах и промышленных центрах. От этих подстанций питаются все потребители электроэнергии (заводы, крупные предприятия, городские районы, железные дороги), причем вся совокупность Э + ЛЭП + РРП образует единую энергетическую систему страны ЕЭС;
- тяговые подстанции ТП, получающие питание от РРП 3-фазным переменным напряжением обычно 220 кВ и преобразующие это напряжение в постоянное напряжение 3,3 кВ или в однофазное переменное напряжение 27,5 кВ 50 Гц;
- тяговую сеть, состоящую из контактной сети, подвешенной на опорах, и рельсовой цепи, называемой также цепью обратного тока (ее образуют ходовые рельсы, соединенные по стыкам специальными электрическими перемычками);

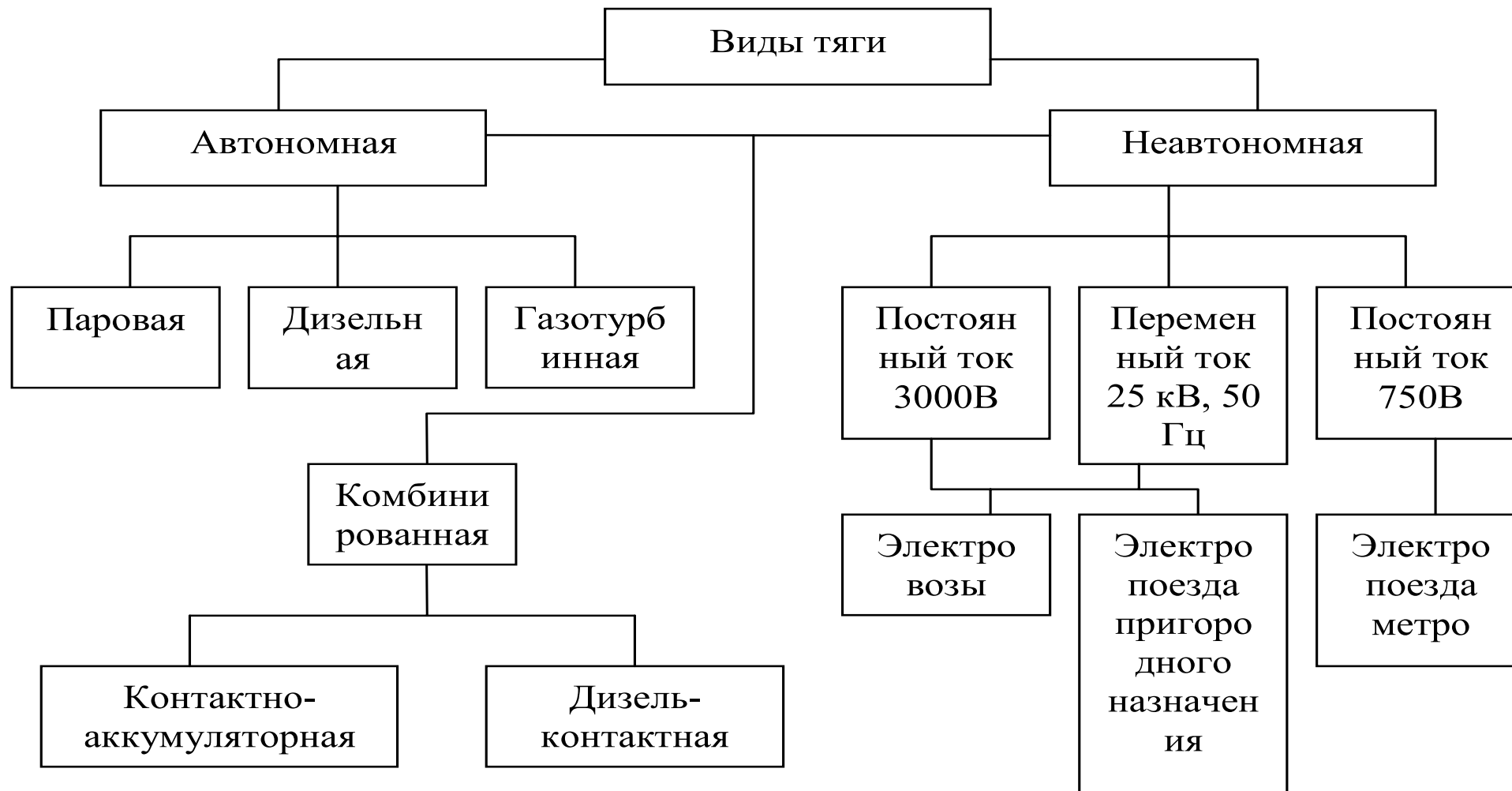


Рис. 1.2. Классификация видов тяги

- Э.п.с., который получает электроэнергию в любой системе электрической тяги по двум проводникам – по контактной сети посредством верхнего токоприемника и по рельсовой цепи через колесные пары, на которых установлены специальные токосъемники (графитовые щетки).

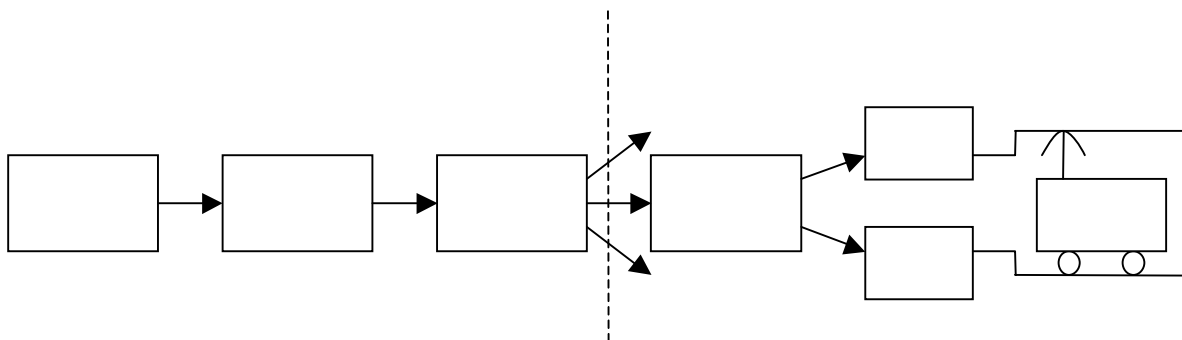


Рис.1.3. Полная электрическая цепь системы электрической тяги на железнодорожном транспорте

Особенность электрической тяги заключается в неразрывной связи режимов работы э.п.с. и устройств электроснабжения: для перемещения поезда э.п.с. отбирает из контактной сети необходимое количество энергии.

Система электроснабжения электрической железной дороги как постоянного, так и переменного токов имеет своим назначением обеспечение нормального снабжения электроэнергией э.п.с. при всех его нагрузочных режимах.

На рис. 1.4 показан участок электрифицированной железной дороги. Контактная подвеска состоит из несущего троса и подвешенных к нему на струнах контактных проводов, которые удерживаются фиксаторами примерно по оси пути, зигзагом от опоры к опоре ± 20 см для обеспечения равномерного износа токоприемника.

На опорах контактной сети, со стороны, противоположной контактной подвеске, располагаются, как правило, воздушные линии СЦБ, дополнительные провода питающих линий и др.

В процессе движения поездов меняется их взаимное расположение на участках, ток нагрузки и скорость поезда, так как каждый из них находится в данный момент на элементе профиля пути, оказывающем свое сопротивление движению. В зависимости от профиля участка одни электровазы могут работать в режиме тяги, другие в режиме рекуперации, т.е. они возвращают энергию в сеть.

Все это вызывает изменение нагрузок тяговых подстанций, а следовательно, и напряжения в электрической цепи от тяговой подстанции до токоприемника каждого электроваза или электропоезда. Так как это напряжение подводится к тяговым двигателям, то его изменение влияет, в свою очередь, на режим работы э.п.с.

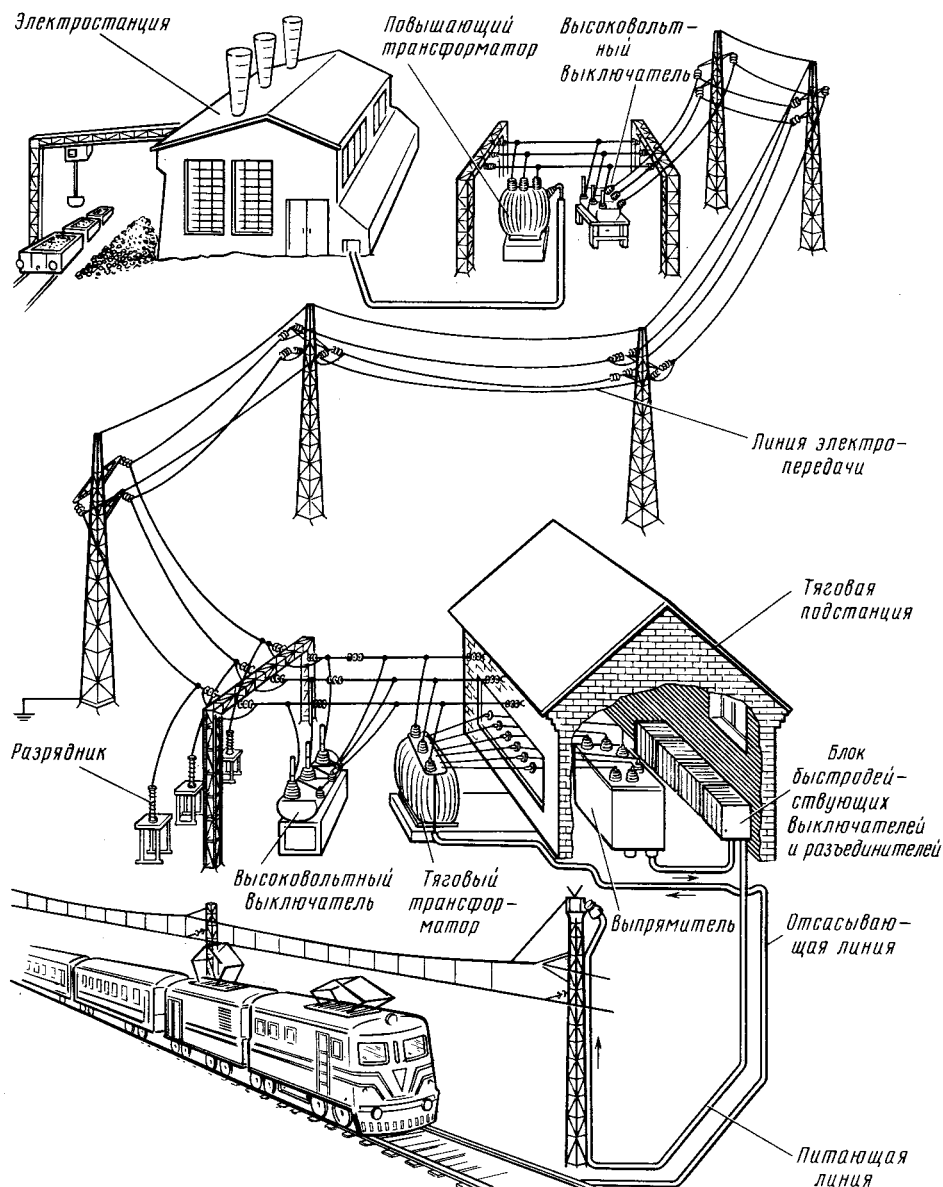


Рис.1.4. Участок электрифицированной железной дороги постоянного тока и питающих его устройств

При определении влияния изменения напряжения в контактной сети на скорость движения э.п.с. различают длительные отклонения по времени и кратковременные колебания напряжения.

Изменения напряжения в контактной сети, сохраняющиеся длительное время, в течение которого может измениться скорость движения поезда, называют отклонениями напряжения. Если же эти изменения происходят настолько быстро, что скорость движения поезда в силу его инерции изменится не успеет, говорят о колебаниях напряжения.

Уровень напряжения в сети регламентирован требованиями стандартов. Номинальное напряжение на токоприемнике э.п.с. постоянного тока установлено равным 3кВ, переменного тока 25кВ. Наибольшее допустимое напряжение на токоприемнике э.п.с. постоянного тока не должно превышать 3,85кВ (4кВ на участках с рекуперацией энергии), на токоприемнике э.п.с. переменного тока 29кВ, наименьшее напряжение на дорогах постоянного тока 2,4 кВ, на дорогах переменного тока 19 кВ.

Пониженное напряжение на токоприемнике э.п.с., сохраняющееся длительное время, вызывает пропорциональное снижение скорости движения поезда. Сила же тяги э.п.с., определяемая вращающим моментом его тяговых двигателей не зависит от подводимого к ним напряжения. При понижении напряжения скорость движения поезда будет уменьшаться до тех пор, пока снова не наступит равновесие между изменившимся сопротивлением движению поезда и силой тяги. Этому будет соответствовать несколько меньшее значение силы тяги, чем предшествующее моменту понижения напряжения, так как сила сопротивления движению поезда уменьшилась из-за снижения его скорости. Этот процесс характеризуют кривые, приведенные на рис. 1.5.

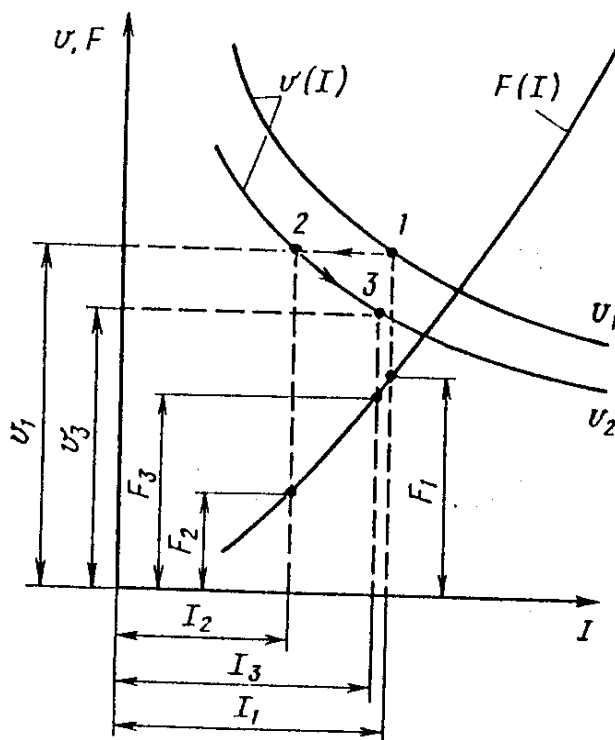


Рис.1.5. Установившемуся режиму работы тягового двигателя последовательного возбуждения при напряжении на его зажимах U_1 соответствует точка 1 (ток двигателя I_1 , сила тяги F_1). В момент, когда резко снижается напряжение от U_1 до U_2 , происходит резкое уменьшение тока двигателя от I_1 до I_2 и силы тяги до F_2 . Образовавшаяся разность силы тяги $F_1 - F_2$ отрицательна, т.е. движение поезда замедляется и скорость снижается до значения v_3 . Точка 3 — новое равновесие силы тяги F_3 и сопротивления движению

Отклонения напряжения в контактной сети существенно влияют также на работу тяговых двигателей и вспомогательных машин э.п.с.

Дело в том, что изоляция обмоток тяговых двигателей рассчитана на работу при определенной температуре, превышение которой ведет к разрушению и пробое изоляции.

Казалось бы, при пониженном напряжении в контактной сети обмотки тяговых двигателей не должны перегреваться. Но надо помнить, что при этом снижается скорость поезда, а значит, увеличивается время его хода по участку. В результате растет время потребления электровозом энергии

на контактной сети, причем в значительно большей мере, чем снижается скорость движения. Все это приводит к увеличению количества тепла, выделяемого в тяговых двигателях, а следовательно, к росту температуры их обмоток.

На электровозах переменного тока поддержать напряжение на тяговых двигателях при длительном его понижении в контактной сети может сам машинист, изменяя путем выбора позиции контроллера число витков вторичной обмотки тягового трансформатора. Такой возможности на электровозах постоянного тока нет. Для поддержания на них нужной скорости при пониженном напряжении, как, впрочем, и на электровозах переменного тока, машинист может применить более глубокое ослабление магнитного потока тяговых двигателей. Однако при этом возрастут токи двигателей, что вызовет повышенный нагрев их обмоток, особенно обмотки якоря, ток в которой будет значительно больше, чем в обмотке возбуждения.

Одновременно на электровозах постоянного тока ухудшаются условия вентиляции тяговых двигателей, так как при пониженном напряжении в контактной сети снижается частота вращения мотор-вентилятора, а следовательно, уменьшается количество охлаждающего воздуха, поступающего в тяговые двигатели. В результате может произойти либо выплавление петушков секций обмотки якоря в местах их припайки к коллекторным пластинам, распушение обмотки якоря, либо тепловое разрушение изоляции обмоток. И то, и другое означает отказ электровоза и, следовательно, остановку поезда и нарушение графика движения. Поэтому при длительном понижении напряжения в контактной сети, наряду с регулированием напряжения на э.п.с., регулируют в установленных пределах напряжение на шинах тяговых подстанций, а следовательно, в контактной сети.

Повышение напряжения в контактной сети облегчает условия работы системы электроснабжения, так как при той же мощности уменьшается ток в контактной сети. В результате на тех же позициях контроллера машиниста скорость электровозов, работающих в режиме тяги, будет более высокой, так как она пропорциональна напряжению электропитания. По этой же причине расширяется диапазон максимальных значений тормозных сил при рекуперации.

Вырабатываемая рекуперирующим электровозом энергия может быть использована другими электровозами, работающими в режиме тяги. Однако не в каждый момент времени на участке, где происходит рекуперация, могут быть электровозы, работающие в режиме тяги. При их отсутствии напряжение в контактной сети резко возрастает, из-за чего создается угроза нарушения электрической прочности узлов электровоза и устройств электроснабжения. Поэтому на участках постоянного тока приходится применять специальные установки либо для преобразования, либо для поглощения избыточной энергии рекуперации. Инверторы, установленные с этой целью на тяговых подстанциях, преобразуют постоянный ток рекуперирующих электровозов в переменный, отдаваемый в первичную систему электроснабжения, т.е. в трехфазную сеть. Для поглощения избыточной энергии рекуперации применяют специальные установки, располагая их либо на тяговых подстанциях, либо на перегонах. В этих уста-

новках избыточная энергия рекуперации расходуется на нагревание резисторов и рассеивается в окружающую среду.

Повышенное напряжение в контактной сети вызывает увеличение нагрузки мотор-генераторов – возбuditелей режима рекуперации. Дело в том, что повышенное напряжение должно уравниваться значением ЭДС тяговых двигателей, работающих при рекуперации генераторами. Поэтому машинист должен увеличить частоту вращения возбuditеля, что приводит к резкому увеличению мощности, отдаваемой возбuditелем в цепь обмоток возбуждения двигателей. На крутых спусках при параллельном соединении их якорей мощность возбuditелей возрастает в 2 раза и более. Следовательно, при длительном режиме возникает опасность недопустимого нагрева обмоток двигателя возбuditеля.

Чтобы температура его обмоток не превысила допустимое значение, можно на части затяжного спуска применять последовательно-параллельное соединение двигателей, работающих в режиме генераторов, так как при этом ЭДС их будет меньше.

При резком повышении (скачке) напряжения в контактной сети мгновенно растет ток тягового двигателя, так как скорость движения быстро измениться не может из-за инерции поезда. Это увеличение тока вызывает нарастание силы тяги, и, как следствие, возникает ускорение поезда. Скорость его растет до тех пор, пока не наступит равенство силы тяги и силы сопротивления движению. Однако при этом вполне возможен переход колесного – моторного блока в режим буксования, т.е. в один из самых опасных аварийных режимов.

Так как отклонения напряжения контактной сети должны лежать в небольших пределах, допускаемых стандартом (а это значит, что и изменения скорости движения поездов будут также невелики), изменением силы тяги электровоза в рассматриваемых случаях пренебрегают. Следовательно, можно условно считать, что при движении поезда по пути неизменного профиля с установившейся скоростью сила тяги э.п.с., а значит, и ток тягового двигателя не зависят от напряжения в контактной сети.

Если повышенное напряжение в контактной сети сохраняется длительное время, то сначала постепенно увеличивается скорость электровоза, затем снова возрастает его сопротивление движению и устанавливается равновесие силы тяги электровоза и сопротивления движению поезда.

Влияние пониженного напряжения в контактной сети на скорость движения поезда ощутимо при подходе к таким подъемам, которые поезд может преодолеть по инерции - при отключенном контроллере. Это так называемые инерционные подъемы. При номинальном напряжении в контактной сети поезд, подходя к такому подъему, заранее приобретает (запасает) кинетическую энергию, достаточную для его преодоления без потребления энергии из контактной сети. Если же напряжение в контактной сети оказывается при подходе к подъему пониженным, поезд не успевает к моменту входа на него набрать достаточную кинетическую энергию (напомним, что она пропорциональна квадрату скорости). Поэтому под действием возросшего на подъеме сопротивления движению будет в любом случае быстро снижаться скорость поезда; если отключены тяговые двига-

тели, поезд не сможет преодолеть такой подъем за счет инерции. Машинисту придется включать тяговые двигатели, которые начнут потреблять энергию из контактной сети вместо ее экономии за счет использования кинетической энергии. Это ведет к перерасходу электроэнергии на тягу поезда.

На подъеме круче расчетного при полном использовании силы сцепления колес электровоза с рельсами поезд остановится, и электровоз не сможет его стронуть. Машинисту придется либо запрашивать резервный локомотив, либо вывозить поезд на подъем по частям. И то, и другое – нарушение нормального режима работы участка. Чтобы этого не произошло, необходимо, регулируя напряжение на шинах тяговых подстанций, обеспечить нормальный уровень напряжения в контактной сети на всех участках перегона.

Связь режимов работы э.п.с. и устройств электроснабжения проявляется не только во взаимном влиянии напряжений, но также и во влиянии механических колебаний токоприемников э.п.с. при движении и их аэродинамических характеристик на изменение условий токосъема с контактного провода. При неблагоприятном взаимодействии токоприемников и контактной сети может произойти нарушение токосъема, срабатывание соответствующих защит на э.п.с. и на тяговой подстанции, т.е. нарушение нормальной работы электрифицированного участка. Возможны еще более серьезные нарушения: перегрев контактного провода или поломка токоприемника (потому на электровозе всегда устанавливают по два токоприемника).

Взаимное влияние режимов работы устройств электроснабжения и э.п.с. проявляется и в другом виде – во взаимодействии электромагнитных полей, возникающих при преобразовании энергии на тяговых подстанциях и на э.п.с. Более ощутимо это влияние на дорогах, электрифицированных на переменном токе, особенно при тиристорном регулировании режимов работы э.п.с. Возникающие электромагнитные поля э.п.с. создают помехи нормальной работе не только его собственных электронных устройств, но в значительно большей степени для устройств связи, СЦБ, телемеханики и т.п. Это так называемая *электромагнитная совместимость*. Для обеспечения ее приходится на переменном токе вместо воздушной проводной связи использовать кабели, на тяговых подстанциях и э.п.с. устанавливать специальные электрические фильтры, поглощающие энергию электромагнитных помех, что, конечно, увеличивает стоимость электрификации по системе переменного тока (на каблирование воздушных линий связи уходят до 10–12% всех капитальных затрат при электрификации на переменном токе).

Таким образом, процессы, происходящие при работе электрической железной дороги, характеризуются, с одной стороны, механикой движения поезда с сопутствующими явлениями, а с другой – условиями электромеханического и электромагнитного взаимодействия э.п.с. и системы электроснабжения.

Комплексное научное рассмотрение механических, электромеханических и электромагнитных процессов, происходящих в системе электрической тяги, и оценка их взаимодействия связаны с чрезмерно большим объемом вычислений и затратами аналитического труда. При этом следует иметь в виду относительную точность исходных данных, принимаемых в расчетах, и, наконец, учитывать, что различные из рассматриваемых факторов влияют на результат расчета явно неодинаково. Одни из них, такие, например, как масса поезда, профиль пути, напряжение в контактной сети, нагрузки э.п.с., являются в нормальных режимах работы главными, другие – второстепенными. Поэтому часто выполняют расчеты, учитывающие влияние только основных факторов на характер взаимодействия э.п.с. и системы электроснабжения. Режимы работы э.п.с. и системы электроснабжения рассчитывают отдельно, исследуя затем их совместно только на самых тяжелых элементах профиля. Принимают, что скорость движения поезда пропорциональна напряжению в контактной сети за время хода его под током, а время движения соответственно обратно пропорционально напряжению. Исходя из этого определяют время хода при любом напряжении в контактной сети, отличающемся от номинального, разность времен хода при этих напряжениях в контактной сети, являющуюся поправкой при определении параметров и размеров движения.

В типовых упрощенных расчетах напряжение в контактной сети считают неизменным, равным его среднему значению. Влияние других поездов, находящихся на участке, учитывают приближенно – по средним потерям напряжения в контактной сети, которые определяют в зависимости от принятой расчетной схемы расположения нагрузок, представляющих собой токи э.п.с. каждого типа. Наибольшие размеры движения, которые могут быть на участке, зависят от мощности и размещения тяговых подстанций, сечения проводов контактной сети и способов организации движения.

Результаты расчета закладывают в нормативный график движения поездов. Затем на участке проводят опытные поездки с поездами различной массы, чтобы проверить прежде всего времена хода по перегонам, токи э.п.с. и условия реализации расчетной массы поезда. На основе результатов этих поездок вносят коррективы в тяговые расчеты и график движения поездов.

Особенно важные значения эта задача приобретает в условиях роста объема перевозок, когда провозная и пропускная способность электрифицированной линии приближаются к предельному уровню. Пропускная способность, т.е. количество пар поездов, которые можно пропустить по линии в сутки, лимитируется минимальным интервалом попутного следования, а этот интервал зависит от расстановки сигналов автоблокировки. В свою очередь эти сигналы (светофоры) ставят с таким расчетом, чтобы интервал между ними был больше тормозного пути (700 м). Таким образом, возможности повышения пропускной способности, в основном, исчерпаны.

В основном приходится решать задачу повышения провозной способности, т.е. повышения весовой нормы грузового поезда и соответст-

венно повышения суммарной мощности и силы тяги электровозов в составе поезда.

Для этих целей все наши электровозы, начиная с ВЛ19, были рассчитаны на работу по системе многих единиц. Потом были выпущены самые мощные в мире 12-осные двухсекционные электровозы ВЛ15 постоянного тока и ВЛ85 переменного тока. Изготовлены опытные образцы еще более мощных электровозов ВЛ86 и ВЛ86Ф с асинхронными тяговыми двигателями.

В связи с ростом объема перевозок на Транссибе и БАМе успешно решается задача введения унифицированной весовой нормы 6000 т с подталкиванием состава на руководящих подъемах 18–20%.

Естественно, эти мероприятия требуют соответственного усиления системы электроснабжения, что значительно проще решается на переменном токе. Поэтому приложены огромные усилия, чтобы Байкальский перевальный участок Иркутск – Слюдянка, который почти сорок лет проработал на постоянном токе 3кВ, перевести на переменный ток 25 кВ. По системе переменного тока 25 кВ электрифицировано западное плечо БА-Ма. В перспективе по мере роста объема перевозок весь БАМ будет переведен на электрическую тягу, что позволит даже в существующем однопутном варианте увеличить провозную способность в 3,4 раза.

Имеются предложения дальнейшего совершенствования системы электрической тяги: повышения напряжения в контактной сети переменного тока до 50 кВ; переход на систему постоянного тока с повышением напряжения до 6 кВ (проект профессора Розенфельда В.Е.), 12 кВ (проект профессора Курбасова А.С.), 24 кВ (предложение профессора Буркова А.Т., Пупынина В.М. и Котельникова А.В.).

Однако научная и техническая база для этих решений еще отсутствует и поэтому их нужно рассматривать исключительно как возможные варианты развития.

1.4 Механика движения поезда

При движении э.п.с. потребляет электрическую энергию из контактной сети, расходуя ее на преодоление сил сопротивления движению. Таким образом, по направлению движения поезда действует сила тяги локомотива или моторного вагона, а против - сила сопротивления движению. Их разность и определяет характер движения поезда: ускоренное, если сила тяги больше суммарной силы сопротивления движению, замедленное, если она меньше. Возможно движение с постоянной скоростью, если указанные силы равны,

Поезд представляет собой систему отдельных (дискретных) твердых тел – вагонов, соединенных автосцепкой друг с другом и с локомотивом. Поэтому наиболее точной является модель, учитывающая поезд как многомассовую систему. Однако такая модель сильно усложняет расчеты, даже при использовании современных компьютеров; поэтому она используется очень редко и только в расчетах продольной динамики поезда.

Так как каждый вагон под влиянием сил продольной динамики поезда имеет случайные, обычно колебательные перемещения относительно центра массы поезда, то математическое описание такого сложного процесса движения поезда до сих пор не имеет четкого формулирования в виде системы дифференциальных уравнений Лагранжа и соответственно нет его полного аналитического решения. Поэтому для практических тяговых расчетов поезд считают одной фиктивной материальной точкой, в которой сосредоточена вся масса поезда.

Математическое описание процесса движения такого поезда, определяющее в каждый момент времени связь между действующими на него силами и его ускорением, называют законом движения поезда. Этот закон записывают на основании 2-го закона Ньютона (действующая на тело сила равна произведению массы этого тела на его ускорение) в виде обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка, связывающего массу поезда, действующие на него силы, пройденный путь и время движения (обычно путь и время входят в уравнение движения через скорость V):

$$F(V) - W(V) - B(V) = (1 + \gamma)m \frac{dV}{dt},$$

где $F(V)$ – сила тяги, действующая от электровоза на поезд;

$W(V)$ – сила сопротивления движению поезда, включая сопротивление движению электровоза;

$B(V)$ – тормозная сила поезда. При колодочном торможении это сумма сил торможения электровоза и всех колодок состава; при электрическом торможении тормозная сила только электровоза; возможно комбинированное торможение – электрическим тормозом электровоза и колодочным тормозом состава;

γ – постоянный для данного поезда коэффициент, учитывающий инерцию вращательного движения деталей поезда (колесные пары, якоря тяговых двигателей, тяговые редукторы, электрические генераторы пассажирских вагонов);

m – физическая масса поезда;

$(1 + \gamma)m$ – приведенная масса поезда, которая всегда больше его физической массы m , поскольку $\gamma = 0,02 - 0,08$.

Это уравнение учитывает не только ускорение поступательного движения поезда, но и эффект вращающихся узлов локомотивов и вагонов – якорей тяговых двигателей, тяговой передачи, колесных пар. Правда, силы инерции вращающихся частей невелики по сравнению с силами инерции поступательно движущихся масс поезда: у локомотивов они составляют в зависимости от типа электровоза примерно 10–20%, у вагонов 5–6%. Однако во избежание ошибки при решении уравнения движения поезда эти силы всегда учитывают.

Закон движения поезда позволяет рассчитать необходимые для организации работы железных дорог режимы движения каждого поезда, его массу, в том числе ее предельное значение – критический вес, построить

график движения поездов, определить провозную и пропускную способность участков и направлений в целом, составить график работы локомотивных бригад, оценить использование и производительность локомотивов и т.д.

Для этого выполняют тяговые расчеты, в задачу которых входит предварительный выбор массы поезда, расчет его времени хода и скорости движения по перегонам, определение потребления тока из контактной сети и расхода электроэнергии на тягу поезда, определение температуры нагрева тяговых двигателей и другого силового электрооборудования, использование мощности э.п.с. и устройств системы тягового электроснабжения.

При заданном типе э.п.с. и профиле пути в процессе выполнения тяговых расчетов производят интегрирование уравнения движения поезда: находят на каждом последовательном, достаточно малом участке пути такие величины, как скорость движения поезда, пройденный им путь и время движения, ток тягового двигателя и электровоза в целом. Выполнять такие расчеты особенно эффективно на ПЭВМ. При этом действующие на поезд силы рассматривают в виде функций скорости движения в соответствии с характеристиками э.п.с. для соответствующей позиции контроллера машиниста, а как функции времени - только в специальных задачах.

Для сокращения затрат времени и труда на выполнение таких расчетов обычно принимают, как уже было сказано, что поезд представляет собой одну материальную точку, т.е. фиктивную точку, в которой сосредоточена вся его масса, в том числе и масса локомотива. При этом сокращается время, необходимое для выполнения тяговых расчетов, и обеспечивается достаточная для многих практических задач точность результатов (погрешность не превышает 3–4 %).

Однако, рассматривая поезд как материальную точку, не учитывают неизбежно возникающие при движении реального поезда перемещения вагонов друг относительно друга и относительно локомотива. При переделах профиля эти перемещения и вызванные ими продольные силы в поезде могут быть настолько велики, особенно в случае неумелого ведения поезда, что возникает опасность его обрыва. Она возрастает при длинных поездах. Если режим движения поезда выбран правильно, такая опасность практически незначительна, но все же на сети железных дорог России имеет место ежегодно 30–50 обрывов автосцепки. Однако такого рода расчеты входят в совершенно другой класс задач – они относятся к задачам продольной динамики. Актуальность этих задач существенно возрастает в связи с ростом массы поезда. Уже сейчас средняя масса поезда достигает 4 тысячи т, а на ряде участков нормативная масса равна 5–6 тысячам т, в частности по всему Транссибу с горными участками (руководящие подъемы 16–20‰) планируют ввести унифицированную весовую норму 6 тысяч т в дальней перспективе на наиболее грузонапряженных направлениях в полнее возможно повышение весовой нормы до 12–18 тысяч т, но это возможно только в варианте распределенной тяги, т.е. при постановке электровозов не только в голове состава, но также и в его середине и хвосте.

1.5 Режимы движения поезда

Задача машиниста сводится к реализации заданного режима движения поезда. Соотношение силы тяги F , силы сопротивления движению W и тормозной силы B , действующих в каждый момент на поезд, определяет режим его движения с учетом профиля и плана пути. Машинист управляет режимом движения поезда, регулируя силу тяги э.п.с. и применяя в необходимых случаях торможение поезда.

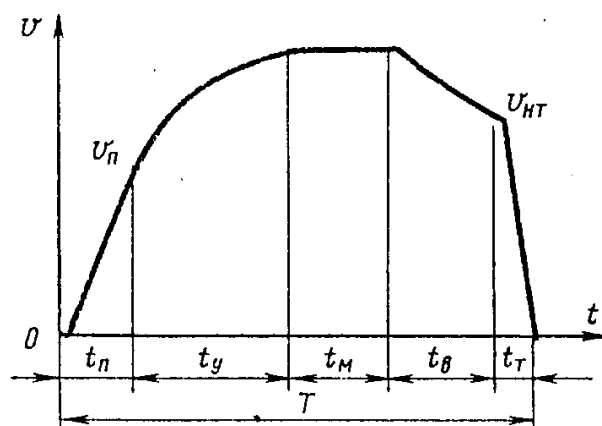


Рис. 1.6. Скорость V э.п.с. за время T движения его по перегону нарастает в течение времени t_n пуска и затем до достижения установившегося значения V_y (время t_y), после этого э.п.с. движется со скоростью V_y , в течение t_m , затем на выбеге ($t_б$), в течение t_m осуществляется торможение

При трогании поезда машинист выбирает такой режим работы тяговых двигателей, чтобы сила тяги F электровоза была больше силы сопротивления движению поезда W , т. е. $F > W$.

При этом результирующая сила, равная их разности, т. е. $F - W$, преодолевая инерцию поезда, определяемую его массой m , создает ускорение $dV/dt > 0$ согласно второму закону Ньютона. Наибольшее ускорение поезд приобретает обычно во время пуска (рис. 1.7), так как сила тяги электровоза значительно больше силы сопротивления движению поезда.

Скорость V_n на рис. 1.7 означает скорость выхода на номинальную тяговую характеристику электровоза, на которой он может работать длительно.

По мере дальнейшего роста скорости движения возрастает сила сопротивления движению, а сила тяги электровоза монотонно снижается и через некоторое время эти силы становятся равными. Начиная с этого момента поезд на участке неизменного профиля будет двигаться с постоянной скоростью, потому что разность $F - W$ равна нулю, а это значит, что ускорения поезда нет (равномерное движение).

При необходимости стабилизировать скорость поезда или при подготовке к торможению машинист переводит рукоятку главного контроллера в нулевое положение, отключая тяговые двигатели от контактной сети. Сила тяги электровоза становится равной нулю. Теперь режим движения поезда

определяется соотношением силы инерции, зависящей от величины накопленной к этому моменту кинетической энергии поезда, и силы сопротивления движению. В процессе выбега на горизонтальном участке пути поезд будет замедляться под действием силы сопротивления движению, т.е. силы трения.

При торможении поезда с начальной скорости V_{HT} машинист как бы искусственно увеличивает сопротивление движению поезда, гася кинетическую энергию движущегося поезда в тормозной системе (колодочное или реостатное торможение) или возвращая ее в контактную сеть при рекуперативном торможении.

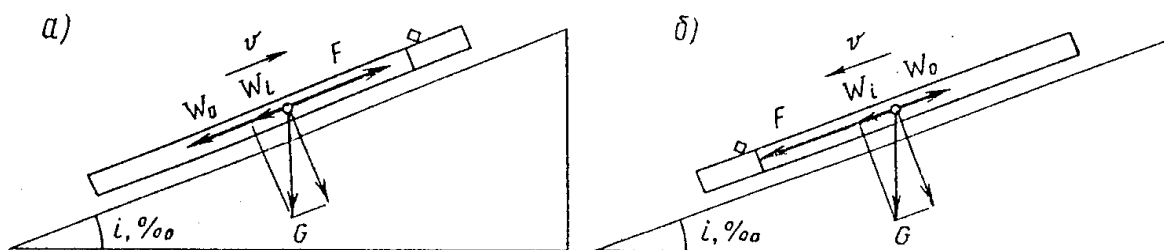


Рис. 1.7. В режиме тяги при движении по подъему (схема а) сопротивление W_i направлено против силы тяги F , на спусках (б) оно совпадает по направлению с силой тяги

При движении по вредному спуску суммарная составляющая (рис. 1.7) сопротивления движению от веса поезда, будучи направлена по движению поезда, увеличивает его ускорение и, как следствие, скорость движения. Для того, чтобы скорость движения не превысила допустимую, приходится подтормаживать поезд. Необходимость включения тормоза является признаком вредного спуска (обычно спуски больше 4–5‰).

При остановке поезда на крутом уклоне (контроллер машиниста выключен) может оказаться, что его основное сопротивление движению W_0 меньше дополнительного от уклона W_i . Если при этом поезд не заторможен, то он начинает двигаться вниз по спуску, причем скорость его будет возрастать до значения, определяемого равенством $W_0 = W_i$. Во избежание такого «самоката» поезда после остановки на подъеме или спуске рекомендуется применять ручной тормоз, а также устанавливать тормозные башмаки.

В режиме торможения на площадке независимо от вида его - механическое или электрическое – тормозная сила B , суммируясь с основным сопротивлением движению W_0 , вызывает замедление поезда. Здесь важно выдержать заданный тормозной путь, например, при остановке перед запрещающим сигналом или на станционном пути.

При торможении поезда на подъеме составляющая W_i , действующая в том же направлении, что и тормозная сила B , будет вызывать более интенсивное замедление поезда. При торможении на спуске (рис. 1.7) составляющая W_i направлена против тормозной силы B , т.е. она становится движущей силой, снижает замедление поезда.

Поезд движется по вредному уклону с постоянной скоростью, когда $B+W_0=W_j$.

Регулируя в зависимости от обстановки силу тяги или в режиме торможения тормозную силу, машинист может установить желаемый режим движения поезда, регулируя его скорость вплоть до остановки.

Исходя из указанных обобщенных соображений продольной механики движения поезда, уже достаточно давно предпринимаются попытки автоматизировать ведение поезда по заданной программе, то есть по графику движения с учетом показаний путевых сигналов. Фактически эта задача сводится к решению в бортовом процессе уравнения движения поезда, приведенного выше, причем это решение должно учитывать:

- профиль пути, то есть сопротивление от уклона W_j ;
- график движения и режимные карты, т.е. требуемую скорость движения поезда;
- тяговые и тормозные возможности электровоза, то есть возможность регулирования сил F и B .

Принципиально эта задача может быть решена при помощи бортовой ЭВМ (автомашинист), которая обеспечивает движение поезда по программе $V(S)$ при учете ограничений, накладываемых сигналами автоблокировки. В настоящее время такие системы автоведения созданы. Наиболее совершенные системы используются на метрополитене. Аналогичный принцип заложен для электропоездов пригородного сообщения. Решается эта задача и для поездов дальнего сообщения.

1.6. Природа сил, действующих на поезд

Движение поезда по перегону определяется суммарным действием множества сил – внутренних и внешних: при этом машинист может регулировать только силы, развиваемые тяговым электроприводом и тормозной системой. Предельные значения этих сил ограничены коэффициентом сцепления колесных пар с рельсами. Поэтому для практики очень важно детальное изучение сил, действующих на поезд.

Эти силы различны по своей природе и воздействию на поезд в процессе его движения. Одни из них возникают вследствие электромагнитных процессов в тяговом приводе э.п.с., другие являются результатом трения в узлах э.п.с. (вагонов), третьи появляются из-за сопротивления воздушной среды при движении поезда, четвертые из-за различных метеорологических условий и т.п.

Так как эти силы являются в каждый момент времени результатом сочетания многих случайных факторов, то аналитически определить их чрезвычайно затруднительно. Поэтому в тяговых расчетах учитывают только средние значения наиболее существенных составляющих, определяемые опытным путем. Эти средние значения приведены в ПТР-85 для разных серий локомотивов, вагонов и условий их движения, а также для разных конструкций пути (звеньевой, бесстыковой).

Рассмотрим природу возникновения и воздействие основных сил на поезд, начиная с веса поезда.

Вес поезда – это один из важных показателей электрической тяги. Вес любого тела (э.п.с., вагонов, поезда в целом и т.д.) представляет собой силу, обусловленную полем тяготения Земли. Численно вес равен произведению массы тела на ускорение силы тяжести. Вес локомотива и вагонов поезда в целом передается через рельсы и далее через грунт к центру массы Земли. Со стороны центра массы Земли действует на локомотив и вагоны такая же по величине сила, но направленная противоположно. Так как масса Земли несоизмеримо больше массы локомотива, вагонов и поезда в целом, то вызываемое перемещением поезда изменение положения Земли оказывается ничтожным, и его не учитывают.

При движении локомотив должен развивать силу тяги, необходимую для преодоления силы инерции поезда, которая определяется его массой.

Сила тяги локомотива – внешняя по отношению к колесу локомотива сила, действующая со стороны рельса по направлению движения локомотива, она равна сумме сил тяги всех его колесных пар, приводимых во вращение тяговыми двигателями.

Сила тяги является регулируемой, т.е. машинист может изменять ее при выборе режима движения поезда.

Часто говорят, что силу тяги создает тяговый двигатель. Это неправильно, так как тяговый двигатель создает не силу, а вращающий момент, который с помощью тяговой передачи вращает колесную пару локомотива. Вращающий момент тягового двигателя действует внутри колесно-моторного блока и поэтому сам по себе он не может переместить колесную пару, а следовательно, и электровоз.

Из механики известно, что для изменения положения тела, например, перемещения его на некоторое расстояние, нужно, чтобы на это тело подействовала внешняя сила. Только внешняя сила может вывести тело из положения равновесия. Для колеса такой силой является сила сцепления его с рельсом; она обусловлена нажатием колеса на рельс и сцеплением, возникающим в месте опоры его на рельсе. Если бы сила сцепления не существовала, то под влиянием вращающего момента тягового двигателя колесная пара только вращалась бы на месте, не перемещаясь по рельсу. Точно так же мы не смогли бы ходить по земле, если бы не существовала внешняя для нас сила – сила трения между подошвой нашей обуви и грунтом. Благодаря тому что в месте опоры колеса на рельс возникает внешняя сила – сила сцепления F_{cu} , колесо движется поступательно.

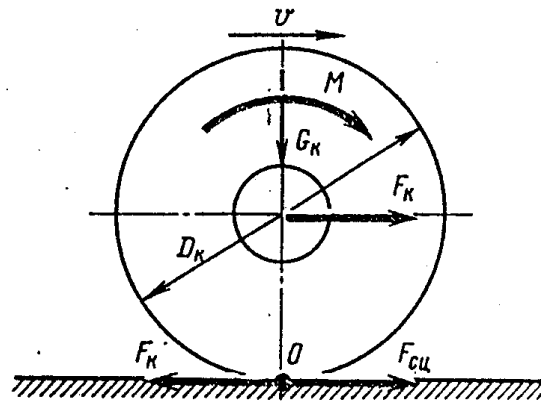


Рис. 1.8. Под действием вращающего момента M на колесо, сила нажатия которого на рельс G_k , образуется пара сил F_k . Сила F_k , приложенная в точке O , – это сила действия колеса на рельс, она направлена против движения. Реакция рельса – сила $F_{сц}$ – направлена по движению колеса

Для наглядности представим вращающий момент M тягового двигателя, действующий на колесную пару, в виде двух равных и противоположных сил F_k , приложенных на расстоянии радиуса колеса (рис. 1.8).

При этом сила

$$F_k = \frac{2M}{D_k} \mu \eta_{пер},$$

где D_k – диаметр колес колесной пары (1250мм у электровозов, 1050мм у электропоездов);

μ – передаточное число тяговой передачи;

$\eta_{пер}$ – коэффициент полезного действия тяговой передачи (98%).

Одна из сил F_k действует в месте опоры колеса на рельс и представляет собой внешнюю для рельса силу. Так как эта сила направлена против движения, она стремится вызывать угон рельсов в сторону, обратную движению колеса. Другая сила F_k через буксы (или другое устройство) передается на автосцепку локомотива и при наличии достаточной силы сцепления колес с рельсами осуществляет тягу состава.

Силу тяги F_k , действующую от колеса на рельс, нередко называют касательной силой тяги, вероятно потому, что она направлена как бы по касательной к ободу колеса. Однако это название не соответствует общепринятому в механике понятию «касательная» – оно относится к криволинейному движению.

Иногда говорят, что сила сцепления уравнивает силу тяги F_k . Однако эти силы приложены к разным телам: сила F_k – от колеса к рельсу, сила $F_{сц}$ – от рельса к колесу. Уравнивать же друг друга могут только силы, приложенные к одной точке или к одному телу. Если бы силы F_k и $F_{сц}$ уравнивали друг друга, колесная пара вообще бы не двигалась. Другое дело, что в нормальных режимах тяги силы F_k и $F_{сц}$ равны, но противоположно направлены. Это соответствует третьему закону Ньютона: действие равно противодействию.

При торможении на колесо действует момент M . Тормозная сила B , приложенная к центру колеса, направлена против движения и стремится остановить колесо. Такая же по значению тормозная сила B приложена и от колеса к рельсу. Она направлена по движению колеса, а сила сцепления $F_{сц}$ колеса с рельсом, возникшая как реакция на силу B , направлена в сторону, обратную движению колеса (рис. 1.9).

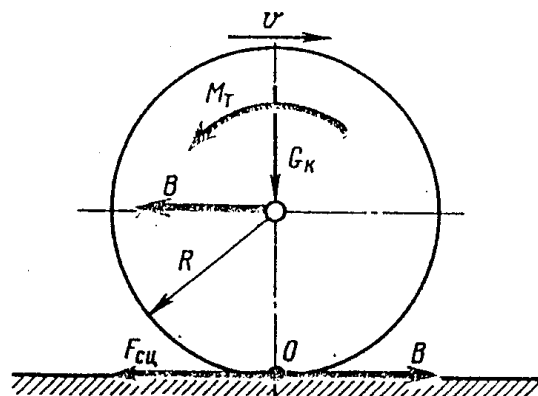


Рис.1.9. Тормозной момент можно представить в виде двух сил B с плечом, равным радиусу колеса. При действии тормозного момента M_T на колесо, сила нажатия которого на рельс равна G_K , возникает сила сцепления $F_{сц}$, направленная в сторону, обратную движению колеса

За все время существования железных дорог (почти 180 лет) было много попыток объяснить сущность явлений, происходящих при сцеплении колеса с рельсом. Вначале даже возникали опасения, сможет ли колесо на гладком рельсе развивать достаточную силу тяги, и было предложено выполнять колеса зубчатыми, а рельсы рифлеными. Опасения вскоре отпали, однако сущность процесса сцепления остается во многом неясной до сих пор.

Сила сцепления, подобно силе трения, образуется в результате взаимодействия огромного числа мельчайших частиц соприкасающихся поверхностей материалов бандажа и рельса. Оно происходит при одновременном воздействии многих факторов, большая часть которых является случайной.

В первом приближении силу сцепления $F_{сц}$ определяют аналогично силе трения как произведение силы G_K нажатия колеса на рельс и коэффициента сцепления ψ_K , значения которого устанавливают в зависимости от скорости движения колеса: $F_{сц} = G \psi_K(V)$. Это выражение является исходным для решения многих технико-экономических и эксплуатационных задач. По нему рассчитывают нормативный вес грузового поезда, определяют скорости движения и начала торможения поезда, составляют график движения поездов и т.п. Расчетные зависимости $\psi_K(V)$ для всех типов локомотивов приведены в Правилах тяговых расчетов.

Однако при движении поезда меняются условия образования силы сцепления: сила нажатия колеса на рельс не остается постоянной, так как происходят колебания локомотива и верхнего строения пути, меняются в

зависимости от профиля пути скорость движения и режим работы тяговых двигателей, окружающая температура и, что очень важно, состояние поверхностей рельсов и бандажей по кругу катания; на рельсах могут быть всякого рода загрязнения, пленки, лед и т. п.

Под влиянием этих факторов разброс значений коэффициента сцепления в условиях эксплуатации нередко достигает +50% от среднего значения, которое рассчитывается по ПТР–85. Поэтому наряду с расчетами силы сцепления по зависимости $F_{сц} = G\psi_k(V)$ на тех участках дорог, где вес грузового поезда ограничен силой сцепления колес локомотива с рельсами, проводят опытные поездки, чтобы проверить возможность реализации расчетного веса поезда.

Существует ошибочное убеждение, что увеличение силы нажатия колесных пар сверх расчетного значения обеспечивает пропорциональное повышение весовой нормы поезда. В действительности это не так.

Допустим, что за счет доballастировки восьмиосного локомотива сила нажатия его колесных пар на рельсы увеличилась с 23 до 24,5 тс, т.е. на 6,5%. Однако это не означает, что весовую норму поезда можно повысить также на 6,5%.

Дело в том, что при таком расчете учитывают только средние значения сил нажатия колесных пар на рельсы, а значит, и средние силы сцепления. Не принимаются во внимание неизбежные в эксплуатации случайные разбросы значений этих сил, которые, как уже было сказано, могут достигать половины их средних значений. Поэтому оказывается, что действительный эффект повышения весовой нормы поезда значительно меньше определенного по средним значениям сил нажатия колес на рельсы.

Эффективный путь повышения весовой нормы поездов заключается не столько в увеличении силы нажатия колесных пар на рельсы, сколько в использовании при существующих силах нажатия локомотивов, оборудованных тяговых двигателей, которые имеют жесткие характеристики, обеспечивающие высокую степень сцепления колес с рельсами и препятствующие развитию процессов боксования.

Учесть влияние всех факторов для того, чтобы создать единую теорию сцепления, позволяющую с достаточной для практики точностью рассчитать значения коэффициента сцепления, пока не удалось. Установлены лишь отдельные важные закономерности. На основании, например, положений теории упругости выявлено, что под действием силы нажатия колеса в месте его опоры на рельсе возникают местные (контактные) напряжения, обусловленные упругостью материала бандажа и рельса. Поэтому в действительности колесо попирается на рельс не в одной точке, а по некоторой поверхности, имеющей форму эллипса, как - это схематично показано на рис. 1.10. Приблизительно считают, что у современных локомотивов опорная площадка составляет 350-500 мм² в зависимости от диаметра колеса, силы нажатия его на рельс и свойств материалов бандажа и рельса.

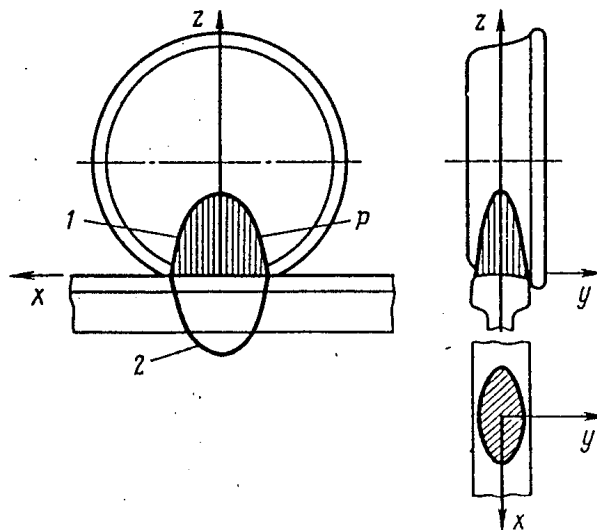


Рис. 1.10. Распределение давлений p по опорной поверхности бандажа (1) и рельса (2) при неподвижном колесе и статической силе нажатия его на рельс является симметричным. Максимальное давление в центре этой поверхности в 1,5 раза больше среднего (при нагрузке 25 т/ось)

Как видно из рис.1.10, при неподвижном колесе давления распределяются симметрично относительно продольных и поперечных осей опорного эллипса. Наибольшее давление, а следовательно, и наибольшие контактные напряжения материал испытывает в середине опорной поверхности, где они близки к пределу упругости. По краям поверхности контакта напряжения практически отсутствуют.

Ориентация опорного эллипса и его фактические размеры зависят от проката, то есть от износа бандажа. При отсутствии проката большая ось эллипса направлена вдоль рельса, малая – поперек. По мере нарастания проката и связанного с ним изменения очертания профиля бандажа угол между продольными осями эллипса и рельса увеличивается. При изношенном бандаже и рельсе опорная поверхность принимает форму прямоугольника, продольная ось которого расположена поперек рельса.

Если к неподвижному колесу, сила нажатия которого на рельс равна G , приложить вращающий момент M , то вступающие в контакт воображаемые волокна материала бандажа в набегающей части окажутся сжатыми, а в сбегавшей – наоборот, растянутыми. Принято различать на опорной поверхности две зоны:

- зона сцепления частиц материала бандажа и рельса, в которой силы трения частиц достаточны чтобы удержать их от взаимных смещений;
- зона относительного проскальзывания частиц материала бандажа и рельса, в которой силы, возникающие от вращающего момента M , больше сил внутреннего взаимодействия частиц, в результате чего возникает микропроскальзывание контактирующих частиц.

В виде реакции на упругие силы, являющиеся результатом этих относительных перемещений частиц, возникает равнодействующая сила по опорной поверхности, направленная в обратную сторону, т.е. по движению

колеса. Она и представляет собой внешнюю для колеса силу – силу сцепления, обеспечивающую поступательное движение колеса. Со стороны колеса на рельс будет действовать такая же по величине равнодействующая сила, но направленная в сторону, обратную поступательному движению колеса.

Таким образом, вследствие упругих относительных перемещений частиц материалов бандажа и рельса при движении колеса фактический путь, проходимый его геометрическим центром, не равен пути, подсчитанному за то же время, исходя из номинального радиуса. Разницу этих путей называют упругим скольжением (криппом). Однако при расчетах силы сцепления удобнее исходить не из значения упругого скольжения, а из отношения его к длине пути, пройденного за то же время колесом номинального диаметра. Это отношение называют относительным скольжением.

Разделив числитель и знаменатель этого отношения на время, получим относительную скорость упругого скольжения материалов бандажа и рельса. При малом ее значении существует линейная зависимость силы сцепления и коэффициента сцепления от значения этой скорости. С ростом скорости упругого скольжения происходит отклонение этой зависимости от линейной. По мере приближения скорости упругого скольжения к максимальному значению, определяющему максимальное значение силы сцепления, увеличивается вероятность боксования колеса. Как только сила тяги F_k превысит силу сцепления F_{cu} , произойдет срыв сцепления и начнется боксование колеса. При этом на упругое скольжение контактирующих частиц материалов бандажа и рельса наложится их действительное скольжение, вследствие чего реализовать силу тяги оказывается невозможно. Это ведет к боксованию или юзу.

Наибольшее значение скорости упругого скольжения частиц материалов бандажа и рельса, определяющее значение коэффициента сцепления в момент начала боксования, составляет 0,5-1,0% скорости поступательного движения колеса.

В процессе движения локомотив преодолевает силу сопротивления движению. Для поезда эта сила равна сумме сил сопротивления движению электровоза и состава. Эта сила является нерегулируемой: машинист не может изменять ее по своему усмотрению. Чем тяжелее состав, тем больше его сопротивление движению. Обычно оно во много раз больше сопротивления движению электровоза.

Сила сопротивления движению зависит от конструкции и состояния подвижного состава, верхнего строения пути, профиля и плана пути, скорости движения, силы и направления ветра. Так как природа этих сил различна, то сопротивление движению принято условно делить на две составляющие: одну, зависящую от типа подвижного состава и скорости его движения, и другую, зависящую только от плана и профиля пути, а также особых условий движения. Первую составляющую называют основным сопротивлением движению W_0 , вторую – дополнительным W_d .

Основное сопротивление движению представляет собой сопротивление движению подвижного состава данного типа на прямолинейном и

горизонтальном пути при любой скорости движения, в том числе и при скорости, равной нулю. Оно обусловлено прежде всего трением в подшипниках и других узлах подвижного состава, трением качения колес по рельсам, колебаниями подвижного состава и пути, проскальзыванием колес по рельсам из-за разницы их диаметров, аэродинамикой, а также деформациями пути и ударами на стыках.

Энергия, затраченная на преодоление сил трения, невозвратима: она расходуется на истирание деталей подвижного состава и пути и, превращаясь в тепло, рассеивается в окружающую среду. Энергия, израсходованная на преодоление подъемов, может быть частично, а в некоторых случаях и полностью возвращена в контактную сеть в процессе рекуперации при движении поезда по спускам. Частично или полностью эта энергия будет возвращена в сеть, зависит в каждом конкретном случае от длины и крутизны спуска, массы и скорости движения поезда, его сопротивления движению и т.д.

Существенной составляющей основного сопротивления движению является сопротивление воздушной среды. При существующих скоростях движения оно возрастает пропорционально произведению квадрата скорости движения и площади поперечного сечения тела, – например подвижного состава.

Поэтому головным (и последним) вагонам скоростных поездов, а также локомотивам придают обтекаемую форму. Аэродинамические испытания моделей моторных вагонов показали, что если воздушное сопротивление головного вагона принять за 100%, то сопротивление промежуточных вагонов составит примерно 20% и хвостового вагона 30–35% – оно выше из-за завихрений воздушного потока, возникающих за последним вагоном поезда. Эти данные относят к электропоездам составностью 10 – 12 вагонов.

Зависимости других составляющих силы сопротивления от скорости движения также оказываются сложными. Одни из них, например сила трения в подшипниках, при трогании поезда сначала убывают, а потом при определенной скорости движения начинают расти, другие – силы взаимодействия подвижного состава и пути – интенсивно нарастают с увеличением скорости, третьи изменяются несущественно и т. д.

Кроме того, при движении сказывается влияние многих случайных факторов, таких, например, как состояние подвижного состава и пути, степень загрузки вагонов, температура и т.п. К тому же эти случайные факторы различно влияют на разные составляющие сил сопротивления движению. Поэтому установить теоретически зависимость основного сопротивления движению от скорости чрезвычайно трудно: ее определяют опытным путем для подвижного состава каждого типа. Принятые расчетные зависимости приведены в Правилах тяговых расчетов (ПТР – 85).

Вторая составляющая – так называемое дополнительное сопротивление движению (W_d) – определяется профилем и планом пути, радиусом кривых, а также составляющей силы тяжести локомотива, вагонов и поезда в целом, возникающей на уклонах.

Профиль пути – это продольный разрез рельефа местности, на которой расположен путь. Так как рельеф местности обычно пересеченный, т.е. представляет собой сочетание подъемов, спусков и ровных участков, то и профиль пути представляет собой ломаную линию.

Крутизну каждого элемента профиля определяют как отношение разности высот конца и начала данного элемента к его длине. Разность высот h измеряют в метрах, длину – в километрах, тогда i определяют в тысячных долях (1:1000) и обозначают: i , ‰ (рис. 1.11). Уклон i , ‰, означает, что на длине элемента 1 км подъем пути составляет i , м. Если элемент, имеющий уклон i , короче 1 км, то пропорционально уменьшается и фактическая высота подъема пути на нем, и наоборот, если длина элемента больше 1 км, то фактический подъем пути превышает im . Горизонтальные элементы профиля пути, т.е. не имеющие уклона ($i=0$ ‰), называют площадками.

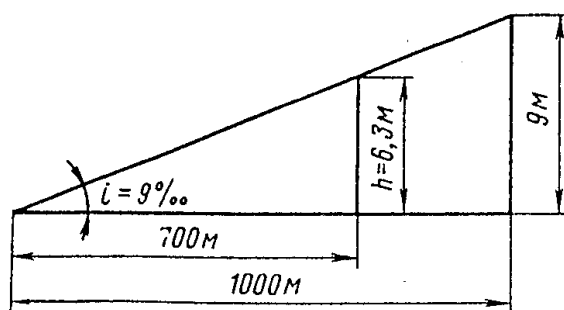


Рис. 1.11. Действительный подъем элементов пути при крутизне i , ‰ пропорционален его длине:

$$h = 9 \frac{700}{1000} = 6.3 \text{ м}$$

В тех местах, где элементы профиля примыкают друг к другу, происходит как бы перелом профиля. На них могут возникнуть большие продольные силы в поезде.

Когда поезд находится на уклоне, то к силам тяги и сопротивления его движению прибавляется еще составляющая Wi , его силы тяжести G ; на крутых уклонах она достаточно велика. Когда поезд движется по подъему, составляющая силы тяжести оказывает дополнительное сопротивление его движению. Она направлена противоположно скорости движения, и поэтому ее обозначают как $-Wi$. При движении по спуску эта составляющая действует по направлению движения поезда и как бы дополнительно ускоряет его. Поэтому ее обозначают $+Wi$.

Чем круче спуск, тем больше эта сила и тем больше должна быть тормозная сила, необходимая для остановки поезда, а, следовательно, тем больше тормозной путь. Учитывая тормозные средства грузового поезда, крутизну пути больше 30‰ не допускают.

Поезд испытывает дополнительное сопротивление движению $W_{кр}$ также при проходе кривых. Набегание колес подвижного состава на на-

ружный рельс, принудительное вписывание тележек подвижного состава в кривые, увеличение трения гребня колес о рельсы под действием центробежной силы, проскальзывание колес в кривой приводят к возрастанию сопротивления движению. Чем меньше радиус кривой, тем больше это дополнительное сопротивление движению. Оно всегда направлено против движения поезда и вызывает увеличение расхода электроэнергии на тягу поездов.

Таким образом, сопротивление движению W – это сумма его составляющих: $W=W_0+W_d=W_0+W_i+W_{кр}$. Для снижения скорости поезда, остановки его и удержания на месте машинист применяет тормоза. Они создают тормозную силу, как бы искусственно увеличивающую сопротивление движению поезда. Машинист может регулировать тормозную силу по своему усмотрению, выбирая ту или иную тормозную позицию.

Существуют системы механического (колодочного и дискового), электрического и электромагнитного торможения.

При колодочном тормозе тормозная сила создается в результате нажатия тормозных колодок на бандажи колес (рис. 1.12). Воздух к тормозным устройствам подается по однопроводной тормозной магистрали, состоящей из трубопровода локомотива и последовательно включенных тормозных трубопроводов каждого вагона. В процессе торможения, которое начинается при установке рукоятки крана машиниста в соответствующее положение, происходит снижение давления в тормозной магистрали. В результате этого сжатый воздух из запасных резервуаров поступает через воздухораспределители в тормозные цилиндры вагонов. Штоки этих цилиндров приводят в действие тормозную рычажную передачу, и колодки прижимаются к бандажам.

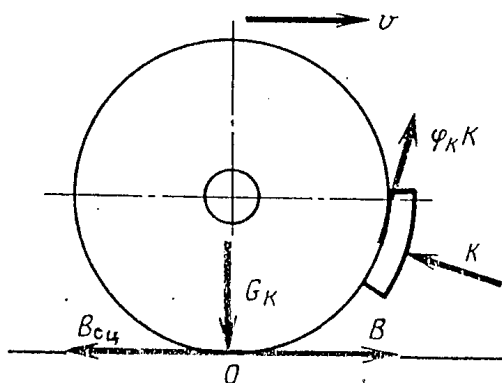


Рис. 1.12. В результате нажатия K колодки на колесо возникает в опорной поверхности колеса на рельсе тормозная сила $B=K\varphi_K$ и как реакция рельса – сила сцепления. Коэффициент трения φ_K колодки о колесо снижается с ростом скорости, сила нажатия K определяется давлением в тормозном цилиндре

С помощью крана машиниста осуществляется и автоматическое восполнение возможных утечек воздуха из тормозной сети поезда и наполнение запасных резервуаров через воздухораспределители. Благодаря этому тормоз становится неистощимым.

При обрыве поезда или повреждении тормозной магистрали, а также при срабатывании стоп-крана тормоз приходит в действие вследствие снижения давления в тормозной магистрали, из которой в этих случаях воздух выходит в атмосферу. Поэтому такой тормоз является автоматическим.

При механическом торможении происходит неодновременное включение тормозов вагонов в действие по длине состава, т.е. тормозная волна сравнительно медленно (со скоростью около 280 м/с) распространяется вдоль поезда. Из-за этого затягивается торможение поезда. Чтобы тормоза всех вагонов приходили в действие одновременно, применяют систему электропневматического торможения, которая обеспечивает одновременное возбуждение вентилей воздухораспределителей всех вагонов, на которые подается напряжение от крана машиниста по специальным проводам, проложенным вдоль состава.

Для торможения широко применяют чугунные колодки, которые, однако, быстро изнашиваются. Их приходится часто заменять, что вызывает увеличение эксплуатационных расходов.

Ведутся работы по применению для тормозных колодок новых износостойких композиционных материалов, у которых коэффициент трения мало зависит от скорости. Замена чугунных колодок композиционными, износостойкость которых значительно выше, позволяет получить значительную ежегодную экономию чугуна при соответствующем сокращении эксплуатационных расходов.

Коэффициент трения чугунных колодок о бандаж снижается с ростом скорости более резко, чем коэффициент сцепления колес с рельсом. Поэтому в зоне малых скоростей движения (рис. 1.13) может произойти заклинивание колеса – юз, при котором происходит поступательное движение колеса по рельсу без вращения, из-за чего приходится ограничивать силу нажатия колодки на бандаж и применять противоюзные устройства.

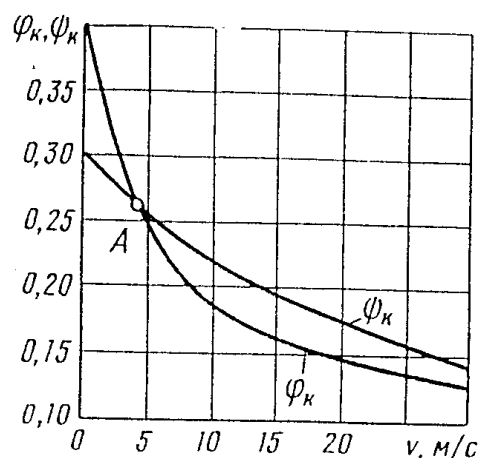


Рис. 1.13. При малых скоростях движения (левее точки А) возникает опасность юза. Это объясняется тем, что коэффициент φ_k трения колодки о бандаж (он определяет силу нажатия ее на бандаж) больше коэффициента сцепления ψ_k колеса с рельсом, т.е. тормозная сила больше силы сцепления

Следует также учитывать, что резкое нарастание тормозной силы, как и ее резкое прекращение, вызывает большие продольные силы в поезде. Они могут привести к выдавливанию вагонов из состава, повреждению крепления грузов и другим нарушениям безопасности движения.

В процессе торможения из-за снижения коэффициента трения тормозная сила уменьшается с ростом скорости движения быстрее, чем растет сопротивление движению поезда. Это является также недостатком тормозов, особенно при чугунных колодках, так как при движении на спусках обуславливает механическую неустойчивость процесса торможения. Однако эта неустойчивость не является принципиальным препятствием для применения механического торможения на подвижном составе, так как благодаря большой инерции поезда механические неустановившиеся процессы протекают медленно и машинист может повысить тормозную силу при возрастании скорости движения поезда, увеличив нажатие колодок на бандаж, и уменьшить ее при снижении скорости.

Колодочные, пневматические и электропневматические тормоза являются основными на подвижном составе, предназначенном для движения со скоростями до 180 км/ч.

Существуют системы электрического торможения – реостатного, рекуперативного, комбинированного и электромагнитного.

При реостатном торможении э.п.с. должен быть оборудован специальной схемой, позволяющей при переключении тяговых двигателей в генераторный режим часть энергии движущегося поезда в специальных резисторах превращать в тепло, рассеивая его в окружающую среду.

При рекуперативном торможении тяговые двигатели также переключаются по специальной схеме на генераторный режим, а вырабатываемая ими электрическая энергия возвращается в контактную сеть, что значительно повышает технико-экономические показатели электрической тяги.

Максимальная тормозная сила этих видов электрического торможения зависит как от параметров электрооборудования э.п.с., так и от силы сцепления их колес с рельсами, не допуская юза.

Особенность электрического торможения поездов состоит в том, что тормозную силу создает только э.п.с.:

- в грузовом движении только тяговые двигатели электровозов;
- в пассажирском пригородном движении только тяговые двигатели моторных вагонов электропоездов.

В процессе торможения особенно длинных грузовых поездов задние вагоны могут набегать на передние, создавая, особенно на переломах профиля, опасность выдавливания вагонов из состава. При правильном управлении режимом торможения такая опасность практически незначительна и может быть сведена до минимума действиями машиниста.

В системах электромагнитного торможения тормозная сила не зависит от сцепления колес с рельсами. Известны два вида электромагнитных рельсовых тормозов: магниторельсовые и тормоза, в которых использует-

ся тормозной эффект от вихревых токов, наводимых в рельсах. Однако на железнодорожном транспорте они применяются редко.

В магниторельсовом тормозе под действием силы электромагнитного притяжения к рельсам притягиваются специальные тормозные башмаки, упруго подвешенные к боковым балкам рамы тележки. Тормозные башмаки имеют обмотки возбуждения: при прохождении по ним тока возникает магнитный поток, охватывающий сердечник башмака и рельс. В результате образуется сила, притягивающая башмаки к рельсам. Поэтому реализуемые тормозные силы не ограничены сцеплением колес с рельсами.

В тормозах, основанных на действии вихревых токов, чтобы обеспечить достаточную эффективность торможения, обмотки тормозных башмаков должны создать сильное магнитное поле в рельсах. На это расходуется электрической энергии во много раз больше, чем в магниторельсовых тормозах. Однако при таких тормозах обеспечивается независимость тормозной силы от состояния поверхностей рельса и бандажа, степени их загрязнения и силы сцепления между ними. Их предназначают для э.п.с. с электрическим торможением, при котором энергия, необходимая для возбуждения катушек тормозных башмаков, генерируется тяговыми двигателями.

В связи с ростом скоростей движения подвижной состав оборудуют комбинированными системами торможения, каждая из которых имеет наибольшую эффективность в определенном диапазоне скоростей. Например, на электропоезде ЭР 200 применены реостатный тормоз, электропневматический, колодочный дисковый (полудиски размещены на центрах колес) и магниторельсовый, а также ручной тормоз для удержания поезда на месте. Действие их поясняют кривые, приведенные на рис. 1.14. Одновременное действие тормозов нескольких видов, при котором может возникнуть заклинивание колес – юз, предотвращается специальными устройствами.

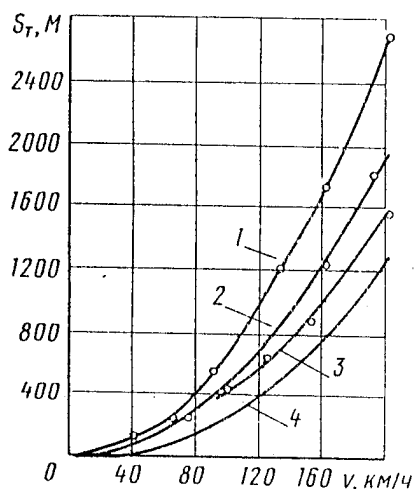


Рис. 1.14. Эффективность каждой из систем тормозов, которыми оборудован электропоезд ЭР 200, определяется тормозным путем S_t , т.е. расстоянием, пройденным электропоездом с момента поворота рукоятки крана машиниста при некоторой скорости V до полной остановки поезда. При действии магниторельсового тормоза (опытные точки отмечены кружками) тормозной путь характеризуется кривой 1, при работе дискового тормоза – кривой 2, в случае совместного действия дискового и магниторельсового тормозов – кривыми 3 (экспериментальная) и 4 (расчетная)

1.7. Определение массы поезда

Масса грузового поезда является одним из основных показателей эффективности работы участка и дороги в целом. Она определяет производительность труда на железнодорожном транспорте; от неё существенно зависит себестоимость перевозок. В практике эксплуатационной работы стремятся максимально повысить нормативную массу состава поезда, особенно в грузовом движении, постоянно повышая мощность и силу тяги локомотивов.

Однако повышение массы состава ограничивается условиями движения поезда по руководящему подъему и длинной приемо–отправочных путей на станциях. Ниже дана методика расчета критической, т.е. наибольшей массы состава по условиям движения поезда на руководящем, т.е. наиболее крутом подъеме в пределах данного тягового плеча.

На большинстве участков движения максимальная сила тяги локомотива и зависящая от нее предельная масса грузового поезда определяются условиями сцепления колес локомотива с рельсами:

$$F_{cu}(V_p) = 1000 m_{cu} g \psi_{cu}(V_p),$$

где $F_{cu}(V_p)$ – максимальная сила тяги электровоза на расчетном подъеме крутизной $i^0/100$ при установившейся скорости движения V_p , км/ч;

m_{cu} – сцепная масса электровоза, т;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

$\psi_{cu}(V_p)$ – значение коэффициента сцепления колес электровоза с рельсами при скорости V_p , км/ч.

С другой стороны, эта сила тяги $F_{cu}(V_p)$ должна быть равна силе сопротивления движению поезда:

$$1000 m_{-b} g \psi_{-b}(V_p) = m_o \left[W_o'(V_p) + i_p \right] g + m_c \left[W_o''(V_p) + i_p \right] g,$$

где $W_o'(V_p)$, $W_o''(V_p)$ – основное удельное сопротивление движению электровоза и состава при скорости движения V_p соответственно.

Из последнего равенства найдем массу m_c грузового поезда по условию сцепления колес электровоза с рельсами:

$$m_c = \frac{1000 m_{-b} g \psi_{-b}(V_p) - m_o \left[W_o'(V_p) + i_p \right] g}{\left[W_o''(V_p) + i_p \right] g}, \text{ т.}$$

Установившуюся скорость движения электровоза на расчетном подъеме i_p определяют как точку пересечения тяговой характеристики $F(V)$ электровоза с кривой ограничения силы сцепления колес электровоза с рельсами в функции скорости движения.

В качестве примера на рис.1.15 приведена тяговая характеристика электровоза ВЛ10 с тяговыми двигателями ТЛ-2К при полном поле возбуждения, диаметре колес 1250 мм, напряжении на двигателе 1500 В (кривая 1) и ограничение по сцеплению силы тяги колес этого электровоза (кривая 2).

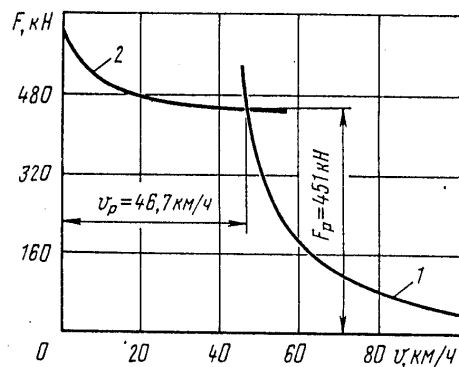


Рис. 1.15

Массу поезда рассчитывают отдельно для каждого участка дороги. Так как каждый участок имеет свой профиль, а может быть и серию электропровода, то необходимо изменять массу поезда применительно к каждому участку. Чтобы пропускать маршрутные поезда без переработки массы поезда на участковых станциях, устанавливают в таких случаях единую так называемую унифицированную массу поезда для всего направления.

Составы грузовых поездов формируют в зависимости от характера перевозимых грузов, для чего используют грузовые вагоны разных типов: крытые для защиты грузов от атмосферных осадков, полувагоны для перевозки массовых грузов навалом и леса; платформы для длиномерных и громоздких грузов; цистерны для перевозки жидких (наливных) и газообразных веществ; изотермические для перевозки скоропортящихся грузов и специальные для тяжеловесных и громоздких грузов; полувагоны-бункеры, вагоны для перевозки живности и скота, автомашин, цемента и т.п.

Если масса поезда будет значительно больше значения, определяемого силой сцепления колес локомотива с рельсами, то нормальное движение поезда невозможно: локомотив не стронет такой поезд с места, колесные пары будут боксовать. Подсыпая через форсунки песок под колеса локомотива, увеличивают силу сцепления, и становится возможным стронуть поезд с места. Однако режим движения поезда с непрерывной подачей песка под колеса локомотива нельзя считать нормальным, так как при этом происходит усиленный износ рельсов, увеличивается сопротивление поезда и, как следствие, неоправданно возрастает расход электроэнергии на тягу поездов.

На некоторых участках максимальная допустимая масса грузового поезда определяется условиями нагревания обмоток тяговых двигателей. Так как предельная допустимая температура нагрева обмотки зависит от класса ее изоляции, то если в течение длительного времени температура обмотки окажется выше указанной допустимой, может произойти ее тепловое разрушение. Опасность заключается в том, что такое разрушение обмоток происходит не мгновенно, а накапливается постепенно, после чего происходит массовый выход тяговых двигателей из строя, что грозит нарушением нормального движения поездов.

Длина грузового поезда обычной массы не должна превышать длины приемо-отправочных путей станций: 850, 1050 и 1200 м в зависимости от их класса и развития.

При длине станционных путей 850 м масса поезда для маршрутов с углем, рудными, строительными и другими массовыми грузами может достигать 4700–6200 т при длине станционных путей 1050 м она может составлять 5800–6700 т.

Исходя из технических возможностей подвижного состава один восьмиосный электровоз может вести поезд предельной массы в восемь тысяч тонн. Однако при торможении на затяжных спусках круче 12‰ возникают недопустимо большие продольные силы в поезде, что грозит его обрывом, или выдавливанием вагонов из состава (рис.1.16). На участках со спусками круче 12‰ массу и длину поездов устанавливают по результатам опытных поездок.

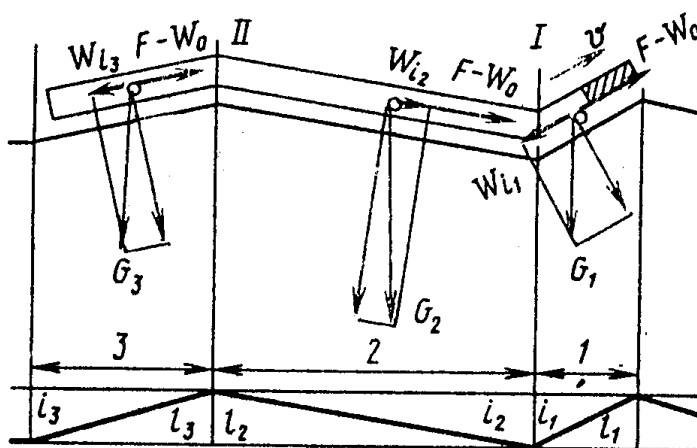


Рис.1.16. Длинносоставный поезд в данный момент времени расположен на трех элементах пути. Сила тяги F и основное сопротивление движению W_0 приняты постоянными. При таком расположении поезда возникает опасность выдавливания вагонов (зона I) и обрыва (зона II). Чем резче переломы профиля, тем больше эта опасность

Известны случаи, когда при одном электровозе в голове поезда массу поезда необоснованно устанавливали выше 8 тыс. тонн. Результат – вышедшие из строя тяговые двигатели и сбой движения поездов на участке. Пуск длинных поездов представляет определенные трудности, необходимо заранее обеспечить безостановочное проследование таких поездов, с тем чтобы избежать предупреждений об ограничении скорости и тем более появления запрещающих сигналов на перегонах. Беспрепятственный пропуск таких поездов зависит от слаженности действий работников не только данной станции, но и соседних тоже. В еще большей мере не слаженность в работе сказывается на стыковых станциях дорог и направлений, если приходится изменять массу поезда.

В сложившихся условиях работы железных дорог, когда грузовое движение сократилось почти в два раза, особое значение для жизнедеятельности железных дорог приобретает эффективная организация пассажирских перевозок.

Пассажирские поезда различают по категориям: скорые формируют из жестких, купейных и мягких вагонов. Эти поезда имеют минимальное число остановок в пути следствия. Пассажирские поезда формируют из тех же типов вагонов с предусмотренными в них местами для сидения. Почтово-багажные поезда формируют из почтово-багажных вагонов, включая несколько пассажирских вагонов. На малодеятельных линиях эксплуатируются грузо-пассажирские поезда.

Расположение вагонов в поезде должно обеспечивать максимальное удобство пассажиров при соблюдении всех требований безопасности. Ведущая роль в организации пригородных перевозок пассажиров принадлежит электропоездам, как наиболее эффективному средству этого вида транспорта.

Массу и скорость пассажирских поездов определяют в результате многовариантного решения технико-экономической задачи сравнения, с одной стороны, приведенных ежегодных капиталовложений в подвижной состав (электровозы и вагоны), с другой стороны, эксплуатационных расходов - оплат электроэнергии на тягу, оплату работы локомотивных и поездных бригад, путевых ремонтных рабочих и т.д. Из рассмотренных вариантов выбирают оптимальный с учетом длины станционных путей на данном направлении. Такие варианты расчетов наиболее целесообразно выполнять на ПЭВМ.

На основании накопленного опыта вождения как грузовых, так и пассажирских поездов полезны режимные карты их рационального вождения, обеспечивающие экономию электроэнергии на тягу и безопасные условия их продвижения на каждом участке.

Режимные карты не должны становиться фактором, сдерживающим инициативу локомотивных бригад и совершенствование их работы. По мере накопления опыта вождения поездов, режимы прохождения ими каждого участка следует пересматривать.

Наилучший режим, однако, может быть реализован при полной автоматизации ведения поезда. Современные бортовые микро-ЭВМ вполне позволяют выполнить оптимизацию режима ведения поезда строго согласно графику движения с обеспечением минимума расхода электроэнергии.

1.8. Энергетика движения поезда

Перемещение состава в пределах тягового плеча происходит в основном по горизонтали, но обычно профиль поезда-участка представляет собой примерно горизонтальную линию с чередующимися подъемами и спусками. От профиля пути существенно зависит как критическая масса поезда, о чем было сказано выше, так и режим ведения поезда по участку. Для углубленного понимания этих вопросов данную проблему целесообразно рассматривать с точки зрения энергетических процессов движения поезда.

Для этого сначала используем метод баланса мощности. По диаграмме (рис. 1.17) видно, что мощность M_0 , потребляемая электровозом из

тяговой сети расходуется полезно на создание касательной силы тяги F_k , причем полезная мощность равна

$$M_{пол} = F_k \cdot V$$

и в ней можно выделить 3 составляющих, которые идут

- на преодоление сил трения M_T , т.е. основного сопротивления движения поезда и сопротивления от кривых (W_0 и $W_{кр}$);
- на накопление кинетической энергии поезда, т.е. на увеличение его скорости. Если формула для кинетической энергии имеет вид

$$\mathcal{E}_k = \frac{(P+Q) \cdot V^2}{2},$$

то рассматриваемая составляющая мощности представляет собой производную от энергии по скорости, т.е.

$$M_k = \frac{d\mathcal{E}_k}{dV} = (P+Q)V \frac{dV}{dt};$$

- на накопление потенциальной энергии, когда поезд идет на подъем с уклоном i , причем накопленная потенциальная энергия при этом равна

$$\mathcal{E}_{ном} = (P+Q) \cdot L \cdot i,$$

где L – длина подъема, км;

i – уклон, ‰.

Составляющая доля мощности локомотива, при движении на подъем, расходуемая на увеличение $\mathcal{E}_{ном}$ равна производной от этого выражения по времени, т.е.

$$M_{ном} = (P+Q) \cdot V \cdot i.$$

Следует отметить, что M_T безвозвратно уходит в потери, но M_k и $M_{ном}$ идут в накопление энергии поезда и потом могут быть использованы полезно (для преодоления трения на выбеге). Однако в ряде случаев приходится гасить эту энергию тормозами. Так появляются тормозные потери – при остановке поезда или при поддержании его скорости на вредном спуске.

Чтобы снизить тормозные потери, предусматривают рекуперацию, т.е. возврат энергии в тяговую сеть.

В состав диаграммы баланса мощности входят также:

- расход на собственные нужды СН;
- потери в электровозе ΔM (механические, электрические и магнитные).

Расчетные формулы для определения КПД электровоза по мощности могут быть записаны:

- в режиме тяги

$$\eta_T = \frac{M_{пол}}{M_0} = \frac{M_0 - M_{СН} - \Delta M}{M_0} = \frac{F_k \cdot V}{U \cdot I};$$

- в режиме рекуперации

$$\eta_{рек} = \frac{M_{рек}}{M_{кин} + M_{ном}} = \frac{U \cdot I}{B_k \cdot V}.$$

Однако в конечном итоге важна не мощность, а общие затраты энергии на перемещение поезда тяговому плечу. Поэтому ниже рассмотрены именно вопросы энергопотребления.

Железнодорожный транспорт потребляет около 4% всей электроэнергии, вырабатываемой в нашей стране. Поэтому ее экономия на железных дорогах приобретает важное значение, особенно в настоящих условиях, когда стоимость электрической энергии неуклонно растет.

Основная часть энергии на железнодорожном транспорте расходуется на движение поездов. При электрической тяге энергия, забираемая из контактной сети при движении поезда, равна сумме энергии, затрачиваемой на работу, совершаемую тяговыми двигателями, потерям энергии при ее преобразовании в узлах э.п.с. и энергии, расходуемой на собственные нужды поезда. В процессе передачи этой энергии от тяговой подстанции на э.п.с. неизбежны ее потери, обусловленные электрическим сопротивлением контактной сети. Кроме этого, энергия теряется в преобразовательных устройствах тяговых подстанций.

После отключения тяговых двигателей движение поезда продолжается за счет накопленной кинетической энергии. Преодолевая при этом силу сопротивления движению, поезд уменьшает скорость. Для увеличения скорости приходится вновь потреблять энергию из контактной сети.

Часть электрической энергии, потребляемой поездом, расходуется при движении на подъемах на изменение его потенциальной энергии. На спусках потенциальная энергия поезда, накопленная при подъеме, уменьшается и расходуется на преодоление основного сопротивления движению и сопротивления в кривых, а на крутых спусках поглощается частично в тормозах.

Потери энергии происходят также в тормозах при подтормаживаниях, при остановках поезда и снижении скорости перед кривыми, стрелками, перед станциями. Неизбежны потери энергии также в тяговых двигателях и тяговых передачах, преобразовательных и пусковых устройствах э.п.с.

Электрическую энергию A , затраченную на движение поезда, подсчитывают как сумму произведений $U_i I_i t_i$ во всех режимах работы э.п.с. (здесь U_i – напряжение контактной сети при токе I_i э.п.с., определяемом с учетом схемы соединения тяговых двигателей; t_i – время движения э.п.с. с током I_i):

$$A = \sum U_i I_i \Delta t_i .$$

Электрическая энергия, забираемая из контактной сети, расходуется также на собственные нужды э.п.с. – на работу приводных двигателей мотор–компрессоров, мотор–вентиляторов, мотор–генераторов управления. Кроме того, из сети должно быть дополнительно подведено некоторое количество энергии для питания цепей отопления и в пассажирских поездах.

В тех случаях, когда нет кривых тока, потребляемого электровозом, ведущим поезд данного веса, для расчета расхода электроэнергии на тягу используют другие методы. Из них рассмотрим сущность метода расчета по составляющим расхода электроэнергии, а также принципы статистического и базового методов расчета.

Метод расчета по составляющим состоит в последовательном вычислении каждой из них: $\Delta A_{\text{п}}$ – потерь электроэнергии при пуске; $\Delta A_{\text{во}}$ – потерь на преодоление основного сопротивления движению; $\Delta A_{\text{ик}}$ – тоже на преодоление электровозом подъемов и кривых; $\Delta A_{\text{пт}}$ – потерь при подтормаживании поезда; $\Delta A_{\text{то}}$ – при торможении до остановки; $\Delta A_{\text{тд}}$ – потерь в тяговых двигателях; $\Delta A_{\text{с}}$ – расхода на собственные нужды э.п.с.. Сумма указанных составляющих дает общий расход энергии A на тягу данного поезда, а сумма расходов энергии всех поездов на участке – общий расход.

Сущность статистического метода состоит в определении среднего значения расхода энергии на тягу на основе оценки корреляционных связей между отдельными составляющими $\Delta A_1, \Delta A_2, \dots, \Delta A_n$. При этом общий расход энергии $A = \Delta A_0 + \sum_1^n K_i \Delta A_i$, где коэффициенты корреляции K_i устанавливаются по результатам анализа материалов опытных поездок.

В современных трудных условиях работы железных дорог приобретает большое значение базовый метод планирования расхода электроэнергии на предполагаемый объем перевозочной работы, учитывающий основные параметры этого плана: веса поездов по направлениям, удельные нагрузки вагонов, путевое развитие станций, места установки светофоров и т.д., позволяющий более полно учесть условия эксплуатации на данном участке.

В отношении расхода электроэнергии условия движения поездов, ведомых электровозами на магистральных участках, существенно отличаются от условий движения пригородных электропоездов. При электровозах основная часть электроэнергии тратится на преодоление сопротивления движению и подтормаживание на вредных спусках. Потери в тормозах перед остановками и потери при пуске составляют в этом случае, особенно на двухпутных участках, лишь небольшую часть общего расхода энергии: они не превышают 10–20%. Наименьший расход энергии получается при движении грузовых поездов на равнинных двухпутных участках с редкими остановками. В пригородном движении, для которого характерны короткие перегоны между остановками, тормозные и пусковые потери достигают 60–70% общего расхода энергии на движение поезда.

Чтобы снизить расход энергии на движение поездов, стремятся прежде всего уменьшить основное сопротивление движению поезда. Для этого необходимо содержать в требуемом состоянии подвижной состав и путь, обеспечивать полную загрузку вагонов и повышать средний коэффициент полезного действия э.п.с., уменьшать потери в тормозах на вредных спусках.

В существующих условиях эксплуатации потери энергии в двигателях можно несколько снизить, широко применяя регулирование их возбуждения, так как при средних и больших нагрузках двигателя заметную роль играет уменьшение потерь в цепи возбуждения. Значительно ухудшается КПД двигателей и преобразователей при работе в режиме пониженного напряжения. Они спроектированы так, что их максимальный КПД обеспе-

чивается при номинальном напряжении. Поэтому следует избегать езды на последовательном соединении тяговых двигателей или на позициях пониженного напряжения э.п.с. с преобразователями.

Очень велик расход энергии на вентиляцию преобразователей и тяговых двигателей электровозов переменного тока: в некоторых случаях он достигает 15% общего расхода энергии. Регулируя частоту вращения вентиляторов в зависимости от нагрузки тяговых двигателей, можно уменьшить количество потребляемой ими энергии в 2,5–3 раза.

Заметную экономию электрической энергии дают ускоренные трогание и разгон поезда: чем больше ток тягового двигателя, тем выше ускорение поезда, меньше скорость выхода на номинальную характеристику э.п.с. и меньше время потребления этого тока из контактной сети.

При ускоренном пуске (на рис. 1.18 этому соответствуют величины с индексом 1) экономия электрической энергии достигается за счет: сокращения потерь в пусковых резисторах (эти потери прямо пропорциональны квадрату скорости выхода на номинальную характеристику: $V_{п1} < V_{п2}$), уменьшения времени потребления пускового тока ($t_{п1} < t_{п2}$), снижения потерь при торможении до остановки, которые пропорциональны квадрату скорости начала торможения ($V_{т1} < V_{т2}$).

Экономия электрической энергии за счет ускоренного пуска более ощутима при движении электропоездов, чем электровозов на магистральных участках, так как в пригородном движении более часто происходят пуски и остановки.

Увеличение замедления в процессе торможения при данной технической скорости также приводит к снижению расхода энергии, но не в столь значительной степени, как увеличение пускового ускорения.

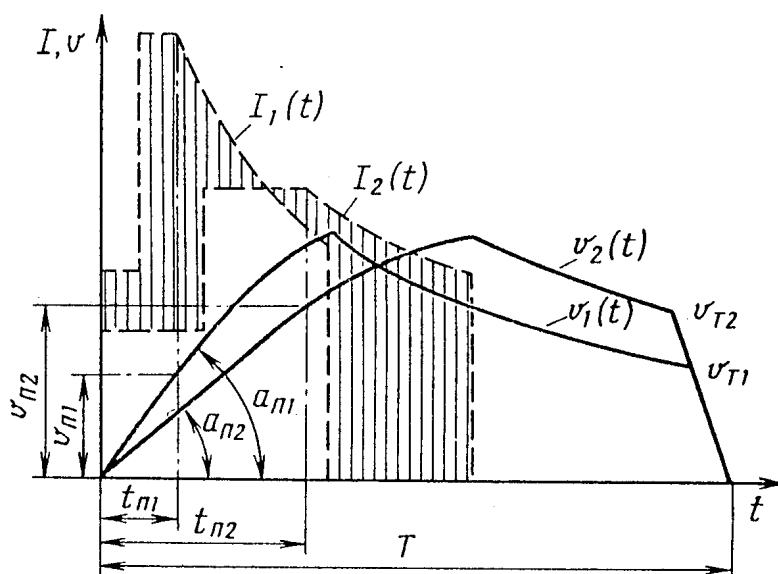


Рис. 1.18. Влияние изменения скорости движения $V_1(t)$, $V_2(t)$ и токов $I_1(t)$, $I_2(t)$ э.п.с. на расход электроэнергии в двух режимах (индексы 1 и 2) при одном и том же времени T хода по перегону. Пуск в режиме 1 более интенсивный: ускорение $a_{п1} > a_{п2}$, время $t_{п1} < t_{п2}$. Получаемая экономия энергии за счет интенсивного пуска пропорциональна разности заштрихованных площадей.

Существенную экономию электрической энергии дает применение рекуперативного торможения. На магистральных электрических железных дорогах рекуперация применяется преимущественно для торможения на крутых затяжных спусках. На горных участках при этом получают в среднем 12–15% экономии электрической энергии. При электропоездах эффект рекуперации проявляется в процессе торможения перед остановками. Так как потери в их тормозах достигают 40–50% общего расхода электроэнергии, то, применяя рекуперацию, можно получить экономию энергии в размере 20–30%.

Кроме того, при рекуперативном торможении, как и любом другом виде электрического торможения, значительно уменьшается износ тормозных колодок и бандажей, что дает экономический эффект, соизмеримый со стоимостью сэкономленной энергии.

Как при электровозной, так и при мотор-вагонной тяге существенное влияние на расход электрической энергии оказывает организация движения поездов. Потери энергии в случае непредвиденных остановок перед запрещающими сигналами, движение на станциях по предупреждениям с пониженной скоростью и т.п. связаны, как правило, с дополнительными торможениями поезда, а при полной остановке и с дополнительными пусками, т.е. с дополнительным расходом электроэнергии.

Существенное уменьшение расхода энергии можно было бы получить, снижая скорость движения, так как при этом уменьшились бы сопротивление движению и потери в тормозах перед остановками. Однако расход энергии не может служить единственным критерием для выбора оптимального режима работы поезда, так как снижение скорости может вызвать потери в эксплуатации, превышающие стоимость сэкономленной энергии. Поэтому режим движения поезда выбирают на основании экономических расчетов, учитывая, с одной стороны, расходы, зависящие от скорости движения, а с другой – от количества израсходованной энергии.

Из всех вариантов, отвечающих заданным техническим требованиям, выбирают оптимальный, т.е. требующий наименьших приведенных затрат на перевозку грузов или пассажиров, при учете всех затрат.

1.9. Эффективность электрической тяги

Электрическая тяга по сравнению с тепловозной требует дополнительных капитальных затрат на сооружение контактной сети, тяговых подстанций и на подвод к ним линий электропередачи от единой энергосистемы. Но электроподвижной состав создает и значительные преимущества, включая снижение себестоимости перевозок при значительных объемах перевозочной работы, возможность повышения весовых норм грузовых поездов и скорости пассажирских за счет более высокой мощности электровоза по сравнению с тепловозом. Важно также, что расходы локомотивных депо, эксплуатирующих электровозы, в 2–3 раза меньше, чем у аналогичных тепловозных депо.

Несомненны преимущества электрической тяги в пригородном сообщении. Высокоскоростное сообщение также базируется исключительно на электрической тяге.

Тем не менее, экономически целесообразна лишь электрификация линий с высокой интенсивностью движения поездов. Линии с малоинтенсивным движением экономически выгодно эксплуатировать на тепловозной тяге.

Именно поэтому в России и на электрической тяге работает около половины сети железных дорог, но эти линии, как наиболее загруженные, выполняют до 85% грузооборота.

Аналогичная ситуация имеет место в большинстве стран Евросоюза, в Японии, Китае. Обычно электрифицировано 30–60% сети железных дорог, но электрическая тяга выполняет до 90% всей перевозочной работы сети.

Электрические железные дороги являются крупным потребителем электроэнергии. В России они потребляют до 5% всей вырабатываемой в стране электрической энергии. Железнодорожный транспорт является выгодным потребителем, поскольку потребление электрической энергии практически равномерно в течение суток. Это позволяет сглаживать пики и провалы энергопотребления, свойственные крупным городам.

Хотя система электрической тяги является энергоемкой отраслью, эффективность ее работы в масштабе страны не может вызывать сомнений. Эффективность использования энергоресурсов оценивают отношением полезно израсходованной их части к общей величине энергоресурсов с учетом потерь при добыче, переработке и транспортировке выработанной энергии. Это отношение называют коэффициентом использования энергоресурсов. Чем совершеннее система тяги, тем выше коэффициент использования ею энергоресурсов.

Общие требования, предъявляемые к каждому виду тяги, состоят в следующем:

- высокая экономичность перевозок, одним из определяющих факторов которой является коэффициент полезного использования энергоресурсов: он во многом зависит от того, насколько экономичны характеристики силовых установок локомотивов, т.е. насколько можно регулировать их применительно к профилю участка и наиболее целесообразным с точки зрения экономии энергии режимам движения поезда;
- отсутствие необходимости в дорогостоящем топливе для силовых установок локомотивов;
- способность надежно работать в любых метеорологических условиях и сохранять работоспособность при отказе одного или нескольких элементов;
- достаточная ремонтпригодность;
- экологическая чистота, благоприятные изменения условий и характера труда людей.

Чтобы более полно охарактеризовать свойства электрической тяги, рассмотрим такие ее технико-экономические показатели, как коэффициент полезного действия (КПД), металлоемкость, особенности характеристик локомотивов, возможности экономии энергии при движении поезда, надежность электроподвижного состава и электрической тяги в целом, влияние электрификации железных дорог на условия работы и производительность труда.

Эффективность использования энергии, в любой системе определяется тем, насколько велики ее потери при работе этой системы. Полезно используемую долю энергии принято оценивать отношением ее к величине энергии, подводимой на вход системы, которое принято называть коэффициентом полезного действия (КПД) системы.

В сложных системах, состоящих из нескольких функциональных узлов, какими являются, например, системы тяги, в каждом узле неизбежны потери энергии на трение, рассеяние энергии в окружающую среду, преодоление сопротивления и т. п. Поэтому общие потери энергии в таких системах определяют как сумму потерь во всех узлах (рис. 1.18).

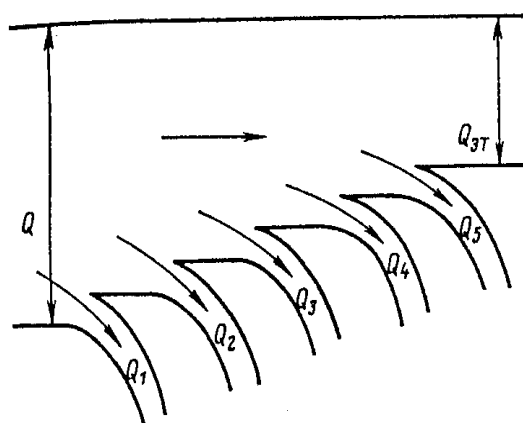


Рис. 1.18. В системе электрической тяги к энергии, полезно используемой, добавляется сумма потерь:

Q_1 – на электростанциях; Q_2 – в ЛЭП включая повышающие и понижающие трансформаторы; Q_3 – на тяговых подстанциях; Q_4 – в контактной сети; Q_5 – на э.п.с. Из энергии Q топлива, перерабатываемого на электростанциях, полезно используется в системе электрической тяги $Q_{эп}$

Однако проще определять КПД сложной системы путем последовательного умножения количества энергии, поступающей от предыдущего узла на вход последующего, на КПД последующего узла.

Первым узлом, где происходят потери энергии при ее переработке, является электростанция (КПД η_1). Затем энергия теряется при передаче ее на тяговые подстанции по высоковольтным линиям электропередачи (КПД η_2).

При преобразовании энергии на тяговой подстанции также теряется некоторое ее количество (КПД η_3). Далее имеют место потери энергии в контактной сети (КПД η_4) и, наконец, в процессе преобразования ее на

э.п.с. в механическую работу по передвижению поезда (КПД η_5). Таким образом, КПД системы электрической тяги можно рассчитать как

$$\eta_{эл.} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5.$$

Важной энергетической характеристикой э.п.с. является зависимость КПД тягового двигателя от его нагрузки. При работе тягового двигателя возникают механические потери, обусловленные трением в его узлах и узлах тяговой передачи, а также электрические потери, пропорциональные квадрату тока двигателя, выделяющегося в виде тепла в его обмотках. В номинальном режиме КПД тягового двигателя постоянного тока составляет 94–95%.

Так как электровоз питается через контактную сеть от тяговых подстанций, то в зависимости от профиля пути, массы поезда и условий движения он может забирать от тяговой подстанции необходимое количество энергии для движения. Поэтому электровозы способны водить тяжелые поезда с высокими скоростями по трудным участкам пути.

Большая мощность, возможность увеличения ее при трогании поезда и на трудных элементах профиля, высокие скорости движения, работа по системе многих единиц и другие свойства э.п.с. обеспечивают его эффективное использование в эксплуатации.

Железнодорожный транспорт является довольно металлоемкой отраслью хозяйства страны. На его долю приходится около 11% общего расхода металла в стране. Больше половины этого металла идет на производство и ремонт подвижного состава - локомотивов, вагонов, электро- и дизель поездов и т.п.

Казалось бы, что в первую очередь следует добиваться снижения массы электровоза. Однако масса электровоза, от которой зависит его сила тяги, определяемая условиями сцепления колес локомотива с рельсами, задана техническими условиями на поставку электровозов. Поэтому если при создании электровоза удастся снизить его массу, то, чтобы обеспечить заданные тяговые свойства, приходится устанавливать на электровозе балласт.

Опыт постройки э.п.с. показывает, что металлоемкость конструкций по многом зависит от конструктивных решений, технологической готовности производства к серийному выпуску, разработки и внедрения ресурсосберегающей технологии. Например, осуществленные на НЭВЗе такие мероприятия, как перенос автосцепки с рамы тележки на раму кузова электровоза, переход на двухосные бесшкворневые тележки, применение наклонных тяг для передачи силы тяги и т.п., позволили получить значительную экономию материалов.

Одним из эффективных мероприятий, снижающих металлоемкость локомотивного парка, необходимого для выполнения заданного объема перевозок, является совершенствование тяговых и тормозных свойств локомотивов, внедрение мероприятий по повышению использования сцепления колес локомотива с рельсами при существующих номинальных осевых нагрузках и мощности тяговых двигателей.

Одним из существенных преимуществ электрической тяги является возможность рекуперации энергии, (возврат ее в тяговую сеть при движении поезда по спуску и в процессе торможения). Электрическую энергию нельзя запасать впрок (не считая зарядки аккумуляторных батарей); она должна расходоваться по мере выработки. Существуют несколько возможностей ее использования. На участках постоянного тока с интенсивным движением энергию рекуперации потребляют поезда, следующие в тяговом режиме. Особенно это ощутимо там, где имеются подъемы. Благодаря рекуперации энергии электровозом, спускающимся по соседнему пути, возрастает напряжение в контактной сети, растет скорость поезда, движущегося по подъему, и сокращается время его хода. При большой неравномерности движения напряжение в контактной сети может достигать высокого уровня, что затрудняет применение рекуперации.

В рекуперативном режиме работы э.п.с. его тяговые двигатели работают как генераторы, преобразуя энергию движущегося поезда в энергию электрическую, отдаваемую в контактную сеть, создают тормозной момент. Поэтому кинетическая энергия поезда постоянно уменьшается, скорость его движения снижается до значения, устанавливаемого машинистом.

Рекуперативное торможение является также эффективным средством поддержания постоянства скорости движения поезда на спусках. Оно особенно эффективно на затяжных крутых спусках.

В случае применения рекуперации повышается безопасность движения поездов, так как по существу на э.п.с. оказывается второй, кроме пневматического, вид тормоза. Он действует настолько эффективно, что на спусках крутизной до 10–12‰ можно не применять пневматические тормоза. Это исключает необходимость в повторных торможениях, обеспечивает неистощимость и сохранение работоспособности пневматических тормозов.

Эффективность режима рекуперации во многом зависит от состояния оборудования э.п.с., ухода за ним в эксплуатации. При нормальном состоянии э.п.с., используя возможности рекуперативного торможения, можно обеспечить движение поезда по спускам со скоростями, близкими к максимальным допустимым, без перепадов, характерных для пневматического подтормаживания. Это позволяет развивать максимальную скорость к моменту выхода на подъем и эффективно использовать кинетическую энергию поезда на преодоление этого подъема.

Большой экономический эффект, получаемый при рекуперативном торможении, определяется возвратом электрической энергии в контактную сеть и сокращением расхода ее на тягу поездов. Эффект зависит от профиля пути, грузонапряженности участка и получается разным в различных условиях эксплуатации. Обычно возврат энергии достигает 18–22% на горных участках и 5–6% на участках с равнинным или с холмистым профилем пути.

Надежность электрической тяги и ее устройств обеспечивают нормальную работу электрической железной дороги. Под надежностью понимают способность устройства обеспечивать выполнение заданных функ-

ций в течение установленного времени при соблюдении принятой заранее системы технического обслуживания и ремонта.

Для устройств, обеспечивающих безопасность движения, допустимо только одно решение – максимум надежности, практически не отличающейся от единицы. Затраты имеют при этом второстепенное значение.

Расчет надежности в отдельности каждого из устройств еще не означает определения надежности системы электрической тяги в целом, так как эти устройства взаимосвязаны и потому влияют: друг на друга в процессе движения поезда.

Действительно, например, на условия работы устройств электропитания оказывает влияние режим работы электровоза, и не только данного электровоза, но и всех, находящихся на рассматриваемом участке контактной сети.

Состояние рельсового пути влияет не только на колебания и механическую прочность подвижного состава и силы, действующие на оборудование локомотивов и контактные провода, но и на условия взаимодействия токоприемников электровоза с контактной сетью, т.е. на изменение условий токозабвения при движении с различными скоростями. При оценке надежности электрической тяги следует учитывать и аэродинамические воздействия, которым сопутствуют колебания контактной подвески и рельсового пути, и многое другое.

Опыт эксплуатации локомотивов показывает, что их надежность и, в частности, время безотказной работы зависят от трех основных факторов: от качества проектирования и, главное, изготовления на заводе, которое определяется степенью ритмичности производства и соблюдением технологии изготовления, допусками на параметры деталей и узлов, тщательностью сборки узлов; отрицательно сказываются на качестве ошибки проектировщиков и конструкторов, а также нередко практикуемая необоснованная замена материалов, от качества ремонта и технического обслуживания в эксплуатации (пропуск и нарушение последовательности ремонтных операций при отсутствии ритмичности работы депо, недобросовестное выполнение технологии ремонта и технического обслуживания), отсутствие системы контроля качества и т.п.; от организации эксплуатации локомотивов и условий движения поездов – перегрузки локомотивов сверх допустимых значений, работа узлов и агрегатов без технического обслуживания, оставление локомотивов долгое время в отстое и т.д.

Ожидать снижения надежности следует прежде всего у узлов локомотивов, в которых энергия одного вида преобразуется в энергию другого вида. Именно они являются наиболее напряженными. На электровозах переменного тока такими узлами являются выпрямитель, выпрямительно-инверторный преобразователь, тяговые двигатели, тяговая передача, колесно-моторный блок и другие устройства и аппараты.

Важным узлом электровоза является токоприемник. Он передает энергию, но не преобразует ее из одного вида в другой. Его надежность во многом определяется внешними причинами - состоянием контактной сети, а также колебаниями подвижного состава.

В системе электроснабжения устройствами, преобразующими энергию, являются преобразователи на тяговых подстанциях, аппараты защиты и трансформаторы.

Часть преобразуемой энергии затрачивается невосполнимо (потери энергии), так как существует трение, рассеивание, например, тепловой энергии в окружающую среду и т.п. В нормальных условиях эти потери вызывают износ, старение материала, т.е. постепенные отказы. Если возникают ненормальные режимы, потери энергии резко увеличиваются и, как следствие, происходят внезапные отказы, т.е. неконтролируемые, непредсказуемые.

Наступление постепенных отказов устройства легко предотвратить, так как можно контролировать степень его износа. Поэтому основное внимание при определении надежности устройств уделяется внезапным отказам и изучению физических причин их возникновения.

Информация об отказах - первичный документ, позволяющий количественно оценить надежность устройства. Существуют три пути получения этой информации: аналитический, т.е. расчет показателей надежности на основании исследования принятой математической модели работы данного устройства; по данным эксплуатации об отказах устройства; по результатам ускоренных испытаний образца устройства.

Опыт эксплуатации, а также результаты испытаний показывают, что наиболее распространенными повреждениями тяговых двигателей, приводящими к их отказам, являются нарушения электрической прочности изоляции (пробои) обмоток, недопустимое искрение под щетками и круговой огонь на коллекторе, распушение обмотки якоря, ослабление крепления полюсов, катушек на сердечниках, а также механическое разрушение некоторых деталей, в первую очередь таких, как межкатушечные соединения.

Учитывая характер указанных выше отказов, надежность тягового двигателя можно рассматривать как произведение надежностей трех его систем - *изоляционной, коммутационной и механической*; надежность каждой из них изменяется под воздействием условий эксплуатации.

Электрическая прочность изоляции. Существенное влияние на надежность (прочность) изоляции тяговых двигателей оказывают нагрев и вибрации. Использовать для оценки надежности изоляции методы разрушающих испытаний, т.е. доводить ее до пробоя, нельзя. Наиболее подходящими являются методы неразрушающего контроля. Они основаны на последовательном повышении напряжения, прикладываемого на каждом шаге испытаний до тех пор, пока ток утечки изоляции не станет резко нарастать: это свидетельствует о приближении пробоя.

Надежность коммутации. Установлено, что наиболее существенными причинами нарушения коммутации являются вибрации коллекторно-щеточного узла при движении локомотива, осложняющие условия токо-съемки под щетками. В результате возникает искрение, происходит усиленный износ щеток. При ускорениях, равных, например, $10g$, и токе на 25% больше часового межламельное напряжение может достигать 41–42 В, в то время как без учета этих ускорений оно составляет 30–32 В. Если

амплитуда ускорений увеличивается в 2 раза, межламельное напряжение возрастает еще больше. Так как вибрации в сильной мере зависят от конструкции и состояния рессорного подвешивания локомотива и рельсового пути, то ясно, какое значение для надежности тяговых двигателей имеет хорошее состояние пути и локомотивов.

Механическая прочность обмоток. Под влиянием колебаний относительно точки закрепления на остовах в обмотках тяговых двигателей и межкатушечных соединениях возникают динамические напряжения, которые могут привести к обрыву.

Так как частоты колебаний обмотки и ее элементов зависят от многих причин (жесткости, массы, длины, скорости движения, частоты вибраций), тяговый двигатель можно рассматривать как колебательную систему с большим числом степеней свободы. Эта система может входить в резонанс, с колебаниями, вызванными движением по рельсовому пути, который из-за своей разнотелости порождает также очень большой спектр частот собственных колебаний. Поэтому возможны резонансы колебаний обмоток и других узлов тягового двигателя на многих частотах и, как следствие накопления механических повреждений, разрушение этих обмоток и узлов.

Надежность устройств энергоснабжения - одно из главных условий обеспечения бесперебойного движения поездов. В существующих условиях главной причиной отказов этих устройств являются повреждения контактной сети.

Наименьшей надежностью обладают контактные провода, а на участке переменного тока еще и изоляторы. Повреждения контактных проводов возникают главным образом из-за отступления от установленных норм и правил содержания контактной сети и узлов, в частности токоприемников э.п.с., а также вследствие воздействия неблагоприятных атмосферных условий (гололед, гроза и т.п.). В ряде случаев к нарушениям нормального состояния контактной сети приводят неправильные действия локомотивной бригады, такие, например, как поднятие при движении и опускание токоприемника при включенных вспомогательных машинах, при коротких замыканиях в цепях э.п.с. и т.п. До сих пор недостаточна надежность опор контактной сети.

При оценке надежности устройств электроснабжения приходится учитывать, что скорость движения поезда в значительной мере зависит от напряжения на токоприемнике, которое обычно изменяется в довольно широких пределах, зависящих как от изменения напряжения на шинах тяговых подстанций, так и от расстояния, на котором находится поезд от подстанции, и режимов его работы. Тем не менее в целом электрическая тяга является значительно более надежной, чем тепловозная, даже в условиях ее более высокой интенсивности эксплуатации.

1.10. Перспективные виды систем электрической тяги

В настоящее время в России на железных дорогах применяют две системы электрической тяги:

- постоянного тока 3 кВ;
- переменного однофазного тока 25 кВ 50 Гц.

Недостаток системы постоянного тока связан с относительно низким напряжением, что требует для реализации необходимой мощности значительных токов. Следовательно, необходимо значительное сечение проводов контактной сети, частые расположения тяговых подстанций.

Этот недостаток устранен в системе переменного тока, но она имеет свои недостатки: повышенное электромагнитное мешающее влияние из-за соединения переменного магнитного поля, асимметричная загрузка фаз питающей 3-х фазной сети, более сложный электроподвижной состав.

В свете дальнейших перспектив развития систем электрической тяги следует отметить то направление, которое предусматривает создание системы постоянного тока высокого напряжения.

Большинство железных дорог Содружества Независимых Государств (СНГ) электрифицировано на постоянном токе при напряжении в контактной сети 3 кВ. Однако такое напряжение не является оптимальным ни для устройств электроснабжения, ни для э.п.с.. Оно представляет собой компромиссное решение, определяемое стоимостью потерь энергии в такой системе и стоимостью ее устройств.

Повышение же напряжения в контактной сети постоянного тока, например, до 6 или 12 кВ и более с целью уменьшения потерь энергии в системе при существующих принципах регулирования режимов работы э.п.с. приводит к значительному удорожанию электрической аппаратуры и тяговых двигателей.

Характерно, что отмеченные недостатки системы тяги постоянного тока 3 кВ связаны с тем, что в ней существует непосредственная электрическая связь между напряжением контактной сети и напряжением тягового электрооборудования. Если устранить эту связь и обеспечить возможность регулирования в широких пределах напряжения на тяговых двигателях, то можно будет повысить напряжение в контактной сети в несколько раз, т.е. существенно улучшить технико-экономические показатели системы тяги постоянного тока.

Новые возможности в этом отношении открывает применение систем импульсного преобразования энергии, устраняющих непосредственную связь между напряжениями контактной сети и тяговых двигателей. Применение тиристорного управления режимами работы тяговых двигателей позволяет плавно регулировать в широком диапазоне напряжение, подводимое к тяговым двигателям, независимо от значения напряжения в контактной сети.

Перспективными являются системы, при которых в качестве тяговых используются бесколлекторные двигатели - асинхронные или синхронные (вентильные).

Если в системе тяги постоянного тока поднять напряжение в контактной сети в 2–3 раза, то при использовании тиристорного управления работой тяговых двигателей, помимо экономии энергии при пуске, уменьшения количества аппаратуры управления э.п.с., снизится стоимость сооружения и эксплуатации системы электроснабжения. На электрифицированных участках при повышенном в несколько раз напряжении в контактной сети будет меньше тяговых подстанций, возрастет скорость движения поездов и пропускная способность участков по условиям электроснабжения.

Перевод участков железных дорог с 3 на 6 кВ и более не может быть осуществлен сразу на всей сети железных дорог; в первую очередь это целесообразно выполнить для наиболее грузонапряженных участков, на которых не хватает пропускной способности по условиям электроснабжения при напряжении 3 кВ.

Примыкающие к ним относительно малодетальные участки могут продолжать работать при напряжении в контактной сети 3 кВ.

При переходе с участка, имеющего в контактной сети напряжение 6 кВ, на участок с напряжением 3 кВ электровоз можно не менять, а выключить на нем половину преобразователя энергии, благодаря чему он и будет работать на напряжении 3 кВ. Наоборот, при переходе с участка с напряжением 3 кВ на участок с напряжением 6 кВ на электровозе включают вторую половину преобразователя.

Этот принцип кратного дробления мощности преобразователя энергии на электровозе может быть использован и при напряжении в контактной сети 12 и 24 кВ постоянного тока.

Повышать напряжение в контактной сети сверх 24 кВ при существующих устройствах электроснабжения уже невыгодно: резко возрастают стоимость устройств и их техническое обслуживание, а также потери энергии как в системе электроснабжения, так и на э.п.с.

Возможна и другая перспективная система тяги постоянного тока при напряжении в контактной сети 6 кВ и более. В этом случае постоянный ток контактной сети с помощью специальных преобразователей, устанавливаемых на э.п.с., преобразуется в трехфазный (или более) переменный ток высокого напряжения регулируемой частоты, на котором работают трехфазные асинхронные тяговые двигатели. Предполагается одновременно плавное бесконтактное регулирование напряжения и режимов работы этих двигателей.

Для практического осуществления такой системы (рис. 1.19) преобразователи должны быть выполнены на высоковольтных тиристорах. Асинхронные тяговые двигатели должны быть рассчитаны на напряжение, например, 6 или 12 кВ и более. Подобные двигатели на напряжение 10 кВ мощностью 1000 кВ серийно выпускает промышленность. Однако следует помнить, что тяговые двигатели э.п.с. являются машинами предельного исполнения, т.е. такими, у которых должно быть обеспечено использование конструктивных, технологических и эксплуатационных возможностей при сохранении необходимой надежности. При разработке асинхронных фазных тяговых двигателей целесообразно для расширения диапазона регулирования их характеристик предусмотреть включение в цепь ротора

конденсаторов. Меняя их емкость, можно существенно изменять не только вращающий «момент двигателя, но и энергетические показатели системы тяги в зависимости от скорости движения как в тяговом режиме, так и при рекуперации.

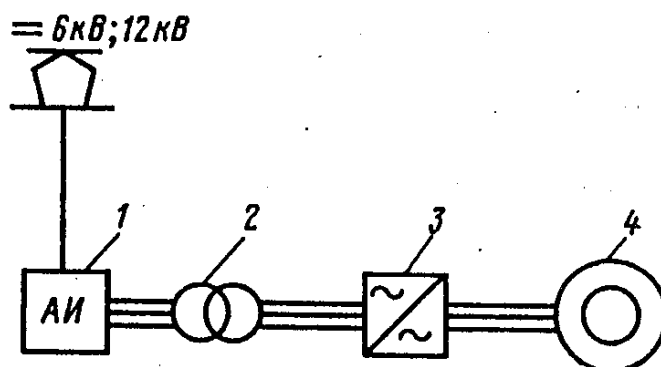


Рис. 1.19. При системе тяги постоянного тока, предусматривающей преобразование его в переменный, на электровозе установлены для питания автономный инвертор 1, трансформатор 2, преобразователь однофазного тока в многофазный 3, асинхронный тяговый двигатель 4

Однако при таком способе увеличения вращающего момента тягового двигателя, а следовательно, и тока ротора существенно возрастает нагрев его обмоток. Поэтому для обеспечения электрической прочности обмоток двигателя нужно использовать более теплостойкую по сравнению с существующей изоляцию обмоток, например полиамидную, и, кроме того, интенсивную систему охлаждения двигателей.

Известен и другой вариант системы электрической тяги постоянного тока с асинхронными тяговыми двигателями при напряжении в контактной сети 6; 12 кВ и более. В этом случае на электровозе имеется специальный преобразователь энергии постоянного тока с напряжением контактной сети в энергию постоянного же тока, но напряжением 3 кВ. Эта энергия постоянного тока поступает на вход автономного инвертора напряжения, вырабатывающего трехфазный ток для питания асинхронных тяговых двигателей.

Принципиальная схема такой системы электрической тяги представлена на рис. 1.20. Такой электровоз является двухсистемным: он может работать на электрифицированном участке постоянного тока с напряжением в контактной сети как 12, так и 3 кВ. В заключение отметим, что по мере новых успехов различных отраслей науки и техники, и прежде всего электроники, преобразовательной и микропроцессорной техники будет происходить все более обстоятельная переоценка свойств и технико-экономических показателей каждого вида тяги. Несомненно, это приведет к новым предложениям по дальнейшему совершенствованию существующих и созданию новых, более экономичных систем тяги.

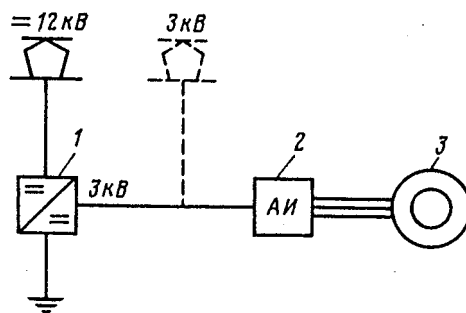


Рис. 1.20. Электровоз, предназначенный для работы на участках постоянного тока с напряжением 3 и 12 кВ, имеет следующие основные узлы: преобразователь 1 постоянного тока напряжением 12 кВ в постоянный ток напряжением 3 кВ, автономный инвертор 2, асинхронный тяговый двигатель 3 (штриховые линии – система тяги при напряжении 3 кВ постоянного тока в контактной сети)

Однако пока развитие электрической тяги осуществляется в рамках существующих систем постоянного и переменного тока. Главная задача состоит в реализации э.п.с. с асинхронными двигателями.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

2.1 Основные элементы силовой цепи э.п.с. постоянного тока

Электрический подвижной состав оборудован электрическими аппаратами для регулирования реализуемой им силы тяги и скорости поезда, а также для изменения направления движения (реверсирования) и защиты от аварийных и других опасных режимов. Электрическая цепь электровоза или моторного вагона содержит тяговые электродвигатели и аппараты для их регулирования и защиты, начиная от токоприёмника для снятия энергии с контактной сети и кончая заземляющим устройством на колёсной паре; она называется *силовой цепью*. Графическое изображение этой электрической цепи при помощи условных обозначений называется *схемой электрической цепи* (электрической схемой). Термины «электрическая цепь» и «электрическая схема» имеют различное значение и их не следует путать.

Электрическая цепь – это совокупность электрических машин, преобразователей электроэнергии, аппаратов, приборов и соединяющих их проводов, образующих пути для протекания электрического тока регулируемой величины.

Электрическая схема – это чертеж электрической цепи, выполненный при помощи условных обозначений, согласно действующим метрологическим стандартам.

На упрощенной электрической схеме силовой цепи э.п.с. постоянного тока с четырьмя тяговыми электродвигателями (рис. 2.1) якорные обмотки тяговых электродвигателей вместе с коллекторно-щёточным аппаратом обозначены *Я1, Я2, Я3* и *Я4*, а обмотки возбуждения главных полюсов этих электродвигателей – *К1, К2, К3* и *К4*. Ниже дано краткое описание основных элементов этой схемы.

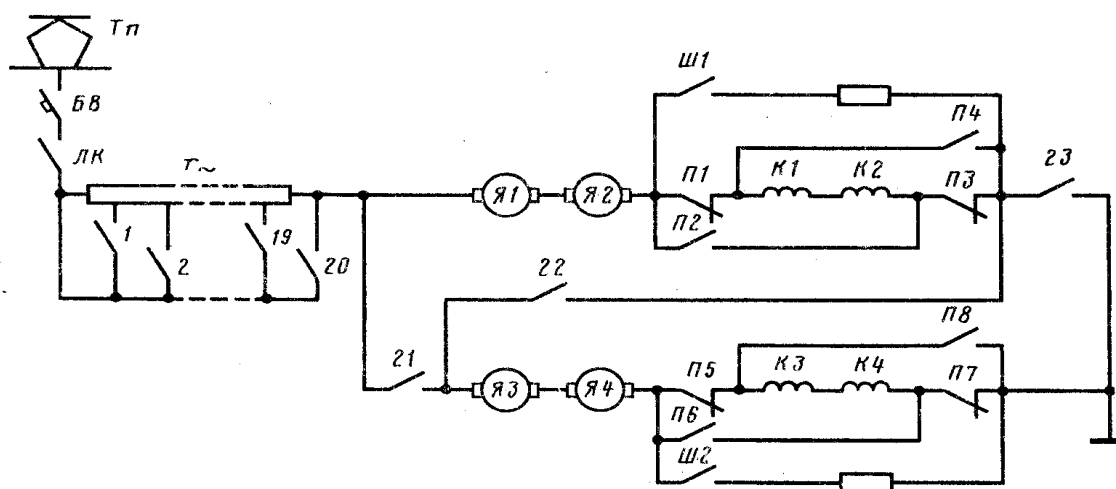


Рис. 2.1. Упрощённая электрическая схема силовой цепи э.п.с. постоянного тока

Тяговый электродвигатель является главным компонентом силовой цепи электровоза или моторного электровагона. Рассмотрим схему электрических соединений обмотки якоря и обмоток возбуждения полюсов (рис. 2.2). Обмотки полюсов в корпусе тягового двигателя соединены последовательно так, что при протекании тока по этой цепи северные N и южные S полюса чередуются. Начало и конец этой цепи обозначают соответственно K и KK . Неподвижные обмотки полюсов электрически соединены с вращающейся обмоткой якоря тягового двигателя в последовательную цепь через щетки $\text{Щ}1$ – $\text{Щ}4$, прижатые щёткодержателями к цилиндрической поверхности коллектора. Количество этих щеток равно числу полюсов электродвигателя. К щеткам присоединены провода, соединяющие обмотку якоря с другими элементами силовой электрической цепи двигателя и электроподвижного состава в целом. Чтобы различать начало и конец обмотки якоря, их обозначают соответственно $Я$ и $ЯЯ$. Таким образом, независимо от числа главных полюсов (обычно 4–8) тяговый электродвигатель имеет четыре выводных внешних провода: K и KK от обмотки возбуждения, $Я$ и $ЯЯ$ от обмотки якоря, т.е. от щёток.

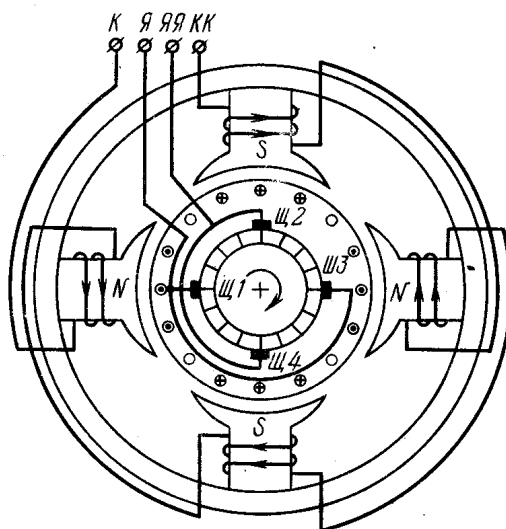


Рис. 2.2. Схема электрических соединений обмотки якоря и обмоток возбуждения тягового электродвигателя

В тяговом электродвигателе (рис. 2.3) на внутренней поверхности корпуса остова 1, отлитого из стали, болтами закреплены сердечники главных полюсов 4 и 9, на которых расположены катушки 3 и 8 обмотки возбуждения. Сердечник якоря 7 и коллектор 11 напрессованы на вал 6, который вращается в роликовых подшипниках 5, установленных в подшипниковых щитах 12. На остова предусмотрены щёткодержатели 10, количество которых равно числу щёток или числу главных полюсов. При работе электродвигателя по его якорной обмотке и обмотке возбуждения протекает электрический ток, создающий вращающий момент, но при этом вызывающий потери энергии в двигателе и нагревание обмоток. Для

охлаждения двигателя в его остове предусмотрен патрубок 2, по которому в электровозах поступает воздух от вентилятора, установленного в кузове электровоза. Тяговые двигатели электровозов постоянного тока имеют мощность 500–1000 кВт при номинальном напряжении 1500 В. Изоляция обмоток относительно остова выполнена на максимальное напряжение контактной сети 4000 В.

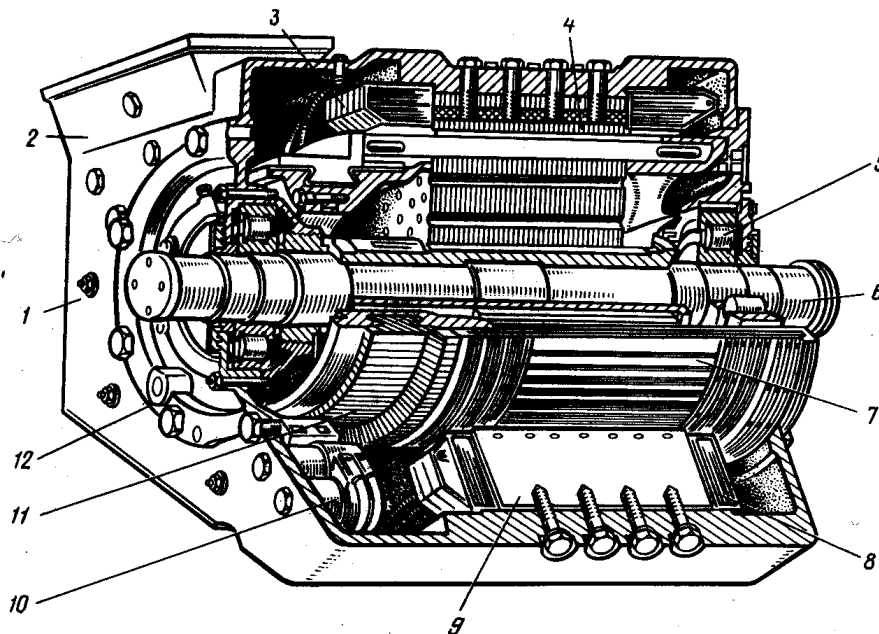


Рис. 2.3. Тяговый электродвигатель постоянного тока

При напряжении контактной сети 3000 В включают последовательно не менее двух двигателей. Тяговые двигатели электропоездов пригородного сообщения имеют мощность до 200–300 кВт при номинальном напряжении у электропоездов старых выпусков 1500 В (электропоезд ЭР2), как и на электровозах. Но на электропоездах последующих выпусков (ЭР2Р, ЭР2Т, ЭД2Т, ЭД4, ЭД4М, ЭД4МК, ЭР200) установлены тяговые двигатели с номинальным напряжением 750 В, что облегчает реализацию электрического торможения – рекуперативного и реостатного, когда тяговые двигатели работают в генераторном режиме. В силовой цепи этих электропоездов последовательно включено не менее четырех двигателей. Это позволяет снизить межламельное напряжение на коллекторе и значительно повышает надёжность двигателя.

Тяговые двигатели вагонов метрополитена получают питание от контактного рельса (825 В) и имеют мощность до 100 кВт при номинальном напряжении 412,5 В. На городском электротранспорте (трамвай и троллейбус) тяговые двигатели мощностью 50–90 кВт питаются от сети напряжением 600–800 В.

Токоприемник Тп, установленный на крыше кузова электровоза или моторного вагона (см. рис. 2.1), подает питание на силовую цепь э.п.с. Он обеспечивает надежный непрерывный контакт движущегося электровоза или моторного вагона электропоезда с контактным проводом. Для этого

пружинный механизм токоприемника создает постоянную силу нажатия контактного элемента независимо от высоты подвеса контактного провода. Основание 1 токоприемника (рис. 2.4) опирается через изоляторы 2 на крышу кузова электровоза или моторного вагона. Вокруг шарниров 5 могут поворачиваться нижние рычаги 6 подвижной рамы токоприемника, соединенные шарнирами 7 с верхними рычагами 8, на которых упруго закреплены один или два полоза 9, скользящие, при движении поезда, по контактному проводу. Полозы 9 имеют графитовые или медные накладки, прижатые к контактному проводу и образующие с ним скользящий электрический контакт. Подъем токоприемника в рабочее положение выполняет пружина 3, которая поворачивает рычаги 6. Для опускания токоприемника в нерабочее положение предусмотрена более сильная опускающая пружина 4, которая при поднятом токоприемнике заблокирована пневматическим цилиндром 10. Если же из последнего выпустить сжатый воздух, то опускающая пружина 4 преодолет усилие более слабой подъемной пружины 3 и опустит токоприемник в нерабочее положение.

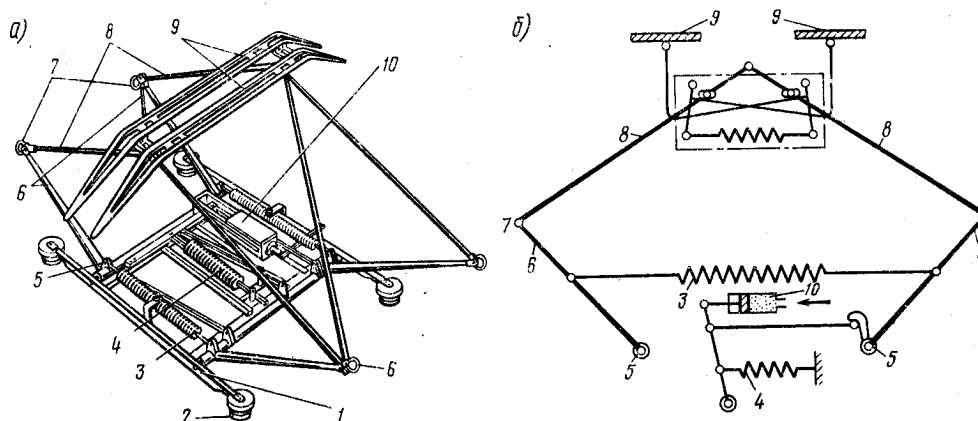


Рис. 2.4. Токоприемник (а) и его кинематическая схема (б)

Токоприемники э.п.с. постоянного и переменного тока имеют незначительные различия. При одинаковой мощности э.п.с. ток, потребляемый из контактной сети постоянного напряжения 3 кВ больше примерно в 8 раз, чем для переменного напряжения 25 кВ. Поэтому токоприемники постоянного тока имеют более высокую силу нажатия на контактный провод до 180 Н, а для переменного тока достаточно нажатия 60–90 Н. Рассмотренная конструкция токоприемника хорошо работает при скоростях до 160 км/ч. Для скоростного подвижного состава (до 300 км/ч) используют токоприемники специальной конструкции со строго стабилизированным нажатием. Они обеспечивают хороший токосъем при любых скоростях, но при строго постоянной высоте контактного провода, что достигается применением специальных контактных подвесок, которые будут рассмотрены ниже.

Аппараты силовой цепи э.п.с. находятся под напряжением свыше 1000 В и прикосновение к ним в рабочем состоянии опасно для жизни.

Кроме того, в этих аппаратах протекают токи, измеряемые сотнями и даже тысячами ампер, так что для надежной работы аппарата его контакты должны быть прижаты друг к другу силой 200–500 Н. Эти два обстоятельства исключают возможность переключения аппаратов непосредственно усилием руки машиниста. Поэтому на э.п.с. применяют *косвенное управление*, при котором все аппараты силовой цепи имеют пневматические или электрические приводы для перемещения подвижных контактов, а машинист в кабине управления переключает только цепи управления этими приводами, по которым протекают небольшие токи около 1 А при напряжении 50 или 110 В. Косвенное управление имеет следующие преимущества: переключение цепей управления не требует от машиниста значительных физических усилий; размещение высоковольтных электрических аппаратов силовой цепи в закрытой и заблокированной высоковольтной камере исключает возможность попадания людей под напряжение; имеется возможность управлять из одной кабины несколькими сцепленными вместе электровозами или моторными вагонами (система многих единиц); возможна полная автоматизация процессов управления.

Принцип косвенного управления реализуется силовыми контакторами.

Контактор – это электрический аппарат с косвенным управлением, предназначенный для замыкания и размыкания силовой цепи (название происходит от английского слова *contact* – соприкосновение). Контактор (рис. 2.5,а) имеет силовые контакты: неподвижный 1 и подвижный 2, соединенные с проводами силовой цепи электровоза. Для перемещения подвижного контакта 2 служит пневматический привод 4, связанный с подвижным силовым контактом 2 изоляционным стержнем 3. На трубопроводе 5 сжатого воздуха установлен электромагнитный вентиль 6. Машинист включает катушку вентилея 6 выключателем 7, который установлен в кабине машиниста и соединен с источником низкого напряжения 50 или 110 В проводами цепи управления.

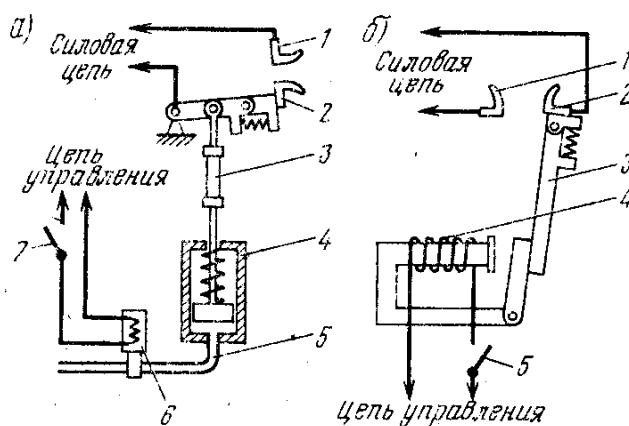


Рис. 2.5. Кинематическая схема электропневматического (а) и электромагнитного (б) контакторов

В индивидуальных контакторах э.п.с. гораздо реже используют также электромагнитный привод (рис. 2.5,б). Такие контакторы также имеют силовые контакты: неподвижный 1 и подвижный 2, причем, рычаг 3 подвижного контакта перемещается электромагнитом 4, который управляется низковольтным выключателем 5. В групповых контакторных аппаратах, например на электровозах переменного тока, обычно используют специальный электродвигательный привод.

Контакторы в силовой цепи э.п.с. выполняют различные функции. Линейный контактор ЛК (см. рис. 2.1) предназначен для замыкания или размыкания силовой цепи в процессе управления электровозом. Последовательно с тяговыми двигателями включен пусковой резистор r , разделенный на несколько секций. Контакторы 1–20, подключенные параллельно секциям пускового резистора, предназначены для ступенчатого регулирования его сопротивления. Контакторы 21, 22 и 23 служат для соединения тяговых электродвигателей в различные схемы-группировки (С, СП, П).

При включенном контакторе 22 и отключенных контакторах 21 и 23 все четыре тяговых двигателя соединены последовательно (группировка С). При замкнутых контакторах 21 и 23 и разомкнутом 22 тяговые двигатели включены в две параллельные ветви по два двигателя последовательно в каждой (группировка П). Соединение тяговых двигателей, при котором в каждой параллельной ветви остается по одному двигателю, не предусматривается, так как тяговые двигатели постоянного тока имеют номинальное напряжение не выше 1500 В и не рассчитаны на прямое подключение к контактной сети с напряжением 3000 В.

Для ослабления возбуждения тяговых электродвигателей параллельно обмоткам возбуждения подключают шунтирующие резисторы контакторами Ш1 и Ш2.

Пусковой резистор выполнен из металлической ленты, намотанной на керамические изоляторы. Поскольку при протекании тока лента нагревается до плюс 350–450 °С, то очень важно, чтобы её электрическое сопротивление при этом не изменялось. Для этого разработаны специальные сплавы. Обычно применяют ленту из сплава железа, хрома и алюминия (фехраль). Пусковой резистор с контакторами для переключения его секций называют пусковым реостатом. Сопротивление пускового реостата изменяют степенями при переключении его секций контакторами. Пусковой реостат имеет наибольшее сопротивление, когда контакторы 1–20 разомкнуты. При поочередном включении этих контакторов отдельные ступени пускового резистора замыкаются накоротко и сопротивление в цепи тяговых двигателей соответственно постепенно, по мере разгона поезда, уменьшается до нуля. На рис. 2.6,а приведена схема с последовательным закорачиванием секций $R1–R4$ при замыкании контакторов 1–4, в которой количество ступеней регулирования общего сопротивления резистора R равно числу контакторов. Там же дана таблица замыкания контакторов, поясняющая работу этой схемы, в которой

перечислены позиции регулирования, указано сопротивление пускового реостата на каждой позиции и даны номера замкнутых при этом контакторов. На рис. 2.6,б приведена более сложная схема, которая позволяет увеличить число ступеней, применяя комбинированное включение секций $R1-R4$ реостата. Здесь количество контакторов и секций реостата меньше.

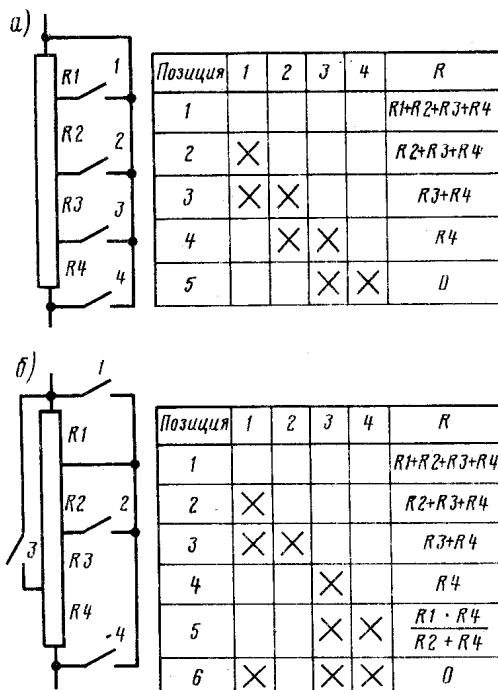


Рис. 2.6. Схемы пускового реостата с последовательным выводом секций (а) и с комбинированным включением секций (б)

Режимы работы пускового или тормозного реостата на электровазе и электропоезде существенно отличаются друг от друга. Процесс разгона электроваза с тяжелым грузовым поездом, особенно на подъеме, может занимать несколько минут. Еще более продолжительным может быть режим реостатного торможения грузового поезда при движении по затяжному спуску на горном участке. Поэтому на электровазах всегда предусматривают принудительное охлаждение реостата от вентилятора. Причем для экономии энергии электродвигатель вентилятора выгодно подключать параллельно одной из секций этого же реостата. На электропоездах реостат нагружен пусковым током не более 10–15 с в каждом цикле движения от остановки до остановки. Поэтому такой реостат устанавливают под кузовом моторного вагона или же на его крыше, где происходит естественное охлаждение секций реостата потоком встречного воздуха.

Реверсор – это электрический аппарат, предназначенный для изменения направления движения э.п.с. (от английского *reverse* – противоположность). Этого можно добиться двумя способами: изменить направление тока I в якорных обмотках $Я-ЯЯ$ тяговых двигателей, сохранив прежним направление тока возбуждения и магнитного потока главных

полюсов (рис. 2.7,а), или изменить направление тока в обмотках возбуждения $K-KK$, сохранив прежним направление тока в якорных обмотках (рис. 2.7,б). Для таких переключений нужно четыре контактора на каждую группу тяговых электродвигателей. Контакторы П1–П8 (см. рис. 2.1) обычно объединены в один групповой аппарат – реверсор с общим пневматическим приводом. При движении вперед замкнуты контакторы с нечетными номерами, при движении назад – контакторы с четными номерами.

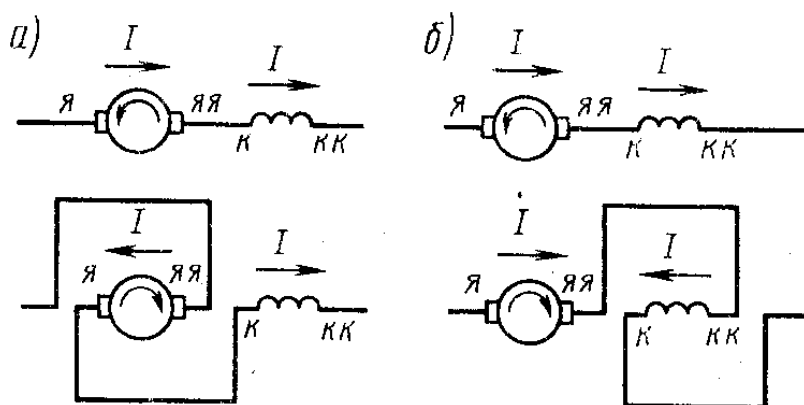


Рис. 2.7. Схемы реверсирования якоря (а) и обмотки возбуждения (б) тягового двигателя

При работе э.п.с. постоянного тока имеют место потери энергии в пусковых резисторах. При пуске ток тягового двигателя I_d поддерживают постоянным и равным току регулирования I_n . Для этого в цепь тягового двигателя, питающегося от сети с напряжением на токоприемнике U_3 , (рис. 2.8,а), должен быть включен резистор сопротивлением r , значение которого определим из уравнения равновесия напряжений $U_3 = U_d + U_r = C\Phi v + I_n(r + r_d)$ как

$$r = \frac{U_3 - C\Phi v}{I_n} - r_d,$$

где r_d – сопротивление обмоток двигателя.

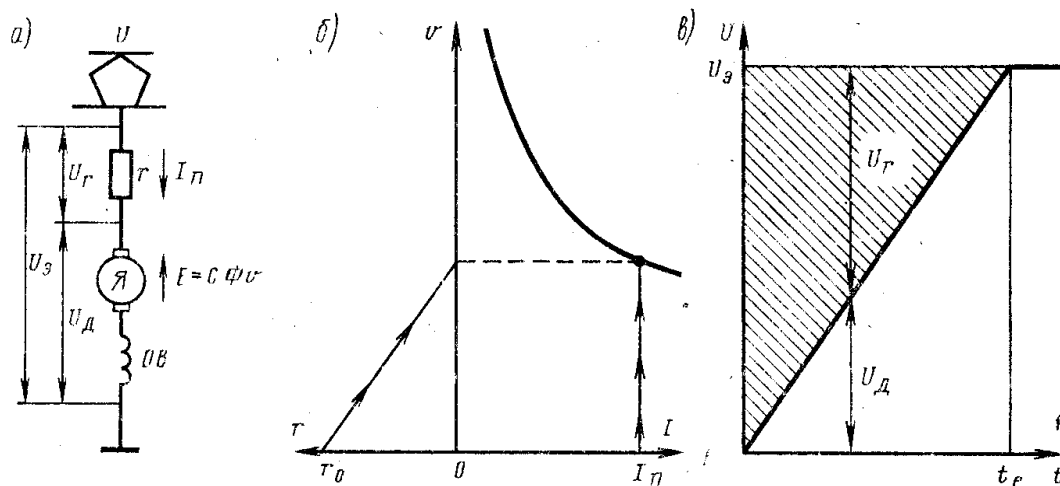


Рис. 2.8. Реостатный пуск при одной группировке тяговых двигателей: а – принципиальная схема; б – диаграмма измерения сопротивления пускового резистора и пусковая характеристика, в – диаграмма распределения напряжений при пуске

Чтобы по мере роста скорости электровоза ток двигателя оставался постоянным, пусковое сопротивление нужно постепенно уменьшать от $r_0 = \frac{U_3}{I_n} - r_d$ до нуля (рис. 2.8,б). При пуске одиночного тягового двигателя от сети потребляется постоянная мощность $P = U_3 I_n$, причем часть ее, а именно $P_r = I_n^2 r$, теряется в резисторе r , а другая часть $P_d = U_3 I_n - I_n^2 r$ потребляется двигателем и за исключением собственных потерь внутри двигателя преобразуется в полезную механическую мощность (рис. 2.8,в). Потери энергии в пусковом резисторе за время пуска t_e пропорциональны площади заштрихованного треугольника и составляют половину общего потребления энергии от сети с напряжением U_3 при пуске двигателя за время от момента трогания электровоза с места и до выхода на естественную характеристику, когда двигатели работают без пусковых резисторов, т.е. под полезным напряжением сети.

При комбинации реостатного пуска с переключением группировок тяговых двигателей М1–4 потери энергии в пусковом резисторе удастся существенно снизить (рис. 2.9,а,б,в).

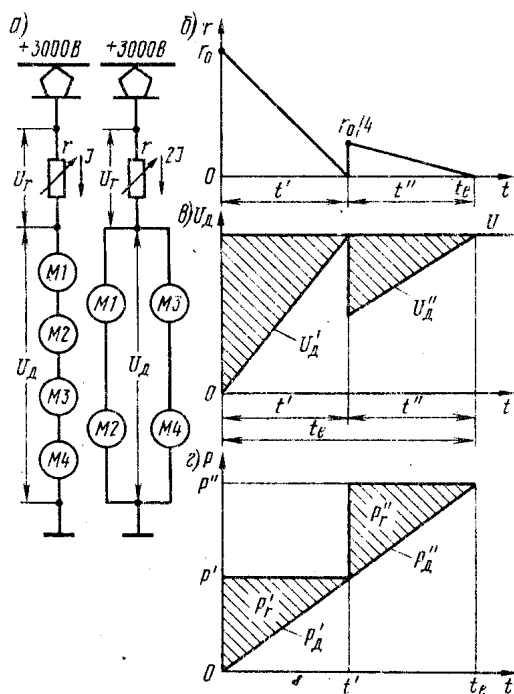


Рис. 2.9. Реостатный пуск при двух группировках тяговых двигателей: а – принципиальные схемы последовательного и параллельного соединения; б – диаграмма изменения сопротивления пускового резистора; в – кривая распределения напряжения в силовой цепи; г – диаграмма распределения мощностей

Поскольку при пуске э.п.с. в любой момент времени имеет место баланс напряжений, то $U_3 = U_r + U_d$, где U_r – падение напряжения на резисторе r , а U_d – напряжение на всех электродвигателях. Соответственно этому балансу общее потребление энергии при пуске A_n от источника U_3 можно представить как сумму потерь энергии A_r в резисторе r и полезного потребления энергии электродвигателями A_d . При этом потребление энергии из сети для периодов работы группировки С и группировки П соответственно равны

$$A' = U_3 I_n t';$$

$$A'' = U_3 (2I_n) t'' = 2A',$$

где t' и t'' – время работы э.п.с. соответственно на группировках С и П.

Поскольку ускорение э.п.с. при этом остается неизменным, то время работы тяговых двигателей на соответствующей группировке пропорционально диапазону изменения напряжения на электродвигателе в пределах рассматриваемой группировки. Поэтому имеем $t' = t'' = t_e/2$, где t_e – общее время пуска до момента выхода на естественную характеристику $U_d = U_3$. На рис. 2.9,в показано изменение напряжений при пуске тяговых двигателей, причем через U_d обозначено напряжение на электродвигателях, а заштрихованная часть диаграммы соответствует падению напряжения на резисторе U_r . По этой диаграмме могут быть вычислены потери мощности P_r в пусковом резисторе, причем нужно иметь в виду, что на группировке С из сети потребляется ток I_n , а на группировке П – ток $2I_n$. Соответственно мощность (рис. 2.9,з), потребляемая электродвигателями P_d , меняется линейно в функции времени, а точнее скорости поезда, а потери мощности в резисторе P_r равны высоте заштрихованного треугольника. По этой диаграмме можно вычислить потери энергии в реостатах, которые могут быть записаны в следующем виде (за весь период пуска):

$$A_r = A'/2 + A''/4 = I_n U_3 t_n / 2 = A_n / 3.$$

В этом случае доля потерь энергии в реостате A_r составляет $1/3$ общего потребления энергии A_n из сети за всё время пуска. Аналогично могут быть вычислены и значения относительных потерь A_r/A_n для других группировок. Наличие потерь энергии в пусковых резисторах является существенным недостатком э.п.с. постоянного тока. Однако эти потери существенны только в электропоездах пригородного сообщения и метро (12–16%), в электровозах они не превышают 2–4%.

2.2. Основные элементы силовой цепи э.п.с. переменного тока

Силовая электрическая цепь и электрическая схема. В силовой цепи э.п.с. переменного тока (рис. 2.10) имеется ряд аппаратов, которые выполняют те же функции, что и на э.п.с. постоянного тока. Это токоприемник T_n , линейные контакторы $ЛК1$, $ЛК2$, контакторы реверсора $П1$ – $П8$ и ослабления возбуждения $Ш1$, $Ш2$. На э.п.с. переменного тока приходится еще понижать напряжение контактной сети трансформатором T и затем выпрямлять его выпрямителем $VD1$ – $VD4$. Рассмотрим основные элементы этой схемы.

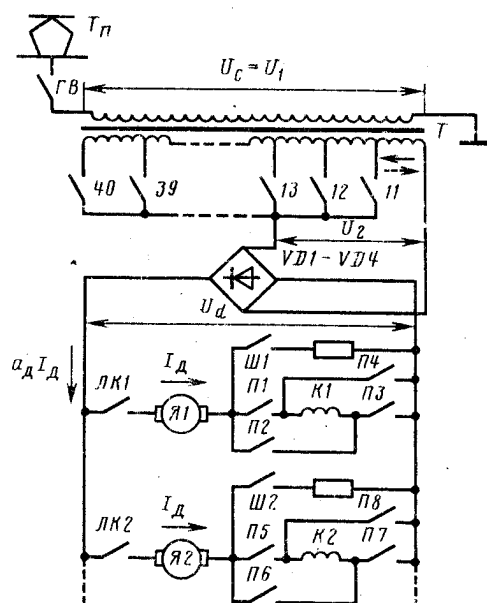


Рис. 2.10. Упрощенная схема силовой цепи э.п.с. переменного тока с выпрямителем

Главный выключатель $ГВ$ предназначен для автоматического отключения силовой цепи электровоза от контактной сети 25 кВ при коротких замыканиях, а также для предварительного размыкания силовой цепи перед опусканием токоприемника.

Трансформатор T понижает напряжение контактной сети 25 кВ до значения, на которое рассчитаны тяговые электродвигатели (обычно около 1000 В). Первичная AX и вторичные ($a1-x1$; $1-01$; CH ; OT) обмотки трансформатора (рис. 2.11,а) размещены на шихтованном сердечнике, набранном из листовой электротехнической стали толщиной 0,35 мм, обладающей хорошими магнитными свойствами. Для снижения потерь от вихревых токов листы стали имеют лаковое покрытие. Один конец первичной обмотки, обозначенный A , подключен к контактному проводу через токоприемник и главный выключатель. Другой конец, обозначенный X , через заземляющее устройство соединен с колесными парами электровоза, а через них с рельсами.

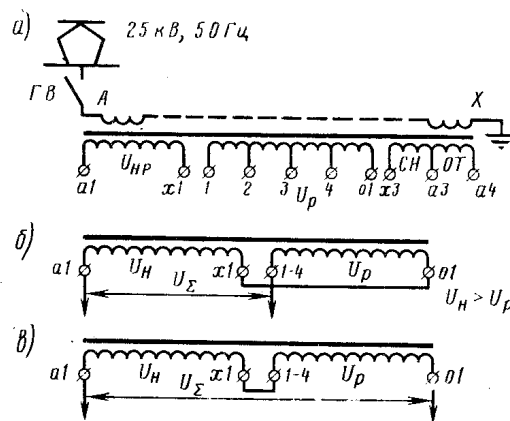


Рис. 2.11. Схемы обмоток трансформатора (а), их встречного (б) и согласного (в) включения

Суммарное переменное напряжение на вторичной стороне трансформатора $U_{\Sigma} = U_{н} \pm U_{р}$, где $U_{н}$ и $U_{р}$ соответственно напряжения нерегулируемой и регулируемой частей вторичной обмотки трансформатора (рис. 2.11, б, в), подводится к тяговым двигателям через выпрямитель $VD1-V D4$ (см. рис. 2.10). Выводы основной части вторичной обмотки имеют обозначения $a1$ и $x1$ (см. рис. 2.11, а). Трансформаторы электровозов и электропоездов имеют также обмотку CH для питания вспомогательных машин напряжением 380 или 220 В, а также обмотку OT напряжением 3000 В, которая питает цепи электрического отопления пассажирских вагонов.

Для обеспечения хорошей электрической изоляции обмоток трансформатора, защиты их от загрязнения и увлажнения, а также для улучшения отвода тепла, выделяющегося в обмотках и магнитном сердечнике при работе трансформатора, стальной сердечник вместе с закрепленными на нем обмотками погружен в стальной бак, заполненный трансформаторным маслом, которое обладает хорошими электроизоляционными свойствами и высокой теплопроводностью. Трансформатор снабжен масляным насосом, который обеспечивает циркуляцию нагретого масла и охлаждение его в специальных трубчатых радиаторах (теплообменниках).

Трансформаторы электровозов (рис. 2.12) имеют мощность 4000–6000 кВА и их общая масса достигает 8–12 т. Трансформаторы моторных вагонов электропоездов имеют мощность около 1000 кВА и массу 3,5 т. На последних моделях электровозов трансформатор подвешивают снизу на раме кузова (ЭП200), как на моторных вагонах.

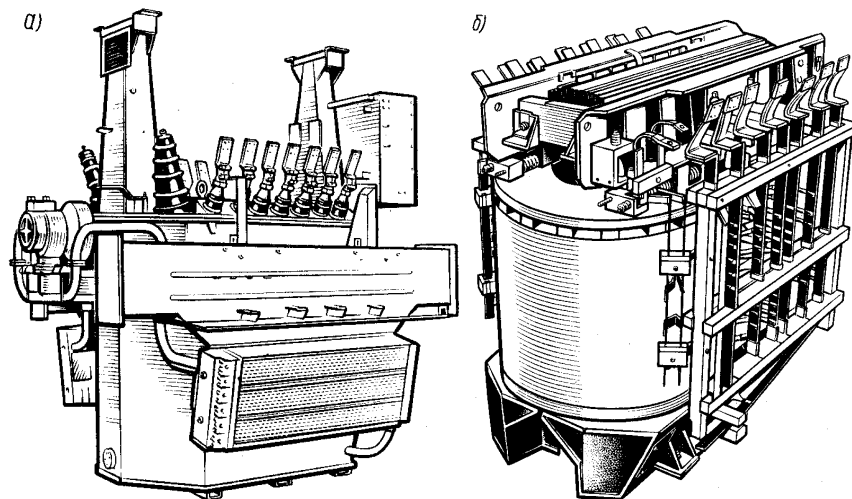


Рис. 2.12. Трансформатор в собранном виде (а) и его сердечник с обмотками и выводами (б)

Рассмотрим основные соотношения для напряжения на обмотках трансформатора. Напряжение контактной сети меняется по синусоидальному закону с частотой 50 Гц. Величину напряжения для произвольного момента времени называют его мгновенным значением; выражение для него в идеальном случае имеет вид

$$u = U_{\max} \sin \omega t, \quad (2.1)$$

где U_{\max} и ω – амплитуда и угловая частота синусоидального напряжения.

Как известно из курса физики, синусоидальное напряжение характеризуется его *действующим значением*, которое определяется по формуле

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}, \quad (2.2)$$

где $T = 2\pi/\omega$ – период синусоидального напряжения.

Подкоренное выражение представляет собой среднее значение квадрата мгновенного значения напряжения. Подставим выражение (2.1) в формулу (2.2) и вычислим интеграл. Тогда имеем

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (U_{\max} \sin \omega t)^2 dt} = U_{\max} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{(1 - \cos 2\omega t) dt}{2}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}. \quad (2.3)$$

Для синусоидального напряжения соотношение между действующим и амплитудным значениями равно $\sqrt{2}$. Отношение действующих значений напряжения на токоприемнике U_1 , приложенного к первичной обмотке трансформатора, и напряжения вторичной обмотки U_2 в режиме холостого хода (см. рис. 2.10) равно отношению числа витков этих обмоток ω_1/ω_2 , его называют коэффициентом трансформации, который определяется из выражения

$$K_T = U_3 / U_2 = \omega_1 / \omega_2.$$

Действующее значение переменного напряжения на вторичной обмотке трансформатора можно рассчитать по формуле

$$U_2 = U_3 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right) = U_3 K_T.$$

На большинстве электровозов переменного тока (ВЛ60К, ВЛ80К, ВЛ80Т, ВЛ80С) и на электропоездах ЭР9, ЭД9 регулирование напряжения на тяговых электродвигателях осуществляется изменением коэффициента трансформации, как рассмотрено ранее. На этих э.п.с. вторичная обмотка трансформатора имеет дополнительные выводы, переключая которые можно изменять напряжение U_2 , подводимое к выпрямителю $VD1-V D4$. Для переключения этих выводов служат контакторы, которые имеют номера 11–40 (см. рис. 2.10). При замыкании контактора 11 от вторичной обмотки трансформатора к выпрямителю подводится наименьшее напряжение, а при замыкании контактора 40 – наибольшее. Следует иметь в виду, что пока рассматривается упрощенная схема соединения контакторов с выводами вторичной обмотки трансформатора. В реальных условиях эта схема выглядит значительно сложнее.

На электровозах ЧС4 и ЧС8 изменение коэффициента трансформации осуществляется изменением числа витков первичной обмотки. Ток первичной обмотки значительно меньше, чем ток вторичной обмотки, но соответствующий переключатель на первичной стороне трансформатора работает под высоким напряжением, что сильно осложняет его конструктивное исполнение.

Выпрямитель $VD1-V D4$ предназначен для преобразования переменного тока от вторичной обмотки трансформатора в постоянный ток для питания тяговых электродвигателей. Выпрямитель состоит из полупроводниковых приборов – диодов или тиристоров. Диод – это полупроводниковый прибор, сопротивление которого зависит от направления тока или от полярности приложенного к прибору напряжения (рис. 2.13,а). В этом случае сопротивление диода близко к бесконечности. Такое состояние прибора называют *непроводящим* или *закрытым*. При противоположной полярности (рис. 2.13,б) сопротивление диода резко снижается и стремится к нулю. При этом через диод протекает ток в направлении, указанном стрелкой. Такое состояние диода называют *проводящим*, или *открытым*. Выпрямитель преобразует переменное напряжение u_2 в постоянное u_d (рис. 2.13,в).

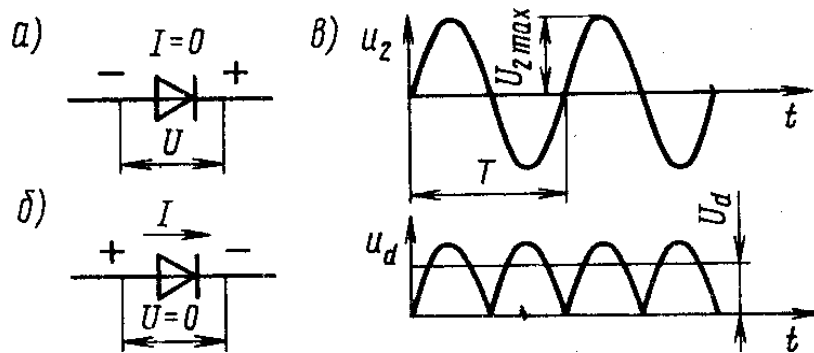


Рис. 2.13. Схемы, поясняющие принцип работы полупроводникового диода (а, б) и диаграмма питающего и выпрямленного напряжения (в)

Рассмотрим конструкцию простейшего силового полупроводникового прибора – диода (рис. 2.14, а, б). В герметическом корпусе прибора 2, имеющем форму таблетки, находится круглая пластина 7 из специально обработанного кремния диаметром 25–35 мм и толщиной 0,35–0,5 мм. Для электрического соединения с другими элементами силовой цепи прибор имеет силовые выводы (анод 5 и катод 3) и кроме того, у тиристора имеется управляющий электрод 4. При протекании тока проводящего направления в кремниевой пластине и контактах прибора выделяется тепло. Чтобы не допустить перегрева кремниевой пластины выше предельно допустимой температуры плюс 125°C , полупроводниковый прибор снабжают алюминиевыми охладителями 6 и 1 с оребрением.

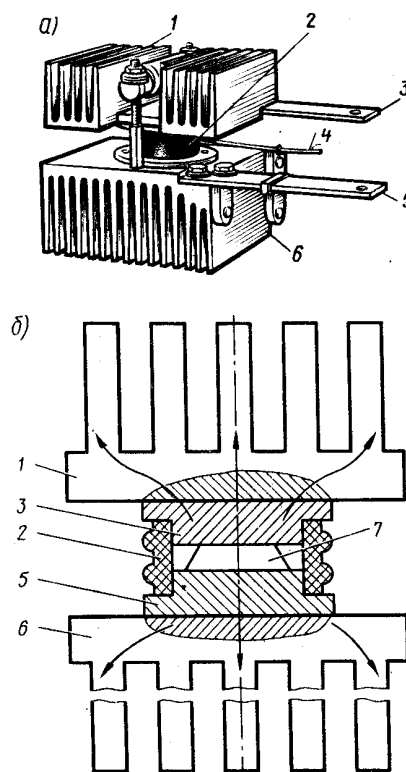


Рис. 2.14. Конструкция силового полупроводникового прибора (а) и его продольно-осевой разрез (б)

В зависимости от диаметра кремниевой шайбы, температуры воздуха и скорости его движения у поверхности охладителей диод может пропускать ток от 300 до 1200. А. Напряжение, выдерживаемое диодом в непроводящем направлении, также зависит от свойств кремниевой пластины и обычно составляет 1400–2800 В. Если напряжение вторичной обмотки трансформатора превышает номинальное обратное напряжение диода, то применяют последовательное соединение нескольких диодов. Аналогично, если потребляемый ток превышает номинальное значение тока диода, то соединяют параллельно несколько ветвей с диодами. Поэтому обычно, выпрямители электровозов и электропоездов могут содержать большое число диодов, соединенных последовательно и параллельно.

Выпрямитель (см. рис. 2.10) состоит из четырех полупроводниковых приборов $VD1–VD4$ и работает следующим образом. Пусть в какой-то момент времени ЭДС и напряжение вторичной обмотки трансформатора имеют направление, указанное сплошной стрелкой. При этом $VD1$ и $VD3$ пропускают ток, $VD2$ и $VD4$ закрыты. Если же ЭДС вторичной обмотки трансформатора имеет направление, указанное штриховой стрелкой, то функции всех диодов изменяются на противоположные. В результате этого переменное синусоидальное напряжение преобразуется в пульсирующее напряжение (рис. 2.13, в), которое затем подводится к тяговым двигателям.

Действующее значение пульсирующего напряжения характеризует потери энергии и процесс выделения тепла. В тяговом электродвигателе полезным является преобразование электрического тока не в тепло, а в механическую энергию вращения. Этот процесс можно оценить *средним значением* выпрямленного напряжения U_d , причем индекс d происходит от латинского *dirigere* – направлять, выпрямлять, что соответствует английскому *direct* — выпрямленный, направленный.

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_d = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_{2\max} \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} U_{2\max} = 0,638 U_{2\max},$$

что с учетом выражения (2.3) позволяет записать:

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0,9 U_2. \quad (2.4)$$

Из выражения (2.4) следует, что среднее значение выпрямленного напряжения U_d на 10% меньше действующего значения синусоидального напряжения, подведенного к выпрямителю.

Поскольку среднее значение выпрямленного напряжения U_d должно соответствовать номинальному напряжению тяговых двигателей $U_{дн}$, то на основании выражения (2.4) выбирают напряжение U_2 и соответственно коэффициент трансформации трансформатора. Следует иметь в виду, что тяговые электродвигатели на электровозах переменного тока всегда соединены параллельно. На электропоездах переменного тока (ЭР9, ЭД9)

двигатели включены в две параллельные цепи по два последовательно соединенных двигателя в каждой.

Выпрямленный ток I_d , потребляемый всеми тяговыми электродвигателями от выпрямителя равен:

$$I_d = a_d I_{дн},$$

где a_d – число ветвей параллельно включенных тяговых электродвигателей.

Особенности характеристик э.п.с. переменного тока. Сравнивая электрические схемы электровозов постоянного и переменного тока, можно заметить, что в обоих случаях тяговые электродвигатели питаются от выпрямителей. Но только в системе тяги постоянного тока выпрямитель расположен на тяговой подстанции и предназначен для одновременного питания нескольких электровозов. Мощность тяговой подстанции в несколько раз превышает мощность одного электровоза. Потеря напряжения в системе электроснабжения создается в основном за счет сопротивления тяговой сети и определяется суммарным током всех электровозов, работающих на данном участке. При изменении нагрузки одного электровоза падение напряжения в тяговой сети изменяется незначительно. Поэтому при работе электровоза постоянного тока на безреостатных позициях напряжение на тяговых электродвигателях сравнительно слабо зависит от тока, потребляемого электродвигателем, и в расчетах его обычно принимают постоянным.

В системе тяги переменного тока мощность электровозного выпрямителя практически равна мощности тяговых электродвигателей электровоза, а сопротивление проводов, соединяющих электродвигатели с выпрямителем, очень мало. В этих условиях напряжение на тяговых электродвигателях существенно зависит от потери напряжения в самом выпрямителе. Выражение (2.4) справедливо только при токе, равном нулю. При росте выпрямленного тока I_d среднее выпрямленное напряжение уменьшается и его можно записать:

$$U_d = 0,9U_2 - I_d r, \quad (2.5)$$

где r – эквивалентное сопротивление выпрямителя.

Зависимость среднего выпрямленного напряжения U_d от выпрямленного тока I_d называется внешней характеристикой выпрямителя (рис. 2.15). При номинальной нагрузке $I_{дн} = a_d I_{дн}$ потеря напряжения в электровозном выпрямителе составляет около 10%. Каждой ступени напряжения на вторичной обмотке трансформатора соответствует своя внешняя характеристика. Точка, соответствующая номинальному режиму работы тяговых двигателей, обозначена буквой H .

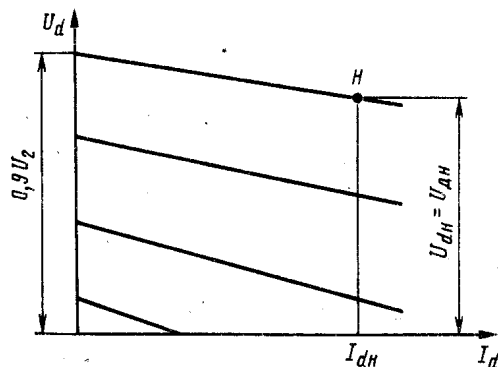


Рис. 2.15. Внешняя характеристика выпрямителя

Скорость движения электровоза переменного тока можно выразить как

$$v = \frac{U_d - I_d r_d}{C\Phi} \quad (2.6)$$

С ростом потребляемого тока напряжение U_d не остается постоянным, а уменьшается в соответствии с внешней характеристикой выпрямителя согласно формуле (2.5). Поэтому при увеличении тока I_d числитель выражения (2.6) убывает как вследствие возрастания падения напряжения $I_d r_d$, так и по причине снижения напряжения U_d .

Скоростные характеристики тягового электродвигателя при питании от выпрямителя на э.п.с. переменного тока имеют более крутую форму, чем на э.п.с. постоянного тока, где тяговый электродвигатель питается непосредственно от контактной сети со стабильным напряжением.

Управляемый выпрямитель выполняет функции не только выпрямления напряжения, но и регулирования его значения. На новых электровозах и электропоездах переменного тока применяют управляемые полупроводниковые приборы – *тиристоры*. По внешнему виду тиристор аналогичен диоду, но отличается от него наличием управляющего электрода. При действии обратного напряжения тиристор, как и диод, находится в непроводящем состоянии (рис. 2.16,а). При изменении полярности напряжения (рис. 2.16,б) тиристор в отличие от диода остается в закрытом состоянии. Чтобы перевести его в проводящее состояние, необходимо кратковременно приложить напряжение 5–10 В между управляющим электродом и катодом (рис. 2.16,в). Для включения тиристора достаточно кратковременного управляющего импульса длительностью около 0,001 с. Чтобы выключить тиристор, находящийся в проводящем состоянии, необходимо кратковременно обесточить его на время 100–200 мкс.

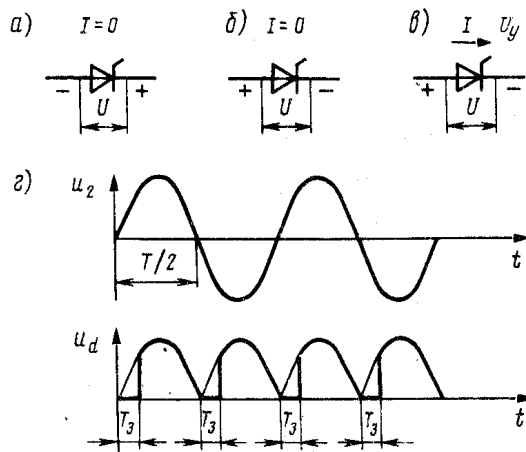


Рис. 2.16. Схемы, поясняющие принцип работы тиристора (а, б, в), и диаграмма питающего выпрямленного напряжения (г)

Если в схеме выпрямителя переменного тока управляющий импульс подавать на тиристор не в самом начале полупериода, а с задержкой по времени T_3 , то выпрямленное напряжение (рис. 2.16,г) будет иметь среднее значение

$$U_d = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_{2\max} \sin \omega t dt = \sqrt{2} U_2 \frac{1 + \cos \omega T_3}{\pi}.$$

Изменяя задержку T_3 , можно плавно регулировать среднее значение выпрямленного напряжения в пределах $0-0,9U_2$. Применение тиристорov позволяет обойтись без дополнительных выводов на вторичной обмотке трансформатора и без соответствующих контакторов для их переключения. Такая система регулирования выпрямленного напряжения использована на электровозах ВЛ80Р, ВЛ85 и электропоезде ЭР29.

Преобразователь на тиристорах может работать также в режиме инвертирования, т.е. обратного преобразования постоянного тока в переменный. Этот режим используют для рекуперативного торможения, когда энергию постоянного тока от тяговых машин, работающих в генераторном режиме передают через инвертор и трансформатор в контактную сеть переменного тока.

2.3 Электрическое оборудование цепей управления э.п.с.

Приводы электрических аппаратов. Электрический аппарат с одной парой контактов (подвижный и неподвижный) и с отдельным приводом для перемещения подвижного контакта и создания силы нажатия контактов называют индивидуальным контактором (см. рис. 2.5). На э.п.с. для этого аппарата наиболее распространен пневматический привод (см. рис. 2.5,а), отличающийся простотой конструкции и реализующий большие контактные нажатия при соответствующем диаметре поршня в пневматическом цилиндре. Для управления подачей сжатого воздуха в цилиндр пневматического привода используют электропневматический вентиль, катушка которого потребляет ток около 0,1 А. Пневматический привод применяют для контакторов, реверсора, токоприемника, главного выключателя и некоторых других аппаратов. Сжатый воздух для работы пневматических приводов подается из главного резервуара *ГР* тормозной системы поезда. Некоторые аппараты должны работать и при отсутствии сжатого воздуха на электровозе. К ним относятся контакторы для включения мотор-компрессора и других вспомогательных машин. В таких цепях применяют контакторы с электромагнитным приводом (см. рис. 2.5,б).

Групповой переключатель – это аппарат с несколькими парами контактов и общим приводом. Для управления групповыми переключателями, которые обычно имеют несколько десятков позиций, используют электродвигатели постоянного тока напряжением 50 или 110 В. Такие приводы применяют на электровозах переменного тока ВЛ80 для переключения выводов вторичной обмотки трансформатора, а на электропоездах ЭР2, ЭР2Р, ЭР2Т, ЭД2Т ЭД4, ЭД4М и на вагонах метрополитена – для переключения ступеней резисторов пусковых, тормозных и ослабления возбуждения.

Контроллер машиниста является основным аппаратом для переключения цепей управления э.п.с. Контроллер имеет вал с рукояткой и кулачковыми шайбами. При повороте вала выступы этих шайб замыкают или размыкают контакторные элементы, которые подают напряжение 50 или 110 В к приводам электрических аппаратов силовой цепи. На грузовых электровозах постоянного тока ВЛ8, ВЛ23, ВЛ10, ВЛ11, ВЛ15 для переключения пусковых резисторов использованы индивидуальные контакторы, а переходы на С, СП и П соединения тяговых двигателей осуществляет групповой переключатель. Поэтому число позиций рукоятки контроллера машиниста на этих электровозах (рис. 2.17) равно числу ступеней реостатного регулирования (обычно 36–40 позиций). Для управления реверсором, контакторами ослабления возбуждения, а также для электрического торможения на контроллере машиниста предусмотрены отдельные рукоятки. Такой контроллер занимает в кабине машиниста много места, а для поворота его рукоятки нужна довольно большая сила.

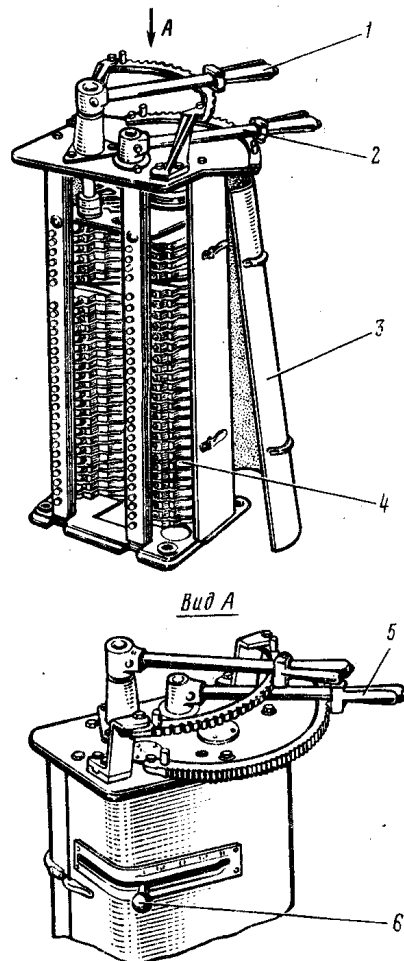


Рис. 2.17. Контроллер машиниста электровоза с индивидуальными контакторами: 1 – тормозная рукоятка; 2 – главная рукоятка; 3 – кожух; 4 – главный вал с контактами; 5 – фиксатор; 6 – реверсивно-селективная рукоятка

Для управления всеми индивидуальными приводами необходимо несколько десятков контакторных элементов на контроллере машиниста и проводов управления, соединяющих электровозы или моторные вагоны, работающие по системе многих единиц.

Для управления групповым переключателем (ГП) независимо от числа его позиций достаточно 10–12 контакторных элементов и проводов управления. Контроллер машиниста при этом более компактен и легок. На электровозах переменного тока ВЛ60К и ВЛ80 главная рукоятка контроллера машиниста имеет следующие положения:

0 – «нулевое» (все цепи обесточены);

РП и РВ – «ручной пуск» и «ручное выключение» (ГП переходит на одну позицию в сторону повышения или понижения напряжения на тяговых электродвигателях);

ФП и ФВ – «фиксация» (ГП остается на занимаемой позиции);

АП и АВ – «автоматический пуск» и «автоматический возврат» (непрерывное вращение привода ГП в сторону повышения или понижения напряжения на тяговых двигателях до тех пор, пока вал ГП не дойдет до последней или нулевой позиции);

БВ – «быстрый возврат» (непрерывное вращение привода ГП до нулевой позиции с одновременным отключением главного выключателя электровоза, что применяют для предотвращения аварийных ситуаций).

Такой же принцип набора позиций предусмотрен на контроллере машиниста электровоза ЧС2 (рис. 2.18), главная рукоятка 1 которого имеет форму штурвала, а реверсивная рукоятка 2 служит для задания направления движения. На электровозах ЧС2Т и ЧС7 силовую цепь переключают индивидуальные контакторы, которые управляются от промежуточного группового переключателя низкого напряжения. Контроллер машиниста при этом управляет положением промежуточного контроллера, а последний включает приводы силовых индивидуальных контакторов.

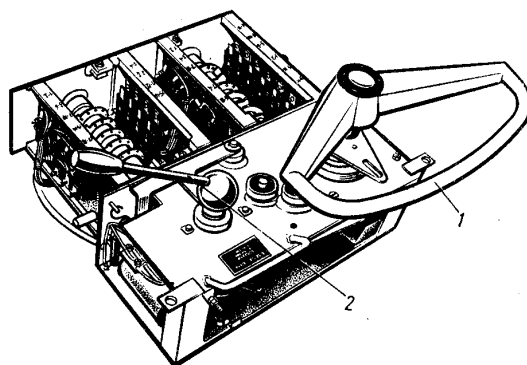


Рис. 2.18. Контроллер машиниста электровоза с групповым переключателем: 1 – главная рукоятка; 2 – реверсивная рукоятка

Автоматический пуск. На электропоездах пригородного сообщения и на вагонах метрополитена, которые выполняют до 30 пусков в час, процесс выключения пусковых резисторов автоматизирован (рис. 2.19,а). Контакторы группового переключателя $K1 - K5$ замыкаются и размыкаются под действием кулачкового вала, который поворачивается на определенный угол пневматическим или электродвигательным приводом П.

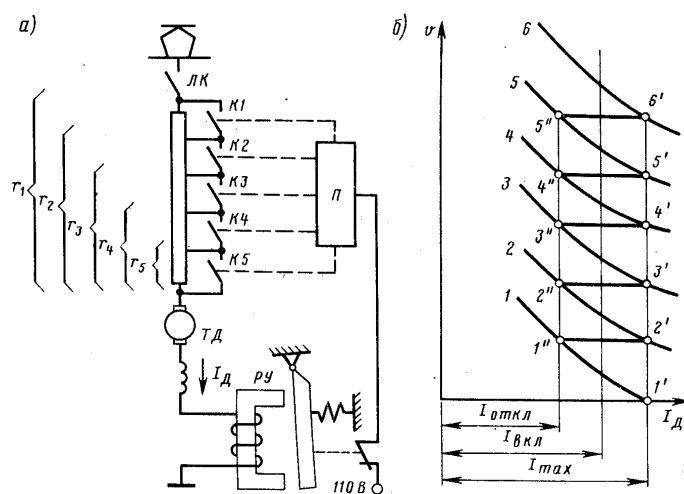


Рис. 2.19. Автоматический пуск моторного вагона: а – упрощенная схема силовой цепи; б – пусковая диаграмма

Последовательно с тяговым электродвигателем $TД$ включена обмотка реле ускорения $PУ$. При включении линейного контактора $ЛК$ ток от контактной сети идет через пусковой резистор r_1 , тяговые двигатели $TД$ и обмотку $PУ$. Если по этой обмотке протекает ток $I_d > I_{вкл}$, то якорь реле $PУ$, преодолевая сопротивление пружины, притягивается к магнитному сердечнику и размыкает цепь питания привода $П$. В момент трогания ток $I_d = I_{max} = U_{\vartheta} / (r_1 + r_d)$ (рис. 2.19,б, точка 1'). Так как $I_{max} > I_{вкл}$, то реле ускорения притянет якорь. По мере разгона электропоезда ток двигателя уменьшается из-за роста ЭДС вращения и через некоторое время достигнет значения $I_{откл}$ (точка 1''). В этот момент сила магнитного притяжения якоря $PУ$ становится меньше силы пружины, которая притягивает якорь к сердечнику, и якорь отходит от сердечника, замыкая цепь питания привода $П$. Привод $П$ поворачивает кулачковый вал на одну позицию и замыкает контактор $K1$. Сопротивление пускового резистора уменьшается до r_2 и ток возрастает до I_{max} (точка 2'). При этом якорь $PУ$ снова притягивается к сердечнику, прекращая питание привода $П$. После разгона поезда до скорости, соответствующей току $I_{откл}$ (точка 2''), реле ускорения снова отпускает якорь и дает команду приводу $П$ для поворота кулачкового вала на следующую позицию. Процесс повторяется до тех пор, пока кулачковый вал не дойдет до последней позиции б, при которой сопротивление пускового реостата равно нулю.

Таким образом осуществляется автоматический пуск электропоезда, причем пусковой ток I_d остается в пределах $I_{откл} < I_d < I_{max}$. Этот же принцип используют для автоматического включения ступеней ослабления возбуждения и перехода с последовательного соединения тяговых двигателей на параллельное. Контроллер машиниста при автоматическом пуске имеет небольшое число позиций, соответственно ходовым позициям электропоезда, на которых может быть окончен автоматический пуск.

Автоматическое регулирование скорости и силы тяги. Такое регулирование может быть применено на электроподвижном составе с плавным бесступенчатым регулированием тяговых двигателей, например, с импульсным преобразователем на э.п.с. постоянного тока или с управляемым выпрямителем на э.п.с. переменного тока. В этой системе регулирования (рис. 2.20) машинист задает требуемую скорость движения поезда v_3 , а автоматический регулятор выдерживает ее независимо от изменения сопротивления движению поезда, подбирая соответствующий режим работы тяговых электродвигателей.

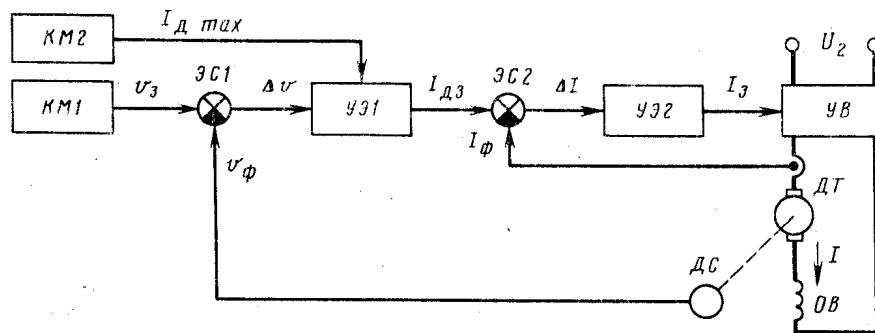


Рис. 2.20. Функциональная схема автоматического регулирования скорости и силы тяги э.п.с.

Такая система использована на электровозе ВЛ85 и ЭП200, где машинист задает скорость v_3 рукояткой $KM1$, а предельный ток тяговых двигателей I_{max} – рукояткой $KM2$. Датчик скорости $ДС$ измеряет фактическую скорость электровоза $v_{ф}$, а элемент сравнения $ЭС1$ определяет рассогласование по скорости, т.е. разность заданного и фактического значений скорости $\Delta v = v - v_{ф}$. В зависимости от Δv управляющий элемент $УЭ1$ определяет заданное значение тока $I_{дз} < I_{max}$, с которым должны работать тяговые электродвигатели для разгона поезда от скорости $v_{ф}$ до v_3 . Элемент сравнения $ЭС2$ сравнивает $I_{дз}$ с фактическим током $I_{ф}$, который измеряет датчик тока $ДТ$. В зависимости от рассогласования по току, т.е. от разности $\Delta I = I_{дз} - I_{ф}$, управляющий элемент $УЭ2$ определяет время задержки T_3 включения тиристорного управляемого выпрямителя $УВ$ (см. рис. 2.16,з) так, чтобы при скорости $v_{ф}$ ток тягового электродвигателя равнялся $I_{дз}$. Такой принцип автоматизации существенно облегчает машинисту управление движением поезда.

Возможно и дальнейшее развитие автоматизации э.п.с. В качестве примера можно привести систему автоматического управления САУ, или «автомашинист», применяемую в метрополитене. Эта система автоматически выбирает режим работы тяговых электродвигателей так, чтобы обеспечить прибытие поезда на следующую станцию в заданное время при минимальном расходе электроэнергии. Обычно в составе САУ для решения этой задачи имеется небольшая бортовая электронная вычислительная машина – микропроцессор.

Автоматизацию электроподвижного состава реализуют также на основе принципов телеуправления (рис. 2.21), т.е. управления на расстоянии.

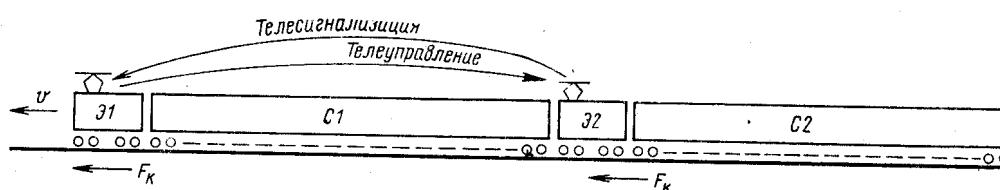


Рис. 2.21. Телеуправление электровозами в соединенном поезде

Машинист *соединенного поезда* с двумя электровозами Э1 и Э2 и двумя составами вагонов С1 и С2 непосредственно управляет головным электровозом Э1, находясь в его кабине. Сигналы телеуправления с Э1 передаются по радиоканалу на ведомый электровоз Э2, устанавливая те же позиции регулирования тяги или торможения, что и на ведущем электровозе Э1. Система телеуправления позволяет одному машинисту управлять одновременно несколькими электровозами и водить поезда массой до 10–12 тыс. т. Система телеуправления обычно используется вместе с системой телесигнализации, которая позволяет машинисту головного электровоза Э1 контролировать режим работы электровоза Э2.

2.4. Защита электрического оборудования э.п.с.

Общие сведения. В силовой цепи э.п.с. предусмотрены аппараты для защиты от коротких замыканий, замыканий на землю и перенапряжений. *Короткое замыкание* – это такое аварийное соединение элементов силовой цепи э.п.с., при котором ток определяется только сопротивлением контактной сети и рельсовой цепи на участке между электровозом и тяговой подстанцией. Ток короткого замыкания может в 10–15 раз превышать номинальный. Протекание такого тока может вызвать значительные повреждения электрического оборудования электровоза, перегорание контактного провода, нарушения работы тяговой подстанции.

Причинами короткого замыкания могут быть ошибки при соединении проводов электрической цепи, неправильное включение контакторов, нарушение изоляции между токоведущими частями электрических машин и аппаратов, потеря запирающих свойств полупроводниковых приборов при их перегреве или недопустимом повышении напряжения. Поэтому для защиты э.п.с. от коротких замыканий требуется автоматический выключатель высокого быстродействия, который размыкает силовую цепь, когда ток достигает определенного значения, называемого уставкой. Уставка должна быть несколько больше максимально возможного рабочего тока электровоза или моторного вагона. Например, для электровоза ВЛ10 максимальный рабочий ток составляет 2900 А, а уставка выключателя равна 3100 А. Скорость нарастания тока короткого замыкания определяется индуктивностью контактной сети и рельсовой цепи и для э.п.с. постоянного тока достигает 500–800 кА/с. Для предотвращения повреждения электрооборудования цепь короткого замыкания нужно отключить возможно быстрее.

Быстродействующий выключатель (БВ). Это аппарат защиты э.п.с. постоянного тока от коротких замыканий. Его конструкция обеспечивает размыкание контактов через 0,001–0,003 с после того, как ток в цепи достигает значения уставки.

Общее время отключения силовой цепи, включая гашение электрической дуги, не превышает 0,01 с. Конструкция выключателя будет изучаться в курсе «Электрооборудование подвижного состава».

Дифференциальная защита э.п.с. постоянного тока. Эта защита предназначена для выявления замыкания силовой цепи на корпус. Из-за влияния сопротивления пусковых резисторов или ЭДС вращения тяговых двигателей, включенных между токоприемником и местом замыкания силовой цепи на корпус, аварийный ток, потребляемый из контактной сети, может не достигнуть значения уставки $БВ$. Для отключения $БВ$ в таких случаях используется дифференциальное реле $ДР$ (рис. 2.22,а). Через окно магнитного сердечника этого реле пропущены два силовых провода: входной (от токоприемника к силовой цепи) и выходной (от силовой цепи к заземляющему устройству).

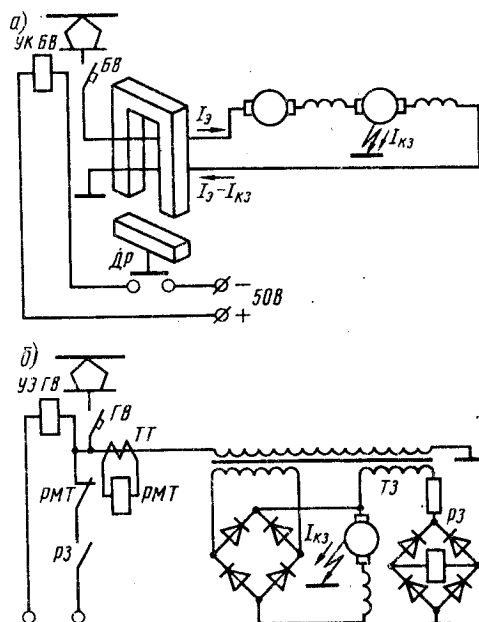


Рис. 2.22. Принципиальные схемы защиты от замыкания на землю э.п.с. постоянного (а) и переменного (б) тока

Нормально в обоих проводах протекают одинаковые токи I_3 , направленные встречно, магнитный поток в сердечнике $ДР$ равен нулю, и якорь $ДР$ находится в нижнем положении. При повреждении изоляции силовой цепи ток выходной цепи будет меньше входного на ток I_{K3} . В сердечнике $ДР$ создается магнитный поток, который притягивает его якорь и размыкает цепь удерживающей катушки ($УКБВ$).

Рассмотренная схема поясняет лишь принцип действия дифференциальной защиты. Чтобы защита имела более высокую чувствительность, $ДР$ должно иметь более сложную конструкцию.

Особенности защиты э.п.с. переменного тока. Защиту э.п.с. переменного тока от коротких замыканий осуществляет главный выключатель $ГВ$ (рис. 2.22,б), который отключает первичную обмотку трансформатора $Т$ от токоприемника. Сигнал о коротком замыкании в этой цепи дает трансформатор тока $ТТ$, к вторичной обмотке которого подключено реле максимального тока $РМТ$. При протекании через первичную обмотку трансформатора тока 250 А реле $РМТ$ притягивает якорь, размыкает цепь

удерживающего электромагнита УЭ ГВ, и главный выключатель автоматически отключается. Собственное время отключения ГВ составляет 0,03 с.

Тяговые электродвигатели э.п.с. переменного тока подключены через выпрямитель к вторичной обмотке трансформатора и не имеют электрического соединения с кузовом электровоза и рельсовой цепью. Для защиты этой цепи от замыкания на землю служит реле заземления РЗ, к которому подведено напряжение вторичной обмотки небольшого трансформатора защиты ТЗ, выпрямленное блоком диодов. Ток через катушку РЗ пойдет только при наличии замыкания на корпус в цепи тяговых двигателей, выпрямителя или вторичной обмотки главного трансформатора. В этом случае реле заземления притянет якорь и разомкнет контакты в цепи УЭ ГВ.

Защита от перенапряжений. Во время грозы при ударах молнии вблизи электрической железной дороги в контактной сети индуцируются импульсы высокого напряжения небольшой длительности (до 100 мкс). Эти импульсы могут вызвать пробой изоляции силовой цепи э.п.с. Аналогичные импульсы возникают при отключении под нагрузкой выключателей на тяговой подстанции. Для защиты от таких перенапряжений на э.п.с. предусмотрен разрядник. В качестве разрядника используют диски из полупроводника, сопротивление которых при номинальном напряжении контактной сети U_H очень велико, а при повышении напряжения до $(2,5-3)U_H$ резко падает. Таким образом, разрядник пропускает импульс перенапряжения в рельсовую цепь, а после этого его большое сопротивление снова восстанавливается.

2.5 Вспомогательное электрооборудование э.п.с.

Назначение. При протекании электрического тока по обмоткам электродвигателей и трансформаторов, а также через резисторы и полупроводниковые приборы в них выделяется тепло, которое может привести к нагреву соответствующего оборудования выше допустимой температуры. Поэтому тяговые двигатели, пусковые и тормозные резисторы, трансформаторы, полупроводниковые преобразователи э.п.с. имеют принудительное воздушное охлаждение. Кроме того, для циркуляции масла в баке главного трансформатора на э.п.с. переменного тока предусмотрен масляный насос.

Электродвигатели для привода вентиляторов и насосов, а также компрессоров тормозной системы поезда относятся к вспомогательному электрооборудованию. Сюда же относят устройства для преобразования напряжения контактной сети в постоянное стабилизированное напряжение 50 или 110 В для питания цепей управления э.п.с., а также в трехфазное переменное напряжение 380 или 220 В для работы вспомогательных электродвигателей. К вспомогательному электрооборудованию относятся также цепи отопления и освещения служебных помещений, пассажирских салонов и вагонов пассажирского поезда.

На всех типах э.п.с. постоянного тока цепи отопления питаются непосредственно от контактной сети. На пассажирских электровозах переменного тока (ЧС4, ЧС8) предусмотрена отдельная вторичная обмотка главного трансформатора напряжением 3 кВ для электрического отопления вагонов. Отопление пассажирских салонов электропоездов переменного тока ЭР9 осуществляется от отдельной обмотки главного трансформатора напряжением 600 В.

Электродвигатели вспомогательных машин. На электровозах постоянного тока для привода вспомогательных машин применяют электродвигатели постоянного тока последовательного возбуждения, питаемые непосредственно от контактной сети напряжением 3 кВ. Такая система имеет простейшую электрическую схему, но электродвигатели постоянного тока мощностью до 50 кВт при таком напряжении очень тяжелы и громоздки. Для упрощения системы вспомогательных машин на электропоездах постоянного тока новых типов ЭР2Р, ЭР2Т, ЭД2Т, ЭД4, ЭД4М и ЭР30 используют мотор-генератор, содержащий один электродвигатель постоянного тока 3 кВ и генератор трехфазного переменного тока напряжением 380 В и частотой 50 Гц. От этого генератора получают питание асинхронные трехфазные электродвигатели всех вспомогательных устройств.

Трехфазные асинхронные машины для привода вспомогательных нагрузок применяют также на электровозах и электропоездах переменного тока. Здесь имеется преобразователь однофазного переменного напряжения в трехфазное, называемый фазорасщепителем. На пассажирских электровозах переменного тока ЧС4 и ЧС8 в качестве вспомогательных машин используют электродвигатели постоянного тока, питаемые через выпрямители.

Принцип действия трехфазного асинхронного электродвигателя.

Остов этого двигателя (рис. 2.23,а), называемый *статором* (СТ), имеет вид полого цилиндра, набранного из листовой электротехнической стали. На внутренней поверхности статора расположены три обмотки, подключенные к трем фазам питающей сети A , B и C . Напряжения между каждым фазным и нулевым проводом u_A , u_B , u_C изменяются по синусоидальному закону с частотой 50 Гц и периодом $T=0,02$ с (рис. 2.23,б). Промежутки времени между максимальными значениями напряжений u_A , u_B , u_C составляют одну треть периода, или 0,0067 с. При питании обмоток статора трехфазным напряжением северный полюс магнитного поля в момент времени t_1 будет находиться в точке a , расположенной на оси фазной обмотки A (см. рис. 2.23,а). В момент времени t_2 северный полюс магнитного поля переместится в точку b по центру фазной обмотки B . Еще через 0,0067 с в момент времени t_3 северный полюс окажется в точке c , расположенной по оси фазной обмотки C .

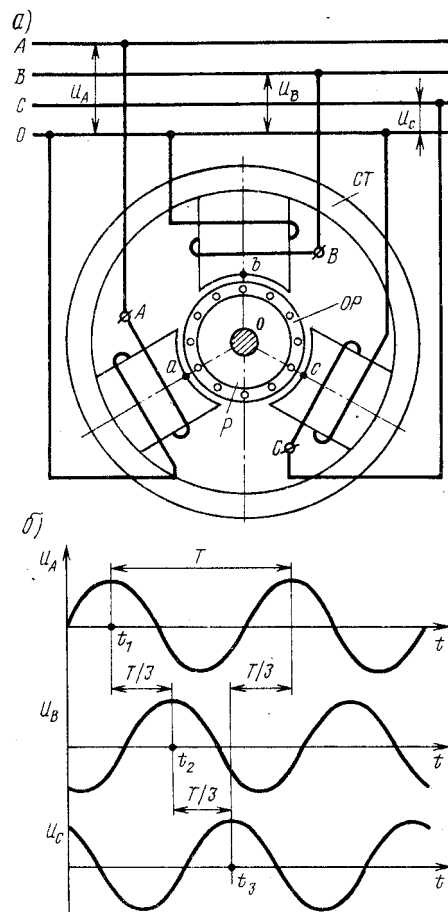


Рис. 2.23. Схема, поясняющая принцип действия асинхронного электродвигателя переменного тока (а) и диаграмма трехфазного напряжения (б)

Таким образом, неподвижные обмотки статора создают вращающееся магнитное поле. Например, рассматриваемая система обмоток создает вращающееся поле, которое совершает один оборот за 0,02 с, т. е. круговая частота его вращения равна 50 об/с, или 3000 об/мин. Вращающееся магнитное поле, создаваемое обмотками статора, проходит через стальной сердечник ротора P , пересекает замкнутую накоротко обмотку ротора OP и наводит в ней ток. При взаимодействии магнитного поля статора и тока обмотки ротора создается вращающий момент, под действием которого P начинает вращаться вокруг оси O в ту же сторону, что и магнитное поле статора. Частота вращения ротора асинхронного двигателя всегда несколько меньше частоты вращения магнитного поля статора, так как только в этом случае в обмотке ротора индуцируется ток. Отсюда возникло название двигателя «асинхронный» (от греческого «асинхронос», т. е. не совпадающий по времени). Разность частот вращения магнитного поля статора и ротора называется скольжением, которое выражают в долях от частоты вращения магнитного поля статора. Обычно скольжение составляет 3–6%.

Преимущества асинхронных двигателей по сравнению с коллекторными электродвигателями постоянного тока состоят в следующем: простота конструкции, отсутствие коллектора и щеток, значительно меньшая стоимость, более высокая надежность. Недостатки

асинхронных двигателей связаны со сложностью регулирования частоты вращения и необходимостью преобразования на э.п.с. питающего напряжения в трехфазное. Эти недостатки создают определенные трудности в применении асинхронных двигателей в качестве тяговых, но не препятствуют их использованию в системах, привода вспомогательных машин.

В схеме электрической цепи вспомогательных машин электровозов переменного тока (рис. 2.24) обмотка трансформатора питает однофазным переменным током фазорасщепитель ΦP , который по принципу действия аналогичен асинхронному электродвигателю. При вращении его ротора в обмотке третьей фазы индуцируется ЭДС, которая вместе с напряжением обмотки трансформатора образует трехфазную систему напряжений. От этой системы напряжения питаются трехфазные асинхронные мотор-вентиляторы $MВ1-MВ3$, мотор-компрессор $MК$, и мотор-насос $MН$ трансформатора. Конденсаторы C в этой системе служат для улучшения симметрии фаз трехфазного напряжения на электродвигателях вспомогательных машин.

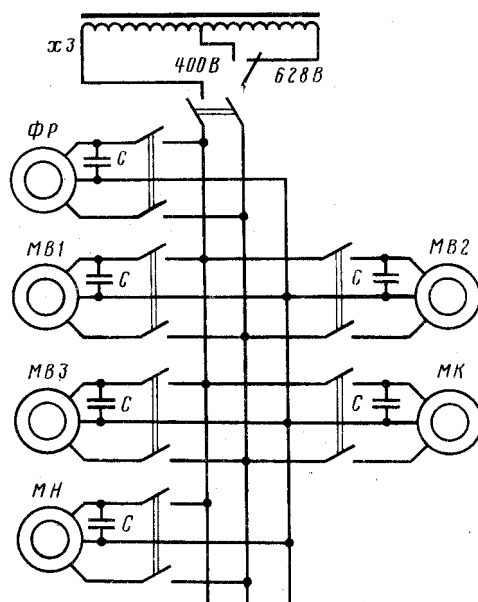


Рис. 2.24. Электрическая схема вспомогательных машин э.п.с. переменного тока

2.6 Расположение электрооборудования на э.п.с.

Основные требования к расположению оборудования состоят в следующем: исключение возможности попадания людей под напряжение; обеспечение необходимых изоляционных расстояний между частями электрооборудования, находящимися под высоким напряжением; удобство управления электровозом, его технического обслуживания и ремонта; обеспечение охлаждения и защиты от загрязнения и атмосферных осадков; обеспечение минимальной длины соединительных проводов, воздухопроводов

и трубопроводов; равномерное распределение нагрузки от силы тяжести между колесными парами и относительно продольной оси электровоза.

Тяговые электродвигатели на всех типах э.п.с. установлены на тележках. На крыше э.п.с. располагаются токоприемники, разрядники и главные резервуары тормозной системы. На э.п.с. переменного тока там же находится главный выключатель. Выход на крышу электровоза или моторного вагона разрешается только при условии, что с контактного провода снято напряжение и он заземлен.

Рассмотрим расположение оборудования на электровозе (рис. 2.25). Головная часть кузова отведена для кабины управления 1, в которой находится контроллер машиниста, тормозные краны, кнопочные выключатели вспомогательных машин, измерительные приборы и рабочие места для машиниста и его помощника. Основное электрооборудование силовой цепи (контакторы 11, переключатели 10, пусковые резисторы 6 и 7, резисторы ослабления возбуждения 3 и 4) размещены в *высоковольтной камере ВВК*. Там же находится быстродействующий выключатель 2. При поднятом токоприемнике 5 дверь *ВВК* блокируется в закрытом положении пневматическим замком, что исключает возможность случайного входа в *ВВК*, при опущенном токоприемнике дверь может быть открыта для осмотра и технического обслуживания аппаратов. Отделение вспомогательных машин *ОБМ* обычно расположено в противоположном от кабины конце кузова; это сделано для снижения уровня шума в кабине. В *ОБМ* установлен мотор-вентилятор 8 с генератором управления для питания низковольтных цепей напряжением 50 В, мотор-компрессор 9 и мотор-генератор 12 для питания обмоток возбуждения в режиме рекуперации. В кузове электровоза предусмотрен коридор для прохода локомотивной бригады из одной кабины управления в другую.

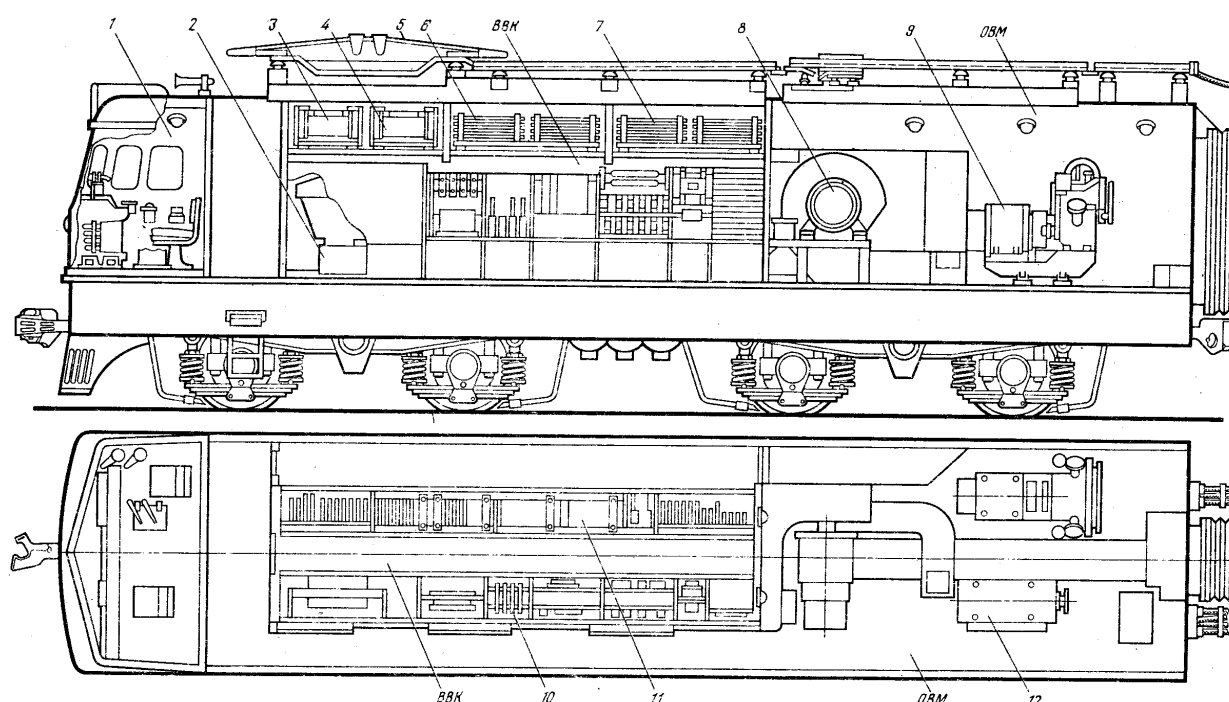


Рис. 2.25. Схема расположения электрооборудования на электровозе постоянного тока ВЛ10

На электровозах переменного тока используют аналогичные принципы размещения оборудования. Отличительной особенностью является наличие трансформатора, который расположен в центре кузова как наиболее тяжелый элемент электрооборудования. В моторных вагонах внутреннее помещение кузова используется в качестве салона для пассажиров, а электрооборудование силовой цепи и вспомогательные машины располагаются под кузовом в специальных ящиках.

Электрооборудование для питания и регулирования тяговых двигателей моторного вагона электропоезда может быть частично размещено на прицепном вагоне, что позволяет несколько снизить массу моторного вагона. Обычно на прицепных вагонах электропоезда располагают и вспомогательные машины поезда. Особые трудности представляет исполнение электропоезда переменного тока, поскольку на моторном вагоне под кузовом приходится размещать трансформатор и выпрямитель (ограничение по высоте около 80 см).

Специфичным является размещение силового оборудования на высокоскоростных электропоездах, которые имеют конструктивную скорость 200–300 км/ч. Здесь необходимо обеспечить небольшие нагрузки колесной пары на ось 110–145 кН/ось. Поэтому в первых скоростных электропоездах, например ЭР200, мощность распределяли равномерно по осям поезда. В поезде ЭР200 только головные вагоны выполнены немоторными. Однако в последующем отошли от «распределенного» варианта и в современных высокоскоростных электропоездах все силовое оборудование концентрируют в головных вагонах, выполняя их как электровозы, т.е. без пассажирских салонов. Все промежуточные вагоны в такой схеме электропоезда – прицепные. По такому «концентрированному» принципу выполнены французские электропоезда TGV и немецкие электропоезда ICE. При этом мощность головного моторного вагона, т.е. фактически электровоза составляет 4000–5000 кВт. Однако окончательно вопрос о целесообразном размещении электрооборудования в скоростном электропоезде еще не может считаться окончательным решенным.

Новые электропоезда выполняют и с распределенным принципом, когда все вагоны являются моторными (немецкий электропоезд ICE–3).

3. МЕХАНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ЭЛЕКТРОВЗОВ И ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

3.1. Общие сведения

Механическая часть электроподвижного состава это совокупность механических устройств, предназначенных для передачи сил на рельсовый путь и состав.

По отношению к железнодорожному пути силы могут иметь различные направления и соответственно этому их называют вертикальными, продольными и поперечными (горизонтальными) силами.

В зависимости от того изменяются ли эти силы по времени или нет, различают силы статические и динамические. Статические силы – это силы веса, определяемые массами, находящимися в поле сил тяжести с ускорением свободного падения g .

Сила веса электровоза, иногда её называют силой тяжести, имеет важную роль в создании силы сцепления колеса с рельсом и затем силы тяги электровоза, действующей на его автосцепке. Часть этой силы, равная силе веса электровоза, делённой на число его осей, прижимает колёсную пару к рельсу. Эта сила определяется массой электровоза, приходящейся на одну его движущую ось. В этом отношении вес электровоза имеет важное значение, так как при малом его весе невозможно реализовать требуемую силу сцепления колеса с рельсом.

Сила веса электровоза складывается из силы от веса кузова с его оборудованием и тележек, называемых иногда ходовой, или экипажной частью. Кузов предназначен для размещения кабин управления, электрического и пневматического оборудования, сцепных приборов (автосцепок и их поглощающих аппаратов). На электропоездах электрическое оборудование, как правило, размещают на крыше и под кузовом, для того чтобы освободить место в кузове для размещения пассажиров и служебных помещений (кабины управления, туалетов).

Динамические силы имеют разную природу возникновения и величина их зависит от времени. Иногда изменяющиеся во времени силы можно при рассмотрении их в короткий промежуток времени считать почти статическими (квазистатическими). Динамические силы имеют негативную особенность, которая связана со скоростью движения и заключается в том, что с ростом скорости силы взаимодействия с железнодорожным путём возрастают до значительной величины, иногда превышающей силу давления колеса на рельс. Это обстоятельство влияет на безопасное движение колеса по рельсу и не должно допускаться. Уменьшение динамических сил можно осуществить снижением величины массы электровоза. Однако это может привести к уменьшению реализуемой силы тяги по сцеплению колеса с рельсом. Таким образом, возникает противоречивая ситуация: для увеличения реализуемой силы необходимо

увеличивать массу электровоза, а для снижения сил, действующих на путь, уменьшать массу.

Для того чтобы разрешить это противоречие и не снижать общей массы электровоза и сил давления колёс на рельсы, а также не допускать роста динамических сил сверх нормативных при максимальной скорости движения (конструкционной скорости) используют принцип, положенный в основу конструирования ходовых частей подвижного состава и, в частности, электровозов. Этот принцип можно кратко назвать «принципом разделения масс». Он заключается в том, что для снижения динамических сил уменьшают величину массы, непосредственно взаимодействующей с железнодорожным путём. При этом вес электровоза не меняется, а его общая масса разделяется на несколько масс, соединённых между собой упругими элементами (обычно пружинами). Таким образом, взаимодействие электровоза с путём распределяется по времени, т.е. сначала взаимодействует масса непосредственно контактирующая с рельсом, затем следующая упруго связанная с ней и так далее, при этом каждая последующая масса занимает положение близкое к статическому по отношению к взаимодействующей в данный момент массе.

Результатом реализации этого принципа явилось появление тележечных электровозов в отличие от электровозов с общей рамой. Например, на рис. 3.1 показан электровоз, который имеет общую раму и рычажную тяговую передачу, а на рис. 3.2 современный электровоз ВЛ80 с двухосными тележками и индивидуальным приводом колёсных пар.

Эти рисунки отражают этапы истории развития ходовой (механической) части электровозов, связанные с уменьшением массы частей непосредственно взаимодействующей с путём.

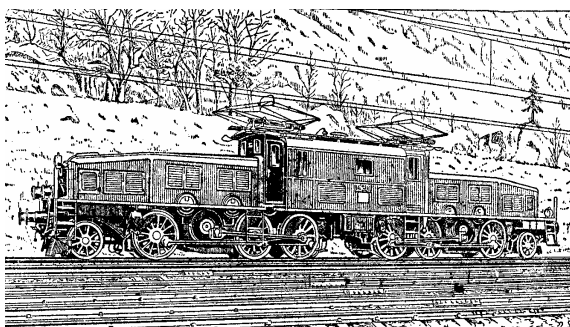


Рис. 3.1 Рамный электровоз



Рис. 3.2 Электровоз с тележками

3.2 Назначение основных узлов и классификация механической части

Тележки подвижного состава снижают динамические силы взаимодействия электровоза с путём при движении его по кривым и прямым участкам пути. Тележки обычно состоят из рамы, рессорных комплектов или устройств, выполняющих роль упругих элементов. Моторные тележки электровозов и электропоездов оборудуют *тяговыми электродвигателями*, которые вращают колёсные пары, через тяговую передачу. Последняя включает в себя редуктор и тяговую муфту.

Редуктор снижает частоту вращения вала якоря тягового электродвигателя и одновременно увеличивает вращающий момент, передаваемый на колёсную пару.

Тяговая муфта состоит из шарнирно-рычажного или карданного механизма и обеспечивает передачу вращающего момента в условиях статических и динамических взаимных перемещений вала тягового двигателя и вала редуктора. В других конструкциях тяговая муфта обеспечивает передачу вращающего момента в условиях статических и динамических перемещений центра большого зубчатого колеса редуктора относительно оси колёсной пары. Совокупность названных устройств образует *тяговый привод*.

Колёсная пара состоит из двух колёс, насаженных на ось, и предназначенных для восприятия и передачи на путь различных сил и в первую очередь сил тяги и веса кузова и тележек. Кроме того, под действием передаваемого на них тягового или тормозного моментов они развивают силы тяги и торможения в местах контакта колёс с рельсами. Благодаря особой форме поперечного профиля колёс колёсная пара выполняет функцию направления движения электровоза в рельсовой колее как в кривой, так и на прямых участках пути. При этом колёсная пара воспринимает поперечные (горизонтальные) силы, действующие на неё при взаимодействии рельса и колёс.

Рессорные комплекты создают так называемую систему рессорного подвешивания, которая обеспечивает взаимную подвижность отдельных частей механической системы электровоза и передачу сил от масс кузова и тележек на колёсные пары. С помощью системы рессорного подвешивания конструктивно реализуется «принцип разделения масс» электровоза.

Важная роль в тележечных электровозах принадлежит устройствам передачи силы тяги и торможения от тележек на кузов. Для этого используют *шкворневые* (в виде вертикального стержня) или *поводковые устройства*. В последнее время получили распространение устройства, состоящие из стержневых элементов, расположенных горизонтально или наклонно по отношению к плоскости железнодорожного пути. Стержни или тяги по сравнению со шкворневой передачей силы тяги позволяют увеличить использование сцепного веса электровоза и отказаться от ненадёжного шкворневого устройства, подверженного в местах соединения его с тележкой поверхностному износу.

Для создания режима торможения применяют *пневматический тормоз*, состоящий из тормозных пневматических цилиндров, управляемых воздухораспределителем, и рычажной передачи, которая передаёт силу от пневматических цилиндров к тормозным колодкам, прижимая их к поверхности катания колёс или к специальным дискам для создания на колёсной паре тормозного момента.

Для передачи продольных сил тяги или торможения вдоль поезда осуществляют соединение электровоза с вагонами с помощью *сцепных приборов*. На Российских железных дорогах для этого применяют *автосцепки*, на Европейском подвижном составе широко применяют винтовые стяжки. Для поглощения продольных ударов в момент сцепления электровоза с вагонами автосцепку дополняют *поглощающим аппаратом*, а винтовые стяжки *буферными устройствами* (буферами).

Классификация механической части. Механическую часть ЭПС можно классифицировать по различным конструкционным признакам. Наиболее распространены классификации по осевым характеристикам экипажной части, конструкции рессорного подвешивания и тягового привода, а также по «составности» (типам и последовательности расположения вагонов в составе поезда).

Осевые характеристики связаны с компоновкой ходовых частей (ранее их называли колёсной или осевой формулой). Они представляют условную запись в виде комбинации цифр с индексами и знаками «+» или «-». Цифры указывают количество осей в тележках или раме электровоза, индекс «0» (ноль) указывает на индивидуальный привод осей колёсных пар, отсутствие – групповой привод. Знак «+» указывает на шарнирную связь тележек многосекционных электровозов при передаче сил тяги и торможения в продольном направлении, а «-» – на отсутствие такой связи.

Электровозы первых выпусков имели большую конструктивную преемственность с ходовой частью паровозов (рис. 3.1). Все ведущие колёсные пары располагались в общей раме кузова, которая передавала продольные силы, и такие электровозы называют рамными. Часто на рамных электровозах в дополнение к движущим колёсным парам устанавливали бегунковые (поддерживающие) колёсные пары и даже бегунковые тележки. Бегунковые тележки и колёсные пары не имеют тягового привода, они лёгкие, и передавали на путь часть силы веса электровоза и облегчали вписывание рамного электровоза в кривую.

Первый советский пассажирский электровоз ПБ21–01, построенный в 1934 году, с тремя движущими осями и двумя бегунковыми тележками имел осевую характеристику $2-3_0-2$. Все современные электровозы и вагоны электропоездов и метрополитена – тележечные (рис 3.2). В них движущие колёсные пары группируют в двух- или трёхосных тележках и поэтому пропадает необходимость в бегунковых осях. Электровозы ВЛ22, ВЛ23 с осевой характеристикой 3_0+3_0 и электровозы ВЛ8 с осевой характеристикой $2_0+2_0+2_0+2_0$ имели сочленённые в продольном направлении тележки, так как автосцепки располагались на концах тележек и необходима была связь между тележками для передачи сил тяги и торможения (рис. 3.3,а).

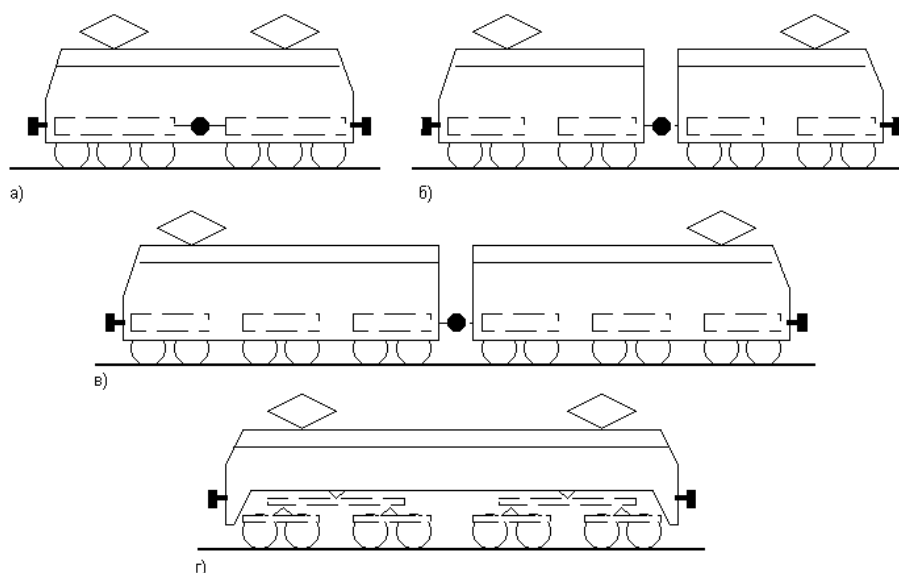


Рис. 3.3 Схемы экипажных частей электровозов

В последнее время все электровозы выпускаются с несущей рамой кузова, на которой располагают автосцепки и необходимость в сочленении тележек отпала (рис. 3.3,б).

Пассажирские электровозы ЧС1 и ЧС3, а также вагоны электропоездов и метрополитена имеют осевую характеристику 2_0-2_0 , а шестиосные электровозы ЧС2, ЧС4 и ВЛ60 имеют осевую характеристику 3_0-3_0 , хотя у электровозов ЧС2 и ЧС4 имеется межтележечное соединение, действующее только в горизонтальном направлении, чтобы улучшить процесс вписывания трёхосных тележек в кривую.

Многоосные локомотивы выполняют в виде отдельных секций, соединённых автосцепкой (рис. 3.3,в). Такими электровозами являются: ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, ВЛ65, а так же ВЛ15, ВЛ85 и ВЛ86^Ф. Осевые характеристики этих локомотивов, соответственно, $2(2_0-2_0)$ и $2(2_0-2_0-2_0)$. Коэффициент «2» означает число секций из которых состоит электровоз. Электровозы ВЛ11 и ВЛ80С могут быть сформированы из трёх секций и тогда их осевая характеристика $3(2_0-2_0)$. В последнее время Коломенский тепловозостроительный завод предложил новую схему экипажа 4_0-4_0 (рис. 3.3,г), которая позволяет уменьшить длину локомотива при одинаковом количестве осей. Такая экипажная часть принята для пассажирского тепловоза ТЭП80 и электровоза ЭП200 с конструкционной скоростью 200 км/ч.

На европейских железных дорогах количество движущихся осей принято обозначать латинскими буквами: В – две движущие оси, С – три, D – четыре.

Для определения количества и вида вагонов, входящих в состав электропоезда или поезда метрополитена, используют другую важную характеристику – составность. Цифрами указывают количество вагонов и их групп, а буквами тип вагонов: М – моторный, МТ – моторный с

токоприёмником, П – прицепной, Г – головной с кабиной управления, ГМ – головной моторный.

Отечественные электропоезда имеют следующую составность ЭР2, ЭР9П, ЭР9М, ЭР9Е – 2Г+К(МТ+М), где К – количество вагонов или их групп в составе поезда. Вагоны метрополитена имеют составность: серия Е – КМ, серии 81–717 / 81–714 – 2ГМ+6М.

В зависимости от схемы рессорного подвешивания бывает одно- или двухступенчатое, индивидуальное и сбалансированное подвешивание. Так на электровозах ВЛ22, ВЛ23, ВЛ8 применено одноступенчатое сбалансированное рессорное подвешивание, на электровозах ВЛ10, ВЛ80, ВЛ85, ВЛ65, ЧС2, ЧС4, ЧС6, ЧС7 и ЧС8 – двухступенчатое индивидуальное.

Первую ступень рессорного подвешивания обычно называют *буксовым подвешиванием*, а вторую – *центральной* или *кузовным*.

Узлы и детали механической части, расположенные на рессорах называются *подрессоренными* (обрессоренными), а детали непосредственно взаимодействующие с путём – *неподрессоренными* (необрессоренными). Такие элементы тягового привода как тяговый двигатель и редуктор в некоторых конструкциях электроподвижного состава являются неподрессоренными, частично или полностью подрессоренными. В зависимости от этого всё многообразие конструкций тяговых приводов делят на три класса:

- тяговый привод класса I имеет опорно-осевые тяговый двигатель и редуктор (электровозы ВЛ22, ВЛ23, ВЛ8, ВЛ10, ВЛ80);
- тяговый привод класса II имеет опорно-осевой редуктор, но полностью подрессоренный тяговый двигатель (электровозы серии ЧС, электровоз ВЛ65 и электропоезда серии ЭР);
- тяговый привод класса III обладает полностью подрессоренными тяговым двигателем и редуктором, причём не имеет значения, где они располагаются на тележке или кузове (электровозы ВЛ81, ВЛ84–002, серии 91(Англия), тепловозы ТЭП60, ТЭП70, ТЭП75).

Для сокращения количества тяговых двигателей на одном электровозе применяют групповые тяговые приводы, которые в отличие от индивидуальных, передают вращающий момент от одного двигателя на две или три колёсные пары через мощный раздаточный редуктор. Такие электровозы строились во Франции фирмой Альстом и широко распространены на ряде железных дорог мира. В нашей стране были построены опытные электровозы ВЛ40 и ВЛ83 с осевыми характеристиками 2–2 и 2(2–2). В силу ряда недостатков эти электровозы не были переданы в серийное производство.

3.3 Устройство тележек электроподвижного состава

В настоящее время на моторном электрическом подвижном составе применяется большое разнообразие конструкций тележек. Наиболее

распространены двухосные тележки, которые вытесняют из конструкторской практики трёхосные тележки. На зарубежных электропоездах получила распространение тележка Якоби, на которую опираются два смежных вагона (скоростной электропоезд TGV), а также одноосные тележки на испанских электропоездах TALGO. Подобные конструкции позволяют за счёт снижения количества колёсных пар в поезде, уменьшить шум и износ рельсов, а также исключить вертикальные перемещения смежных вагонов, уменьшить воздействие подвижного состава на путь.

Для снижения воздействия на путь и износа бандажей колёсных пар разрабатываются и испытываются «гибкие» тележки с двумя упруго связанными по углу поворота колёсными парами. Имеются нетрадиционные решения, когда две малобазные тележки (с малыми расстояниями между колёсными парами) объединяют одной промежуточной рамой и получают четырёхосную тележку (электровозы ЭП100, ЭП200, тепловоз ТЭП80).

Однако независимо от числа осей в тележке её конструкция должна иметь ряд узлов, которые обеспечивают создание и передачу на кузов и путь сил веса, тяги и торможения.

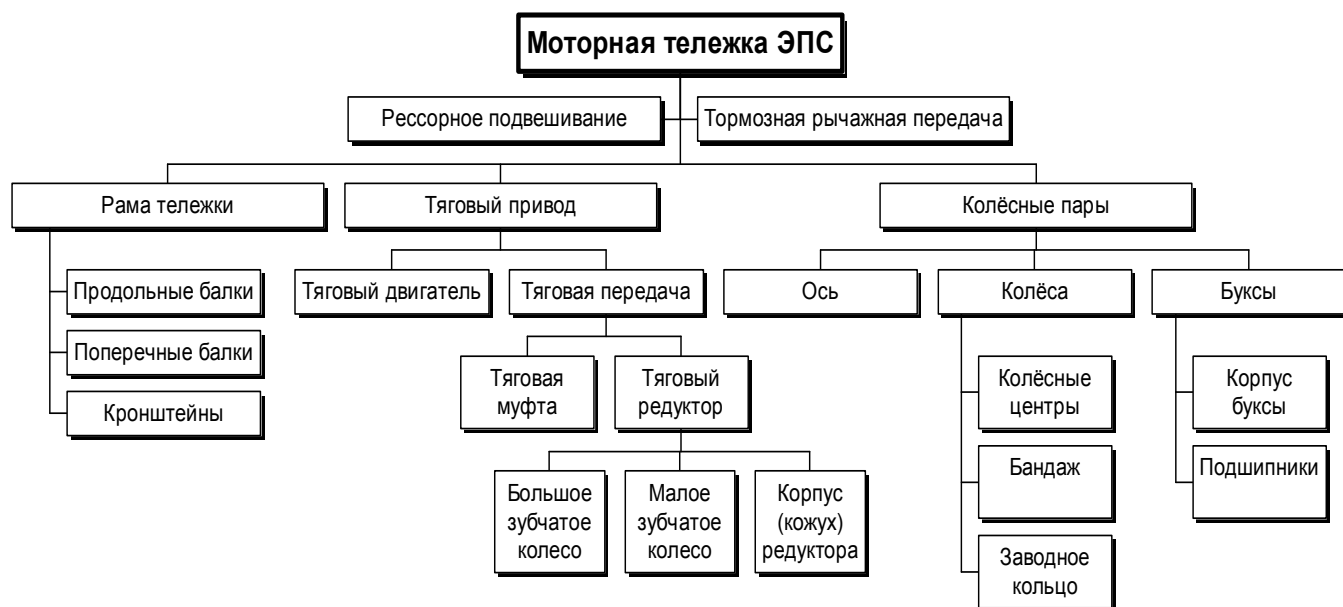


Рис. 3.4 Структурная схема моторной тележки э.п.с. и её основных узлов

На рис. 3.4 показана структурная схема моторной тележки электроподвижного состава, на которой указаны основные узлы и их составные части, присущие любой конструкции тележки. Исключение могут составлять безрамные тележки, однако функции рамы должны быть переданы другим узлам: колёсным парам, корпусу тягового двигателя, раме кузова и т.п. Рассмотрим конструкции типовых узлов моторной тележки электровоза и электропоезда.

В значительной степени габариты тележки, её база (расстояние между осями колёсных пар) определяется габаритами тягового привода, который состоит из тягового двигателя и тяговой передачи.

На рис. 3.5 и 3.6 показаны тележка электровоза ВЛ10 и тележка электропоезда ЭР2Р. Пространство между осями колёсных пар и центральными поперечными балками занимают тяговые двигатели. У электровозной тележки тяговый двигатель одной стороной опирается на ось колёсной пары, а другой на раму тележки с помощью подвески с упругими резиновыми шайбами 12 (рис. 3.7). Стальные диски 11, кронштейн 10 тягового двигателя и гайка закреплены на стержне 13 и создают беззазорный элемент допускающий перемещение тягового двигателя во всех направлениях за счёт деформации резины блоков 12. У тележки электропоезда тяговые двигатели консольно закреплены на центральных поперечных балках и таким образом тяговые двигатели в этой конструкции полностью подрессорены.

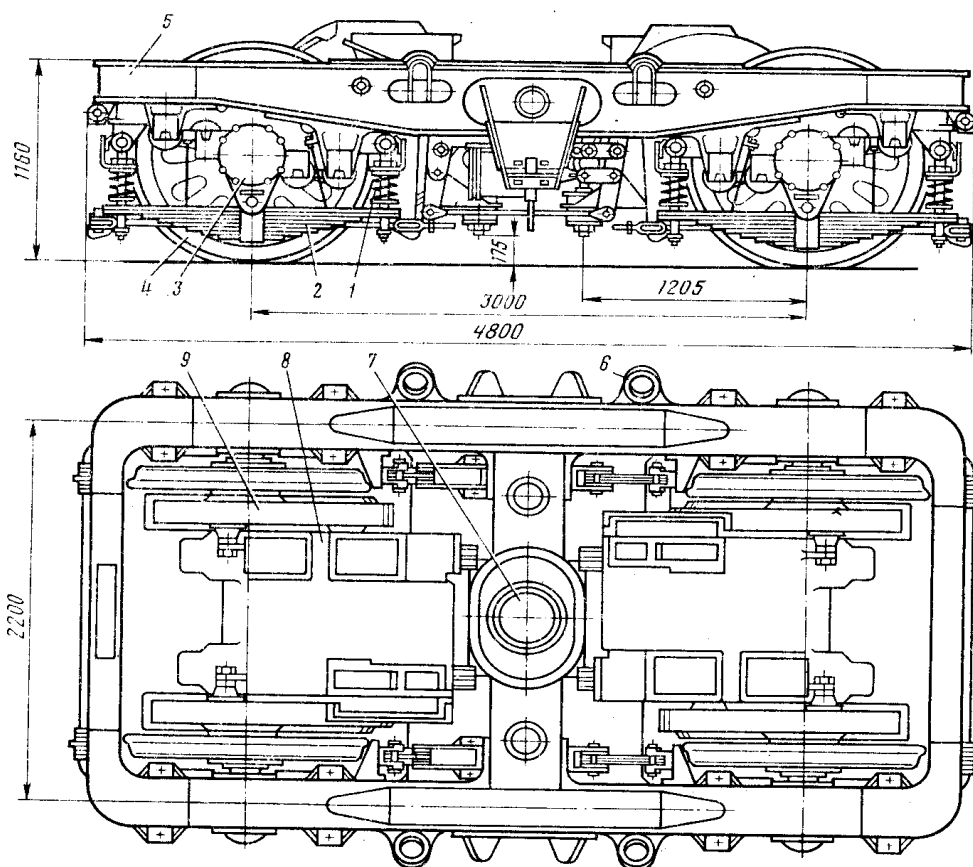


Рис. 3.5. Тележка электровоза ВЛ10

1 – концевая пружина рессорного подвешивания; 2 – листовая рессора; 3 – букса; 4 – колесо колёсной пары; 5 – рама тележки; 6 – кронштейн пружин вторичного рессорного подвешивания; 7 – гнездо в поперечной балке для шкворневого устройства; 8 – тяговый двигатель; 9 – редуктор (зубчатая передача)

Вращающий момент от вала тягового двигателя электровозной или моторной тележки электропоезда передаётся с помощью пары зубчатых колёс, которые составляют редуктор, на ось колёсной пары.

Мощность на валу якоря тягового двигателя определяется произведением вращающего момента M на угловую скорость вращения вала ω . Эта мощность передаётся на колёсную пару через редуктор, в котором из-за трения в подшипниках, в зубьях зубчатых колёс и перемешивания масла создаются потери мощности, оцениваемые коэффициентом полезного действия (КПД) зубчатой передачи η_3 . Тогда мощность на колёсной паре (с учётом потерь) выражается через вращающий момент колёсной пары и угловую скорость её вращения ω_k функцией

$$P_d = M\omega = \frac{M_k \omega_k}{\eta_3}.$$

Обычно КПД тяговой передачи с учётом потерь в моторно-осевых подшипниках составляет от 0,915 до 0,975.

Передаточное отношение зубчатой передачи

$$\mu = \frac{\omega}{\omega_k} = \frac{M_k}{M\eta_3} > 1,$$

т.е. применение зубчатой передачи позволяет повысить величину вращающего момента на колёсной паре за счёт уменьшения её частоты вращения.

Для снижения габаритов тягового электродвигателя выгодно иметь на его валу меньший момент, чем на колёсной паре, т.к. электромагнитный момент определяется диаметром и длиной активной части железа якоря тягового двигателя.

Передаточное отношение тягового редуктора можно определить как отношение числа зубьев шестерни $z_{ш}$, связанной с валом якоря, к числу зубьев зубчатого колеса z_k , связанного с колёсной парой:

$$\mu = \frac{\omega}{\omega_k} = \frac{z_k}{z_{ш}}.$$

Число зубьев шестерни для э.п.с. составляет 19–25. Число зубьев колеса составляет 70–89. Передаточное число для грузовых локомотивов равно 3,8–4,5, пассажирских электровозов – 1,75–2,65, электропоездов – 2,35–4,12.

На грузовых электровозах при мощности двигателя примерно 950–1000 кВт используют двухстороннюю зубчатую передачу, с косыми зубьями (рис. 3.8,а) с наклоном их в противоположных направлениях на угол, равный 24° . Малое зубчатое колесо передачи (рис. 3.8,б) растачивают с конусностью 1:10 и насаживают при сборке на вал якоря тягового двигателя при нагреве до 160°C . Необходимо отметить, что такое соединение деталей привода широко используется. Так, например в тяговых приводах электропоездов, на вал тягового двигателя насаживают фланцы упругой муфты 7 (рис. 3.6).

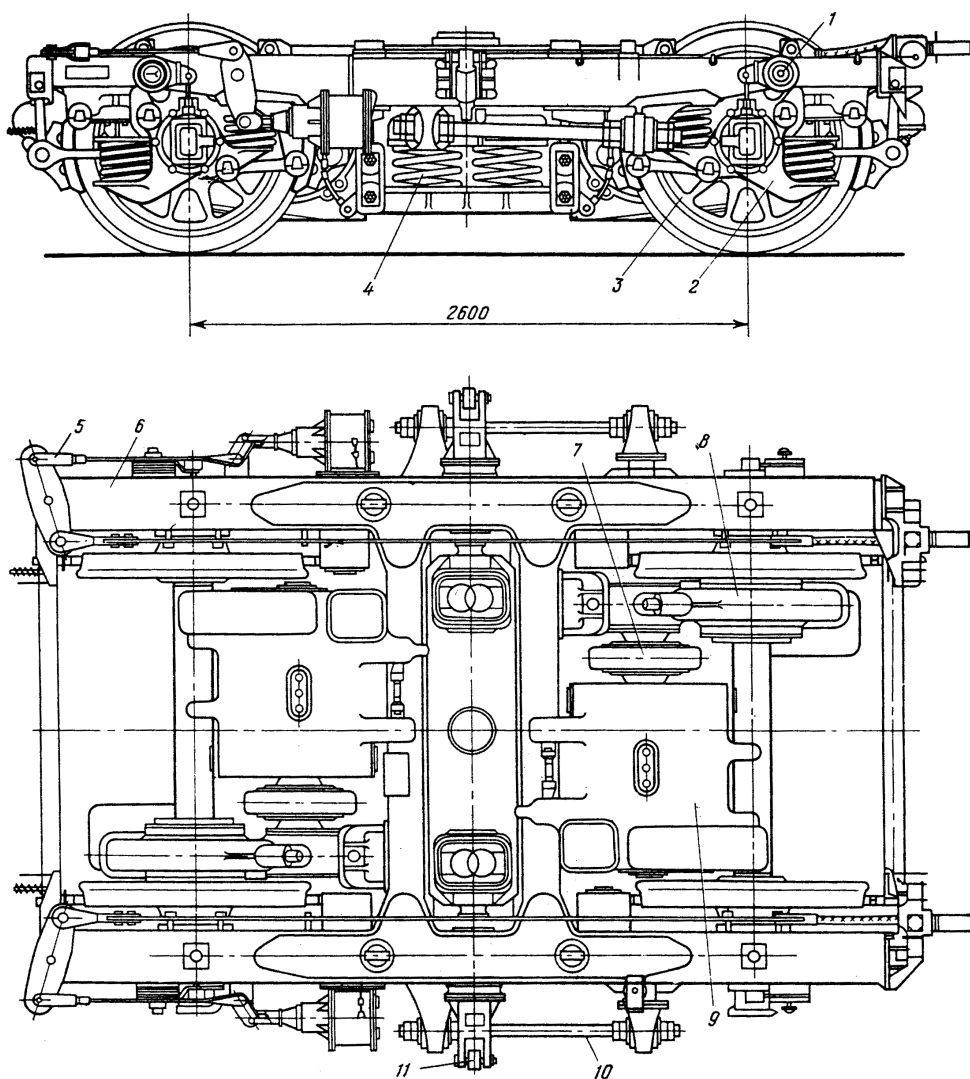


Рис. 3.6. Телeжка электропоезда ЭР2Р

1 – фрикционный гаситель колебаний рамы тележки; 2 – букса; 3 – колесо колёсной пары; 4 – пружины центрального подвешивания; 5 – тормозная тяга; 6 – рама тележки; 7 – тяговая (упругая муфта); 8 – тяговый редуктор; 9 – тяговый двигатель; 10 – тяговый поводок; 11 – гидравлический гаситель колебаний вторичного подвешивания

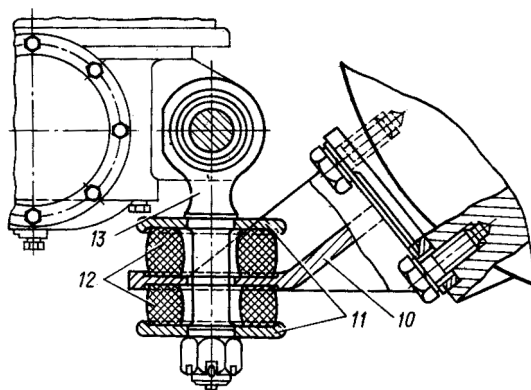


Рис. 3.7. Конструкция опорно-осевого подвешивания тяговых двигателей через резиновые шайбы

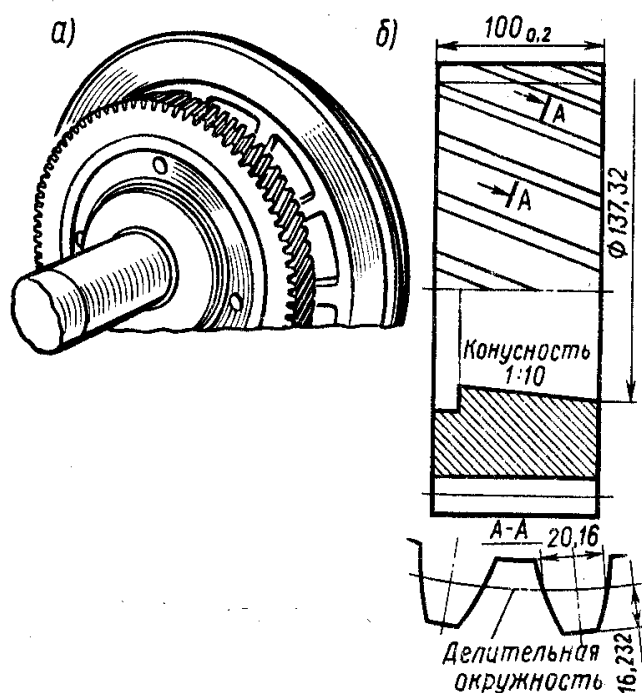


Рис. 3.8. Зубчатое колесо (а) и шестерня (б) косозубой передачи

Зубчатые передачи закрывают кожухами или корпусами редукторов, которые несут масло, смазывающее передачу при вращении путём разбрызгивания.

Тяговый привод грузовых электровозов с опорно-осевым тяговым двигателем оказывает большое динамическое воздействие на путь из-за значительной величины неподрессоренной массы, которая складывается из суммы половины массы тягового двигателя и массы колёсной пары. Так, например, для электровоза ВЛ10 и ВЛ11 неподрессоренная масса составляет 5450 кг при массе колёсной пары 3200 кг. Из-за этого тяговый привод с неподрессоренными тяговыми двигателями по классификации профессора Бирюкова И.В. [6] называют тяговым приводом класса I и применяют на грузовых электровозах с конструкционной скоростью до 100–110 км/ч.

Вращающий момент от вала двигателя передаётся через тяговую муфту на вал малого зубчатого колеса редуктора, который одной стороной опирается на ось колёсной пары, а другой – на раму тележки с помощью подвески, имеющей вид стержня 2 (рис. 3.9). В узлах соединений стержня к кронштейнам рамы и редуктора установлены резинометаллические амортизаторы 3. На случай обрыва стержня предусмотрено предохранительное устройство 4, в виде приваренной к раме тележки шпильки.

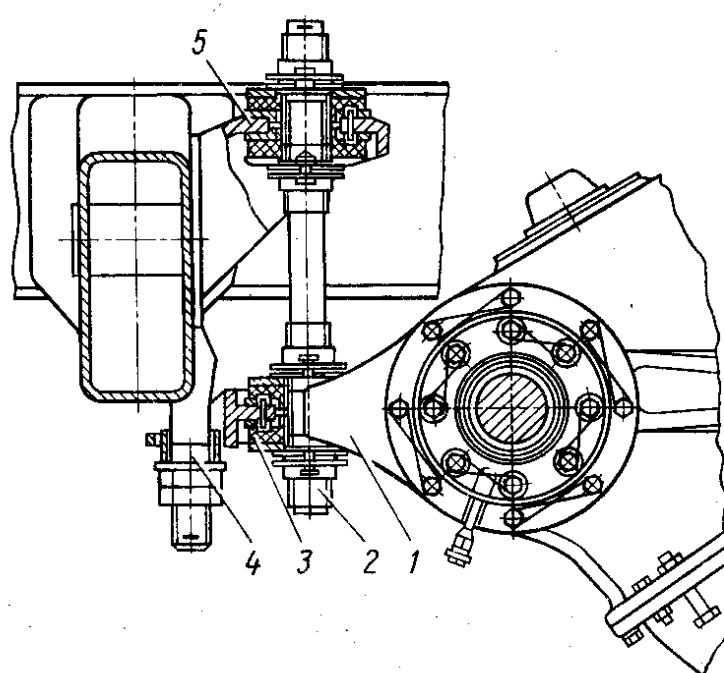


Рис. 3.9. Конструкция повестки редуктора электропоездов серии ЭР

Муфта обычно имеет конструкцию, допускающую поперечное, продольное (до 10 мм), угловое смещение валов якоря двигателя и малого зубчатого колеса.

В приводах тележек отечественных электропоездов применяют резинокордную муфту (рис. 3.10). Она состоит из ведущего и ведомого фланцев 1 и 8, напрессованных в горячем состоянии на хвостовики валов якоря электродвигателя и шестерни редуктора. Резинокордная оболочка 6 крепится к фланцам разрезным кольцом 5 и полукольцами 7, которые соединены с фланцами 1 и 8 болтами 2, 3 и втулками 4.

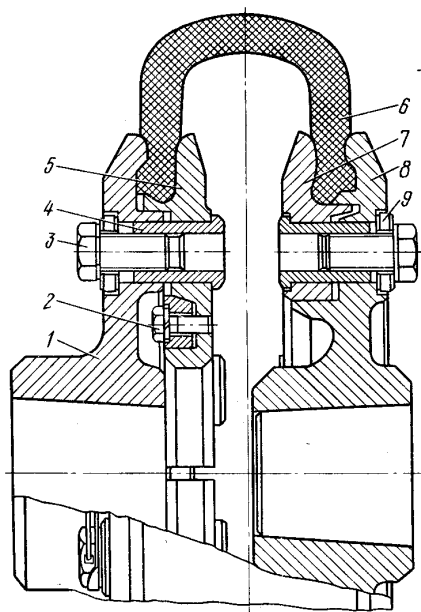


Рис. 3.10. Резинокордная муфта тягового привода электропоезда ЭР

На пассажирских электровозах серии ЧС применена карданная муфта, состоящая из двух карданных шарниров Гука и торсионного вала 10 между ними (рис. 3.11). Шарнир Гука состоит из крестовины 1 или 10 и двух пар вилок (поводков), находящихся во взаимно перпендикулярных плоскостях и закреплённых: одна пара – поводок 13 на торсионном валу 12 и поводок на валу шестерни, другая пара поводков состоит из поводка 7 и поводка, выполненного в виде шлицевого барабана 6. Со стороны малого зубчатого колеса (шестерни) поводок 13 расположен взаимно перпендикулярно по отношению к поводку 7, расположенному на торсионном валу. На поводках закреплены корпуса 4 и 9 игольчатых подшипников, во внутрь которых входят цапфы 8 крестовины 10. Корпуса крепятся к поводкам с помощью болтов 5. Цилиндр 6 представляет барабан, на котором имеются канавки, в которые входят зубья (шлицы) расположенные на внутренней поверхности полого вала якоря тягового двигателя (см. рис. 13.12). Игольчатые подшипники к поводкам барабана также крепятся с помощью болтов 5. Шлицевой барабан 6 (цилиндр с несколькими канавками) расположен по образующей цилиндра и обеспечивает поперечные перемещения, по отношению к продольной оси пути, тягового двигателя вместе с рамой тележки относительно тягового редуктора, который расположен жёстко на оси колёсной пары. Эти перемещения возникают за счёт деформации буксового подвешивания при вписывании электровоза в кривую. Такое смещение вала исключает осевое нагружение подшипников качения малого зубчатого колеса редуктора.

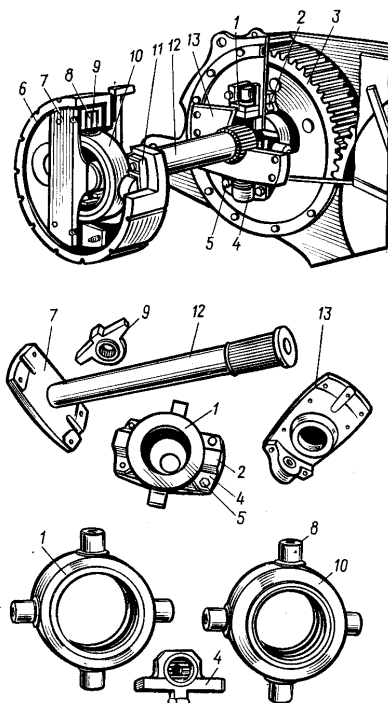


Рис. 3.11. Конструкция тяговой передачи электровозов ЧС2

На рис. 3.12 показана компоновка рассмотренной тяговой передачи в сборе с осевым тяговым редуктором и колёсной парой.

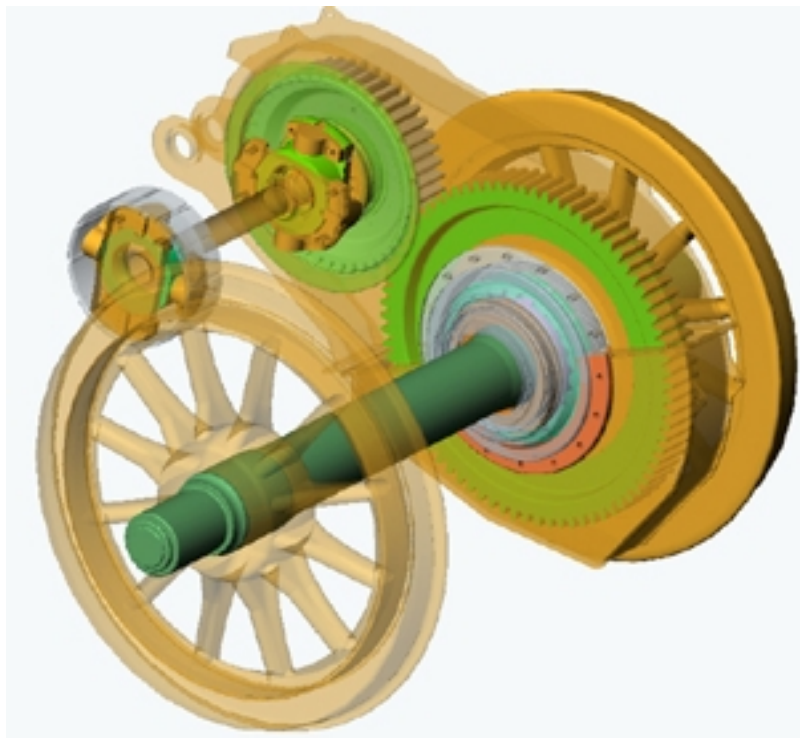


Рис. 3.12. Компоновка тяговой передачи электровозов ЧС2

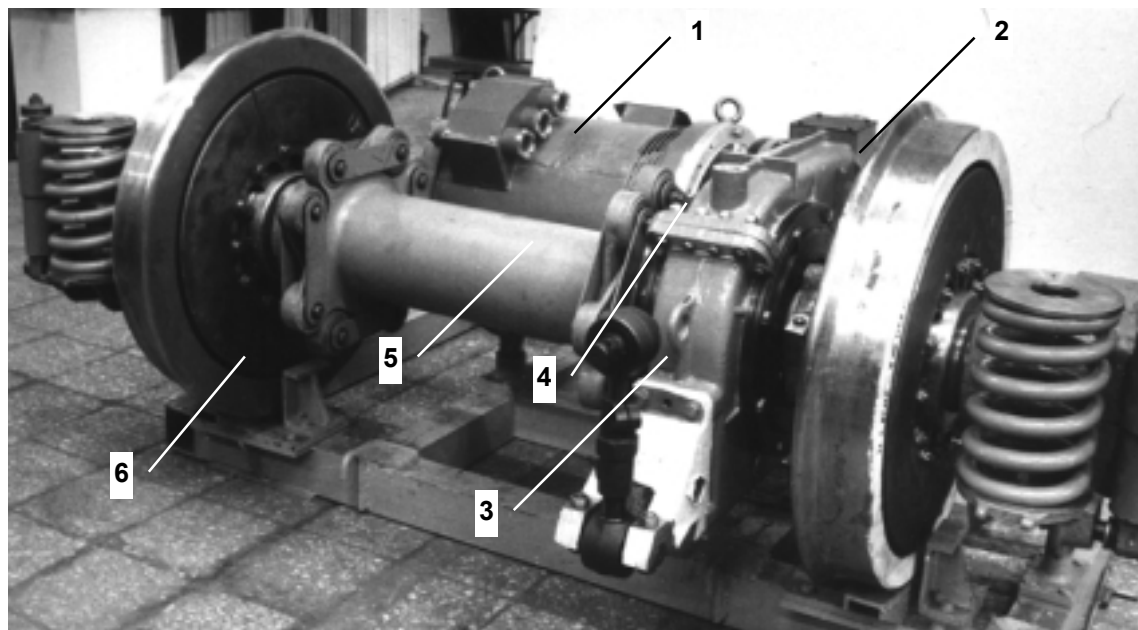
В сериях электровозов ЧС7 и ЧС8 этот барабан исключён и подобное перемещение осуществляется за счёт осевых зазоров в подшипниках вала малого зубчатого колеса и в опорных подшипниках корпуса редуктора. Однако практика показывает, что такое упрощение конструкции ведёт к тому, что очень часто происходит ослабление крепёжных болтов крышки подшипника редуктора, за счет воздействия на болты осевых сил.

Поскольку в зубчатой передаче при движении тележки по неровному железнодорожному пути возникают паразитные динамические моменты, то упругие элементы (торсионные валы, резинокордные муфты) в тяговой передаче необходимы.

Торсионный вал 12 (рис. 3.11) кроме элемента карданного механизма выполняет также роль упругого элемента, который закручивается по своей длине и его угловая (торсионная) жёсткость обратно-пропорциональна длине вала.

На современных скоростных электровозах и электропоездах для снижения неподрессоренной массы, взаимодействующей с железнодорожным путём, применяют полностью подрессоренные тяговые приводы. Тяговый привод имеет блок редуктор–двигатель 1 и 2 (рис. 3.13, моторная тележка вагона метрополитена «Яуза»), закреплённый на раме тележки, а вращающий момент передаётся с помощью карданной муфты, состоящей из двух шарнирно-поводковых механизмов 4 и полого вала 5. Через полый вал 5 пропущена ось колёсной пары 6, которая проходит также через полу ступицу (основание зубчатого венца) большого зубчатого колеса тягового редуктора 2. Большие зубчатые колёса обычно выполняют из двух частей – ступицы и зубчатого венца. На ступицу и центральную часть зубчатого колеса насаживают зубчатый венец – обод с

зубьями. Такая конструкция привода позволяет снизить величину неподдрессоренной массы до массы колёсной пары и защитить тяговый двигатель и редуктор от динамических воздействий при взаимодействии колёсной пары с железнодорожным путём.



*Рис. 3.13. Тяговый привод класса III:
1 – рамный двигатель; 2 – рамный редуктор; 3 – крепление редуктора к раме тележки; 4 – шарнирно-поводковые механизмы; 5 – полый вал; 6 – колёсная пара*

3.4 Устройство колёсных пар, букс и рам тележек

Переданный от тягового двигателя на колёсную пару тяговый момент реализует в контакте колёс с рельсами касательную силу тяги или торможения до 8–10 кН, направленную вдоль пути. При движении поезда по кривым участкам пути на колёсную пару действует сила, которая может достигать 500–750 кН. На консольные части оси колёсной пары через подшипники качения, которые находятся в буксах, передаются вертикальные силы тяжести от электровоза, значение которых достигает 220–250 кН на каждую колёсную пару. При движении электровоза по неровному пути на колёса колёсной пары действуют динамические силы.

Таким образом, колёсная пара является одним из ответственных узлов механической части, обеспечивающим возможность развития локомотивом силы тяги и создающим условия для движения электровоза по рельсовому пути. Её конструкция должна обладать высокой прочностью и оказывать наименьшее воздействие на путь как элемент ходовой части электровоза, обладающий массой. Кроме того, изнашиваемые части колёсной пары должны быть легко заменяемы.

Учитывая это, колёсную пару формируют из следующих деталей (рис. 3.14): оси 10, двух колёс, которые состоят из колёсных центров 5 с

бандажами 6. При тяговых приводах классов I и II колёсные пары имеют на оси один или два зубчатых колеса 7 тягового редуктора. Зубчатые колёса могут быть смонтированы на оси одним из трёх способов: напрессованы непосредственно на ось (электровозы ВЛ19, ЧС4, электропоезда ЭР2Р, ЭР2Т, ЭД4 и ЭТ2), что ухудшает условия работы оси; напрессованы на удлинённую ступицу колесного центра 8 (электровозы ВЛ22, ВЛ8, ВЛ60, ВЛ10, ВЛ80, ВЛ85); и закреплены болтами на колёсном центре (электровозы ЧС2, электропоезда ЭР1, ЭР2, ЭР9). Последний способ увеличивает пространство для расположения тягового двигателя, но усложняет конструкцию колёсного центра и тягового редуктора. В современных конструкциях такой способ уже не применяется.

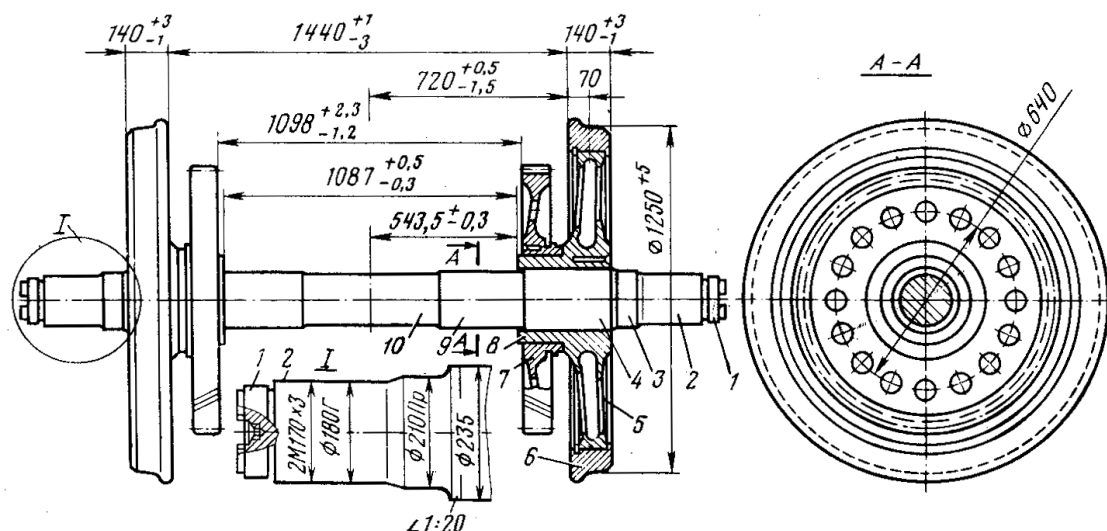


Рис. 3.14. Колёсная пара электровозов ВЛ10 и ВЛ11:

1 – гайка; 2 – буксовая шейка; 3 – предподступичная часть; 4 – подступичная часть оси; 5 – колёсный центр; 6 – бандаж; 7 – зубчатое колесо; 8 – ступица колёсного центра; 9 – шейка оси для моторно-осевых подшипников; 10 – средняя часть оси

Бандажи колёс тягового подвижного состава обычно выполняют съёмными. Съёмный бандаж 1 (рис.3.15,а) для посадки на колёсный центр 3 предварительно нагревают до температуры 250–320°С. При остывании он плотно охватывает колёсный центр, так как внутренний диаметр меньше на 0,9–1,2 мм на метр наружного диаметра колесного центра. Помимо сжимающих сил, возникающих при остывании, бандаж удерживается на центре выступом 2 и заводным (стопорным) кольцом 4. Кольцо выполняют разрезным, его заводят в выточку колеса и обжимают роликом на специальном станке при температуре 160–180° С.

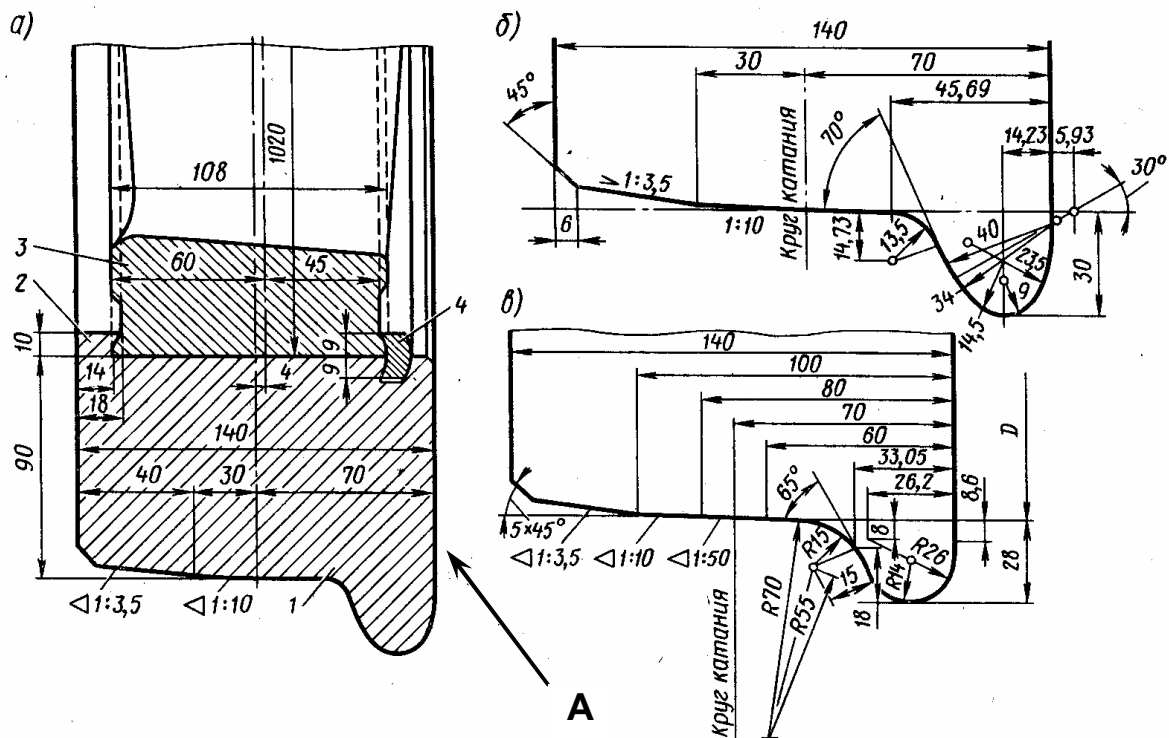


Рис. 3.15. Бандаж колёс электровоза

При колодочном торможении колёсной пары локомотива бандаж нагревается и натяг может уменьшиться, что недопустимо, поэтому для контроля отсутствия проворота бандажа на боковой грани бандажа и колёсного центра наносят краской белую риску.

Рабочая поверхность бандажа в соответствии с чертежом по ГОСТ 11018–87 имеет коническую форму с углом уклона 1:20 или конусностью 1:10 (рис. 3.15,б). Поэтому в процессе движения колёсная пара по ходу движения перемещается не только вдоль пути, но и поперёк, прижимаясь поочерёдно то к левому, то к правому рельсу. Такая особенность колёсной пары должна обеспечивать равномерный износ рабочей части бандажа при её извилистом движении по пути. Для прохода кривых участков пути с малым радиусом внешняя часть бандажа имеет конусность 1:3,5.

Гребень бандажа (выступающая часть обода) служит для направления колёсной пары в рельсовой колее. Его рабочая часть представляет собой коническую поверхность с углом образующей 70° для локомотивных и 60° для вагонных бандажей. Диаметр нового бандажа по кругу катания (на расстоянии 70 мм от внутренней грани рис. 3.15,а, стрелка А) составляет 1250 мм для электровозов, 1050 мм для электропоездов магистральных железных дорог и 780 мм для вагонов метрополитена.

Качение колёсной пары по рельсовой колее сопровождается попеременным касанием гребня бандажа боковой грани головок правого и левого рельсов. Причём касание обычно происходит в двух точках, одна из которых находится на рабочей части Б поверхности бандажа, а другая А на гребне (рис. 3.16). Из-за различия в окружных скоростях этих точек

возникает трение скольжение гребня по рельсу, вызывающее их интенсивный износ. Кроме того, в процессе эксплуатации происходит и износ рабочей поверхности бандажа, и как следствие искажение профиля. Очертание профиля восстанавливают периодической обточкой бандажа на специальных колёсно-токарных станках с выкаткой и без выкатки колёсных пар из под вагона. Обточку можно проводить до предельной толщины бандажа, которая составляет для электровозов переменного тока 45 мм, постоянного тока – 40 мм и электропоездов – 35 мм.

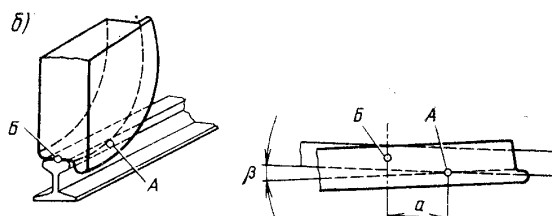


Рис. 3.16. Схема двухточечного контакта колеса с рельсом

Для уменьшения износа бандажей электровозов с 1935 г. выпускают колёсные пары с профилем бандажа по ГОСТ 11018–87 (рис. 3.15,е). В этом профиле уменьшена высота гребня с 30 до 28 мм, угол наклона гребня с 70° до 65° , радиус перехода от гребня к поверхности катания увеличен с 13,5 до 15 мм, введена дополнительная дуга радиусом 70 мм и предусмотрен дополнительный участок с конусностью 1:50. При таком профиле бандаж должен контактировать в одной точке, где возникает в основном трение качения – износ гребня становится менее интенсивным и срок службы колёс должен увеличиться.

В настоящее время на локомотивах применяют ряд профилей с другим очертанием поперечного сечения, которые позволяют уменьшить износ бандажей в зависимости от условий эксплуатации.

Колёсные центры подразделяют на спицевые, дисковые литые, дисковые катанные, цельнокатанные. На электровозах ВЛ22, ЧС и моторных вагонах электропоездов применяют спицевые центры, состоящие из обода, спиц и ступицы, которая насаживается на ось колёсной пары. Ширина обода колёсной пары электровозов составляет 105–112 мм, вагонов 100–103 мм. В спицевых центрах обычно применяют нечётное число спиц, внешний диаметр ступицы выбирают в 1,6–2 раза большим, чем ее внутренний диаметр.

Для снижения сил взаимодействия с путём применяют подрезиненные колёса, в которых между ободом и ступицей установлены круглые резиновые пакеты или одно резиновое кольцо.

Колёсный центр напрессован на подступичную часть оси колёсной пары, которая имеет наибольший диаметр. Средняя часть оси имеет меньший диаметр, чем подступичная часть, так как середина оси почти не нагружена. Вся нагрузка от масс тележки и кузова передаётся на концы оси, которые называются буксовыми шейками. На них устанавливаются буксовые подшипники качения, которые фиксируются гайкой,

закручиваемой на цилиндрическую часть конца оси. Для предотвращения откручивания гайки под действием вибрации, возникающей при качении колёсной пары по рельсам, её фиксируют металлической планкой, крепящейся к торцу оси болтами. Переходный участок к подступичной части называется предподступичной частью оси, на нём устанавливают лабиринтное кольцо, предотвращающее вытекание смазки из корпуса буксы. Для снижения массы колёсной пары некоторых локомотивов оси выполняют полыми с диаметром осевого отверстия 70 мм. От этого прочность и жёсткость оси практически не уменьшаются. На торцевой части оси проставляются знаки о времени и месте формирования (сборки) и полного освидетельствования (измерения размеров) колёсной пары, а также клеймо о приёме ОТК и приёмщиком.

Буксовые подшипники качения монтируются в деталь, которая называется буксой. Буксы колёсной пары передают силы тяги или торможения на раму тележки от оси вращающейся колёсной пары, а также воспринимают силу тяжести электровоза, динамические силы от взаимодействия колёс и рельсов. На рис. 3.17 показан буксовый узел электровозов ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80 с двумя цилиндрическими роликовыми подшипниками. Каждый подшипник состоит из наружного кольца 5, закреплённого в корпусе 1 буксы и внутреннего кольца 4, насаженного на шейку оси в горячем состоянии при температуре 100–120°С с натягом 0,04–0,06 мм; между наружным и внутренним кольцами расположены ролики 8, которые могут свободно перекачиваться по кольцам. Кольца и ролики изготавливают из высококачественной стали. Внутренние кольца для надёжности закреплены гайкой 3, зафиксированной от откручивания пластиной (планкой), закреплённой на торце оси болтами. Дистанционные кольца 9 и 10 предназначены для регулировки расположения внутренних и внешних колец по отношению к продольной плоскости симметрии буксы. Корпус буксы заполняют густой смазкой и закрывают спереди крышкой 2. Со стороны колеса к корпусу крепится заднее кольцо с сальником, который вместе с лабиринтным кольцом 7, напрессованным на предподступичную часть оси, препятствует выбросу смазочного материала. Наружная часть корпуса буксы определяется конструкцией буксового рессорного подвешивания и способом связи буксы с рамой тележки.

Ролики подшипников расположены в кольце с гнездами 11, который называется сепаратором. Он создаёт фиксированное расстояние между роликами по окружности подшипника и направляет качение роликов по дорожкам качения колец.

Цилиндрические ролики в случае радиально-упорных подшипников воспринимают радиальные и поперечные силы (правый и левый подшипники – радиально-упорные односторонние, рис. 3.17). Однако для восприятия больших осевых (поперечных) сил более совершенными являются конические подшипники с наклонными дорожками качения и коническими роликами (рис. 3.18). Но они требуют высокоточного монтажа подшипника на буксу.

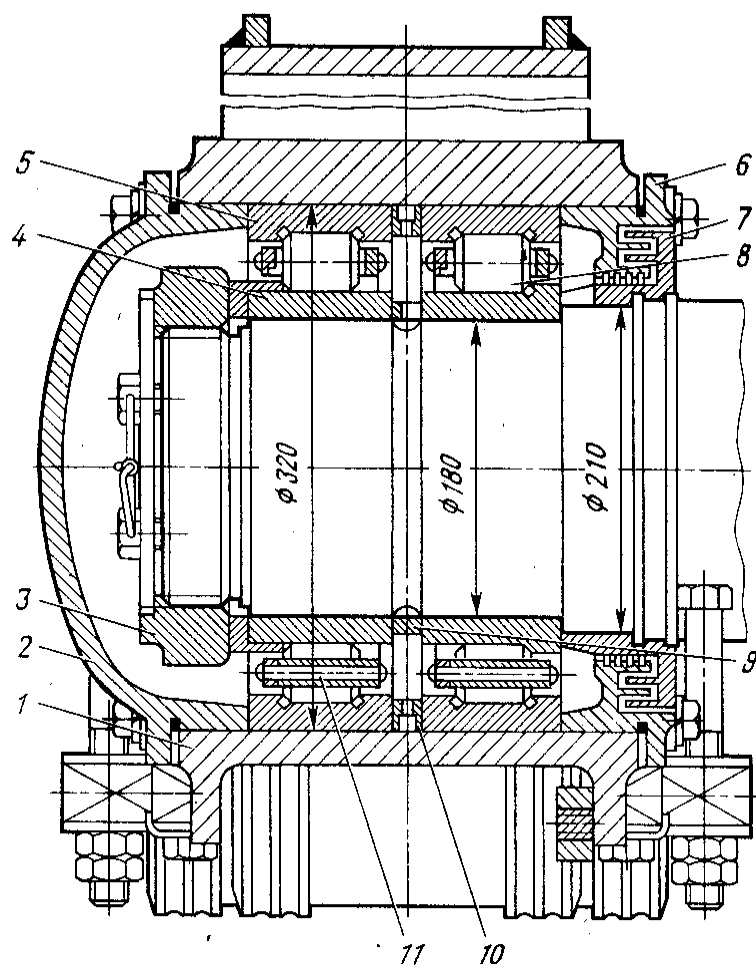


Рис. 3.17. Букса электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80

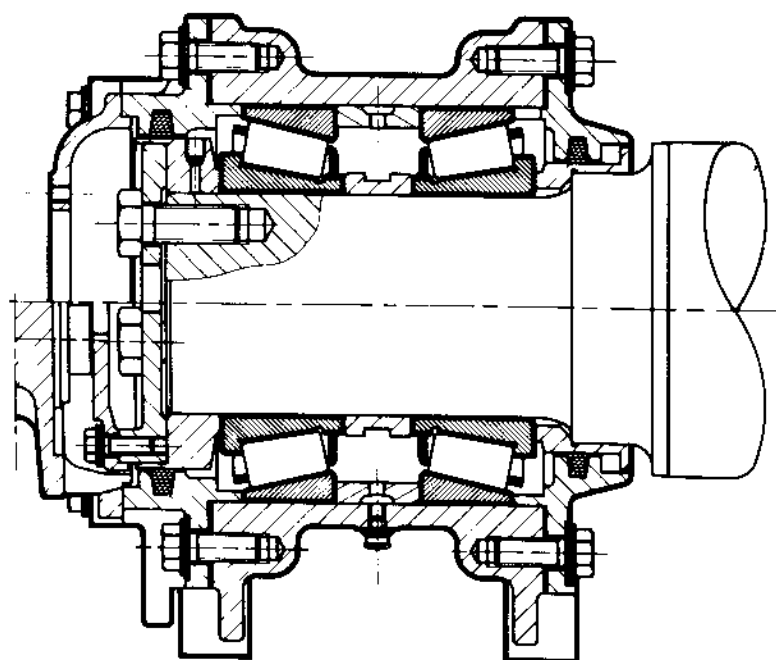


Рис. 3.18. Букса с коническими подшипниками

Ра́мы тележек, как и кузова, предназначены для восприятия статических и динамических сил, действующих от кузова, железнодорожного пути и оборудования, которое размещено на раме тележки (двигатели, редукторы, тормозное и рессорное оборудование). Обычно рамы тележек имеют типовую схему: две продольные балки и две, три поперечные. Для размещения на раме различного оборудования на балках располагают дополнительные детали для крепления: кронштейны, валики, втулки шпинтоны. В настоящее время получили распространение сварные рамы, состоящие из балок коробчатого сечения, сваренные из стальных штампованных или прокатных профилей.

Для рамы тележек электровозов широко применяется технология изготовления рам из отдельных фасонных листов, свариваемых затем в целую конструкцию. Детали, привариваемые к балкам, нарушают сплошность структуры и таким образом снижают прочность конструкции. Поэтому при конструировании рам стараются использовать простые формы балок без изгибов и по возможности без кронштейнов, усиливая те места рамы, где прикладывается большая нагрузка.

На рис. 3.19 показана рама тележки электровозов ВЛ10, ВЛ11, ВЛ80, изготовленная из сварных листов и состоящая из продольных, концевых 13, 14 и шкворневых балок. В середине рамы сечение боковин продольных балок увеличено, так как в этом месте передаётся нагрузка от кузова. Кроме того, в середине имеются мощные кронштейны 3 для крепления гасителей колебаний кузова. Средняя поперечная балка 7 имеет в середине гнездо для размещения шкворневого устройства. В нижней части этого гнезда имеются кронштейны для подвешивания тяговых двигателей. Кронштейны 6 предназначены для размещения деталей рессорного подвешивания кузова. Тормозная рычажная передача подвешивается через кронштейны 9, 12. Кронштейны 4, 8 служат для подвешивания рычагов ручного тормоза. Площадки 5 предназначены для крепления тормозных цилиндров. Кронштейны 10, 11 необходимы для крепления поводков, соединяющих буксы с рамой тележки, через них передаются продольные силы тяги и торможения на раму тележки. Накладка 2 предназначена для распределения сил, действующих на боковину рамы от кузова, передающихся через рессорное подвешивание.

В настоящее время многие фирмы ведут теоретические и экспериментальные работы по созданию рам из полимерных материалов с включением графитовых волокон для повышения прочности и жёсткости конструкции. Такие рамы, как ожидается, позволят отказаться от первичного рессорного подвешивания и использовать в качестве него гибкие боковины.

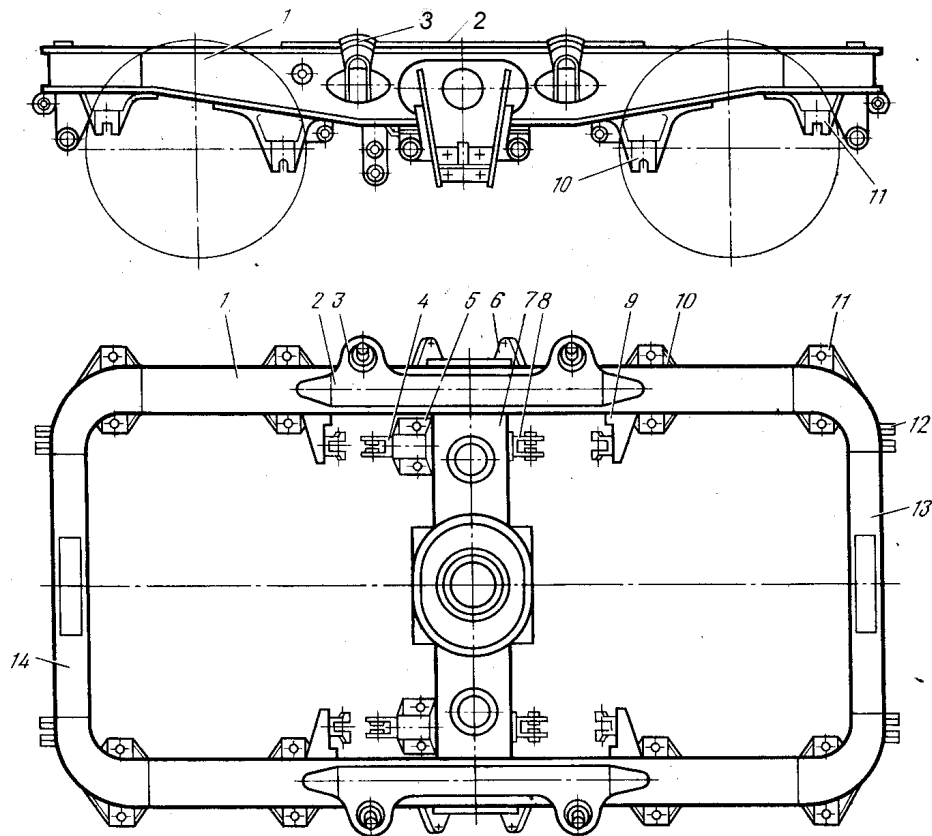


Рис. 3.19. Рама тележки электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80

3.5. Кузова электровозов и электропоездов

Кузова электровозов и электропоездов различаются по назначению и поэтому имеют ряд конструктивных особенностей.

На магистральных электровозах применяются кузова закрытого (вагонного) типа с размещением кабин управления по концам. У маневровых электровозов применяют кузова капотного типа с расположением кабины управления посередине электровоза. Это сделано для того, чтобы увеличить обзор машинистом пути впереди и позади локомотива. В этом типе кузова всё оборудование располагается под капотом впереди и позади кабины.

Кузова вагонов электропоездов имеют кабины управления только на головных вагонах.

Кузов магистрального электровоза, как правило, состоит из главной рамы, боковых и торцевых стен и крыши. Рама кузова является основанием, которое воспринимает все нагрузки от установленного на нём оборудования, и к которому крепятся стены.

Кузова электровозов с главными рамами воспринимают продольные силы, передающиеся от автосцепок. Рама кузова 1 (рис. 3.20) состоит из жёсткого буферного бруса 10, в котором имеется гнездо для установки автосцепки 2. Продольные силы от этого бруса передаются на две хребтовые балки 4, расположенные на высоте автосцепки, т.е. 1050 мм от

уровня головки рельса. Эти балки охватывают рамы тележки с зазором, достаточным для поворота тележки при вписывании её в кривую. В средней части рамы продольные балки связаны между собой шкворневыми балками 9 и 3 коробчатого сечения, на которых установлены шкворни 11, передающие продольные силы от тележек к кузову; кроме того имеются поперечные балки 6 и 5 для установки трансформатора. Для увеличения жёсткости конструкции рамы имеют продольные 8 и поперечные 7 балки. Боковые стены и крыша представляют собой каркас, выполненный из прокатных и гнутых профилей, обшитых стальным листом 2,5 мм. Для повышения жёсткости стенок кузова листы обшивки имеют штампованные продольные гофры. В крыше предусмотрены люки для монтажа электрического и пневматического оборудования.

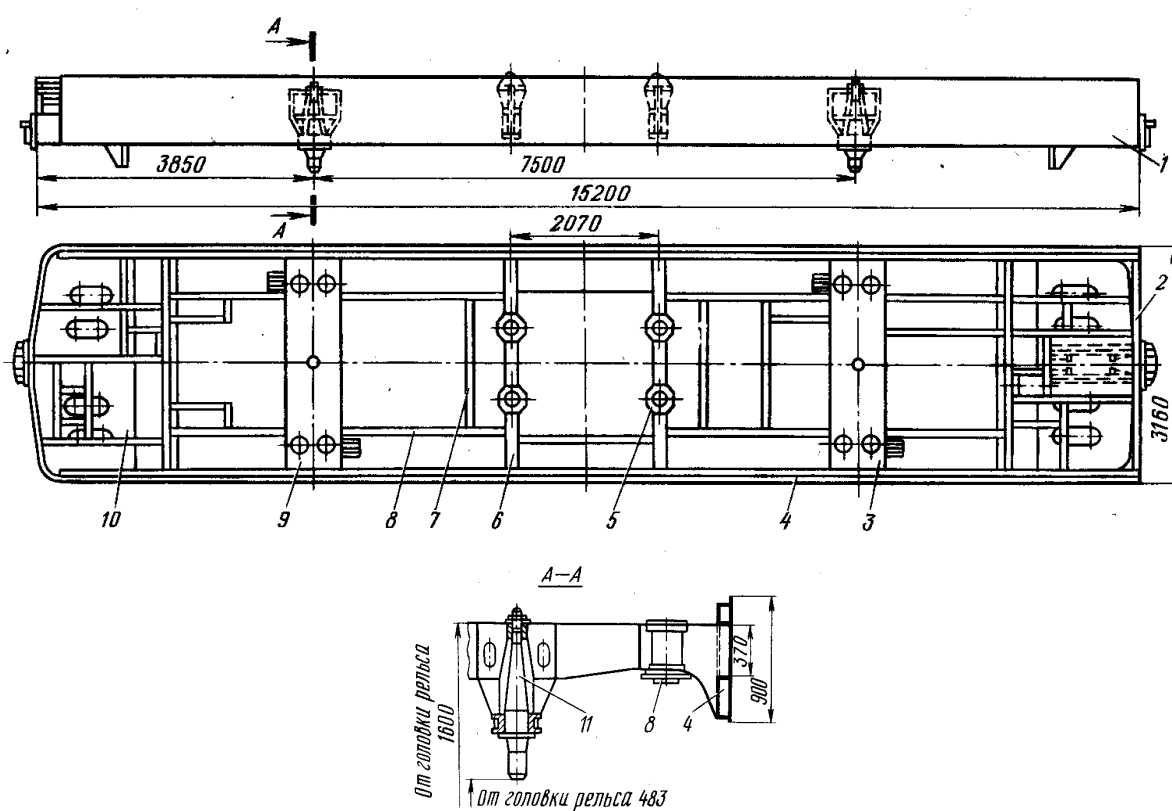


Рис. 3.20. Рамы кузовов электровозов ВЛ10 и ВЛ80

Цельнонесущие кузова применяются на электропоездах магистральных железных дорог и вагонах метрополитена. Силы, действующие на кузов, воспринимаются элементами кузова (боковыми стенками, крышей, полом). Это позволяет обеспечить прочность кузова при значительно меньшей затрате металла.

Чтобы исключить коррозию металла кузова, многие фирмы, выпускающие подвижной состав, изготавливают кузова из нержавеющей стали или из алюминиевых сплавов. Для обеспечения требуемой жёсткости алюминиевого кузова на изгиб в конструкции широко применяют различные фасонные профили.

3.6. Взаимодействие колёсных пар и рельсового пути

При качении, нагруженной силами веса электровоза, колёсной пары по рельсовому пути, имеющему как геометрические неровности пути, так и силовые (проявляющиеся при наезде колеса на рельс), возникают сложные пространственные перемещения оси колёсной пары, на буксы которой через рессорное подвешивание опирается рама тележки, а через неё – кузов. Это приводит к деформации нижних витков пружины буксового подвешивания, что вызывает появление сил, нарушающих равновесие рамы тележки и всего того, что на неё опирается – возникают колебания надрессорного строения электровоза, а именно – подрессоренной части тележки и кузова.

На преодоление сопротивления, которое эти колебания оказывают на движущиеся электровоз и поезд, расходуется энергия, потребляемая из контактной сети. При выполнении тяговых расчётов эти затраты энергии учитывают как часть основного сопротивления движению поезда.

Для снижения величины этих колебаний необходим или абсолютно ровный путь, что невозможно, или ограничение этих колебаний так, чтобы они не превышали допустимых значений. С этой целью используют так называемое рессорное подвешивание, состоящее из системы упругих и демпфирующих элементов.

Упругие элементы (пружины, листовые рессоры, пневморессоры, резиновые элементы) обеспечивают возможность относительного перемещения кузова тележек и других частей. Демпфирующие элементы – гасители (фрикционные, гидравлические, пневматические) предназначены для рассеяния энергии колебаний путём преобразования её в тепловую.

Обычно рессорное подвешивание проектируют так, чтобы период колебаний рамы тележки или кузова был значительно больше, чем период возмущающего воздействия от пути (период колебаний – это время одного колебания массы на пружине, измеряемое в секундах).

При наезде на неровность сила, действующая на массу, определяется жёсткостью и деформацией пружины, причём нарастание этой силы происходит постепенно, масса выводится из положения равновесия и затем вне предела неровности развиваются свободные колебания, которые необходимо быстрее «погасить». Это осуществляют гасители колебаний. Таким образом, происходит сглаживание во времени действия возмущения от неровности пути. Колебания отдельных тел, составляющих механическую часть э.п.с. (рис. 3.21), различают по видам и называют: вдоль оси Z – подпрыгиванием, вдоль оси Y – отсосом, вдоль оси X – поддёргиванием. Этим видам колебаний соответствуют угловые колебания: φ_x – боковая качка, φ_y – галопирование, φ_z – виляние.

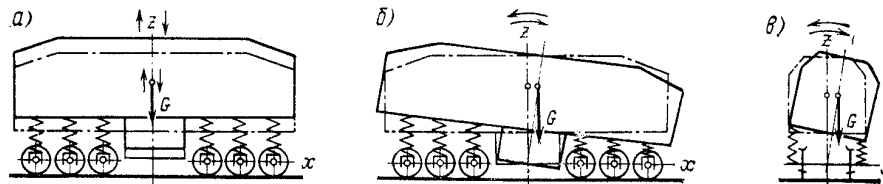


Рис. 3.21. Основные виды колебаний электровоза:
а – подпрыгивание; б – галопирование; в – боковая качка

При движении колёсной пары вдоль пути, кроме вертикальных возмущений, возникают возмущения, действующие в горизонтальной плоскости. Эти возмущения имеют двойную природу. С одной стороны, эти возмущения вызываются неровностями пути в плане, с другой – физико-химическими процессами, происходящими в контакте колеса с рельсом.

Развитию колебаний колёсной пары в поперечной плоскости способствуют два обстоятельства: первое, колёса колёсной пары имеют конусные поверхности качения, второе, при нагруженной силами колёсной пары в контакте колёс с рельсами возникают силы крипа, которые при малых скоростях движения экипажа имеют характер демпфирующих сил, и с ростом скорости движения их величина уменьшается. Уменьшение демпфирования способствует интенсивным колебаниям колёсных пар, тележек и всего экипажа.

Это подтверждается анализом математических выражений сил крипа. Согласно теории Картера, продольные и поперечные силы крипа пропорциональны относительным скоростям скольжения колёсных пар:

$$F_{кx1} = -k_x \left(\frac{i}{r} y - \frac{s}{v} \dot{\phi}_z \right),$$

$$F_{кy1} = -k_y \left(\frac{1}{v} \dot{y} + \phi_z \right),$$

где k_x и k_y – коэффициенты крипа, зависящие от вертикальной нагрузки на колёсную пару, диаметра колеса, радиуса головки рельса, упругих постоянных материала бандажа и рельса;

i – конусность бандажа;

v – скорость движения экипажа;

s – расстояние между точками контакта колёс с рельсами поперёк пути;

$y, \dot{y}, \phi_z, \dot{\phi}_z$ – координаты и их скорости при поперечном и угловом движении колёсной пары.

Из анализа выражений, стоящих в скобках, видно, что составляющие сил, зависящие от скоростей координат, имеют демпфирующую природу, но с ростом скорости движения эти составляющие уменьшаются, снижая демпфирующий эффект.

Первое обстоятельство, связанное с конусными бандажами, проявляется при больших (более 200 км/ч) скоростях движения, когда силы

крипа практически не оказывают ощутимого влияния. Скорость, при которой наблюдаются интенсивные колебания в горизонтальной плоскости, называют *критической*.

Повышение критической скорости движения для скоростных поездов осуществляется выбором величин конусности бандажа и очертаний головки рельса, а также поддержанием её в заданных пределах в процессе эксплуатации подвижного состава.

Для подвижного состава со средними скоростями движения до 160–200 км/ч снижение интенсивных колебаний колёсных пар и тележки осуществляется внесением дополнительного демпфирования, путём установки гасителей колебаний, действующих при вилении тележки.

3.7. Рессорное подвешивание, его характеристика

Рессорное подвешивание должно обеспечивать требуемую плавность движения экипажа как в вертикальном, так и поперечном направлении. Хорошая плавность движения экипажа выражается малыми величинами ускорений кузова и относительно большими периодами колебаний кузова. При этих условиях человек, находящийся в кузове локомотива (электровоза, тепловоза) или электропоезда, будет чувствовать себя хорошо.

Для получения больших периодов $T = 1/f$ колебаний кузова в вертикальной плоскости (порядка 1 колебания в секунду – 1 Герц) необходимо иметь большие величины статического прогиба рессорного подвешивания. Согласно формуле, определяющей частоту или период колебаний массы на упругом элементе,

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{M}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9.81}{\Delta}},$$

где c – коэффициент жёсткость упругого элемента;

M – масса, опирающаяся на упругий элемент.

Из этой формулы следует, что при периоде колебаний надрессорного строения или кузова равным 1 секунде статический прогиб Δ должен быть равен 250 мм.

Такой статический прогиб технически трудно осуществить рессорным подвешиванием, состоящим из одного комплекта пружин (одна ступень подвешивания), и поэтому используют двухступенчатое рессорное подвешивание, чтобы распределить прогиб между буксовой и центральной ступенями.

В настоящее время любой подвижной состав для магистральных железных дорог выполняют с двухступенчатым рессорным подвешиванием.

Устройство рессорного подвешивания с требуемым периодом колебаний позволяет достигнуть две цели.

Первая, распределить взаимодействие масс электровоза с неровностями пути по времени и таким образом снизить силы, действующие на путь и электровоз.

Запишем формулу первого закона Ньютона для массы всего электровоза как

$$M\ddot{z} = F,$$

а затем перепишем её с учётом разделения массы электровоза на кузов и тележки в виде:

$$(m_k + m_t)\ddot{z} = F_k + F_t,$$

где $M = m_k + m_t$ – масса всего электровоза;

\ddot{z} – вертикальное ускорение, действующее на массу электровоза;

$F = F_k + F_t$ – суммарная сила, действующая на электровоз при наезде колёсных пар на неровности.

Можно убедиться, что на каждую часть электровоза будет действовать сила, пропорциональная массе и ускорению. Если массы соединяются между собой упругими элементами, то действие сил будет распределено по времени. В первый момент времени взаимодействия электровоза с железнодорожным путём будет сначала взаимодействовать масса m_t , которая значительно меньше массы всего электровоза.

Вторая, снизить ускорения, действующие на тележки и кузов, поскольку силы передаются на подрессоренную массу через пружины рессорного подвешивания и пропорциональны коэффициенту k . Формулу для этой силы можно записать как

$$F = k\eta,$$

где k – коэффициент жёсткости рессорного подвешивания, Н/м;

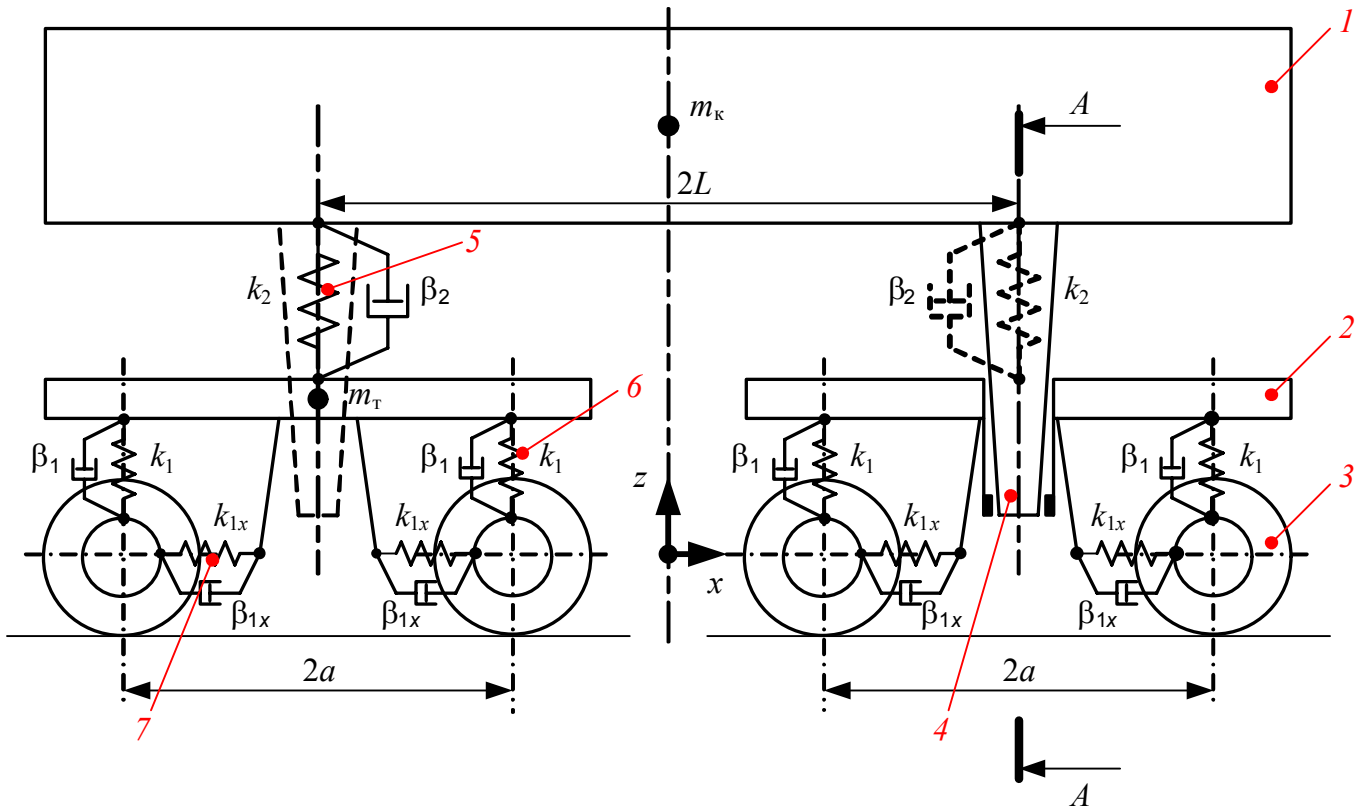
η – деформация рессорного подвешивания.

Обычно рессорное подвешивание выполняется с использованием витых пружин, которые имеют характеристику, называемую коэффициентом жёсткости, измеряемую в Н/м или Н/мм. Физически коэффициент жёсткости равен величине силы в Н при единичной деформации или прогибе пружины (перемещение витков пружин), под действием внешней силы. Уменьшая величину коэффициента жёсткости пружины, можно уменьшить передаваемую силу на кузов или тележку при фиксированных неровностях на железнодорожном пути. Уменьшение сил снижает величины ускорений кузова и тележки.

Снижение величины ускорений, действующих на кузов, улучшает показатель, которым оценивают самочувствие пассажира или локомотивной бригады при движении подвижного состава по неровному железнодорожному пути.

Этот показатель называют коэффициентом плавности хода и он является одним из основных при оценке динамических качеств пассажирского подвижного состава.

В общем случае систему рессорного подвешивания можно изобразить в виде кинематической схемы (рис. 3.22).



Сечение А-А

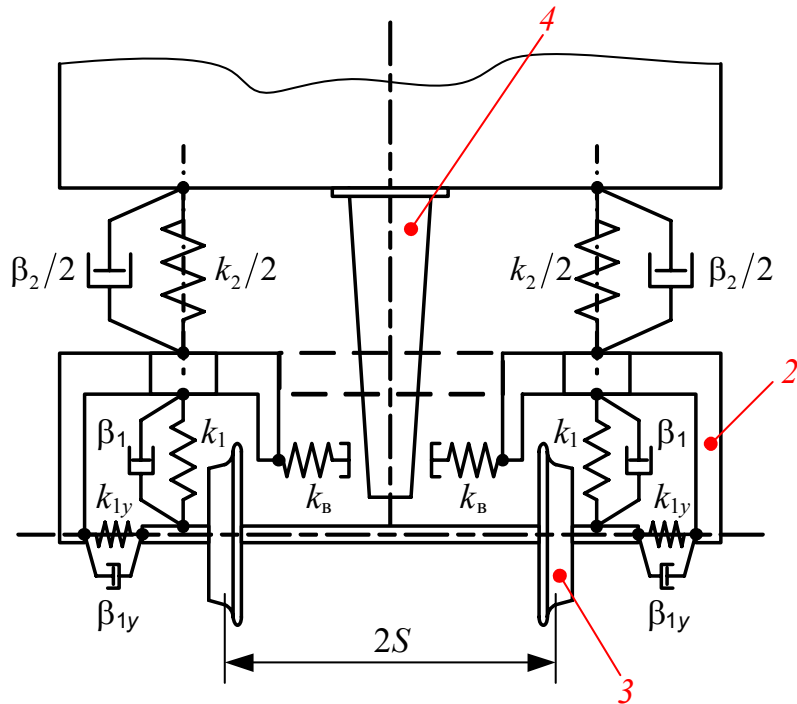


Рис. 3.22. Схема рессорного подвешивания экипажа $2\sigma-2\sigma$
 1 – кузов экипажа; 2 – подрессоренная часть тележки; 3 – колёсная пара (неподрессоренная часть); 4 – шкворень кузова; 5 – вторичное рессорное подвешивание; 6 – первичное рессорное подвешивание; 7 – продольная связь колёсной пары с рамой тележки

На кинематической схеме показаны основные линейные размеры (геометрические параметры) экипажной части тягового подвижного состава, упругие и диссипативные параметры связей основных масс экипажной части – кузова m_k и подрессоренных частей тележек. Под связями понимаются технические устройства (пружины, гасители, рессоры или другие элементы), обеспечивающие требуемые (расчётные) характеристики – коэффициенты жёсткости и демпфирования.

Геометрические параметры:

$2L$ – база кузова (расстояние между шкворневыми устройствами);

$2a$ – база тележки (расстояние между колёсами).

Упругие и диссипативные связи:

k_1, β_1 – коэффициент жёсткости и коэффициент демпфирования упругого и диссипативного элементов эквивалентных первичному (буксовому) рессорному подвешиванию, размерности Н/м и (Н·с)/м соответственно;

k_2, β_2 – то же для вторичного (кузовного) рессорного подвешивания;

k_{1x}, β_{1x} – коэффициент жёсткости и коэффициент демпфирования упругого и диссипативного элементов эквивалентных элементам связей колёсных пар с рамой тележки в продольном (по оси x) направлении. На практике – это упругие элементы буксовых (ленкерных) поводков;

k_{1y}, β_{1y} – то же, что и k_{1x}, β_{1x} только по оси y ;

k_B – коэффициент жёсткости упоров между кузовом и тележкой, которые создают упругую связь кузова с тележкой в поперечном направлении при выборке зазора. Практическая реализация конструкции этой связи зависит от применяемой конструкции вторичного рессорного подвешивания кузова.

На электровозах старых серий ВЛ80К вторичное рессорное подвешивание выполнялось в виде пружин, установленных на скользуны (скользящая опора), а для создания возвращающих сил, действующих на кузов электровоза при отклонении его от среднего положения (например, при движении в кривой) использовались пружинные устройства, которые постоянно касались шкворня.

На электровозах новых серий (ВЛ80с и других) во вторичном рессорном подвешивании применено люлечное устройство (рисунок 3.28), которое создаёт возвращающую силу при отклонении кузова от среднего положения. В этом случае $k_2/2$ следует понимать как коэффициент поперечной жёсткости части люлечного устройства (см. описание ниже), а k_B – как коэффициент жёсткости упругих элементов ограничительных упоров, устанавливаемых на раме кузова. Кузов при отклонении упирается с помощью этих упоров на продольные балки рамы тележки.

Подобные схемы используются для расчёта динамических показателей механической части локомотива (электровоза, тепловоза).

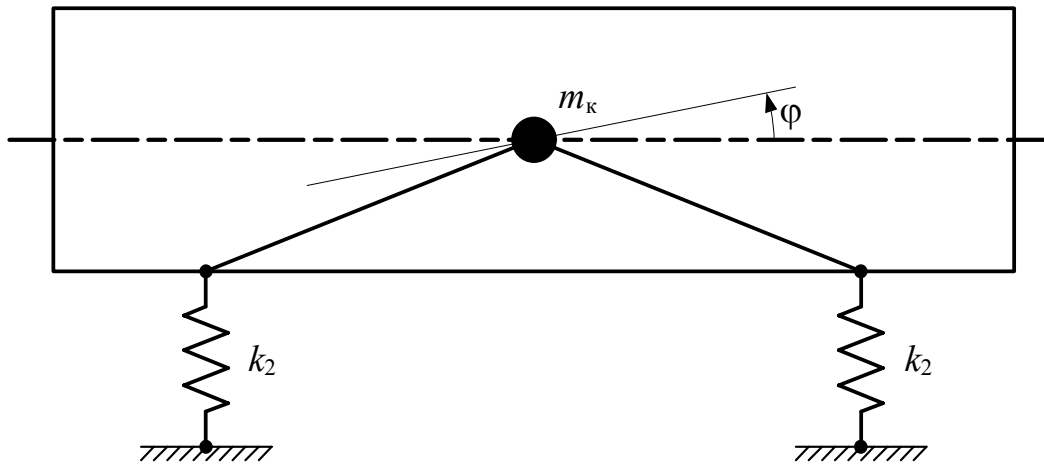


Рис. 3.23. Схема для расчета парциальной частоты вертикальных колебаний кузова

Например, с помощью схемы можно определить парциальную (собственную) частоту вертикальных колебаний кузова на вторичном рессорном подвешивании (рис. 3.23), считая, что кузов можно рассматривать как сосредоточенную массу, колеблющуюся на двух пружинах. Тогда собственная частота в Гц такой системы будет равна

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2k_2}{m_k}}.$$

Если принять что $m_k = 100$ т, $k_2 = 1,97 \cdot 10^6$ Н/м, то $f = 1$ Гц, т.е. кузов будет под действием возмущений со стороны пути совершать свободные колебания с частотой одно колебание в секунду.

Для подрессоривания кузова в поперечной к оси пути плоскости необходимо применять упругие элементы, обеспечивающие перемещение кузова до 50 мм. Такие прогибы трудно осуществлять обычными пружинами и поэтому в подвешивании очень широко используются маятниковые (люлечные) устройства с длиной маятника (люлечной подвески) не менее 250 мм. Длина люлечной подвески находится из условия получения величины периода колебаний кузова в поперечном направлении равной примерно 1 секунде по формуле

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}},$$

определяющей частоту маятника с длиной подвески l .

Два основных параметра – статический прогиб и длина люлечной подвески – положены в основу конструирования элементов рессорного подвешивания экипажей в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Рассмотрим несколько типовых конструкций рессорного подвешивания современных экипажей.

На рис. 3.24 показана конструкция буксовой ступени рессорного подвешивания грузовых электровозов серии ВЛ, которая являлась унифицированной для этих электровозов.

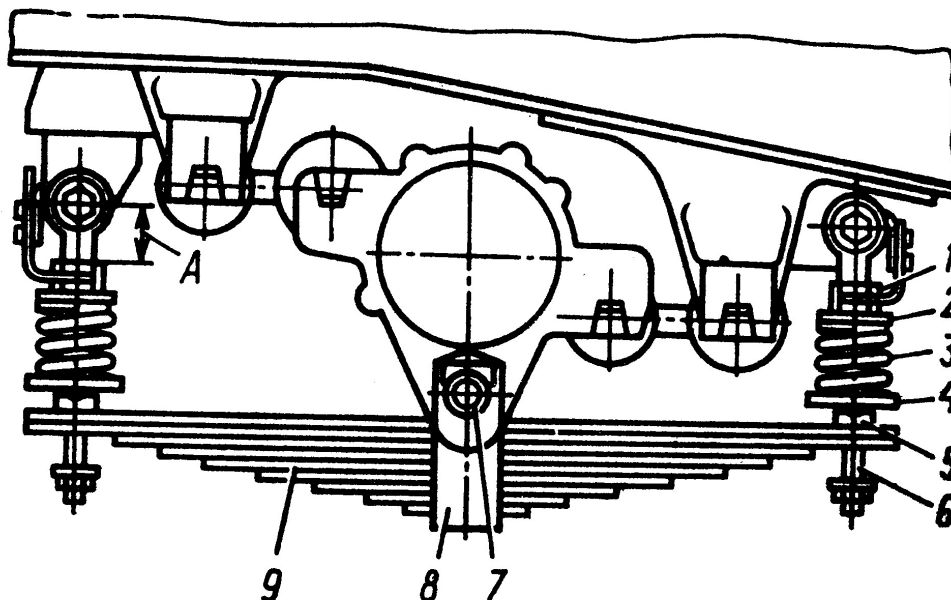


Рис. 3.24. Буксовая ступень рессорного подвешивания

1 – гайка; 2 – фланец; 3 – пружина; 4 – опорный фланец; 5 – опора; 6 – рессорная стойка; 7 – валик; 8 – хомут

Рессорное подвешивание выполнено по схеме последовательной работы двух концевых пружин 3 с листовой рессорой 9. Листовая рессора обладает упругими свойствами из-за изгиба рессорных пластин, из которых она выполнена, и демпфирующими (рассеивающими энергию колебаний) свойствами за счёт сил сухого трения, возникающих между пластинами при их изгибе. Пластины листовой рессоры стянуты хомутом 8, который обеспечивает соединение пластин в одну деталь и создаёт предварительную силу сжатия пластин, которая обеспечивает возникновение сил трения между пластинами. Концевые пружины 3 располагаются на рессорных стойках 6, как на направляющих. Рессорные стойки шарнирно (валик 7) крепятся к раме тележки и свободно проходят через отверстия в двух верхних (коренных) листах листовой рессоры. Концевые пружины опираются на концы корневых листов рессоры через опорный фланец 4 и опору 5. Концевые пружины выполняют функции корректирующих элементов, обеспечивающих требуемую по расчёту жёсткость буксового узла, так как жёсткости рессор имеют фиксированные величины, выполненные в соответствии с ГОСТ на них.

Рассмотренное рессорное подвешивание имеет недостаток, заключающийся в том, что в процессе эксплуатации коэффициент трения между пластинами рессор значительно увеличивается из-за выдавливания и химического разложения графитовой смазки между листами.

В результате этого рессора практически выключается из последовательной работы с пружинами. В этом случае работают (деформируются при колебаниях экипажа) только концевые пружины и два коренных листа, которые не рассчитаны на это, в результате происходят изломы витков пружин или концов коренных листов.

В настоящее время применяется конструкция буксового рессорного подвешивания, состоящая из двух отдельных элементов – упругого элемента (это – винтовые пружины) и гасителя колебаний (фрикционный или гидравлический). От типа гасителя зависит природа сил, возникающих при работе гасителя (силы сухого трения или жидкостного сопротивления).

На рис. 3.25 приведена конструкция буксового подвешивания современного электровоза серии ЭП10 с винтовыми пружинами и с гидравлическим гасителем колебаний.



Рис. 3.25. Механическая часть электровоза ЭП10

Подобные схемы рессорного подвешивания применяются практически на всех локомотивах, дизель- и электропоездах и отличаются только типом применяемых гасителей.

На рис. 3.26 показана конструкция буксового рессорного подвешивания электропоезда ЭР200. Рама тележки опирается на буксу через две цилиндрические пружины 1. Параллельно пружинам включён гидравлический гаситель колебаний 2, ограничивающий колебания рамы тележки. Сила тяги на раму тележки передаётся через поводки 3, расположенные в разных уровнях по высоте, и таким образом, образуя шарнирный механизм, почти не создающий сопротивления деформациям буксовых пружин в вертикальном направлении.

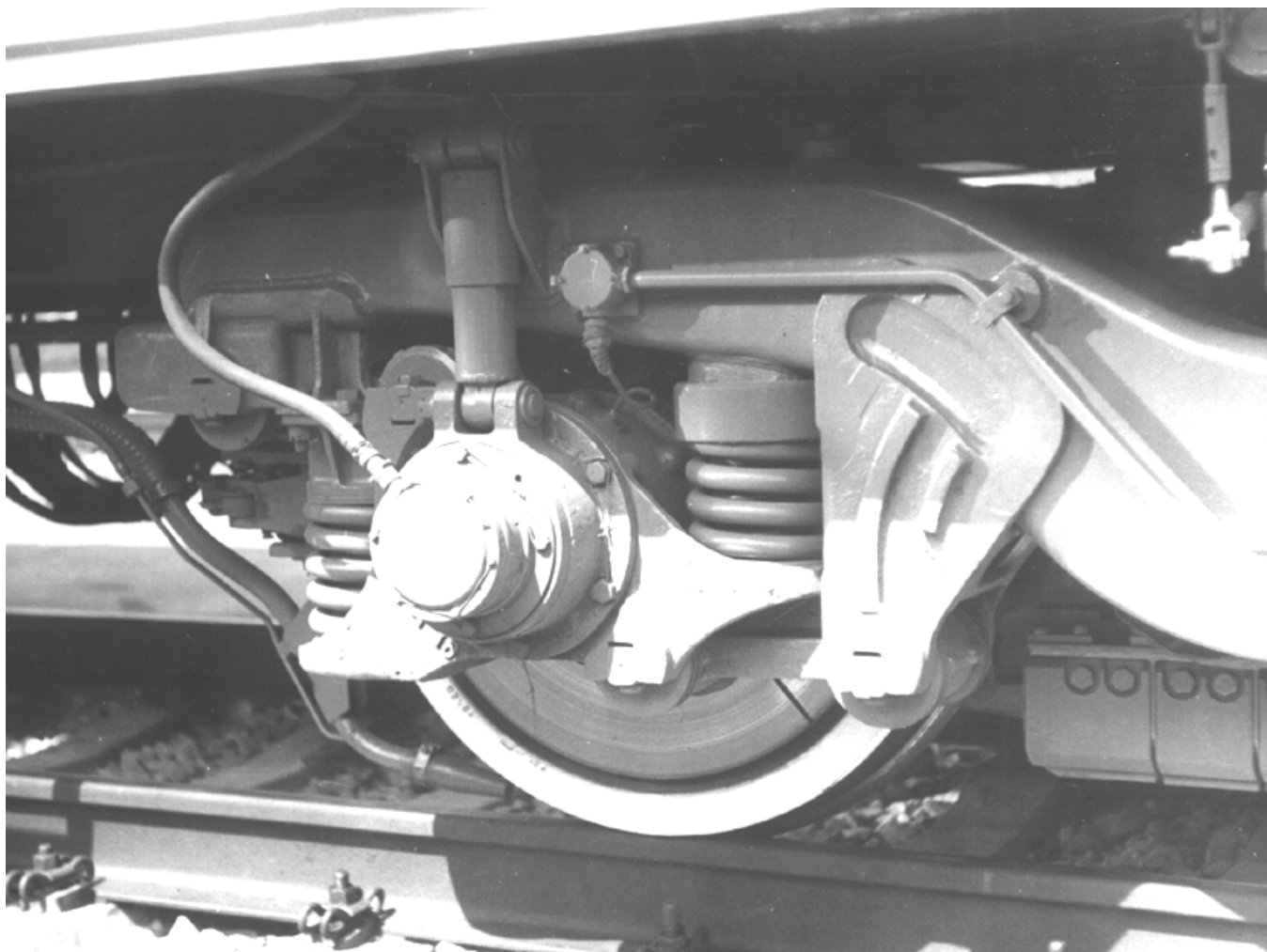


Рис. 3.26. Буксовое рессорное подвешивание электропоезда ЭР200

Для сокращения количества деталей в первичном рессорном подвешивании применяют рычажные буксы с закреплением буксы на раме тележки единственным шарниром 1 (рис. 3.27). Рессорное подвешивание реализуется пакетом цилиндрических пружин 2, расположенным на одной стороне рычага 3. Преимущество этой конструкции заключается в том, что можно реализовать требуемую жёсткость рессорного подвешивания в поперечной плоскости путём изменения жёсткости резинового амортизатора в поводке 4. На конце рычага устанавливается фрикционный гаситель колебаний (на рисунке показано посадочное место 5 под гаситель). Представленная конструкция рессорного подвешивания применена на тележке с нижним расположением рамы, что обеспечивает свободное расположение пружин центрального подвешивания полностью в пространстве между рамой и кузовом. Такие тележки применяются на дизельных поездах серии ДР и автотрисах серии АР.

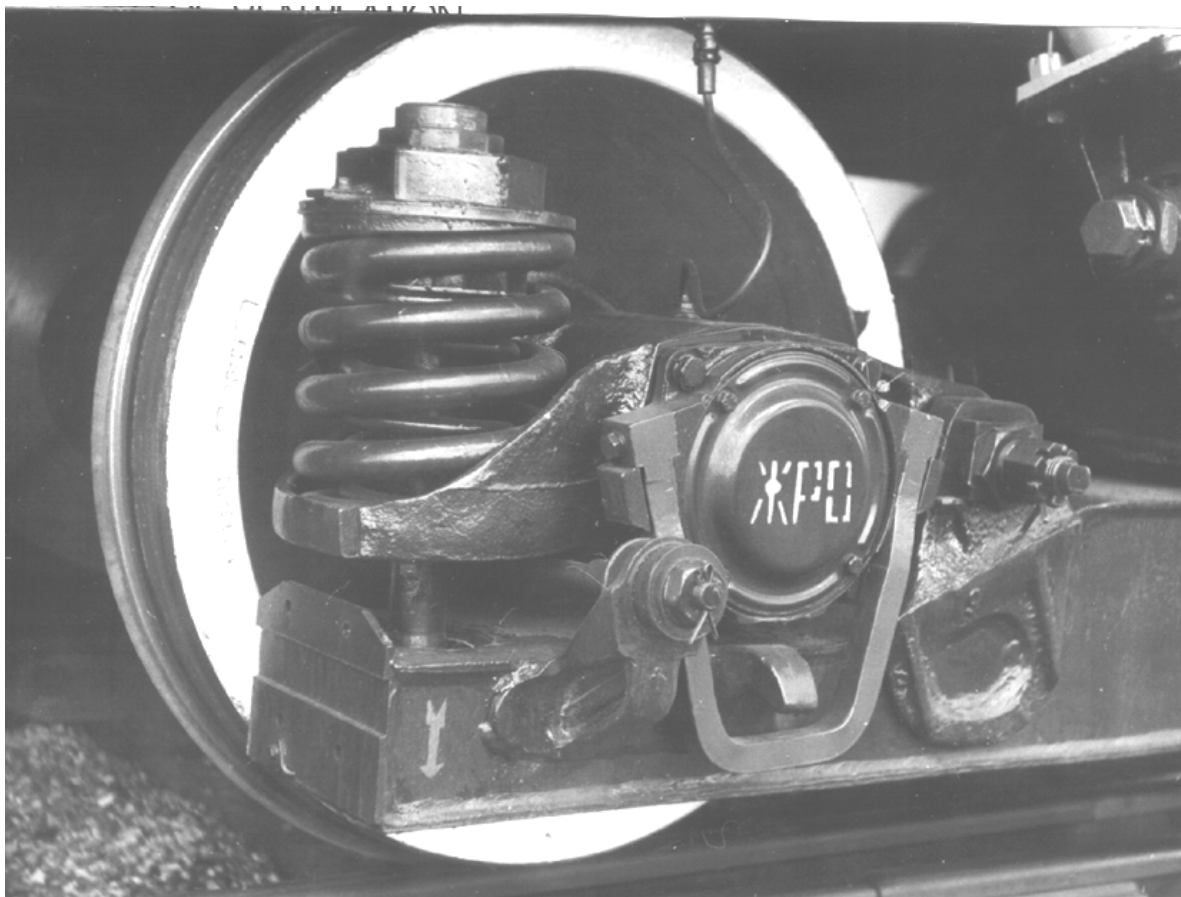


Рис. 3.27. Буксовое подвешивание тележки дизельпоезда ДР и автомотрисы АР

При создании вторичного рессорного подвешивания конструкторы встречаются с трудностями, связанными с совмещением в одном устройстве (потому что габариты ограничены!) возможностей подрессоривания кузова в вертикальном и поперечном по отношению к оси пути направлениях. Для подрессоривания в поперечном направлении широко используется уже рассмотренное свойство маятника, при отклонении которого от положения равновесия создаётся сила, возвращающая его в положение равновесия. На этом принципе основаны все конструкции люлечных устройств широко применяемые на тележках электропоездов и электровозов (например ЧС7, ЧС8, см. рис. 3.28). На рисунке в разрезе показано люлечное устройство с совмещёнными функциями подрессоривания в вертикальном и поперечном направлении.

На подвесках 1 находятся цилиндрические пружины 2, на которых расположена надрессорная балка 3, на неё опирается кузов электровоза. Таким образом, при перемещениях кузова в вертикальном и поперечном направлениях обеспечивается его подрессоривание и подвижность относительно тележек. Шкворень 4, закреплённый жёстко в раме тележки, не препятствует свободному поперечному перемещению кузова за счёт поперечных зазоров в шаровидном подшипнике 5. В продольном направлении для создания возможности передачи сил тяги зазоры исключаются и остаётся только технологический зазор 1–2 мм.

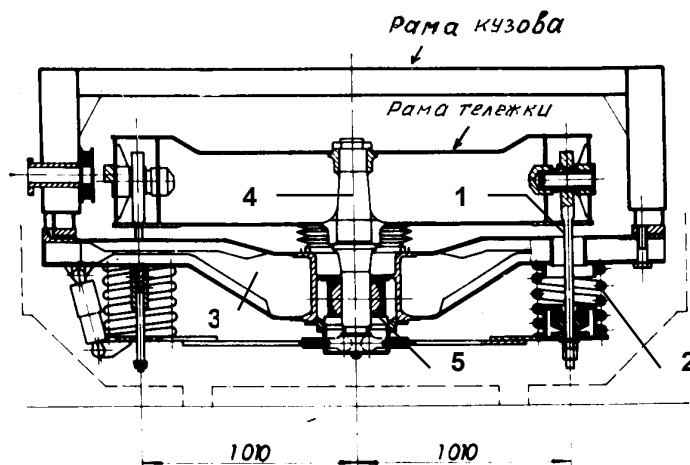


Рис. 3.28. Люлечное устройство электровозов ЧС7, ЧС8

Подобное люлечное устройство, но только с наклонными подвесками, применяется на всех грузовых электровозах серии ВЛ. На рис. 3.29 показан вид сверху тележки электровоза ВЛ10. Имеются четыре люлечных подвески с установленными на них пружинами для подрессоривания кузова в вертикальном направлении. Кузов опирается на нижние опорные шарниры 1, расположенные на нижнем конце подвески, противоположный конец подвески 2 опирается на верхние опорные витки пружины. Пружина нижними витками опирается на кронштейн 3 рамы тележки. На рисунке видна центральная поперечная балка тележки с гнездом, в которое входит шкворень, жёстко закреплённый на кузове. На поперечной балке в гнезде располагается шарнирная шкворневая связь, подобная рассмотренной в конструкции электровоза ЧС7.

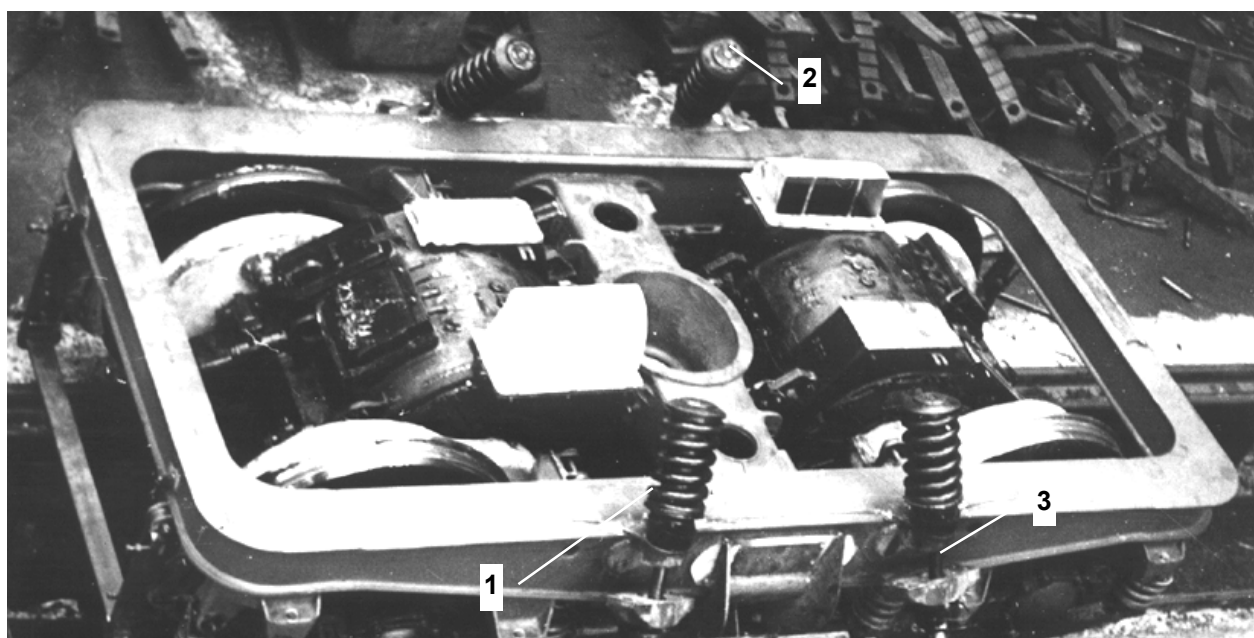


Рис. 3.29. Люлечное устройство тележки электровозов ВЛ10, ВЛ11 и ВЛ80

На рис. 3.30 подробно показано устройство одной люлечной подвески.

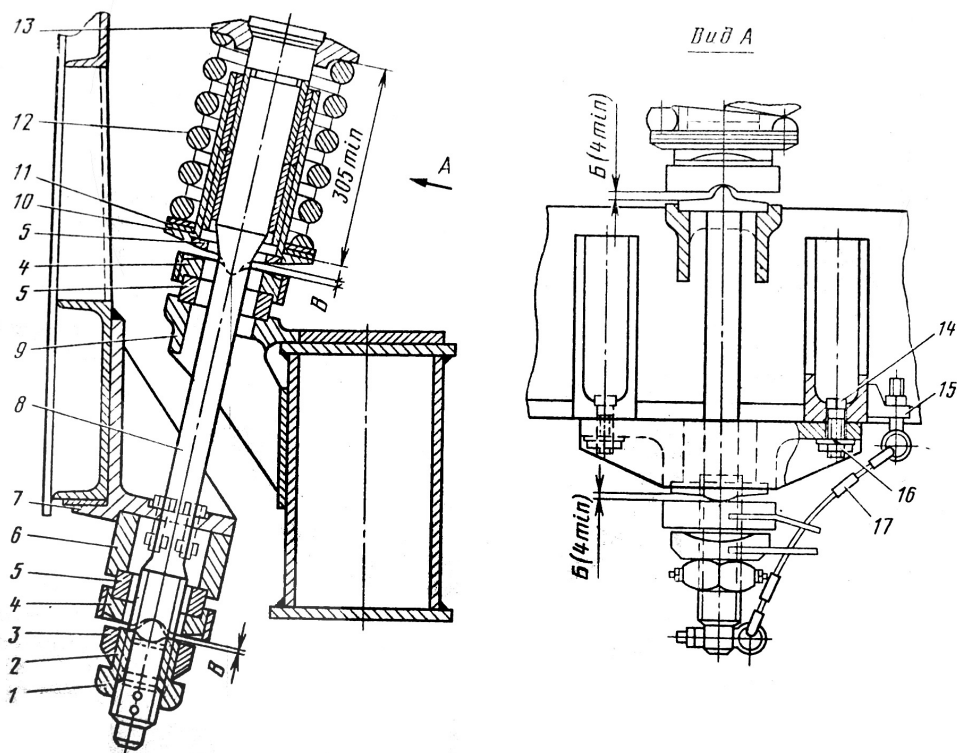


Рис. 3.30. Устройство люлечной подвески

Люлечное подвешивание применяется с целью обеспечить подрессоривание кузова в поперечном к оси пути направлении. Таким образом, реализуется принцип разделения масс кузова и тележки в горизонтальной плоскости и снижается воздействие электровоза на путь.

В результате подрессоривания кузова относительно тележки снижаются горизонтальные ускорения, действующие на кузов и на всё, что в нём находится.

Особенность рассматриваемой конструкции состоит в том, что в ней совмещены две функции – подрессоривание в поперечном направлении и в вертикальном направлении, осуществляемое с помощью пружины 12. На пружину через привалочный фланец 13 опирается стержень люлечной подвески 8. Пружина нижним опорным витком через регулировочные прокладки 11 опирается на опору 5. Опора 5 имеет цилиндрический выступ, располагающийся перпендикулярно плоскости чертежа. Этот выступ входит во впадину прокладки 4. Прокладка 4 имеет ещё впадину, расположенную перпендикулярно первой. Во впадину входит выступ опоры 5, которая опирается на кронштейн рамы тележки 9. Конструкция опор и прокладок создаёт своего рода шарнир – устройство, обеспечивающее поворот подвески 8 в поперечном и продольном направлениях относительно рамы тележки.

Таким образом, кузов, имея подобное устройство на нижнем конце стержня, может перемещаться относительно рамы тележки в поперечном направлении, а тележка может поворачиваться относительно вертикальной оси по отношению к кузову.

Для обеспечения безопасности движения, в случае поломки подвески, элементы нижнего шарнира и стержень с гайкой имеют скобы, через

которые пропущен страховочный трос 17, прикрепленный к кронштейну 15 на раме кузова.

При отклонении кузова от центрального положения возвращающая сила люлечного подвешивания изменяется прямо пропорционально перемещению. При перемещении в 15 мм в работу включается пружина упора, которая создаёт дополнительную силу, возвращающую кузов в среднее положение.

После перемещения в 30 мм в работу включается жёсткий упор, который находится вместе с пружиной на раме кузова, но упирающийся в боковину рамы тележки. Таким образом, ограничивается перемещение кузова относительно тележки, заданное габаритом для подвижного состава.

Для снижения трения и износа на стержне и в стакане 10 имеются марганцовистые втулки, позволяющие работать узлу трения с ограниченной смазкой.

Для снижения износа цилиндрических выступов и впадин на опорах-шарнирах, их поверхности закаливают на твёрдость 50 HRC и более (твёрдость, измеренная по Роквеллу).

Основные недостатки рассмотренных люлечных устройств заключаются в большом количестве деталей, наличии шарниров с поверхностным трением.

В настоящее время электровозостроительные фирмы стали широко применять так называемые «гибкие» пружины (flexicoil) в качестве элементов рессорного подвешивания. Основная конструктивная особенность этой пружины – большое количество витков, что даёт возможность изгибаться ей в поперечном направлении (рис. 3.31). Этот элемент отвечает в полной мере требованию совместимости функций подрессоривания кузова в вертикальном и поперечном направлениях при относительно малых занимаемых габаритах и, что особенно важно, отсутствие элементов поверхностного трения при отклонении кузова в поперечном направлении.

На рис.3.31 показана гибкая пружина на стенде при поперечной её деформации. На рисунке видно как происходит изгиб этой пружины. Для уменьшения поперечной жёсткости в комбинации с пружиной применяют резиновые блоки, расположенные на опорных витках вверху и внизу пружины.

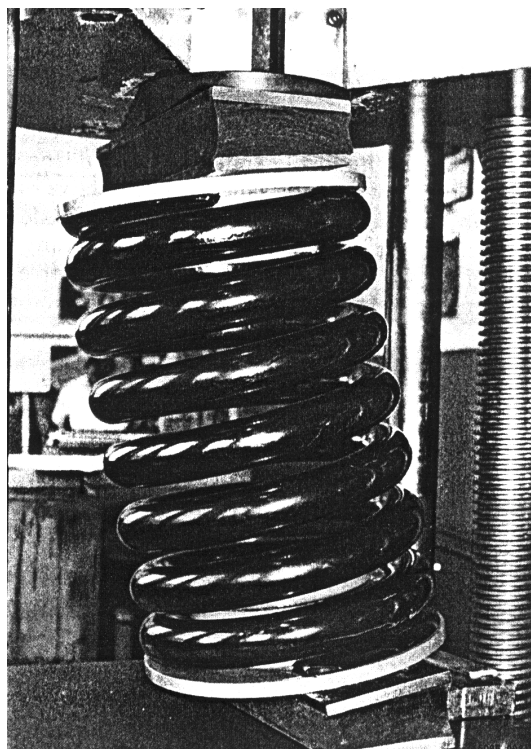


Рис. 3.31. Пружина гибкая в поперечном направлении

На рис. 3.32 показана тележка электровоза серии Е101 фирмы АВВ с гибкими в поперечном направлении пружинами в центральном подвешивании. На отечественном подвижном составе подобное рессорное подвешивание применено на тепловозах ТЭП70, ТЭП75, ТЭП80, электровозах ЭП200 (Коломенского тепловозостроительного завода). На опытных электровозах ЭП200 гибкие пружины применены в первичном рессорном подвешивании, таким образом в значительной мере использован принцип «разделения масс» и осуществлено подрессоривание в поперечном направлении не только кузова, но и части оборудования тележки (рама, два тяговых двигателя, рессорное подвешивание, тормозное оборудование).

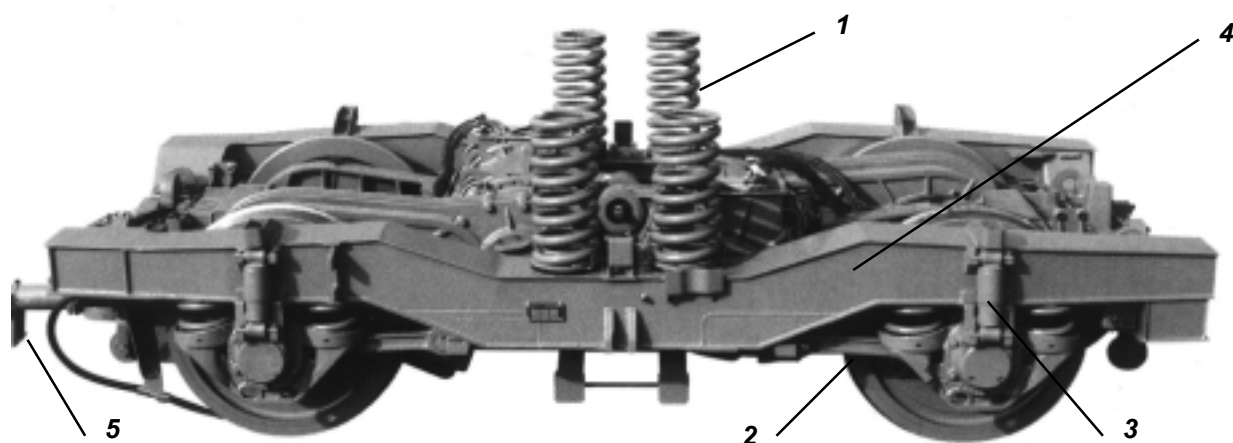


Рис. 3.32. Тележка с центральным рессорным подвешиванием типа «flexicoil»
1 – гибкие пружины (flexicoil); 2 – поводок буксы; 3 – буксовый гаситель колебаний; 4 – рама тележки; 5 – наклонная тяга

4. ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

4.1 Основы устройства железнодорожного пути, план и профиль. Габариты

Железнодорожный путь - это единый комплекс инженерных сооружений, предназначенный для пропуска по нему поездов с установленной скоростью. От состояния пути зависят непрерывность и безопасность движения поездов, а также эффективное использование технических средств железных дорог.

К путевому хозяйству железнодорожного транспорта относятся собственно путь со всеми его устройствами, а также производственные подразделения и хозяйственные предприятия, обеспечивающие бесперебойную работу и проведения планово-предупредительных ремонтов пути. Путевое хозяйство составляет одну из важнейших и емких отраслей железнодорожного транспорта, в значительной мере определяющей выполнение плана перевозок. На долю путевого хозяйства в системе железнодорожного транспорта приходится более 50% всех основных средств железных дорог и свыше 20% общей численности работников.

Железнодорожный путь работает в условиях постоянного воздействия атмосферных и климатических факторов, воспринимая большие динамические и статические нагрузки от проходящих поездов. При этом все элементы железнодорожного пути (земляное полотно, верхнее строение и искусственные сооружения) по прочности, устойчивости и состоянию должны обеспечивать безопасное движение пассажирских и грузовых поездов с наибольшими скоростями, установленными для данного участка, а также иметь резервы для дальнейшего повышения скоростей движения и роста грузонапряженности линии.

С целью обеспечения указанных требований постоянно ведутся работы по усилению несущей способности и надежности всех элементов пути: широко применяют термически упрочненные рельсы тяжелых типов, новые конструкции рельсовых скреплений, бесстыковой путь, железобетонные шпалы, новые конструкции стрелочных переводов и др.

Железнодорожный путь состоит из нижнего и верхнего строений. Нижнее строение пути включает земляное полотно (насыпи, выемки, полунасыпи, полувыемки, полунасыпи-полувыемки) и искусственные сооружения (мосты, тоннели, трубы, подпорные стены). К верхнему строению пути относят: балластный слой, шпалы, рельсы, скрепления, противоугоны, стрелочные переводы, мостовые и переводные брусья. Балластный слой воспринимает давление от шпал и передает его на основную площадку земляного полотна, уменьшая неравномерность давления, а также обеспечивает устойчивость рельсовой колеи, препятствуя продольному и поперечному смещению шпал. Шпалы воспринимают давление от рельсов и передают его на балласт, обеспечивая неизменность взаимного расположения рельсовых нитей. Рельсы направляют колеса подвижного состава, воспринимают продольные и поперечные давления от них и передают

на шпалы.

Рельсовые скрепления служат для соединения рельсов между собой и со шпалами. Противоугоны применяют для удержания рельсов и шпал от продольного смещения под воздействием движущихся поездов. Стрелочные переводы необходимы для перехода подвижного состава с одного пути на другой. Все элементы железнодорожного пути работают как единая конструкция.

Безопасность движения поездов требует, чтобы локомотивы и вагоны, а также грузы, размещенные на открытом подвижном составе могли свободно проходить мимо устройств и сооружений пути, не задевая их, а также мимо следующего по соседним путям подвижного состава. Это требование обеспечивается соблюдением установленных государственным стандартом габаритов приближения строений и габаритов подвижного состава.

Габаритом приближения строений называют предельное поперечное (перпендикулярное оси пути) очертание, внутрь которого, помимо подвижного состава, не должны заходить никакие части сооружений и устройств. Исключение составляют лишь устройства, предназначенные для непосредственного взаимодействия их с подвижным составом (вагонные замедлители в рабочем состоянии, контактные провода с деталями крепления, поворачивающаяся часть колонки при наборе воды и др.).

Габаритом подвижного состава называется предельное поперечное (перпендикулярное оси пути) очертание, в котором, не выходя наружу, должен помещаться как груженный, так и порожний подвижной состав, установленный на прямом горизонтальном пути.

На железнодорожном транспорте введен ГОСТ 9238-83 на габариты приближения строений и подвижного состава для линий со скоростями движения не более 160 км/ч (для линий и участков со скоростями движения поездов свыше 160 км/ч габаритные нормы устанавливают специальными указаниями ОАО «РЖД»). Этот ГОСТ распространяется на железные дороги общей сети колеи 1520 мм (для новых линий) и колеи 1524 мм (для существующих линий впредь до перевода их на колею 1520 мм), а также на подъездные пути железных дорог и промышленных предприятий.

Габарит приближения строений С (рис. 4.1) применяют при строительстве новых линий, постройке вторых путей, электрификации железных дорог и осуществлении других реконструктивных мероприятий на общей сети и подъездных путях (от станции их примыкания до территории предприятия). Габаритные расстояния по высоте устанавливают от уровня верха головки рельса, горизонтальные расстояния - от оси пути.

Ширина габарита приближения строений С составляет 4900 мм.

Размер 1100 мм означает расстояние от головки рельса до пола высокой пассажирской платформы, а размер 1920 мм - расстояние от оси пути до края платформы. Для низкой платформы эти размеры составляют соответственно 200 и 1745 мм. На перегонах на расстоянии от оси пути 1745 мм предусмотрен уступ высотой 1070 мм от головки рельса для перил на мостах, эстакадах и других искусственных сооружениях.

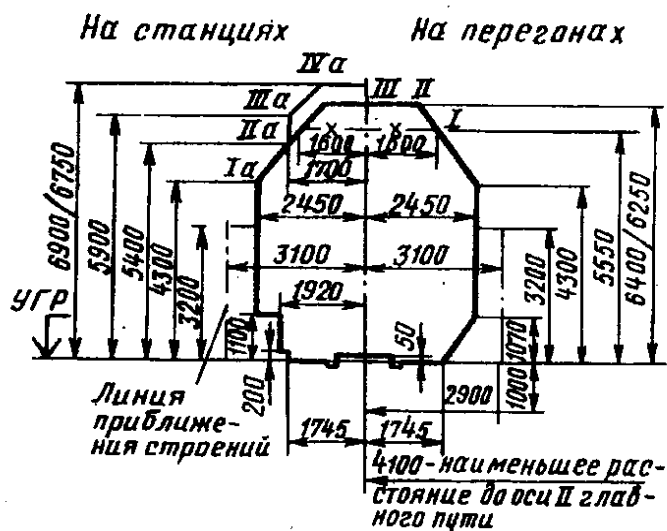


Рис. 4.1. Габарит приближения строений С: УГР – уровень верха головки рельса; Х – для сооружений устройств на путях, где электрификация исключена

Расстояние от оси пути до линии приближения строений (вновь строящихся зданий, заборов, опор контактной сети и линий связи) установлено 3100 мм. Не допускается укладывать фундаменты, трубопроводы, кабели и другие не относящиеся к пути сооружения в пределах 1000 мм от уровня головки рельсов по вертикали и на протяжении 2900 мм от оси пути по горизонтали.

Государственным стандартом установлен также габарит Сп, отличающийся от габарита С отдельными размерами (например, по высоте, составляющей для

габарита Сп 5500 мм). Требованиям этого габарита должны удовлетворять сооружения и устройства депо, мастерских, грузовых дворов, складов, портов, промышленных предприятий, а также расстояния между территориями этих предприятий, т.е. в местах, где скорости движения сравнительно невысоки.

Для проверки соблюдения габарита приближения строений применяют устанавливаемую на платформе специальную габаритную раму, представляющую собой деревянную конструкцию, внешний контур которой соответствует очертанию габарита С. Свободный проход рамы около сооружений и устройств свидетельствует о соблюдении габарита С. ГОСТом установлены габариты подвижного состава Т, Тц, Тпр и 1-Т для железных дорог РФ, Монголии и габариты 1-ВМ, О-ВМ, 02-ВМ и 03-ВМ для подвижного состава, допускаемого к обращению как по железным дорогам РФ и СНГ колеи 1520 (1524) мм, так и по железным дорогам зарубежных стран колеи 1435 мм.

Подвижной состав габарита 1-Т допускается к обращению на общей сети железных дорог РФ, подъездным путям и путям промышленных предприятий, габарит Т - по путям общей сети железных дорог РФ, подъездным путям и путям промышленных предприятий, сооружения и устройства на которых отвечают требованиям габарита С (с очертанием поверху для неэлектрифицированных линий) и габарита Сп. Основные данные о габаритах подвижного состава приведены в табл. 4.1.

Пространство между габаритами подвижного состава Т и приближения строений С, а также между подвижным составом, находящимся на смежных путях, необходимо для того, чтобы подвижной состав при попе-

речном смещении или наклоне его не мог задеть за сооружения и устройства.

Таблица 4.1

Основные данные о габаритах

Габарит	Высота, мм	Ширина, мм	Назначение
Т	5300	3700	Для сети железных дорог РФ
1-Т	5300	3400	
1-ВМ	4700	3400	Для железных дорог РФ и европейских стран
0-ВМ	4650	3250	
02-ВМ	4650	3150	
03-ВМ	4280	3150	Для железных дорог РФ, европейских и азиатских стран

Смещение и наклон подвижного состава могут быть вызваны отклонениями в содержании пути, а также боковыми колебаниями подвижного состава на рессорах.

Расстояния между осями смежных путей определяются условиями обеспечения безопасности движения поездов, личной безопасности людей, находящихся на междупутьях. При этом учитываются соответствующие размеры габаритов подвижного состава и приближения строений. Согласно ПТЭ расстояния между осями путей (междупутья) на прямых участках должны быть не менее указанных:

На перегонах двухпутных линий	4100 мм
На трехпутных и четырехпутных линиях между осями второго и третьего путей	5000 »
На станциях между осями смежных путей	4800 »
На путях второстепенных и грузовых дворов	4500 »

Расстояние между осями второго и третьего путей 5000 мм позволяет оставить на междупутьи инвентарь и инструмент для ремонта пути при следовании поездов по второму и третьему путям.

Расстояние между осями путей, предназначенных для непосредственной перегрузки грузов из вагонов в вагон, может быть допущено 3600 мм.

В кривых участках размеры междупутья, а также расстояния между осью пути и габаритом приближения строений зависят от радиуса кривой, скорости движения, месторасположения кривой (перегон или станция) и устанавливаются по нормам габаритов приближения строений.

Железные дороги принимают к перевозке и негабаритные грузы, которые, будучи погруженными на открытый подвижной состав, выходят за пределы габарита погрузки, установленного МПС (рис. 4.2).

Габаритом погрузки называется предельное поперечное (перпендикулярное оси пути) очертание, в котором, не выходя наружу, должен размещаться груз (с учетом упаковки и крепления) на открытом подвижном составе при нахождении его на прямом горизонтальном пути.

Негабаритные грузы могут быть перевезены при соблюдении специальных условий предосторожности. Для проверки габаритности грузов, по-

груженых на открытый подвижной состав, их пропускают через габаритные ворота, устанавливаемые в местах массовой погрузки. Габаритные ворота (рис. 4.3) представляют собой раму, внутри которой по очертанию габарита погрузки шарнирно укреплены планки. Если открытый подвижной состав с грузом пройдет ворота, не зацепляя планок, то габарит не нарушен. Изменение положения планки укажет место негабаритности.

В зависимости от высоты, на которую груз выходит за габарит погрузки, установлены зоны нижней, боковой и верхней негабаритности (см. рис. 4.2). Кроме того, для более точного определения условий пропуска грузов верхней негабаритности на двухпутных линиях введена дополнительно зона совместной боковой и верхней негабаритности.

Негабаритность считается нижней, если груз выходит за габарит погрузки в пределах высоты от 380 до 1230 мм и от 1230 до 1400 мм от верха головки рельса, боковой - на высоте от 1400 до 4000 мм и верхней - на высоте от 4000 до 5300 мм.

В указанных зонах в зависимости от размера выхода грузов за габарит погрузки и условий их перевозка установлено шесть степеней нижней негабаритности, шесть степеней боковой и три степени верхней негабаритности.

Порядок определения негабаритности грузов, приема их к перевозке и погрузки, отправления и следования поездов изложены в Инструкции по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов по железным дорогам колеи 1520 мм.

Маневры с вагонами, загруженными грузами боковой и нижней негабаритности 4, 5 и 6-й степеней, производятся со скоростью не более 15 км/ч. Вагоны и платформы с грузами такой же негабаритности и грузами с верхней негабаритностью 3-й степени запрещается распускать с горки. Они могут быть пропущены через горку только с маневровым локомотивом.

В связи с тем что на некоторых участках железных дорог имеются еще сооружения (в основном старой постройки), не приведенные к габари-

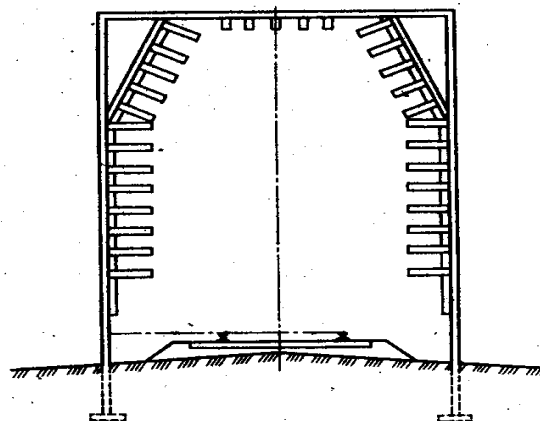
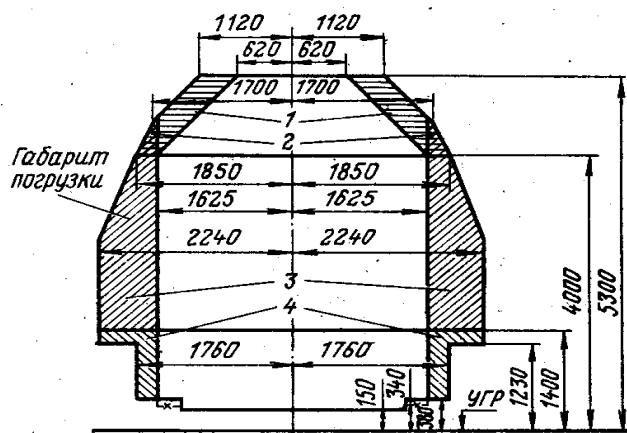


Рис.4.2 Зоны негабаритности грузов
1, 2, 3, 4 – соответственно верхняя,
совместная боковая и верхняя, боковая,
нижняя негабаритности

Рис. 4.3 Габаритные ворота

ту приближения строений С, в ряде случаев возникают, затруднения в пропуске вагонов габарита Т, так как для обращения их все сооружения, устройства и междупутные расстояния должны отвечать требованиям габарита С. Чтобы избежать этих затруднений, разрешается применять еще два габарита подвижного состава: $T_{ц}$ для восьмиосных цистерн с уменьшенной высотой габарита 5200 мм и промежуточный габарит $T_{пр}$ шириной 3550 мм для всех типов, грузовых вагонов, кроме цистерн (между Т шириной 3750 мм и 1-Т шириной 3400 мм). Эти габариты позволяют пустить в обращение большегрузные восьмиосные полувагоны и цистерны и тем самым повысить нагрузку на 1 м пути. В результате при той же длине станционных путей значительно увеличивается масса поездов и, следовательно, провозная способность железнодорожной линии.

В 1983 г. введен зональный, увеличенный габарит погрузки для перевозки лесных грузов в полувагонах, разработанный с учетом существующих размеров внутренних очертаний негабаритных сооружений и устройств и междупутий на различных участках сети железных дорог. Зональный габарит имеет более широкое очертание в верхней суженной части по сравнению с обычным габаритом погрузки. Это позволяет увеличить вместимость полувагона и тем самым выполнить дополнительные перевозки.

4.2 Земляное полотно, верхнее строение пути

Земляное полотно представляет собой комплекс грунтовых сооружений, образующихся в результате обработки земной поверхности и предназначенных для укладки верхнего строения пути, обеспечивая устойчивость пути и защиту его от воздействия атмосферных и грунтовых вод. Непосредственно на земную поверхность путь не укладывают вследствие ее неровностей. Земляное полотно должно быть прочным, устойчивым и долговечным, требующим минимума расходов на его устройство, содержание и ремонт. Это достигается обоснованным выбором грунтов для насыпей и их тщательным уплотнением при постройке, способствующим надежному отводу воды, укреплению откосов насыпей и выемок.

Разрез полотна, перпендикулярный продольной оси пути, называют поперечным профилем земляного полотна. Различают типовые и индивидуальные поперечные профили земляного полотна. Типовые профили в свою очередь делятся на нормальные и специальные. Нормальные профили применяют при сооружении земляного полотна на надежном основании из обычных грунтов. Специальные профили используют в условиях вечной мерзлоты, подвижных песков, лёссов, скальных грунтов, болот и т.п. Индивидуальные профили применяют в сложных топографических, гидрологических, геологических и климатических условиях и при высоте откосов более 12 м. При этом все размеры обосновывают конкретными расчетами.

Типовой нормальный профиль насыпи приведен на рис. 4.4. Верхняя часть, на которую укладывают балласт, шпалы, рельсы, называют ос-

новной площадкой. На однопутных линиях она имеет форму трапеции

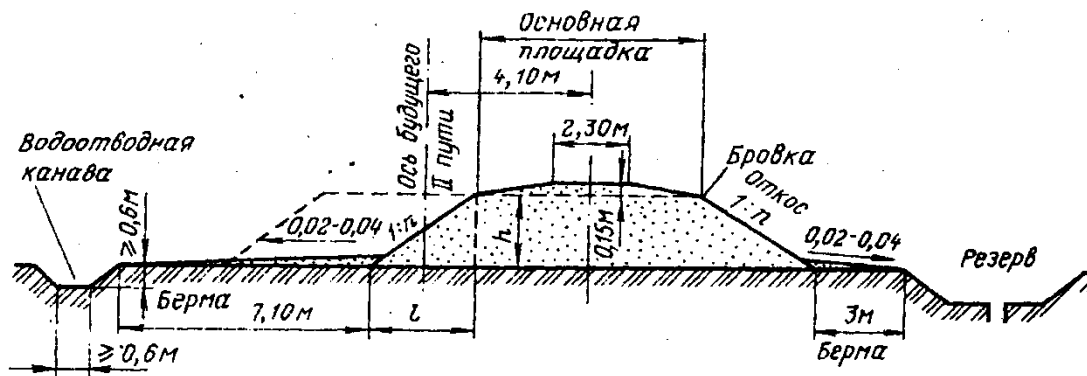


Рис. 4.4. Поперечный профиль насыпи

шириной поверху 2,3 м и высотой 0,15 м, на двухпутных - форму равнобедренного треугольника высотой 0,2 м. Такое очертание основной площадки способствует стоку воды, проникающей через балластный слой во время дождя и таяния снега.

Полоса земли, на которую опирается насыпь, является ее основанием. Линию пересечения основной площадки с откосом называют бровкой земляного полотна, а откоса с основанием - подошвой откоса.

Высотой насыпи считается расстояние от уровня бровки до ее основания по оси (см. рис. 4.4). Горизонтальную проекцию линии откоса называют его заложением, а отношение высоты откоса к заложению, которое обозначают $1:n$ - крутизной откоса. Крутизна откосов должна обеспечивать надежную их устойчивость и устанавливается в зависимости от высоты насыпи, свойств грунтов, геологических, гидрологических и климатических условий местности. Большое распространение имеют откосы крутизной $1:1,5$, называемые полуторными.

Отвод поверхностных вод от насыпей, сооружаемых из привозного грунта, осуществляется продольными водоотводными канавами шириной по дну и глубиной не менее 0,6 м, которые при поперечном уклоне местности до 0,04 сооружают с обеих сторон, а при большем уклоне - только с нагорной стороны. Если насыпь возводится из местного грунта, взятого рядом с насыпью, то для отвода воды от полотна используют образующиеся при этом спланированные углубления, называемые резервами.

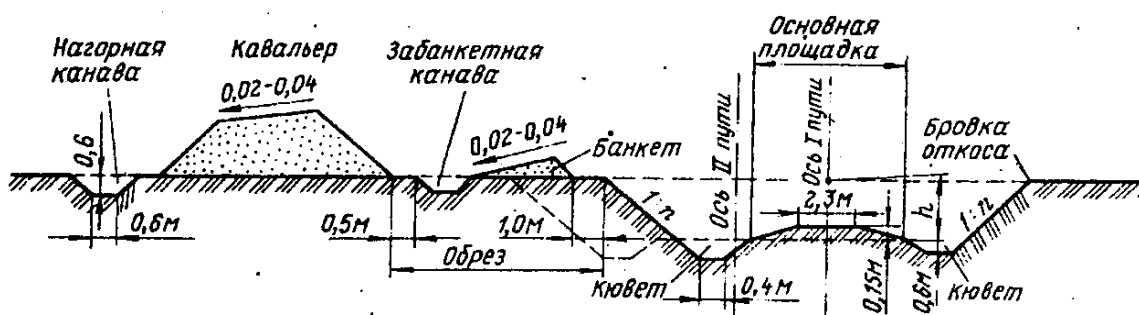


Рис. 4.5. Поперечный профиль выемки

Дну резервов и водоотводных канав придают предельный уклон не менее 0,002.

Полоса земли от подошвы откоса до водоотводной канавы или резерва называется бермой. Со стороны будущего второго пути на однопутных линиях ширину бермы принимают не менее 7,1 м, а с противоположной стороны - не менее 3 м. Для отвода воды от насыпи берма имеет уклон 0,02 - 0,04.

Типовой поперечный профиль выемки приведен на рис. 4.5. Основная площадка при этом имеет те же размеры, что и при насыпи. С каждой стороны основной площадки земляного полотна в выемках устраивают продольные канавы для отвода воды, называемые кюветами. Они имеют глубину не менее 0,6 м, ширину по дну не менее 0,4 м и продольный уклон дна не менее 0,002.

Вынутый при сооружении выемки грунт, не используемый для сооружения насыпи в другом месте, укладывают за откосом выемки с нагорной стороны в правильные призмы, называемые кавальерами. Для перехвата и отвода притекающих к выемке поверхностных вод за кавальерами сооружаются нагорные канавы, а на полосе между кавальером и бровкой откоса выемки отсыпают банкет с поперечным уклоном для отвода воды в забанкетную канаву. В неустойчивых грунтах, а также в стесненных условиях вместо водоотводных канав и кюветов устраиваются лотки, которые могут быть - железобетонные, бетонные, каменные или деревянные, по форме - трапецеидальные, прямоугольные, полукруглые и треугольные.

В пределах станций поверхностные воды отводят поперечными и продольными водоотводами, которые в местах работы людей делают закрытыми. На крупных станциях для продольного отвода воды прокладывают коллекторы и канализационные трубы, в районах с интенсивными осадками, кроме того, устраивают ливневую канализацию. Для перехвата и отвода грунтовых вод от земляного полотна или понижения их уровня предусматриваются специальные дренажные устройства - траншеи, заполненные крупным песком, гравием, щебнем, в нижней части которой обычно укладывают дрена - трубу с отверстиями для поступления в нее воды.

Для защиты от попадания поверхностной воды верхняя часть дренажа заполняется утрамбованной глиной, которая во избежание смешивания отделяется от дренирующего заполнителя двумя слоями дерна. В последние годы применяется дренаж конструкции ВНИИЖТа с керамзитовым трубо-фильтром; для его сооружения создана специальная машина. Для предохранения земляного полотна от размыва водой и выдувания ветром его откосы и бермы укрепляют. Наиболее простым способом укрепления незатапливаемых откосов земляного полотна является посев многолетних трав с густой стелющейся корневой системой. При небольшом периодическом затоплении применяют одерновку откосов сплошную или в клетку, для чего предварительно срезанные куски дерна закрепляют на откосах деревянными спицами.

Хорошо противостоят воздействию текущей воды древесно-

кустарниковые насаждения, которые применяют при периодических затоплениях в благоприятных климатических условиях. Надежно защищают затопляемые откосы от размыва мощные камни, каменная наброска в плетневых клетках и габионы - проволочные ящики, загруженные камнем. Однако эти способы укрепления земляного полотна требуют больших затрат ручного труда.

Прочным и надежным укреплением, позволяющим полностью механизировать изготовление и укладку, являются железобетонные плиты. На строительстве БАМа, кроме того, использовались, гибкие железобетонные решетки и плиты, лучше работающие в условиях вечной мерзлоты и сейсмичности. Тип укрепления земляного полотна выбирают исходя из особенностей грунтов, степени затопляемости и скорости воды, наличия дешевых местных материалов, возможности механизации работ. Бровка земляного полотна в местах разлива вод должна быть не менее чем на 0,5 м выше максимальной высоты наката волны при сильных ветрах.

Для обеспечения устойчивости насыпей на крутых косогорах, а также для закрепления неустойчивых откосов применяют подпорные стены, пригружающие контрбанкеты и контрфорсы, сооружаемые по индивидуальным проектам применительно к гидрологическим особенностям каждого объекта.

Опыт строительства железных дорог в горных районах Сибири показал, что в ряде случаев вместо укладки на крутых неустойчивых косогорах целесообразнее размещать земляное полотно у их подошвы, отсыпая насыпи скальным грунтом в русле реки. Такие решения нашли применение и в проекте Байкало-Амурской магистрали при прокладке трассы в долинах рек Олекмы, Нюкжи и др.

Особые требования предъявляются к обеспечению устойчивости земляного полотна в районах вечной мерзлоты и, в частности, на БАМе, где на отдельных участках вечная мерзлота углубляется до 200 м и более. Здесь распространены глинистые и сильно переувлажненные грунты с низкой несущей способностью, которые при подтаивании подстилающих их вечномерзлых слоев дают значительные осадки. В этих условиях основные требования при сооружении и эксплуатации земляного полотна направлены на сохранение вечной мерзлоты в ее естественном состоянии. Для этого при строительстве стремятся сохранять моховой и дерновой покров в основаниях насыпей и на прилегающей полосе отвода, не допускать валку деревьев с корнями и корчевку пней. В необходимых случаях допускается деревья спиливать, а кустарник срезать бульдозерами в зимнее время. Высота насыпей определяется специальным теплотехническим расчетом, а их конструкция предусматривает уширенную основную площадку для компенсации осадок подъемной пути на балласт.

При тщательном соблюдении правил сооружения и эксплуатации стабильность земляного полотна, как правило, обеспечивается. При несоблюдении же этих правил, а также при нарушении устойчивости земной поверхности или стихийных явлениях происходят изменения формы, или так называемые деформации земляного полотна. Различают деформации

и повреждения основной площадки земляного полотна, повреждения откосов, повреждения и разрушения тела и основания земляного полотна, в том числе при слабом основании или неблагоприятном воздействии природных факторов.

Деформации и повреждения основной площадки земляного полотна бывают в виде углублений на основной площадке и пучин. Углубления на основной площадке образуются из-за вдавливания балластного слоя в земляное полотно. При недостаточной толщине балластного слоя или несущей способности грунта основной площадки образуются углубления под шпалами, называемые балластными корытами (рис. 4.6, а). Если не принять своевременных мер, то балластные корыта увеличиваются, образуя балластные ложа (рис. 4.6, б), мешки (рис. 4.6, в) и гнезда (рис. 4.6, г).

Для предупреждения деформаций основной площадки насыпи отсыплют однородными грунтами с высокой несущей способностью, тщательно уплотняют их, не допускают попадания в тело земляного полотна воды, обеспечивают достаточную толщину балластного слоя до открытия движения поездов. Оздоровлять земляное полотно при наличии балластных корыт можно путем их вырезки или осушения сплошной боковой срезкой.

Пучинами называются поднятие грунта вследствие замерзания задерживающейся в нем или поступающей из нижних более теплых слоев воды. Пучины, возникающие в углублениях основной площадки земляного полотна или загрязненном балласте, называются поверхностными (верховыми), а образующиеся под основной площадкой - коренными (грунтовыми).

Поверхностные пучины можно предупреждать заменой загрязненного балласта, осушением балластных корыт и лож устройством прорезей. Коренные пучины ликвидируют понижением уровня грунтовых вод ниже глубины промерзания, устройством подкуветных дренажей, мелиорацией грунтов, а также утеплением земляного полотна укладкой противопучинных шлаковых или асбестовых подушек.

Повреждение откосов бывает в виде смывов грунта атмосферными водами, сплывов, т. е. местных смещений части грунта откоса при сохранении общей его устойчивости, оползаний, при которых происходит отслоение откосной части с захватом основной площадки. В скальных выемках бывают, кроме того вывалы отдельных камней или обвалы массы

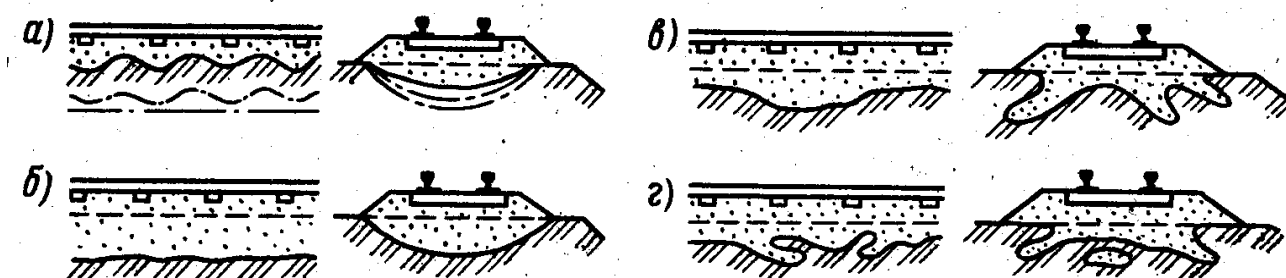


Рис. 4.6. Деформация основной площадки земляного полотна

скального грунта. Причинами таких деформаций являются недостаточное или поврежденное укрепление откосов, завышение их крутизны, недостаточная плотность грунтов насыпи. Смывы и сплывы устраняются планировкой откосов и дополнительным их укреплением, а оползания - уползанием откосов или сооружением контрфорсов или контрбанкетов.

Повреждения и разрушения тела и основания земляного полотна бывают в виде оползней, сдвигов (сползаний) насыпей по наклонному основанию, расползания и оседания насыпей при стабильном основании. Причинами оползней являются переувлажнение грунтов сверх допустимого предела, а также неоднородности грунтов и неблагоприятная геологическая структура склона, а причиной сдвига - недостаточная подготовка косоугольного основания насыпи и отсутствие защиты от переувлажнения. Для предупреждения этих видов деформаций производится осушение земляного полотна и прилегающих откосов с помощью дренажей, а также сооружаются подпорные стены и контрбанкеты. Повреждения и разрушения земляного полотна вследствие слабости основания бывают в виде провалов, оседания целой насыпи, выпирания грунта у подошвы насыпи или основной площадки в выемках. Провалы могут иметь место при сооружении земляного полотна на карстовых породах; для предупреждения их выполняется тщательная геологическая разведка. Последствия оседаний ликвидируются подъемкой пути на балласт. Выпирание грунта основания у подошвы насыпи ликвидируется сооружением пригружающих контрбанкетов, а выпирание основной площадки в выемках - уменьшением крутизны откосов или их террасированием.

Верхнее строение пути (рис 4.7) представляет собой комплексную конструкцию, включающую балластный слой, шпалы, рельсы и рельсовые скрепления, противоугоны, в необходимых случаях стрелочные переводы, мостовые и переводные брусья. Рельсы, соединенные со шпалами, образуют рельсо-шпальную (путевую) решетку. При этом шпалы заглубляются в балластный слой, укладываемый на основную площадку земляного полотна.

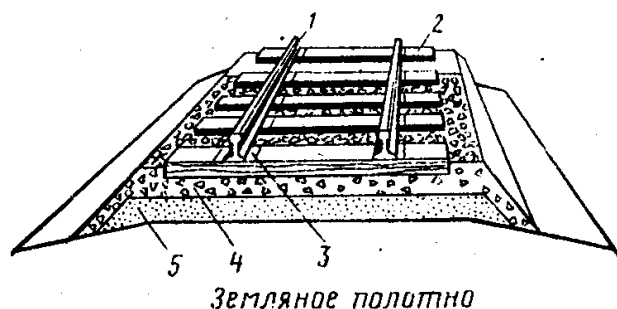


Рис. 4.7. Элементы верхнего строения пути: 1 – рельсы; 2 – шпалы; 3 - промежуточные рельсовые скрепления; 4 - щебеночный балласт; 5 – песчаная подушка

Толщина балластного слоя, а также расстояние между шпалами должны быть такими, чтобы давление на земляное полотно не превышало величины, обеспечивающей его упругую осадку, исчезающую после снятия нагрузки. По мере удаления от места непосредственного контакта пути и подвижного состава давление распределяется на всю большую площадь и на земляное полотно уже передается почти равномерное давление примерно $0.8 \cdot 10^2$ кПа.

Основным назначением бал-

ластного слоя является восприятие давления от шпал и равномерное распределение его по основной площадке земляного полотна, сохранение устойчивости шпал под действием вертикальных и горизонтальных сил, обеспечение упругости подрельсового основания и возможности выправки рельсо-шпальной решетки в плане и профиле.

Балластный спой не должен задерживать на своей поверхности воду, предохранять основную площадку от переувлажнения. В качестве балласта используют сыпучие, хорошо дренирующие упругие материалы: щебень, гравий, песок, отходы асбеста, ракушечник. Лучшим материалом для балласта является щебень из естественного камня, валунов и гальки. Однако щебень быстрее загрязняется различными сыпучими материалами (углем, торфом, рудой), просыпающимися на путь при перевозках. Для предохранения щебень укладывают на песчаную подушку.

Гравийный и гравийно-песчаный балласт дешевле щебня, меньше загрязняется, но менее устойчив к нагрузкам, хуже пропускает воду и смерзается в зимнее время.

Асбестовый балласт - это отходы асбестового производства в виде мелких свободных волокон асбеста и раздробленных горных пород, при достаточно высокой несущей способности, малой засоряемости, сильно пылит при высоких скоростях движения и недостаточно устойчив против размыва ливневыми дождями.

Песчаный балласт является наихудшим, поэтому его применяют только на малодеятельных линиях, и в качестве подушки под щебеночный и асбестовый балласт.

Балластный слой укладывают в виде призмы, с откосами крутизной, как правило, 1:1,5 и шириной верхней части, которую устанавливают техническими условиями.

4.3 Рельсы, скрепления, шпалы, стрелочные переводы

Рельсы для надежной работы должны быть достаточно прочными, долговечными, износоустойчивыми, и в то же время нехрупкими, так как они воспринимают ударно-динамическую нагрузку. Материалом для рельсов служит высокопрочная углеродистая сталь. В зависимости от массы и поперечного профиля рельсы подразделяют на типы Р50, Р65 и Р75. Буква Р, означает «рельс», а цифра - округленную массу 1 м в килограммах. До 1962 г. в путь укладывали также рельсы типа Р43.

Поскольку основное воздействие на рельс в нормальных условиях движения оказывает вертикальная нагрузка, стремящаяся изогнуть его, наиболее рациональной формой рельса считается двутавровая (рис. 4.8), имеющая одновременно и меньший расход металла. Основные размеры рельсов разных типов даны в табл. 4.2.

Выбор того или иного типа рельсов зависит от грузонапряженности линии, нагрузок и скоростей движения поездов. На линиях скоростного движения пассажирских поездов укладывают рельсы Р65. Рельсы выпускают стандартной длины 25 м. Кроме того, для укладки в кривых изготавливают укороченные рельсы длиной 24,92 и 24,84 м. В качестве уравни-

тельных рельсов при бесстыковом пути, а также при укладке стрелочных переводов используют рельсы прежней стандартной длины (12,5 м) и укороченные (12,46; 12,42 и 12,38м).

Таблица 4.2.

Основные размеры рельсов

Тип рельса	Масса, кг/м	Размеры, мм					
		Высота			Ширина головки понизу	Толщина шейки	Ширина полошвы
		рельса	головки	подошвы			
P75	74,41	192	55,3	32,3	75	20	150
P65	64,72	180	45	30	75	18	150
P50	51,67	152	42	27	72	16	132

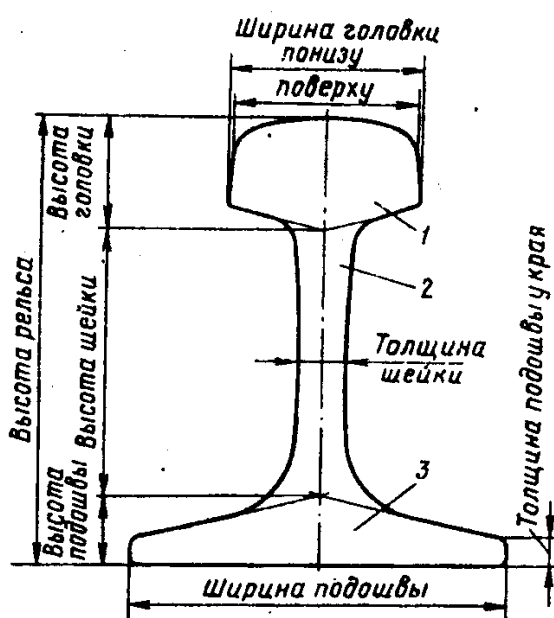


Рис. 4.8. Профиль рельса:
1 – головка рельса; 2 – шейка;
3 – подошва

Сроки службы рельсов измеряют количеством проследовавшего по ним тоннажа.

Повышение сроков службы рельсов достигают комплексом взаимосвязанных мероприятий: увеличением массы рельсов, повышением качества рельсовой стали, ее термоупрочнением и легированием, совершенствованием поперечных профилей, применением бесстыкового пути, шлифовки поверхности катания и смазки боковой рабочей грани головки в кривых. Рельсы крепят к шпалам с помощью промежуточных креплений, которые должны обеспечивать надежную и упругую связь со шпалами, сохранять постоянство ширины колеи, не допускать продольного смещения и опрокидывания рельсов. При железобетон-

ных шпалах они должны, кроме того, обеспечивать электрическую изоляцию рельсов и шпал, так как на участках с автоблокировкой рельсы используют в качестве проводников сигнального тока, а при электротяге как проводники обратного тока. Промежуточные крепления бывают трех основных видов: нераздельные, смешанные и раздельные. При нераздельном креплении (рис. 4.9) рельс и подкладки, на которые он опирается, крепятся к шпалам одними и теми же костылями или шурупами, при смешанном креплении подкладки, кроме того, крепятся к шпалам дополнительными костылями. Смешанное костыльное крепление с подкладками, имеющими уклон 1:20 широко распространено на дорогах нашей страны. Его преимуществами являются простота конструкции, небольшая масса, срав-

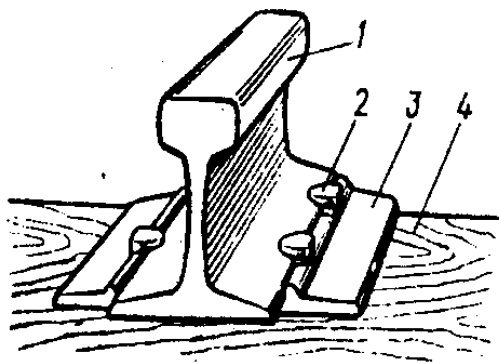


Рис. 4.9. Промежуточные костыльные крепления для деревянных шпал: 1 – рельс; 2 – костыль; 3 – подкладка; 4 – шпала

нительная легкость зашивки, перешивки и разборки пути. Однако такое крепление не гарантирует постоянства ширины колеи и вызывает механический износ шпал.

При раздельном креплении рельс крепится к подкладкам жесткими или упругими клеммами и клеммными болтами, подкладки к шпалам - болтами или шурупами. Достоинствами этого крепления являются смена рельсов без снятия подкладок, большое сопротивление действующим продольным силам, обеспечение постоянства ширины колеи. Это крепление несколько дороже и сложнее по конструкции, но не

требует дополнительного закрепления пути от угона и дает снижение эксплуатационных расходов по сравнению с другими видами креплений.

Соединение рельсовых звеньев между собой осуществляется с помощью стыковых креплений, основными элементами которых являются накладки, болты с гайками и пружинные шайбы. Стыковые накладки предназначены для соединения рельсов и восприятия в стыке изгибающих и поперечных сил. Двухголовые накладки изготавливают из высокопрочной стали и подвергают закалке. Болты, как и накладки, должны обладать высокой прочностью. Под их гайки для обеспечения постоянного натяжения подкладывают пружинные шайбы. На линиях с автоблокировкой на границах блокучастков устраивают изолирующие стыки, чтобы электрический ток не мог пройти от одного из соединяемых рельсов к другому. Существует два типа изолирующих стыков: с металлическими объемлющими накладками и клееболтовые. В стыках первого типа изоляцию обеспечивают постановкой прокладок и втулок из фибры, текстолита или полиэтилена. В стыковом зазоре также ставится прокладка из текстолита или трикопа, имеющая очертания рельса. В последнее время все шире применяют клееболтовые стыки, в которых металлические стыковые накладки, изолирующие прокладки из стеклоткани и болты с изолирующими втулками склеивают эпоксидным клеем с концами рельсов в монолитную конструкцию.

Под действием сил, возникающих, в особенности, при торможении на затяжных спусках, может происходить продольное смещение рельсов по шпалам или вместе со шпалами по балласту, называемое угоном пути. На двухпутных участках угон происходит по направлению движения поездов, на однопутных угон двусторонний. Наилучшим способом предотвращения угона пути является применение щебеночного балласта и раздельных промежуточных креплений, обеспечивающих сопротивление продольному смещению рельсов и не требующих дополнительных закреплений.

При нераздельном и смешанном креплениях для предотвращения угона пути применяют противоугоны. Стандартные противоугоны - пружинные

(рис. 4.10), в виде скобы, защемляемой на подошве рельса и упирающуюся в шпалу. Самозаклинивающийся противоугол состоит из скобы и клина с упором, который прижимается к шпале и при смещении рельса заклинивается все сильнее. Пружинные противоугоны легче клиновых, состоят из одной детали, хорошо работают как на однопутных, так и на двухпутных линиях, уход за ними требует меньший затрат рабочей силы. Противоугоны устанавливают от 18 до 44 пар на 25-метровом звене.

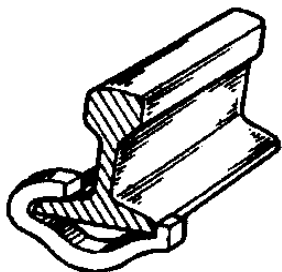


Рис. 4.10.
Противоугоны

С начала 50-х годов на железных дорогах все шире внедряется бесстыковой путь, являющийся наиболее прогрессивной и совершенной конструкцией. За счет устранения стыков снижается динамическое воздействие на путь, существенно уменьшается износ колес подвижного состава и сопротивление движению поездов, что сокращает расход топлива и электроэнергии на тягу поездов. Резкое сокращение числа стыковых скреплений за счет сварки отдельных звеньев в плети дает экономию металла до 1,8 т на каждый километр пути, позволяет снизить расходы на содержание и ремонт пути. Срок службы рельсов бесстыкового пути возрастает примерно на

20 % по сравнению со стыковым, деревянных шпал - на 8÷13 %, балласта (до очистки) - на 25 %, а затраты труда на текущее содержание пути снижаются на 10÷30%.

Для бесстыкового пути рельсовые плети изготавливают, как правило, из термически упрочненных рельсов Р65 или Р75 стандартной длины, не имеющих болтовых отверстий. Сваривают рельсы электроконтактным способом на стационарных или передвижных контактно-сварочных машинах.

Длина сварных плетей на сети железных дорог РФ обычно принимается не более 800 м, что соответствует длине составов специальных поездов из платформ, оборудованных роликами, которыми плети доставляются на перегон. При необходимости длину плетей увеличивают до 950 м, для чего к плети длиной 800 м на месте укладки приваривают плеть длиной 150 м. Минимальная длина рельсовых плетей равна 250 м, однако при техническом обосновании и в коротких тоннелях применяют и более короткие плети, но не менее 150 м.

Между сварными плетями укладывают две - четыре пары уравнительных рельсов длиной 12,5 м или переменной длины (12,5; 12,46; 12,42; 12,38 м) для возможности сезонной регулировки длины плетей перед летними и зимними периодами. Весь комплект уложенных в путь уравнительных рельсов называется уравнительным пролетом. Для обеспечения необходимой прочности пути рельсовые стыки в уравнительных пролетах соединяют только шестидырными накладками и стыковыми болтами из стали повышенной прочности.

Одна из основных особенностей бесстыкового пути состоит в том, что хорошо закрепленные рельсовые плети при повышении или понижении температуры не могут изменять свою длину. Из-за этого в них возни-

кают значительные продольные растягивающие или сжимающие силы, достигающие 100÷200 кН, которые в жаркую погоду могут привести к выбросу пути в сторону, а в сильный мороз - к излому плети с образованием опасного зазора. Поэтому бесстыковой путь обычно укладывают на железобетонных шпалах с отдельным креплением и щебеночном балласте. Балластную призму тщательно уплотняют.

Существует два способа эксплуатации бесстыкового пути. Первый способ, являющийся наиболее эффективным и широко применяемым, предусматривает закрепление рельсов на постоянный температурный режим эксплуатации. Вторым способом, применяемым при больших перепадах температур по сезонам года, предусматривают сезонные разрядки температурных напряжений с закреплением плетей два раза в год: на летний и зимний режимы. При этом ослабляют крепления рельсов со шпалами, начиная от концов плети, и снимают уравнивательные рельсы. Снятие напряжения в плетях сопровождается удлинением или укорочением их, после чего укладываются новые уравнивательные рельсы длиннее или короче прежних.

Для повышения эффективности бесстыкового пути стремятся к сокращению числа уравнивательных пролетов, на содержание которых уходит до 25 % всех затрат на его эксплуатацию, за счет укладки плетей сверхнормативной длины (более 950 м). После многолетних опытов с 1986 г. разрешена укладка таких плетей с соблюдением ряда дополнительных требований к их изготовлению и эксплуатации.

Применение бесстыкового пути особенно эффективно на участках скоростного движения поездов, где к верхнему строению пути предъявляются повышенные требования. Особое внимание при этом уделяется предотвращению и устранению волнообразного износа поверхности катания рельсов, который ликвидируется шлифовкой их специальными рельсошлифовальными поездами. Путь надежно закрепляют от угона. При смешанном креплении рельсы крепят на каждом конце шпалы пятью костылями.

Шпалы являются основным видом подрельсовых оснований, к которым крепятся рельсы и обеспечивается постоянство ширины колеи. Помимо шпал, к подрельсовым основаниям относятся мостовые и переводные брусья, отдельные опоры в виде полушпал, а также сплошные опоры в виде плит и рам. Шпалы должны быть прочными, упругими, дешевыми и обладать достаточным сопротивлением электрическому току.

Материалом для шпал служит дерево, железобетон, металл. Около 90% всех шпал на железных дорогах мира составляют деревянные, пропитанные масляными антисептиками. Достоинством таких шпал является относительно малый вес, упругость, простота изготовления, удобство крепления рельсов, высокое сопротивление токам рельсовых цепей. Недостатком является сравнительно небольшой срок службы (15-18 лет) и значительный расход деловой древесины (сосна, ель, пихта, лиственница, реже кедр, бук, береза).

Поперечное сечение деревянных шпал имеет два вида: обрезные А, опиленные с 4-х сторон, и брусковые В, имеющие опиленные поверхности только сверху и снизу (рис. 4.11).

Начиная с 1957 года на железных дорогах бывшего СССР получили широкое применение железобетонные шпалы с предварительно напряженной арматурой. Достоинством их является долговечность (40-50 лет), обеспечение устойчивости пути, плавность движения поездов, что объясняется равноупругостью шпал. Применение железобетонных шпал бережет такой ценный материал как древесину, сохраняя при этом экологические условия.

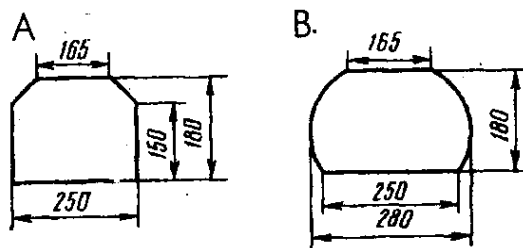


Рис. 4.11. Типы шпал

Недостатком железобетонных шпал является их большая масса, токопроводимость, высокая жесткость, сложность крепления к ним рельсов. Для повышения упругости пути при железобетонных шпалах под рельсы уклады-

вают амортизирующие прокладки. Во избежание утечки электрического тока рельсовые скрепления имеют специальную конструкцию с электроизоляционными деталями.

Порядок расположения шпал по длине рельсового звена называют эapurой шпал. На железных дорогах РФ применяют 4 эапуры, соответствующие укладке 1440, 1600, 1840 и 2000 шпал на 1 км пути.

Для перехода подвижного состава с одного пути на другой служат стрелочные переводы. Пересечение путей осуществляется глухими пересечениями. С применением стрелочных переводов и глухих пересечений устраивают соединения путей, называемые стрелочными улицами и съездами.

В зависимости от назначения и условий соединения путей между собой стрелочные переводы подразделяют на одиночные, двойные и перекрестные. Одиночные переводы делятся на обыкновенные, симметричные и несимметричные.

Обыкновенный стрелочный перевод служит для соединения двух путей. Он может быть право- или левосторонним и применяется при отклонении бокового пути в ту или другую сторону. Этот вид переводов имеет наибольшее распространение. В состав стрелочного перевода входят собственно стрелка, крестовина с контррельсами, соединительная часть между ними и переводные брусья.

Стрелка состоит из двух рамных рельсов, двух остряков, предназначенных для направления подвижного состава на прямой или боковой путь, и переводного механизма.

Остряки соединены поперечными стрелочными тягами, с помощью которых один из остряков плотно подводится к рамному рельсу, другой отходит от свободного рамного рельса на величину, необходимую для сво-

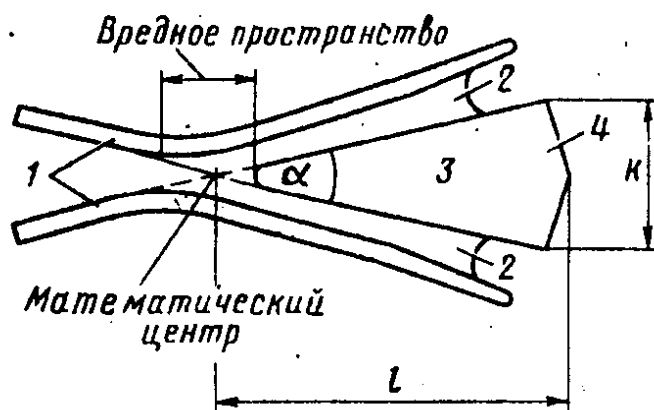


Рис. 4.12. Схема крестовины: 1 – усовики; 2 – желоба; 3 – сердечник; 4 – хвост крестовины

ют гребни колес в соответствующие желоба при проходе колесной пары по крестовине. Точку пересечения продолжения рабочих граней сердечника крестовины называют ее математическим центром, а самое узкое место между усовиками - горлом крестовины. Угол α , образуемый рабочими гранями сердечника, называют углом крестовины. Соединительная часть перевода, лежащая между стрелкой и крестовиной, состоит из прямого участка и переходной кривой. Радиус этой кривой зависит от угла крестовины: чем меньше угол, тем больше радиус. Переводы с меньшими углами крестовин допускают большие скорости движения поездов. Стрелочные переводы крепят с помощью специальных башмаков, подкладок, шурупов и костылей к переводным брусам или железобетонным плитам, которые укладывают на балластную призму.

Симметричный перевод (рис. 4.13) имеет те же основные элементы, что и обыкновенный, но благодаря меньшей длине острия, крестовины и переходной кривой позволяет значительно сократить длину соединения путей. Симметричные переводы применяют при разветвлении основного пути на два под одинаковым углом при укладке путей на станциях. Редко применяют разносторонние несимметричные переводы, имеющие разные углы отклонения обоих путей от основного.

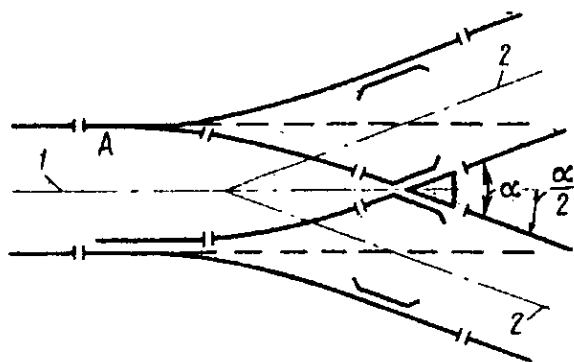


Рис. 4.13. Схема симметричного стрелочного перевода: 1 - ось прямого пути; 2 – ось бокового пути

бодного прохода гребней колес. Величину отхода этого острия от оси первой тяги называют шагом острия.

Тонкую часть острия называют острием, другой его конец - корнем. Корневое крепление обеспечивает поворот острия в горизонтальной плоскости и соединение с примыкающими к ним рельсами.

Крестовина (рис. 4.12) состоит из сердечника и двух усовиков. Она обеспечивает пересечение гребнем колес рельсовых головок, контррельсы направля-

ют гребни колес в соответствующие желоба при проходе колесной пары по крестовине. Точку пересечения продолжения рабочих граней сердечника крестовины называют ее математическим центром, а самое узкое место между усовиками - горлом крестовины. Угол α , образуемый рабочими гранями сердечника, называют углом крестовины. Соединительная часть перевода, лежащая между стрелкой и крестовиной, состоит из прямого участка и переходной кривой. Радиус этой кривой зависит от угла крестовины: чем меньше угол, тем больше радиус. Переводы с меньшими углами крестовин допускают большие скорости движения поездов. Стрелочные переводы крепят с помощью специальных башмаков, подкладок, шурупов и костылей к переводным брусам или железобетонным плитам, которые укладывают на балластную призму.

Симметричный перевод (рис. 4.13) имеет те же основные элементы, что и обыкновенный, но благодаря меньшей длине острия, крестовины и переходной кривой позволяет значительно сократить длину соединения путей. Симметричные переводы применяют при разветвлении основного пути на два под одинаковым углом при укладке путей на станциях. Редко применяют разносторонние несимметричные переводы, имеющие разные углы отклонения обоих путей от основного. Двойной перевод разветвляет основной путь на три направления. Такие переводы применяются в стесненных условиях. Перекрестный перевод дает возможность переходить подвижному составу с одного пути на другой в обоих направлениях.

Отношение ширины сердечника крестовины в ее корне K к длине сердечника l (см. рис. 4.12) называется маркой крестовины. Марка крестовины определяется следующим образом:

$$\frac{1}{N} = \frac{K}{l} = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \approx \operatorname{tg} \alpha,$$

где α – угол крестовины;
 N – целое число.

Таблица 4.3

Марки крестовин

Пути, на которых расположены стрелочные переводы	Марка крестовины стрелочных переводов	
	обыкновенных	симметричных
Главные и приемо-отправочные пассажирские	Не круче 1/11*	-
Приемо-отправочные для грузового движения	Не круче 1/9	Не круче 1/6
Прочие	Не круче 1/8	Не круче 1/4,5

* - при проходе пассажирских поездов только по прямому пути допускается иметь переводы с маркой крестовины 1/9

В зависимости от назначения укладывают стрелочные переводы с марками крестовин, указанными в табл. 4.3. Все больше применяют стрелочный перевод марки 1/11 усиленной конструкции с гибкими острьями и литой крестовиной, допускающий движение поездов по прямому пути со скоростью до 160 км/ч. Существующие переводы пологих марок 1/18 и 1/22 применяют на маршрутах следования поездов при отклонении их с главного пути на боковое направление. При этом скорость движения по боковому пути составляет соответственно 80 и 120 км/ч.

На линии Москва - С.-Петербург используют стрелочные переводы типа Р65 марки 1/11, предназначенные для движения пассажирских поездов по прямому пути со скоростью 200 км/ч.

Другим распространенным устройством для соединения путей являются съезды. В зависимости от расположения соединяемых путей съезды бывают обыкновенные, перекрестные и сокращенные.

Обыкновенный съезд состоит из двух одиночных стрелочных переводов и соединительного пути, укладываемого между корнями их крестовин. Перекрестный или двойной съезд представляет собой пересечение двух одиночных съездов. Он имеет четыре стрелочных перевода и глухое пересечение, размещенное между корнями крестовин. Сокращенные съезды применяют при соединении двух далеко отстоящих друг от друга путей для уменьшения общей длины соединения.

При устройстве перекрестных съездов, а также в местах, где пути пересекаются между собой без перевода подвижного состава с одного пути на другой, делают глухие пересечения. Они состоят из четырех крестовин с контррельсами, из которых две крестовины острые и две тупые.

Путь, на котором последовательно расположены стрелочные пере-

воды, ведущие на параллельные пути, называют стрелочной улицей. Это устройство дает возможность перемещать подвижной состав на любой из соединяемых путей.

4.4 Понятие об устройстве рельсовой колеи

Устройство рельсовой колеи тесно связано с конструкцией и размерами колесных пар подвижного состава.

Расстояние между внутренними гранями головок рельсов называют шириной колеи. Ширина складывается из расстояния между колесами (1440 мм), двух толщин гребней (от 25 до 33 мм) и зазоров между колесами и рельсами, для свободного прохождения колесных пар. Ширина нормальной (широкой) колеи в прямых и кривых участках пути с радиусом более 349 м принята в РФ 1520 мм с допусками в сторону уширения 6 мм и в сторону сужения 4 мм.

В соответствии с ПТЭ верх головок рельсов обеих нитей пути на прямых участках должен быть в одном уровне.

В кривых участках устройство пути имеет ряд особенностей, основными из которых являются: возвышение наружного рельса над внутренним, наличие переходных кривых, уширение колеи при малых радиусах, укладка укороченных рельсов на внутренней рельсовой нити, усиление пути, увеличение расстояния между осями путей на двух- и многопутных линиях.

Возвышение наружного рельса предусматривают при радиусе кривой 4000 м и менее для того, чтобы нагрузка на каждую рельсовую нить была примерно одинаковой с учетом действия центробежной силы.

Известно, что при следовании подвижного состава по кривой радиусом R возникает центробежная сила:

$$I = \frac{mv^2}{R} = \frac{Gv^2}{gR},$$

где m - масса;

G - масса единицы подвижного состава;

g - ускорение силы тяжести.

При возвышении наружного рельса на величину h появляется составляющая сила веса H , направленная внутрь кривой. На рис. 4.14 видно, что $H/G = h/s_b$, откуда $H = Gh/s_b$.

Для одинакового давления на рельсовые нити необходимо, чтобы H уравновешивала I , тогда равнодействующая N будет перпендикулярна на-

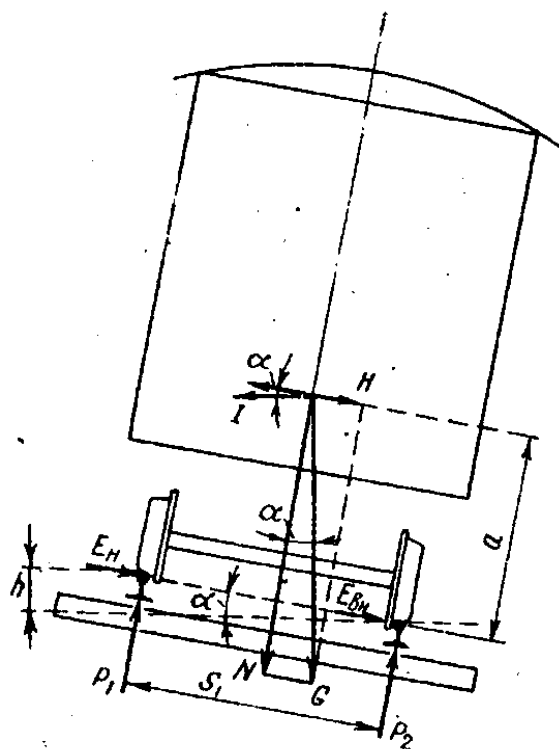


Рис. 4.14. Схема сил, действующих на подвижной состав в кривой при возвышении наружного рельса

клонной плоскости пути.

Учитывая, что угол α мал и при максимальном допуске возвышении наружного рельса 150 мм $\cos \alpha = 0,996$, можно принять, что $H \approx l$. Тогда

$$\frac{Gv^2}{gR} = G \frac{h}{S_1},$$

откуда искоемое $h = S_1 v^2 / gR$.

Подставляя $S_1 = 1,6$ м, $g = 9,81$ м/с² и выражая скорость v в км/ч, а радиус R в м, получим возвышение в мм

$$h = 12.5v^2 / R.$$

Поскольку в реальных условиях по кривым проходят поезда разной массы Q_i и с различными скоростями V_i , то для равномерного износа рельсов в приведенную формулу подставляют среднюю квадратическую скорость

$$v_{cp} = \sqrt{\frac{\sum Q_i v_i^2}{\sum Q_i}}.$$

При $h = 12.5v_{cp}^2 / R$ в поездах следующих со скоростями выше V_{cp} , на пассажиров будет действовать непогашенное ускорение, равное разнице между центробежным ускорением v^2 / R и направленным к центру кривой ускорением gh / S_1 .

На дорогах РФ допустимое непогашенное ускорение составляет 0,7 м/с² и лишь в исключительных случаях 0,9 м/с². При движении поездов со скоростью менее V_{cp} нагрузка на внутренний рельс будет больше, чем на наружный.

Устройство переходных кривых связано с необходимостью плавного сопряжения кривой с примыкающей прямой как в плане, так и в профиле во избежание возможных ударов колес о рельсы.

Уширение колеи производится для обеспечения вписывания подвижного состава в кривые.

Установлены следующие нормы ширины колеи в кривых:

при $R > 350$ м - 1520 мм;

при $R = 349 \div 300$ м - 1530 мм;

при $R < 299$ м - 1535 мм.

4.5 Искусственные сооружения, их виды и назначение

Искусственные сооружения предназначены для пересечения железной дорогой водных преград, других железных и автодорог, глубоких ущелий, горных хребтов, застроенных городских территорий, а также для обеспечения безопасного перехода людей через пути и устойчивости земляного полотна в сложных условиях.

К искусственным сооружениям относятся мосты, тоннели, трубы, подпорные стены, регулирующие сооружения, дюкеры, галереи, селеспуски и др. При пересечении железной дорогой рек, каналов, ручьев, овра-

гов сооружаются мосты или трубы. Разновидностями мостов являются путепроводы, виадуки, эстакады.

Путепроводы строят в местах пересечения железных и автомобильных дорог или двух железнодорожных линий. Они обеспечивают независимый и безопасный пропуск транспорта на пересечении дорог в разных уровнях.

Виадуки сооружают вместо высокой обычной насыпи при пересечении железной дорогой глубоких долин, оврагов и ущелий.

Эстакады устраивают взамен больших насыпей в городах, где они меньше стесняют улицы и не препятствуют проезду и проходу под ними, а также на подходах к большим мостам через реки с широкими поймами разлива воды. При пересечении горных хребтов вместо глубоких выемок сооружают *тоннели*. Для безопасного перехода людей через железнодорожные пути на станциях и остановочных пунктах пригородных поездов предусматриваются пешеходные мосты или тоннели.

Для обеспечения устойчивости откосов земляного полотна на крутых косогорах, берегах рек и морей служат подпорные стены, а при подходах к большим мостам для защиты их опор от подмыва при паводках и повреждения льдом — регуляционные сооружения.

В горах в местах возможных обвалов, сооружают специальные *галереи*, а в местах, возможных грязекаменных (селевых) потоков, — *селеспуски*. При необходимости пропуска через путь потока воды (водовода) устраивают *дюкеры*, представляющие собой два колодца, расположенных с обеих сторон железнодорожного пути, соединенных трубой.

Наиболее распространенными видами искусственных сооружений являются мосты и трубы (более 92 %). Искусственные сооружения по протяженности составляют в среднем менее 1,5 % общей длины пути, однако доля их в стоимости железной дороги равна почти 10 %, поэтому их рассчитывают на длительный срок службы.

Мост (рис. 4.15) состоит из пролетных строений, являющихся основанием для пути, и опор, поддерживающих пролетные строения и пере-

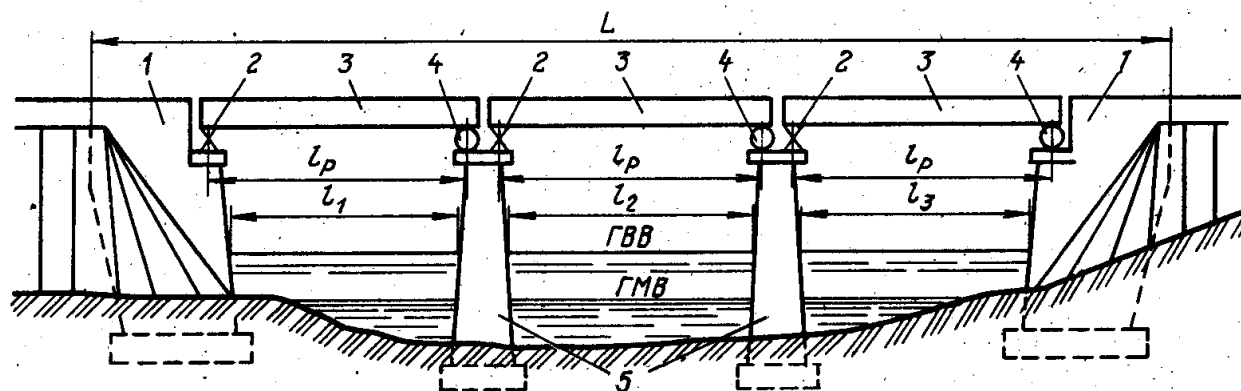


Рис. 4.15. Схема моста: 1 — устои; 2 — неподвижные опорные части; 3 — пролетные строения; 4 — подвижные опорные части; 5 — «быки»; L — полная длина моста; l_p — расчетные пролет; $l_1+l_2+l_3$ — отверстие моста; ГВВ — горизонт высоких вод; ГМВ — горизонт межженных (средних) вод

дающих давление на грунт. Мост вместе с подходами, укрепительными и регуляционными сооружениями и подмостовым руслом реки составляет мостовой переход. Береговые опоры моста называют устоями, а промежуточные — «быками». Опорами мост разделяется на пролеты. Опоры состоят из фундамента и видимой части (тела) и бывают монолитными или сборными. Фундаменты опор могут сооружаться при неглубоком расположении прочных грунтов на естественном основании, а при слабых грунтах — на сваях.

Пролетные строения опираются на опоры через опорные части, которые позволяют пролетному строению несколько поворачиваться и продольно перемещаться при изменениях температуры и изгибе под нагрузкой. При этом с одной стороны пролета устанавливают неподвижные, а с противоположной - подвижные опорные части.

Расстояние между центрами опорных частей называется *расчетным пролетом*. Число и размеры этих пролетов выражают схему моста. Например, запись $33+2 \times 66+27$ означает, что мост имеет одно пролетное строение расчетным пролетом 33 м, два по 66 м и одно 27 м. Пролетное строение состоит из главных ферм, связей между ними, проезжей части и мостового полотна. Главные фермы воспринимают нагрузку от подвижного состава и передают ее на опоры. Они могут быть со сплошными стенками или сквозными фермами. В фермах различают верхний и нижний пояса, к одному из которых прикрепляют поперечные балки, а к ним - продольные балки, образующие проезжую часть. Если проезжая часть располагается на уровне верхнего пояса, мост называют с *ездой поверху*, если на уровне нижнего, - с *ездой понизу*; кроме того, может быть конструкция моста с *ездой посередине*.

На продольные балки, а в небольших мостах со сплошными стенками на главные фермы укладывается мостовое полотно, которое обычно состоит из мостовых и охранных брусьев или сплошных плит, а также рельсов и скреплений, настила, перил и уравнивательных приборов (на больших мостах). В необходимых случаях на мостах устраивают тротуары, огражденные перилами, площадки-убежища, освещение, связь, специальные смотровые и противопожарные приспособления, помещения для охраны и обслуживающего персонала.

Основными параметрами моста являются длина, высота, отверстие моста, грузоподъемность. *Длиной* моста называется расстояние между задними гранями его устоев, а *высотой* - расстояние от подошвы рельса до горизонта низких вод. *Отверстием* моста называется расстояние в свету между внутренними гранями устоев однопролетного моста, или сумма таких расстояний между всеми опорами многопролетного моста на уровне расчетного горизонта воды. *Грузоподъемностью* моста называется наибольшая нагрузка, которую он может выдержать при условии обеспечения безопасности движения поездов. Параметры мостов определяются шириной водной преграды, колебаниями уровня воды, заданной нормой массы поездов.

В зависимости от длины, числа пролетов, конструкции и материала,

пролетного строения, числа путей и способа передачи давления на опоры мосты классифицируются следующим образом:

по числу пролетов - одно-, двух- и трехпролетные и т. д.;

по числу главных путей - одно-, двух- и многопутные;

по конструкции пролетного строения - с ездой понизу, поверху и посередине;

по материалу - каменные, металлические, железобетонные, деревянные;

по длине - малые (до 25 м), средние (25 - 100 м), большие (100 - 500 м) и внеклассные (более 500 м);

по способу передачи давления на опоры (статическая схема) - балочные, арочные, рамные, висячие, вантовые, комбинированные.

В балочных и вантовых мостах пролетное строение передает на все опоры только вертикальное давление, благодаря чему опоры имеют сравнительно легкие конструкции. В мостах других статических схем береговые опоры работают под более сложным воздействием сил, поэтому их строят массивными и не дающими просадок.

Одной из важнейших задач при проектировании мостов является выбор материала пролетного строения.

Деревянные мосты широко применялись в первый период строительства железных дорог, а также в годы Великой Отечественной войны при временном восстановлении. Достоинствами этих мостов являются простота конструкций, возможность использования местных материалов, быстрота сооружения и дешевизна. Однако они недолговечны, опасны в пожарном отношении, сложны в содержании и поэтому в настоящее время могут быть допущены лишь в отдельных случаях на малодеятельных ветвях и подъездных путях. *Каменные мосты* долговечны, малочувствительны к увеличению массы поездов, требуют небольших затрат на содержание и могут сооружаться из местных материалов. Вместе с тем строительство этих мостов весьма трудоемко, допускаемая длина пролетов ограничена, они имеют большую собственную массу и требуют значительного расхода материала, поэтому каменные мосты в настоящее время не строятся.

Металлические мосты составляют около 70 % общей протяженности всех мостов на железных дорогах сети. Широкое распространение их объясняется высокой прочностью при сравнительно малой массе, возможностью применения однотипных деталей, изготавливаемых промышленным методом, высокой степенью механизации работ по сборке моста и сравнительно большим сроком службы (до 80 лет). Металлические мосты особенно экономичны при пролетах более 33 м. Основными недостатками этих мостов являются большой расход металла и необходимость тщательного ухода для предотвращения коррозии; во избежание ее производится периодическая окраска пролетных строений.

Железобетонные мосты являются более долговечными, чем металлические, требуют меньше металла и расходов на содержание, менее чувствительны к увеличению массы поездов. Они также позволяют изго-

товлять фермы в заводских условиях, а сборку моста производить на месте с широким использованием механизмов. Однако большая масса пролетных строений усложняет строительные-монтажные работы и требует более мощных опор. Поэтому железобетонные мосты являются основным типом малых мостов, а при средних и больших пролетах выбор материала - железобетона или металла - производится на основе технико-экономических расчетов.

Тоннель представляет собой искусственное сооружение для прокладки пути под землей. Транспортные тоннели по их месторасположению разделяют на горные, подводные и городские.

Конструкция пути на мостах и в тоннелях имеет ряд особенностей. На металлических мостах рельсовый путь обычно делают без балласта на деревянных брусках, уложенных на расстоянии 10 - 15 см друг от друга. Бруска крепят болтами к продольным балкам. Для удержания подвижного состава в случае схода его с рельсов на существующих мостах снаружи колеи имеются деревянные охранные бруска, а внутри - контррельсы (рис. 4.16, а). На строящихся мостах для этой цели используют металлические охранные уголки специального профиля (рис. 4.16, б).

На мостах с большими металлическими пролетными строениями укладывают путь на металлических поперечинах. На ряде металлических мостов и, в частности, на мосту через р. Амур на БАМе применена конструкция пути на сплошных железобетонных плитах (рис. 4.16, в), дающая сокращение затрат на содержание мостового полотна.

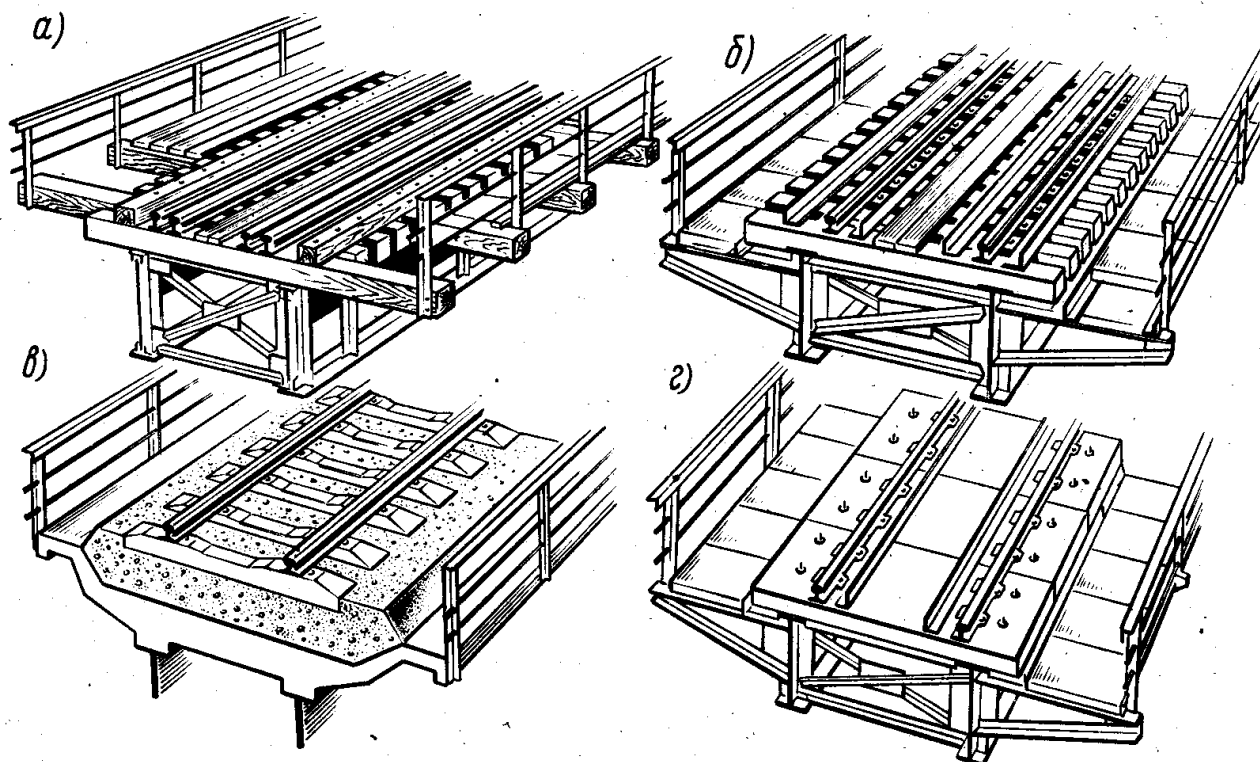


Рис. 4.16. Конструкция пути на постоянных мостах

На каменных, бетонных и железобетонных мостах, а также на путепроводах, расположенных в пределах станции, путь устраивают на щебеночном балласте и обычных шпалах, для чего на мосту устраивают корыто (рис. 4.16, в) шириной поверху на однопутных линиях не менее 3,6 м, а на двухпутных - не менее 7,7 м. Толщину щебеночного балласта на мостах и путепроводах принимают, как правило, не менее 25 см. Путь на балласте безопасен в пожарном отношении, дешевле, чем на мостовых брусках, удобнее в эксплуатации, легко выправляется в плане и профиле, однако он значительно тяжелее.

На подходах к мостам независимо от рода балласта, принятого на данной линии, путь с обеих сторон укладывают на щебеночном балласте, что повышает устойчивость пути и уменьшает засорение пылью конструкций моста при движении поездов. На подходах к безбалластным мостам путь полностью закреплен от угона; на самих мостах противоугоны ставят как исключение. На больших металлических мостах во избежание разрыва стыков при температурных изменениях длины пролетных строений устанавливают специальные приборы, обеспечивающие взаимное смещение остряка и рамного рельса.

Путь в тоннелях рекомендуется делать на железобетонных шпалах с эпюрой на одну ступень выше, чем на подходах. На протяженности 200 м с каждой стороны перед тоннелем и в самом тоннеле путь должен быть на щебеночном балласте толщиной не менее 25 см. Путь в тоннеле может быть и на жестком бетонном основании со скреплениями отдельного типа с прокладками-амортизаторами. При длине тоннеля более 300 м обычно применяют бесстыковой путь.

На мостах и тоннелях не допускается применение разных типов рельсов, переходных стыков и рельсовых рубок. При грузонапряженности линии до 10 млн. ткм/км на мостах и в тоннелях используют рельсы Р50, а при большей грузонапряженности - Р65.

Для безопасного движения транспорта предусматриваются специальные пересечения автомобильных и железных дорог в одном и разных уровнях. В первом устраиваются переезды, а во втором - путепроводы.

Переезды располагают, как правило, на прямых участках пути и под прямым углом для обеспечения лучшей видимости. На переездах укладывают настил, подъезды к ним ограждают столбиками или перилами, а при интенсивном пешеходном движении устраивают и пешеходные дорожки.

В зависимости от интенсивности движения автомобилей и числа пересекаемых железнодорожных путей переезды делятся на четыре категории и могут быть регулируемые и нерегулируемые. К регулируемым относятся переезды, на которых движение автотранспорта регулируется устройствами переездной сигнализации или дежурным работником.

Регулируемые переезды подразделяются на охраняемые и неохраняемые, а охраняемые, в свою очередь, могут быть со шлагбаумами и без шлагбаумов.

Переезды I и II категорий должны быть оборудованы автоматической сигнализацией (светофорной или оповестительной). Переезды III и IV ка-

тегорий оборудуются сигнализацией в зависимости от интенсивности и скорости движения поездов, транспортных средств и условий видимости в соответствии с инструкцией МПС.

На электрифицированных железных дорогах переезды с обеих сторон имеют габаритные ворота высотой проезда на более 4,5 м (для безопасного прохода нагруженных автомобилей под контактным проводом). Переезды, обслуживаемые дежурным работником, должны иметь прямую телефонную или радиосвязь с ближайшей станцией или постом, а на участках с диспетчерской централизацией - с поездным диспетчером. Категории переездов и порядок оборудования их заградительной сигнализацией, шлагбаумами и освещением устанавливаются ОАО «РЖД».

Путепроводы через главные пути, в первую очередь, устраивают в тех случаях, когда поезда движутся с высокими скоростями или имеются четыре и более главных путей, а также когда на пересекаемых автомобильных дорогах существует трамвайное, троллейбусное и интенсивное автобусное движение.

5. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

5.1 Системы тяги и тягового электроснабжения

Общие сведения. На железных дорогах нашей страны две системы электрической тяги: постоянного тока напряжением 3 кВ и переменного тока напряжением 25 кВ промышленной частоты 50 Гц. Система тяги определяется родом тока и значением напряжения в тяговой сети. Для обеих названных систем тяги создан и эксплуатируется разнообразный электроподвижной состав (э.п.с.).

Одно и то же напряжение в тяговой сети при заданном роде тока можно получить несколькими способами, поэтому *различают системы тяги и системы тягового электроснабжения*, реализующие их. Под системой тягового электроснабжения понимают комплекс электротехнических устройств, предназначенных для получения напряжения, подаваемого в тяговую сеть.

В нашей стране используют три вида систем тягового электроснабжения: систему постоянного тока 3,3 кВ, систему однофазного переменного тока 25 кВ и систему однофазного переменного тока 2×25 кВ. Система тяги переменного тока 25 кВ реализуется при применении двух последних систем тягового электроснабжения. За рубежом (Канада, США, ЮАР) в последнее время нашла применение новая система тяги переменного тока 50 кВ промышленной частоты 50 Гц, действующая в системе тягового электроснабжения того же названия. В то же время в странах центральной и северной Европы (Германия, Швейцария, Швеция, Австрия, Норвегия) продолжается использование давно введенной системы тяги переменного тока напряжением 15 кВ пониженной частоты $16^{2/3}$ Гц. Эта система тяги реализуется в двух системах тягового электроснабжения пониженной частоты $16^{2/3}$ Гц: с вращающимися генераторами и преобразователями и со статическими преобразователями.

Ниже будут рассмотрены схемы участков железных дорог, электрифицированных по системам постоянного тока 3 кВ, переменного однофазного тока 25 кВ и пониженной частоты $16^{2/3}$ Гц. Предварительно напомним, что основным потребителем энергии в любой системе тягового электроснабжения является э.п.с., который может получить энергию, лишь подключившись к тяговой сети при условии, что в тяговую сеть уже подано напряжение. Поэтому, знакомясь со схемами электрифицированных участков железных дорог, будем, прежде всего, обращать внимание на то, каким образом в тяговую сеть подается напряжение и как оно формируется в системе тягового электроснабжения.

Принципиальная схема участка железной дороги, электрифицированной по системе постоянного тока 3 кВ (рис. 5.1,а).

На схеме приведен участок электрифицированной железной дороги длиной 20-25 км с двумя соседними тяговыми подстанциями / и //, расположенными вблизи ст. А и В.

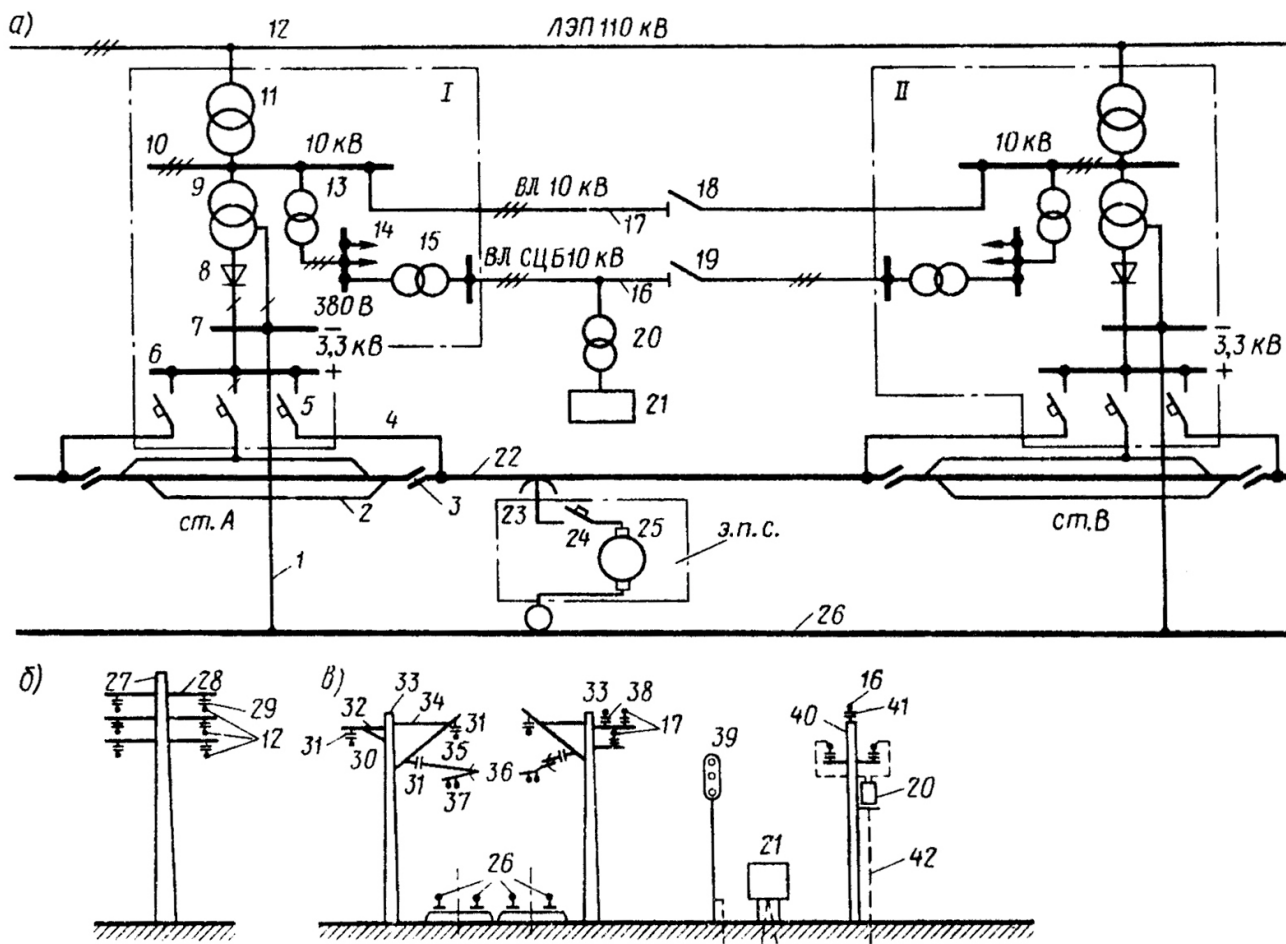


Рис. 5.1. Принципиальная схема участка железной дороги, электрифицированной по системе постоянного тока 3 кВ (а), разрезы по ЛЭП 110 кВ (б) и двухпутному участку дороги (в)

К линии электропередачи (ЛЭП) трехфазного переменного тока 110 кВ 12 подключен понижающий трансформатор тяговой подстанции 11. Этим трансформатором первичное напряжение 110 кВ понижается до 10 кВ и подается на шины 10 распределительного устройства тяговой подстанции. К этим шинам подключен преобразовательный агрегат, состоящий из преобразовательного трансформатора 9 и выпрямителя 8. Пониженное до 3 кВ напряжение на выходе преобразовательного трансформатора 9 выпрямляется и подается на шины «плюс» 6 и «минус» 7 тяговой подстанции.

Тяговая сеть перегона между подстанциями образована контактной сетью 22 и рельсами 26. Контактная сеть 22 питающей линией (фидером контактной сети) 4 через выключатель 5 соединена с шиной «плюс» 6, а рельсы 26 питающей линией (рельсовым фидером) 1 с шиной «минус» 7 тяговой подстанции. Таким образом, если будет включен выключатель 5 фидера контактной сети (на схемах, согласно ГОСТ 2.755-87 все выключатели показаны в начальном отключенном положении), то в тяговую сеть перегона, т. е. между контактной сетью 22 и рельсами 26, будет подано выпрямленное напряжение 3,3 кВ постоянного тока. Подняв на э.п.с. токоприемник 23 и включив выключатель 24, машинист соберет цепь

тока через тяговые двигатели 25, и э.п.с., потребляя энергию, начнет двигаться. Через другие фидеры и выключатели тяговой сети с шиной «плюс» 3,3 кВ соединены: контактная сеть 2 станции А и контактная сеть перегона слева от станции. Участки контактной сети перегона 22 и станции 2 отделены друг от друга изолирующим сопряжением - воздушным промежутком 3, который, однако, обеспечивает непрерывный токосъем с контактной сети при проходе по нему токоприемника э.п.с.

Аналогичным образом на этот же участок тяговой сети 22, 26 подается напряжение 3,3 кВ постоянного тока с подстанции //. Тем самым обеспечивается двусторонний подвод электрической энергии к э.п.с. или, как говорят, его двустороннее питание. Рассмотрим другие, вспомогательные, линии электроснабжения участка. Чтобы обеспечить электрической энергией собственные нужды тяговой подстанции, а именно питать цепи управления, сигнализации, освещения, отопления и моторную нагрузку самой тяговой подстанции, на ней устанавливают трансформатор собственных нужд (ТСН) 13. Он понижает напряжение до 380/220 В переменного тока. Этими напряжениями и питаются цепи собственных нужд 14 (на схеме стрелки, отходящие от шин 380/220 В).

Вдоль трассы железной дороги расположено много нетяговых железнодорожных потребителей электрической энергии. К ним относятся установки, принадлежащие всем службам дороги, механизмы и инструменты, для работы которых необходима электроэнергия, а также освещение станций, переездов и других объектов. Кроме того, электрической энергией снабжаются некоторые промышленные предприятия, колхозы, совхозы и т.д., расположенные по обе стороны железной дороги. Для питания всех перечисленных потребителей вдоль трассы железной дороги проложена трехфазная воздушная линия (ВЛ) 10 кВ 17, подключенная к шинам 10 кВ 10 двух соседних подстанций I и II. В середине межподстанционной зоны ВЛ секционирована разъединителем 18, который нормально отключен. Благодаря этому каждая из подстанций питает только часть нетяговых потребителей, находящихся в межподстанционной зоне. При отключении любой из подстанций разъединитель 18 включают и тогда все нетяговые потребители питаются от одной, неотключенной подстанции.

Ответственные потребители электроэнергии - устройства СЦБ (сигнализации, централизации, блокировки) и связи, которые расположены вдоль трассы железной дороги. Относящиеся к этим устройствам светофоры всем хорошо знакомы. Они получают питание от путевых ящиков СЦБ 21 через отдельный понижающий трансформатор 20, который в свою очередь получает питание от трехфазной ВЛ СЦБ 10 кВ, трасса которой проходит вдоль железной дороги. Напряжение в эту линию подается от повышающего трансформатора 15, подключенного к шинам 380/220 В собственных нужд 14 тяговой подстанции. ВЛ СЦБ также подключена к обеим подстанциям I и II и в середине межподстанционной зоны секционирована разъединителем 19. Благодаря этому устройства

СЦБ могут получать питание сразу от двух подстанций (при разомкнутом разъединителе 19) или от одной из них, когда другая отключена и включен разъединитель 19.

Рассмотрим устройство трехфазной ЛЭП 110 кВ 12. На опоре 27 (рис. 5.1,б) располагаются две трехфазные линии (цепи) 110 кВ, одна слева, другая справа. На металлических траверсах 28 укрепляются гирлянды изоляторов 29, к которым подвешиваются провода линии 12.

Рассмотрим разрез по двухпутному участку дороги (рис.5.1, б) В нижней части рис. 5.1,в видны четыре рельсовые нити 26 железнодорожного пути двухпутного участка (см. также рис. 5.1,а). На опорах контактной сети 33 подвешены провода различного назначения: усиливающие провода – алюминиевые тросы 30 – через изоляторы 31 к траверсе 32 с полевой стороны опоры 33; на консоли 34 через изолятор 31 несущий трос 35; фиксатор 36, укрепленный через изолятор 31, удерживает два контактных провода 37, не позволяя им перемещаться поперек пути. Соединенные между собой во многих точках усиливающий провод 30, несущий трос 35 и контактные провода 37 и образуют собственно контактную сеть перегона 22 (см. рис. 5.1,а).

С полевой стороны другой опоры 33 контактной сети на специальных кронштейнах и штыревых изоляторах 38 крепится продольная трехфазная ВЛ 17 напряжением 10 кВ, о назначении которой сказано выше. Все светофоры 39 получают питание через путевой шкаф СЦБ 21 и кабель 42 от однофазного понижающего трансформатора 20, присоединенного к линии передачи СЦБ 10 кВ 16, проходящей вдоль железной дороги на собственных опорах 40. Провода ЛЭП СЦБ укреплены на штыревых изоляторах 41.

По системе постоянного тока напряжением 3 кВ в границах РФ электрифицировано свыше 19 тыс. км железных дорог и среди них самые грузонапряженные. В последние годы при электрификации железных дорог предпочтение отдавалось более совершенным системам 25 кВ или 2×25 кВ переменного тока промышленной частоты.

Принципиальная схема участка железной дороги, электрифицированной по системе переменного тока 25 кВ (рис. 5.2,а).

На схеме приведен участок электрифицированной железной дороги длиной 40-50 км с двумя тяговыми подстанциями I и II, расположенными вблизи станций А и В. К линии электропередачи 12 трехфазного переменного тока 110 кВ подключен понижающий трехобмоточный трансформатор 10 тяговой подстанции. Этим трансформатором первичное напряжение 110 кВ понижается до 25 кВ, а также до 35 или 10 кВ. Напряжение 25 кВ подается на шины 7, 8 и 9 (соответственно фазы b, a и c) и используется для питания тяговой сети, а напряжение 35 (или 10) кВ - на шины 11 и используется для питания прилегающего к подстанции района.

Для равномерной загрузки всех трех фаз системы внешнего электроснабжения (ей принадлежит ЛЭП 110 кВ) в тяговую сеть станции А и перегона слева от нее подается напряжение, отличающееся по фазе от

напряжения, подаваемого в тяговую сеть перегона справа. Для этого участки контактной сети указанных перегонов и станции, а также рельсы, присоединены к разным фазам шин 27,5 кВ: контактная сеть перегона 26 через фидер контактной сети 4 и выключатель 5 подключена к шине фазы *b*, контактная сеть станции 1 и перегона слева от нее – к шине фазы *a*, а рельсы через рельсовый фидер 6 – к шине фазы *c*. При таком подключении к шинам 27,5 кВ соединение контактной сети слева от станции А с контактной сетью станции токоприемниками движущегося э.п.с. 27 возможно, так как они присоединены к одной и той же фазе *a*. Соединение же контактной сети 1 станции и контактной сети 26 перегона справа от подстанции недопустимо, так как они присоединены к двум разным фазам *a* и *b*. Такое соединение приведет к короткому замыканию фаз *a* и *b* понижающего трансформатора 10. Поэтому участки контактной сети 1 станции и перегона слева от нее разделены воздушным промежутком 2, а станции и перегона справа - двумя воздушными промежутками 2 и нейтральной вставкой между ними 3. Наличие нейтральной вставки 3 исключает даже кратковременное замыкание фаз *a* и *b* трансформатора 10 токоприемниками э.п.с. при проходе ими этого участка тяговой сети.

Подача напряжения в тяговую сеть перегона происходит при включении выключателя 5 фидера контактной сети. После этого машинист э.п.с. может, подняв токоприемник 27 и включив выключатель 28, подать переменное напряжение на первичную обмотку понижающего тягового трансформатора 31. Напряжение на вторичной обмотке тягового трансформатора выпрямляется выпрямителем 32 и через сглаживающий реактор 29 подводится к тяговым двигателям 30. Через электродвигатели начинает протекать ток, который приводит их и э.п.с. в движение.

В тяговую сеть перегона между подстанциями напряжение подается от двух подстанций / и //. При этом обеспечивается двусторонний подвод энергии к э.п.с. Заметим, что для обеспечения двустороннего питания э.п.с. и равномерной загрузки фаз ЛЭП 110 кВ понижающие трансформаторы двух соседних подстанции / и // присоединены к ЛЭП 110 кВ неодинаково, а следуя специально разработанному правилу.

Рассмотрим другие вспомогательные линии электроснабжения участка. От шин тягового напряжения 27,5 кВ получают питание также нетяговые потребители. Для этого через выключатель 20 к шинам 7 и 8 подключают два провода, размещаемые на опорах контактной сети с полевой стороны. Понижающие трансформаторы потребителей 22 подключаются к этим проводам и рельсу. Такая система питания получила название ДПР (два провода - рельс). В середине линии ДПР установлен разъединитель 23. Нормально левая половина линии ДПР питается от подстанции /, а правая - от подстанции //, разъединитель 23 разомкнут. В случае необходимости (например, при отключении одной из подстанций) вся линия ДПР может получать питание от одной подстанции. При этом разъединитель 23 включается.

Энергию для собственных нужд тяговой подстанции (питание цепей управления, сигнализации, освещения, отопления, моторной нагрузки) получают от трансформатора собственных нужд (ТСН) 13 через шины собственных нужд 14 (на рис. 5.2,а нагрузки собственных нужд обозначены стрелками). От шин собственных нужд 14 через трансформатор 15 напряжение подается в линию 16, предназначенную для питания устройств СЦБ и связи. От этой линии через маломощные понижающие трансформаторы 18 и релейные шкафы СЦБ 19 питаются светофоры. В середине линии 16 установлен разъединитель 17. Это дает возможность питать линию от любой из двух подстанций / или // (при замкнутом разъединителе 17) или же каждую половину линии питать от своей подстанции (при разомкнутом разъединителе). Так как от работы устройств СЦБ непосредственно зависит выполнение графика движения поездов на участке, они должны иметь резервный источник питания. Устройства СЦБ получают резервное питание по линии 24 через понижающие однофазные трансформаторы 25 от линии ДПР 21.

Рассмотрим разрез по двухпутному участку дороги (рис. 5.2,б). Трехфазная комплектная трансформаторная подстанция (КТП) 34, состоящая из трансформатора 22 и сопутствующего оборудования, получает питание от линии ДПР 21 через провода 36. Один провод линии ДПР 21 через изоляторы 37 подвешивается к консоли 38 с полевой стороны опоры контактной сети 39, а другой - с полевой стороны опоры 45 второго пути. Третий вывод КТП присоединяется проводом 35 к рельсам 33. На изолированной консоли 41, закрепленной на опоре через изоляторы 40, подвешен несущий трос 42. Одиночный контактный провод 44, удерживаемый фиксатором 43, занимает заданное положение относительно оси пути. Электрически соединенные во многих точках несущий трос 42 и контактный провод 44 и составляют контактную сеть 26 (см. рис. 5.2,а). Светофор 46 получает напряжение от малоомощного понижающего однофазного трансформатора 18 через кабель 24 и релейный шкаф СЦБ 19. Трансформатор 18 подключен к трехфазной линии передачи 10 кВ 16. Провода этой линии крепятся на штыревых

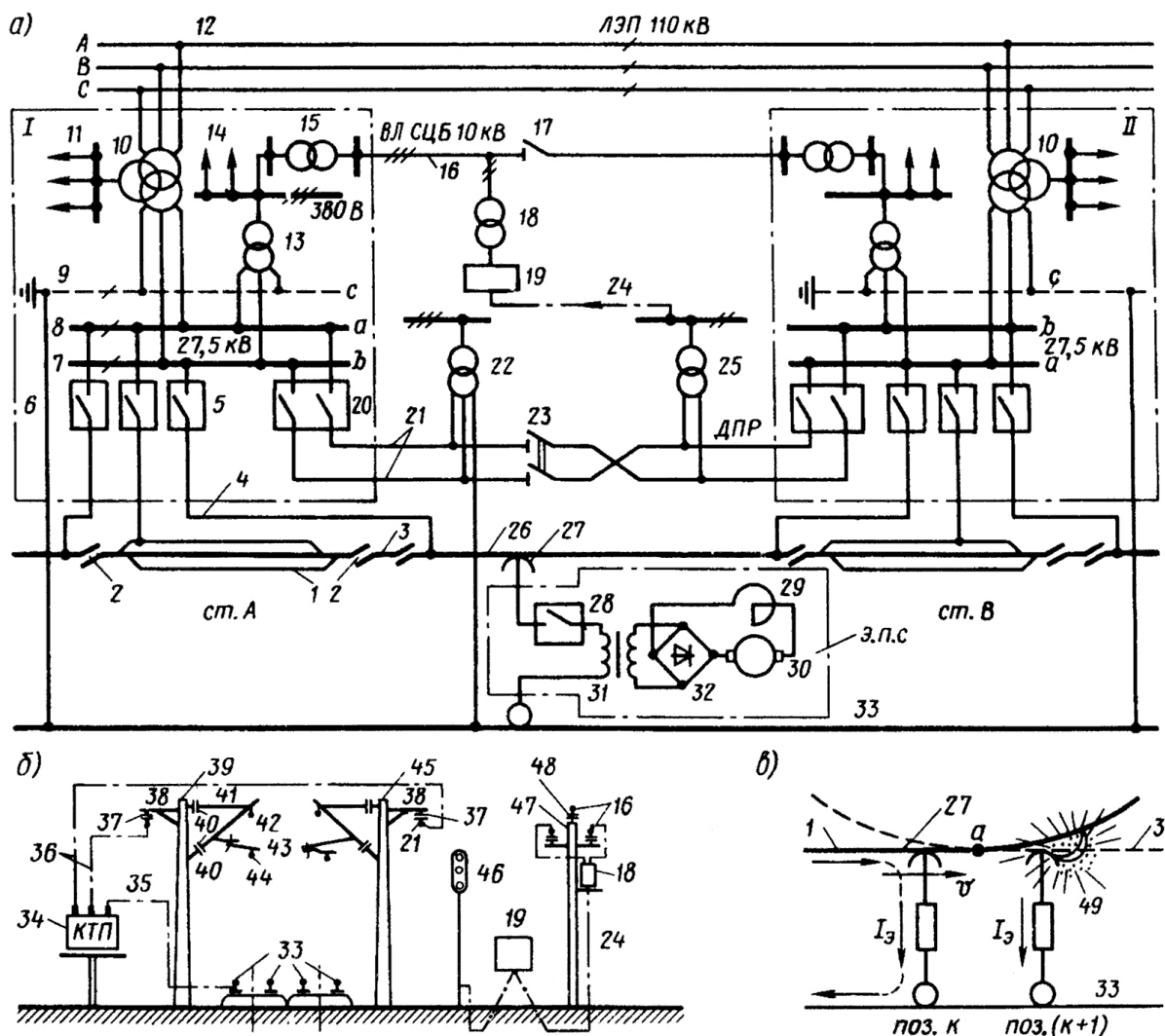


Рис. 5.2. Принципиальная схема участка железной дороги, электрифицированной по системе переменного тока 25 кВ (а), разрез его по двухпутному участку дороги (б) и схема, поясняющая процесс прохода поездом воздушного промежутка нейтральной вставки (в)

изоляторах 48 опор 47, которые установлены параллельно железной дороге специально для линии СЦБ.

Рассмотрим проход воздушного промежутка 2 перед нейтральной вставкой 3 поездом, идущим со станции А в сторону станции В. Дело в том, что по правилам этот воздушный промежуток, как и нейтральную вставку, поезд должен проходить при отключенных тяговых электродвигателях или, как говорят, без тока. В противном случае возможен пережог ветви контактного провода 1 промежутка 2, принадлежащей ст. А. Покажем, как это происходит. Для этого посмотрим на воздушный промежуток 2 сбоку (рис. 5.2,в). Как видим, высота подвеса контактных проводов ветвей 1 и 3 в пределах воздушного промежутка постепенно изменяется. В направлении слева направо контактный провод ветви 1 поднимается, а ветви 3 опускается. В точке а высоты подвеса обоих проводов равны. Поэтому, двигаясь по воздушному промежутку в направлении, указанном стрелкой, токоприемник э.п.с. до точки а скользит по проводу ветви 1 (позиция k), а после точки а - по проводу ветви 3 (позиция $k+1$). На провод 1 подано напряжение фазы А (см. рис. 5.2,а), на провод же 3, принадлежащий нейтральной вставке, напряжение не подано. По этой причине, двигаясь по воздушному промежутку, э.п.с. может потреблять ток только до точки а. После ее прохода контакт между контактным проводом 1 и токоприемником 27 прекращается, и ток через двигатели э.п.с. должен прерваться. Однако при большом токе (несколько сотен ампер) этого сразу не происходит, между контактным проводом и токоприемником загорается электрическая дуга 49, которая за несколько долей секунды пережигает провод 1. Поэтому машинист и обязан отключать электродвигатели, или, как говорят, отключать ток, подъезжая к нейтральной вставке. Однако преждевременное отключение тока может вызвать остановку поезда на нейтральной вставке, следовательно, проезд нейтральной вставки требует от машиниста большого внимания.

Главными достоинствами системы переменного тока напряжением 25 кВ является более высокое напряжение в контактной сети и возможность легко понизить это напряжение трансформатором электровоза. Электровоз мощностью 6000 кВт на постоянном токе потребляет из контактной сети ток 2000 А, а на переменном лишь 300 А. Поэтому контактная сеть постоянного тока тяжелая, имеет большое число проводов. Это обычно два медных контактных провода сечением 100 мм^2 каждый, медный несущий трос сечением 120 мм^2 и еще один или два усиливающих алюминиевых провода сечением 185 мм^2 каждый. На переменном токе контактная сеть более легкая и состоит из одного медного контактного провода сечением 100 мм^2 и биметаллического несущего троса сечением 95 мм^2 . Конструкция подстанции переменного тока по сравнению с подстанцией на постоянном токе более проста благодаря отсутствию выпрямительных агрегатов. Количество подстанций на линиях при системе переменного тока меньше, ибо располагаются они на больших расстояниях. Один из недостатков системы переменного тока

заклучается в ее значительном влиянии на линии связи, так как переменный ток создает вокруг проводов переменное электромагнитное поле. Приходится линии связи, проходящие вдоль железных дорог, непременно выполнять кабельными, а не воздушными, как на постоянном токе, что приводит к увеличению стоимости электрификации железных дорог. Кроме того, возникают проблемы несимметрии токов и напряжений из-за того, что электровазы потребляют однофазный ток, а линии передачи трехфазные. Появляется необходимость монтажа нейтральных вставок у каждой подстанции. Наличие таких вставок увеличивает вероятность пережога контактного провода.

В некоторых странах (Канада, США, ЮАР) появилась новая система тягового электроснабжения - система переменного тока напряжением 50 кВ частоты 50 или 60 Гц. Эта система аналогична системе переменного тока 25 кВ, но более высокое напряжение дает возможность существенно увеличить передаваемую по тяговой сети электрическую мощность. Однако при этом приходится усиливать изоляцию контактной сети, увеличивать габариты между устройствами, находящимися под напряжением, и заземленными частями, и, конечно, требуется новый электроподвижной состав, рассчитанный на напряжение 50 кВ.

Стремление повысить мощность, передаваемую по тяговой сети, путем увеличения напряжения при одновременном желании использовать стандартный электроподвижной состав на напряжение 25 кВ привело к возникновению системы переменного тока 2×25 кВ. При этой системе электрическая энергия от тяговой подстанции к э.п.с. передается в два этапа: сначала при напряжении 50 кВ, а затем 25 кВ. Для этого на опорах контактной сети с полевой стороны приходится подвешивать еще один так называемый питающий провод (напряжение между ним и проводами контактной сети и составляет 50 кВ), и устанавливать на перегоне между подстанциями автотрансформаторы 50/25 кВ.

Система 2×25 кВ широко применяется как в нашей стране, так и в других странах (Франция, Япония), имеющих электрифицированные линии напряжением 25 кВ. Она рассматривается как средство усиления этих линий.

Принципиальная схема участка железной дороги, электрифицированной по системе переменного тока 15 кВ пониженной частоты $16^{2/3}$ Гц с вращающимися преобразователями (рис.5.3).

В некоторых странах широкое распространение получила система переменного тока пониженной частоты. По этой системе работают с первых лет электрификации железные дороги стран центральной и северной Европы: Германии, Швейцарии, Швеции, Австрии, Норвегии. Понижение частоты объясняется стремлением использовать на переменном токе тяговый электродвигатель последовательного возбуждения, широко применяемый в электрической тяге на постоянном токе. Вращающий момент на валу электродвигателя пропорционален произведению тока и магнитного потока, поэтому электродвигатель

последовательного возбуждения способен работать и на переменном токе, поскольку направления тока и магнитного потока меняются одновременно. Однако переменный магнитный поток электродвигателя приводит к возникновению так называемой трансформаторной э.д.с. в обмотке якоря двигателя. При значительной э.д.с. появляется сильное искрение под щетками, вплоть до кругового огня по коллектору при коммутации. Чтобы избежать этого, необходимо снизить частоту тока. Технически проще всего снизить частоту ровно в 3 раза: с 50 до $16\frac{2}{3}$ Гц. Этим и объясняется появление электрифицированных участков 15 кВ частоты $16\frac{2}{3}$ Гц. Рассмотрим такой участок длиной 35-40 км с двумя соседними тяговыми подстанциями I и II, расположенными вблизи ст. А и В (рис. 5.3).

К линии электропередачи (ЛЭП) трехфазного переменного тока 110 кВ 14 подключен трансформатор тяговой подстанции 13, понижающий напряжение до 6,0 кВ. Это напряжение подается на синхронный трехфазный электродвигатель 12, на валу 11 которого установлен синхронный однофазный генератор 10 с выходным напряжением 5,7 кВ частотой $16\frac{2}{3}$ Гц. Полученное напряжение повышается трансформатором 9 до 15 кВ и подается на шины 8 и 7 тяговой подстанции. Одна из шин 8 рельсовым фидером 6 соединена с рельсами, а другая через фидерные выключатели 5 и, фидер контактной сети 4 - с контактной сетью перегона 3. Таким образом, после включения фидерного выключателя 5 тяговая сеть перегона, образованная контактным проводом 2 и рельсом 18, оказывается под напряжением. После этого машинист э.п.с. может, подняв токоприемник 15 и включив выключатель 16, подать напряжение на двигатели 17. Последние начинают вращаться, и э.п.с. приходит в движение.

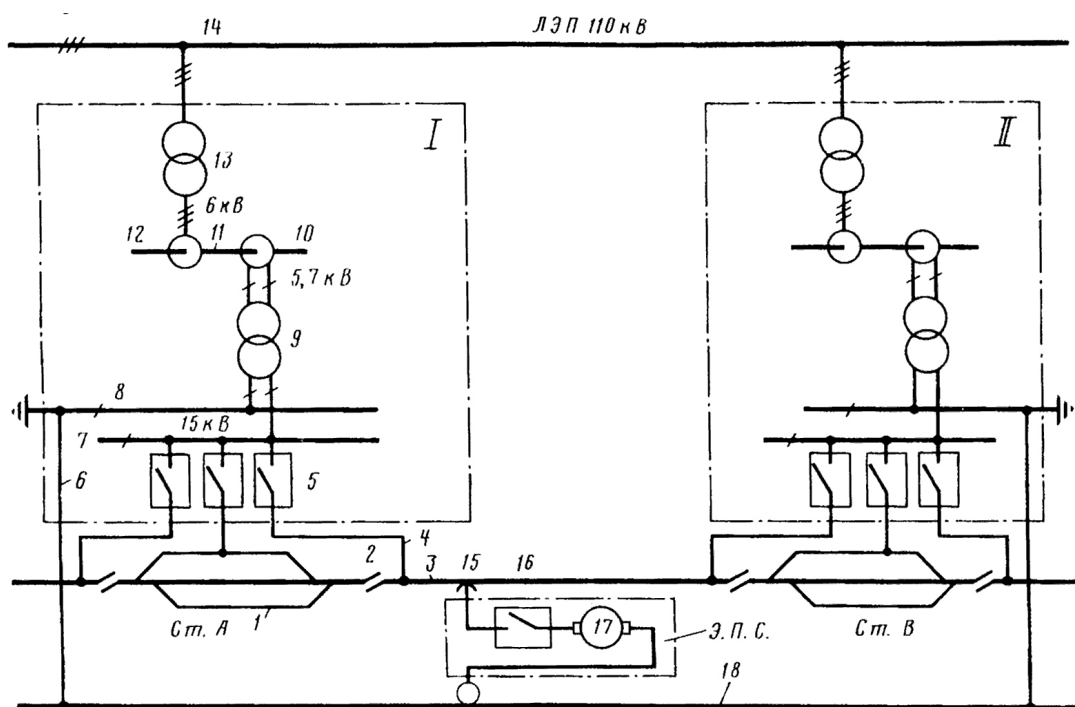


Рис. 5.3. Принципиальная схема участка дороги, электрифицированной по системе переменного тока 15 кВ пониженной частоты $16\frac{2}{3}$ Гц с вращающимися преобразователями

Контактная сеть 1 ст. А подключена к той же шине 7, что и сеть 3 перегона, поэтому перегон и станция в этой системе отделены простым по конструкции воздушным промежутком 2, а не двумя промежутками с нейтральной вставкой, как при системе 25 кВ.

Недостатки системы 15 кВ пониженной частоты заключаются прежде всего в том, что эта система требует громоздких вращающихся преобразователей. Трансформаторы, работающие на пониженной частоте, массивны из-за большой площади сечения стальных сердечников, так как для создания необходимой э.д.с. при пониженной частоте требуется большой магнитный поток. При некоторой предельной для стали индукции его можно получить только увеличивая площадь сечения сердечника трансформатора.

Однако система пониженной частоты $16^{2/3}$ Гц обладает и достоинствами: индуктивное сопротивление тяговой сети (пропорциональное частоте) в 3 раза меньше, чем при частоте 50 Гц (соответственно падения напряжения в сети меньше и расстояния между тяговыми подстанциями могут быть увеличены), электромагнитное влияние на линии связи из-за более низкой частоты незначительно. Так как электрическая энергия из трехфазной сети передается в однофазную через механическое звено (вал 11 между двигателем и генератором), то снимаются все проблемы несимметрии токов и напряжений, в контактной сети не нужны нейтральные вставки. Страны, уже имеющие у себя сеть электрифицированных линий переменного тока пониженной частоты, продолжают электрификацию по этой же системе. Однако другие страны систему пониженной частоты не применяют

5.2 . Классификация и структурные схемы тяговых подстанций

Классифицировать тяговую подстанцию это значит словесно описать ее наиболее характерные схемные и конструктивные особенности. Принято классифицировать тяговые подстанции по следующим признакам:

- напряжению и роду тока (постоянный или переменный), при которых энергия от тяговой подстанции поступает к электрическим поездам;
- первичному напряжению, т. е. напряжению в линии электропередачи, к которой подключена тяговая подстанция со стороны системы внешнего электроснабжения;
- схеме присоединения тяговой подстанции к системе внешнего электроснабжения;
- способу обслуживания тяговой подстанции;
- способу управления оборудованием тяговой подстанции, а также по другим, не названным выше признакам, если указание на них целесообразно.

По первому признаку различают тяговые подстанции: постоянного тока напряжением 3,3 кВ; переменного тока напряжением 25 кВ;

переменного тока напряжением 2×25 кВ и постоянно-переменного тока (стыковые), обслуживающие участки двух систем тяги в месте их стыковки.

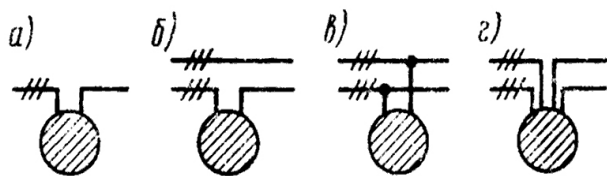


Рис. 5.4. Принципиальные схемы присоединения тяговых подстанций к системе внешнего электроснабжения

Подстанции постоянного тока используют первичное напряжение классов 6-10-35-110 и 220 кВ, переменного - 110 и 220 кВ.

К системе внешнего электроснабжения тяговые подстанции могут присоединяться по различным схемам. Подстанции, присоединяемые по схемам, приведенным на рис. 5.4, а, б

и в, называют промежуточными, по схеме на рис. 5.4, г – опорными. В свою очередь, промежуточные подстанции разделяются на промежуточные транзитные (рис. 5.4, а, б) и промежуточными на ответвлениях (рис. 5.4, в). Особенность присоединения подстанции непременно отражается на схеме самой подстанции, о чем будет сказано далее.

По способу обслуживания тяговые подстанции делятся на подстанции без дежурного персонала, с дежурством на дому и с постоянным дежурным персоналом. По системе управления различают: телеуправляемые подстанции, т.е. такие, оборудование которых может включать и отключать диспетчер, используя систему телеуправления и находясь при этом на значительном расстоянии от подстанции (100 - 250 км); без телеуправления, т.е. такие, для управления которыми нужно быть непосредственно на тяговой подстанции.

Попробуем далее классифицировать тяговые подстанции на примере описания их структурных схем. Структурными называют схемы, показывающие принцип выполнения электроустановки на уровне крупных функциональных узлов – структур. Одним из наиболее важных функциональных узлов любой подстанции, в том числе тяговой, является *распределительное устройство (РУ)*. Назначение РУ состоит в приеме электрической энергии от какого-либо источника по специальным линиям (вводам) и распределение ее по потребителям с помощью отходящих *питающих линий*.

Другой, не менее важный функциональный узел подстанции – трансформатор. Различают *понижающие трансформаторы*, назначение которых сводится к понижению напряжения, и *преобразовательные трансформаторы*, назначение которых состоит в понижении напряжения и, при необходимости, одновременно в увеличении числа фаз на вторичной обмотке. Преобразовательные трансформаторы питают *выпрямители* и *инверторы*. Последние также можно рассматривать как отдельные функциональные узлы. Выпрямители преобразуют (выпрямляют) переменный ток, на котором энергия поступает к выпрямителю, в постоянный, на котором она затем используется электрическими поездами. Инверторы выполняют обратное преобразование (инвертирование) энергии постоянного тока.

вырабатываемой э.п.с. во время торможения у станций или на крутых спусках, в энергию переменного тока, на котором она через преобразовательный трансформатор возвращается в систему внешнего электроснабжения.

Другие функциональные узлы, специфические для отдельных видов тяговых подстанций, будут понятны из рассмотрения структурных схем.

Структурная схема промежуточной тяговой подстанции постоянного тока 3,3 кВ с первичным напряжением 110 (220) кВ и РУ 35 кВ для питания района.

Основные функциональные узлы тяговой подстанции (рис. 5.5): I - РУ 110(220) кВ; II - понижающий трансформатор; III - РУ 35 кВ; IV— РУ 10 кВ; V - преобразовательный трансформатор; VI - выпрямитель; VII - РУ 3,3 кВ; VIII -- сглаживающее устройство.

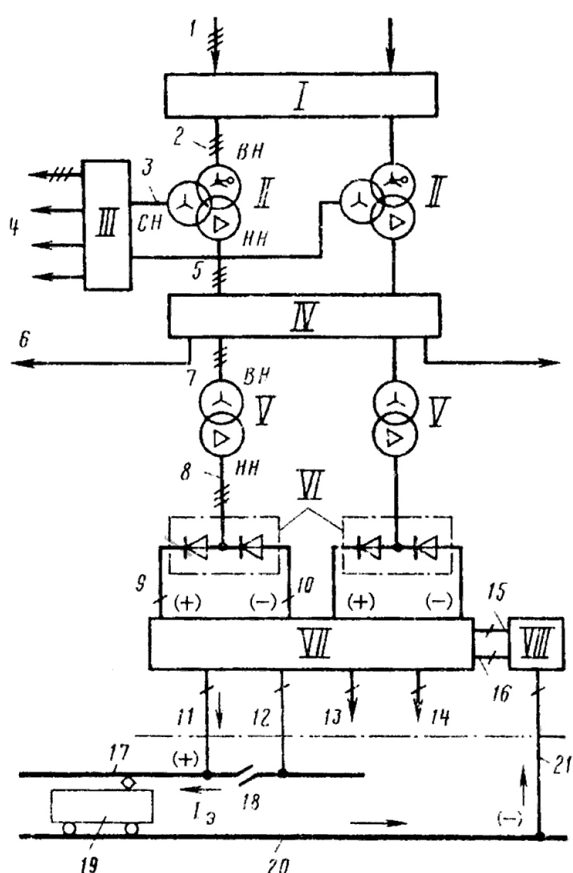


Рис. 5.5. Структурная схема промежуточной тяговой подстанции постоянного тока 3,3 кВ

Вводы, питающие линии и другие присоединения обозначены арабскими цифрами. Через вводы 1 трехфазное напряжение 110(220) кВ, передаваемое по трем проводам, подается в РУ 110 (220) кВ I, откуда по присоединениям 2 – к понижающим трансформаторам II. Эти трансформаторы трехобмоточные, поэтому обмотками вН и нН они понижают первичное напряжение до 10 кВ, а обмотками вН и сН – до 35 кВ. Через вводы 5 напряжение 10 кВ поступает в РУ 10 кВ IV, а через вводы 3 напряжение 35 кВ – в РУ 35 кВ III. По питающим линиям 4 напряжение 35 кВ подается в РУ 35 кВ трансформаторных подстанций района (на схеме не показаны), по линиям 6 напряжение 10 кВ подается от РУ 10 кВ IV для

питания нетяговых железнодорожных потребителей. Линии обычно размещаются с полевой стороны на опорах контактной сети (см. рис. 5.1).

По присоединениям 7 от того же РУ 10 кВ получают трехфазное напряжение преобразовательные трансформаторы V. Они понижают напряжение до 1,52 кВ. Это напряжение подается на выпрямители VI, которые преобразовывают его в напряжение постоянного тока 3,3 кВ. Поэтому от выпрямителей в РУ 3,3 кВ VII идут уже всего два провода (две шины): 9 и 10. Потенциал шины 9 выше (он обозначен знаком +), шины 10 ниже (он обозначен знаком –), а разность потенциалов между шинами (напряжение) составляет 3,3 кВ.

Через РУ 3,3 кВ и питающую линию (фидер) контактной сети 11 потенциал шины 9 (+) подается на участок контактной сети 17, а через сглаживающее устройство VIII и рельсовый фидер 21 потенциал шины 10 (–) – на рельсы 20.

Несколько слов о сглаживающем устройстве VIII. Оно предназначено для резкого (в 50-100 раз) снижения пульсаций тока в тяговой сети, которые возникали бы под действием пульсирующего, не идеально сглаженного напряжения на выходе выпрямителя VI и наводили помехи в линии проводной связи, проходящей параллельно трассе железной дороги.

На другие участки контактной сети потенциал шины 9 (+) подается через фидеры контактной сети 12, 13, 14. Соседние участки по одному пути разделены воздушным промежутком 18. Заметим, что собственно схема тяговой подстанции кончается там, где на рис. 5.5 проходит штриховая линия (ниже РУ 3,3 кВ).

Таким образом, между любым участком контактной сети и рельсами разность потенциалов (напряжение) в зависимости от величины тяговой нагрузки подстанции составляет величину $2,7 \div 3,3$ кВ. Это дает возможность машинисту э.п.с. 19, подключив двигатели, собрать замкнутую цепь тока. При этом двигатели начнут потреблять электрическую энергию, превращая ее в механическую энергию движения поезда.

Напомним, что электрическую энергию вырабатывают генераторы электрических станций системы внешнего электроснабжения, откуда она передается сначала через ЛЭП и районные подстанции системы внешнего электроснабжения, а затем уже через тяговую подстанцию и тяговую сеть к э.п.с. 19. В соответствии с общими закономерностями передача электрической энергии сопровождается потерями во всех звеньях тракта передачи: от источника до потребителя. Это означает, что если потребитель (в нашем случае э.п.с. 19) получил за некоторое время $A_{\text{э}}$ кВт·ч энергии, то электрические станции системы должны выработать за это же время $A = A_{\text{э}} / \eta_{\text{п}}$ кВт·ч активной энергии, где $\eta_{\text{п}}$ - коэффициент полезного действия тракта передачи энергии.

Существенно и другое: одновременно с активной энергией A , кВт·ч, станции должны за это же время выработать еще и реактивную энергию $A_{\text{р}}$, квар·ч, не производящую работы и лишь загружающую систему протеканием тока. Эта энергия определяется индуктивностью тракта передачи и свойствами

потребителей активной энергии. Без потребления реактивной энергии не может работать ни один преобразовательный агрегат, под которым понимают выпрямитель и преобразовательный трансформатор, взятые как единое целое.

Для полного понимания процессов преобразования энергии в схеме рассматриваемой тяговой подстанции необходимо обратить внимание на следующее: между истинными источниками электрической энергии - электрическими станциями и э.п.с. 19 существует несколько гальванически, т.е. электрически разделенных, но магнитосвязанных контуров тока, в каждом из которых существуют свой формальный источник энергии и формальный потребитель энергии. При этом все формальные источники и потребители энергии обладают признаками истинных. В рассматриваемой схеме таких контуров три.

Первый - контур постоянного тока 3,3 кВ. Формальный источник энергии: выпрямители VI совместно с обмотками *нн* преобразовательных трансформаторов. Формальный потребитель, он же истинный - э.п.с. 19. Цепь тока (в соответствии с принятым положительным направлением тока электровоза I_3 , указанным стрелкой) замыкается последовательно: *нн* V - 8 - V - 9 - VII - 11 - 17 - 19 - 20 - 21 - VIII - 1 - 15 - VII - VI - *нн* V. Измерениями можно установить, что наибольшее падение напряжения в этом контуре приходится на э.п.с. Это означает, что э.п.с. потребляет и основную долю энергии, расходуемую в этом контуре, где она в основном преобразуется в электрическую энергию движения поезда и лишь частично теряется в виде тепла.

Второй - контур трехфазного переменного тока 10 кВ. Формальный источник энергии: обмотки *нн* трансформаторов //. Формальный потребитель: обмотки *вн* преобразовательных трансформаторов V. Токи протекают по трем проводам (фазам) рассматриваемого контура. Наибольшая доля активной составляющей падения напряжения приходится на обмотки *вн* трансформаторов V, что и дает право считать их потребителем энергии.

Закономерная особенность двух рассмотренных магнитосвязанных контуров состоит в том, что разделяющий их элемент - преобразовательные трансформаторы V - является одновременно источником энергии в первом контуре и потребителем - во втором. Это имеет физическое объяснение: только потребив большую часть энергий во втором контуре, можно обеспечить экономичную ее передачу э.п.с. 19 в первом.

Третий - контур переменного тока 110(220) кВ (приведен на рис. 5.5 частично). Формальный потребитель: обмотки *вн* понижающих трансформаторов //. Формальный источник на схеме не показан и находится в системе внешнего электроснабжения. Вернее всего, это вторичные обмотки понижающих трансформаторов районных подстанций или же обмотки повышающих трансформаторов электрической станции. Значит, рассматриваемый третий контур не является последним и до

истинного источника электрической энергии - генераторов электрических станций - еще должен быть как минимум один магнитосвязанный контур. Наибольшая доля активной составляющей падения напряжения в контуре приходится на обмотки *вн* понижающих трансформаторов //.

Тяговая подстанция постоянного тока (рис. 5.6). Подстанция имеет ту же структурную схему, что и на рис. 5.5, порядок обозначения структур сохранен. В левой верхней части рисунка видно РУ 110 кВ *I*, в котором размещено пока незнакомое нам оборудование. Среди него выделим выключатель 41, разъединители 39 и 43, отделитель 46 и разрядник 42. Все эти элементы обеспечивают нормальное функционирование распределительного устройства данного типа. По трем проводам присоединения 2, находящимся между изоляторами 116, укрепленными на порталах 115 РУ, и изоляторами 126 на порталах 127, подается напряжение на понижающие трансформаторы //. От каждого понижающего трансформатора отходит ввод 5 в РУ 10 кВ *IV*, которое расположено внутри здания подстанции 132, у его левой стены, и видно на рис. 5.6 благодаря условно снятой крыше здания тяговой подстанции.

Основная коммутационная аппаратура в ячейках РУ 10 и 3,3 кВ (*IV* и *VII*) – выключатели и разъединители – будет рассмотрена более подробно в разделе 5.3. настоящего учебника. В нижнем правом углу здания тяговой подстанции и в пристройке снаружи *VIII* размещено сглаживающее устройство. Из здания подстанции фидерами 11-14 и рельсовым фидером 21 выпрямленное напряжение постоянного тока 3,3 кВ подается в тяговую сеть. РУ 35 кВ тяговой подстанции *III* смонтировано в левой части ее территории и выполнено из стандартных блоков 109, объединенных системой сборных шин 110. Шины закреплены между поперечинами 113, укрепленными на опорах 11, и изолированы от последних гирляндами изоляторов 112. РУ 35 кВ получает питание по вводам 3 через блок ввода 125 и линию 119 от тех же понижающих трансформаторов //. Блоки РУ 35 кВ выполнены открытыми, поэтому в начале и конце блока отходящей линии 109, питающей районные потребители, ясно просматриваются разъединители 22 и выключатели 24.

Сравнительное масштабное сопоставление элементов территории тяговой подстанции можно провести, взяв за базу отсчета длину вагона масляного хозяйства 121 (20 м), вводимого на территорию тяговой подстанции, или же рост человека (1,8 м).

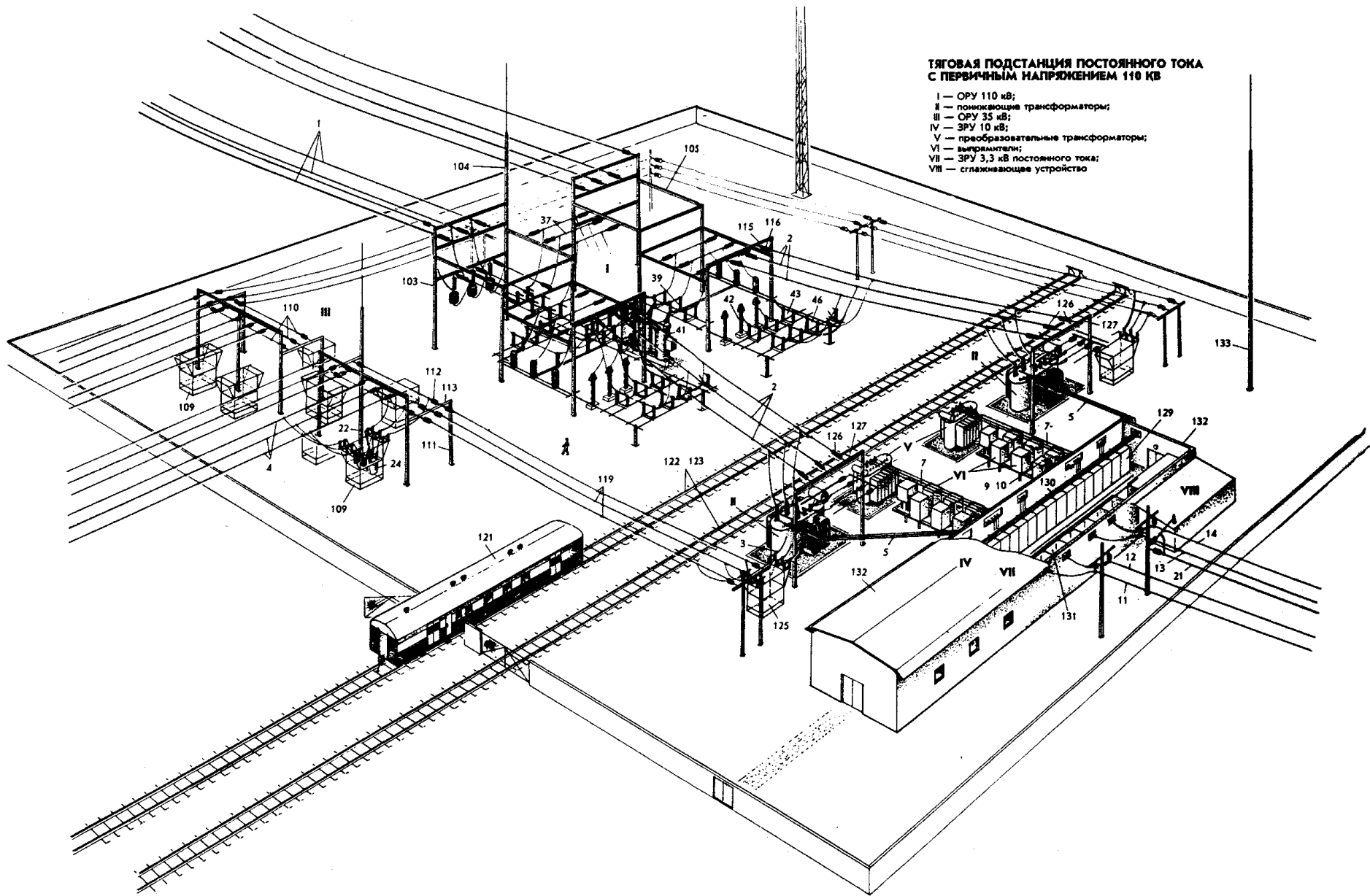


Рис. 5.6. Тяговая подстанция постоянного тока

Кроме рассмотренных, на рисунке видны и другие элементы конструкции тяговой подстанции: рама РУ 110 кВ, состоящая из опор 103 и поперечин 104, 108, отдельно стоящие опоры с громоотводами (диверторами) 133 и др.

Структурная схема опорной тяговой подстанции переменного тока 25 кВ с первичным напряжением 110(220) кВ и РУ 10 кВ для питания района (рис. 5.7). Основные функциональные узлы тяговой подстанции: I - РУ 110(220) кВ; II — понижающие трансформаторы; III — РУ 10 кВ; IV—РУ 25 кВ.

По вводам 1 трехфазное напряжение 110(220) кВ подается в РУ 110(220) кВ. Это РУ имеет более сложную схему и конструкцию, чем РУ такого же напряжения на рис. 5.6, так как оно предназначено для приема и распределения энергии, которая может поступать сразу по четырем вводам. По присоединениям 2 трехфазное напряжение от РУ 110 (220) кВ подводится к трехобмоточным понижающим трансформаторам II, которые обмотками ВН и СН понижают первичное напряжение до 25 кВ, а обмотками ВН и НН - до 10 кВ. Напряжение 25 кВ используется для питания э. п. с., а 10 кВ - района. Последнее от трансформаторов II подводится по вводам 3 к РУ 10 кВ тяговой подстанции III, откуда по питающим линиям 4 к трансформаторным подстанциям потребителей района (на схеме не показаны).

Подвод напряжения 25 кВ к участкам тяговой сети слева и справа от подстанции обеспечивается через РУ 25 кВ IV по фидерам контактной сети 8 (фаза а), 9 (фаза b) и рельсовому фидеру 6 (фаза с). На участок тяговой сети слева от подстанции (между контактной сетью 15 и рельсами 22) подается однофазное напряжение $\dot{U}_{a-c} = 25$ кВ (эффективное значение), а на участок справа (между контактной сетью 19 и рельсами 22) -

однофазное напряжение \dot{U}_{b-c} также с эффективным значением 25 кВ. Из-за разницы фаз напряжений между участками контактной сети слева 15 и справа 19 они разделены нейтральной вставкой 17. От РУ 25 кВ через двухфазные фидеры 7 и 10 подается напряжение также и в линии ДПР, соответственно слева 13 и справа 14, используемые для питания нетяговых потребителей 20 и 21.

Потребление энергии э.п.с. 23 начинается после подключения его цепей между контактной сетью 19 и рельсами 22. При этом энергия от истинного источника электрической энергии – электрических станций

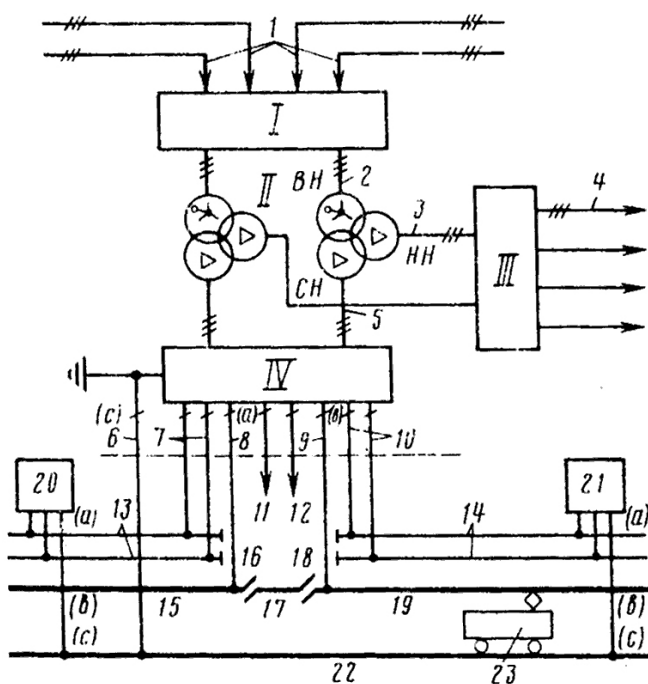


Рис. 5.7. Структурная схема опорной тяговой подстанции переменного тока 25 кВ

(на схеме не показаны) – до истинного потребителя – э.п.с. 23 – передается последовательно через несколько магнитосвязанных, но гальванически разделенных контуров тока, в каждом из которых существует свой формальный источник и формальный потребитель энергии. В пределах от вводов / и до поезда 23 два таких контура.

Первый – контур переменного тягового тока 25 кВ. Формальный источник энергии – обмотки *сн* трансформатора. Формальный потребитель, он же истинный – э.п.с. 23. Тяговый ток замыкается по контуру *сн II - 5 - IV - 9 - 19 - 23 - 22 - 6 - IV - 5 - сн II*. Максимальная доля активной составляющей падения напряжения приходится на э.п.с. 23.

Второй – контур переменного тока 110(220) кВ. Формальный потребитель – обмотки *вн* трансформатора *II*. Формальный источник на рисунке не показан, но вероятнее всего это обмотки понижающих трансформаторов районных подстанций или же обмотки повышающих трансформаторов электрической станции. Значит, рассматриваемый второй контур не является последним и до истинного источника - генераторов электрических станций - еще должен быть, как минимум, один контур.

Максимальная доля активной составляющей падения напряжения во втором контуре приходится на фиктивный потребитель - обмотки *вн* трансформатора *II*. Нетрудно видеть, что и в данном случае формальный источник энергии в первом контуре - трансформатор *II* - является потребителем во втором контуре. Объяснение этому дано выше при рассмотрении схемы подстанции постоянного тока. Следует заметить, что схема тяговой подстанции кончается там, где на рис. 5.7 проходит штриховая линия.

На рис.5.7 показана схема питания через фидеры 9, 10 и рельсовый фидер 13 тяговой сети первого пути железной дороги. Аналогичным образом через фидеры 11, 12 и рельсовый фидер 13 питается тяговая сеть второго пути (на схеме не показан).

Структурная схема промежуточной тяговой подстанции переменного тока 2×25 кВ с первичным напряжением 110(220) кВ.

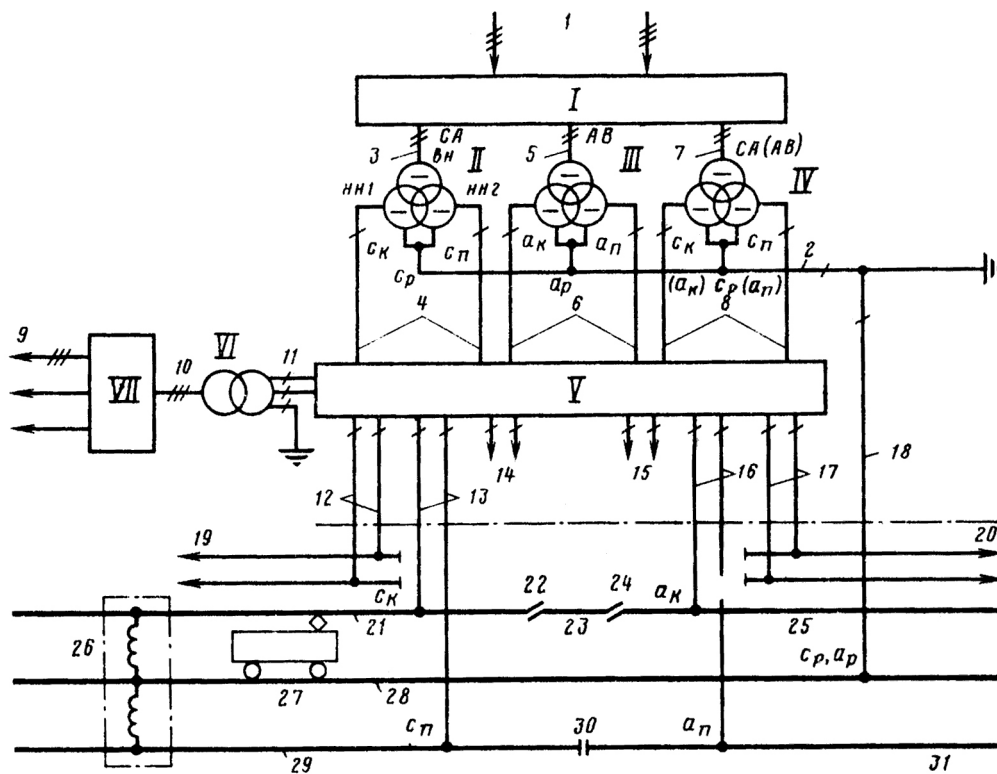


Рис.5.8. Структурная схема промежуточной тяговой подстанции переменного тока 2хх25кВ

Рассматриваемая тяговая подстанция (рис. 5.8) является составной частью системы тягового электроснабжения переменного тока 2×25 кВ, с помощью которой реализуется система тяги переменного тока 25 кВ. Поэтому, кроме самой схемы тяговой подстанции, рассмотрены и основные функциональные узлы тяговой подстанции: I - РУ 110 (220) кВ; II, III и IV - понижающие однофазные трансформаторы; V - РУ 2×25 кВ; VI - районный трансформатор; VII - РУ 10 кВ.

По вводам 1 трехфазное напряжение 110(220) кВ подается в РУ 110(220) кВ I. Это РУ по сложности, схемы и конструкции является средним между РУ такого же напряжения, приведенными на рис. 5.5 и 5.7. Двухфазными присоединениями 3, 5 и 7 к этому РУ подключены одинаковые по конструкции однофазные трансформаторы II, III и IV. Однако эти трансформаторы подключены к разным фазам РУ 110 кВ I. Трансформатор II подключен к фазам С и А (рис. 5.9,а), т.е. на его обмотку $вн$ подается напряжение \dot{U}_{CA} (рис. 5.9,б), а трансформатор III - к фазам А и В, т.е. на обмотку $вн$ подается напряжение \dot{U}_{AB} . При этом на обмотках $нн1$ и $нн2$ трансформатора II наводятся напряжения, показанные на векторной диаграмме (рис. 5.9,а) векторами $с_к-с_р$ и $с_р-с_п$, а на трансформаторе III - векторами $а_к-а_р$ и $а_р-а_п$.

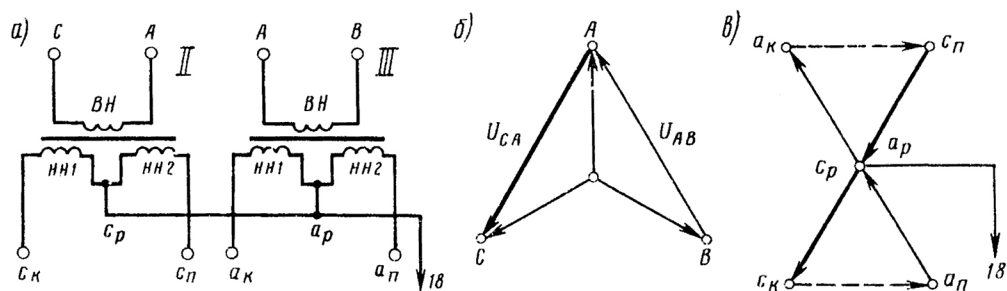


Рис. 5.9. Схема подключения к фазам РУ 110 (220) к.В однофазных трансформаторов (а) и векторные диаграммы их первичных (б) и вторичных (в) напряжений

Каждое из указанных напряжений равно 25 кВ. Будучи объединены все вместе проводом 2 и рельсовым фидером 18 по выводам c_p и a_p (см. рис. 5.8 и 5.9,а), трансформаторы II и III образуют систему напряжений (см. рис. 5.9,в), при которой между точками c_k и c_n и соответственно между a_k и a_n напряжение равно 50 кВ, а между рельсовым фидером 18 и любой из точек a_k , a_n , c_n или c_k - 25 кВ. Индексы к, п и р обозначают соответственно: контактная сеть, питающий провод и рельсы. Именно эта система напряжений проводами 4 и 6 и подается в РУ 2×25 кВ V откуда через двухфазные фидеры 13 и 16 и рельсовый однофазный фидер 18 в тяговую и питающую сети первого пути. Тяговая и питающая сети второго пути (на схеме не показаны) питаются по двухфазным фидерам 14 и 15. Тяговая сеть образована контактной сетью 21 и рельсами 28, питающая - контактной сетью 21 и питающим проводом 29. Связь питающей и тяговой сетей осуществляется через автотрансформаторы 26, служащие для преобразования напряжения 50 кВ, подводимого по питающей сети, в напряжение 25 кВ, снимаемое с верхней полуобмотки автотрансформатора 26. Автотрансформаторы устанавливаются вдоль полотна электрической железной дороги на расстоянии 6-12 км друг от друга.

Таким образом, в соответствии с рис. 5.8 и векторной диаграммой (см. рис. 5.9,в) между контактной сетью 21 и питающим проводом 29 слева от тяговой подстанции подано напряжение $\dot{U}_{c_k c_n} = 50$ кВ, а между контактной сетью 21 и рельсами 28 - напряжение $\dot{U}_{c_k c_p} = 25$ кВ. На участке между подстанциями подпитка тяговой сети напряжением $\dot{U}_{c_k c_p}$ обеспечивается автотрансформаторами 26. Значит, в этой системе тягового электроснабжения может быть использован э.п.с., рассчитанный на питание от тяговой сети однофазного переменного тока 25 кВ.

Снабжение электрической энергией нетяговых железнодорожных потребителей осуществляется от линий ДПР 19 и 20, напряжение на которые подается через фидеры ДПР 12 и 17, и рельсы, т. е. так же, как и при системе переменного тока 25 кВ. К потребителям слева от подстанции энергия подводится при напряжениях, образуемых системой трех векторов c_k , c_p , $a_n - c_k$ и $a_p - a_n$, а справа - $a_k - c_p$, c_k и $a_p - c_n$.

Отключение из-за неисправности любого из трансформаторов // или /// нарушает систему напряжений РУ 2×25 кВ (см. рис. 5.9). При этом лишаются питания поезда одной из зон (слева или справа от подстанции) и все нетяговые потребители (и слева, и справа). Чтобы исключить такую неприятную возможность, на подстанции имеется третий, резервный трансформатор IV, который через питающую линию 7 может получать от РУ 110(220) кВ I или напряжение \dot{U}_{CA} как трансформатор //, или напряжение \dot{U}_{AB} как трансформатор /// и подводить к РУ 2×25 кВ напряжения, совпадающие по фазе с напряжениями, подводимыми трансформаторами // и ///. Для осуществления этого в РУ 110(220) кВ I и в РУ 2×25 кВ V имеются соответствующие системы переключений. Поскольку напряжение между участками тяговой и питающей сетей слева 21 и 29 и справа 25 и 31 от тяговой подстанции различно (см. рис. 5.9), они отделены друг от друга воздушными промежутками 22 и 24, нейтральной вставкой 23 и промежутком 30. Электроснабжение районных потребителей осуществляется от РУ VII по питающим линиям 9. Напряжение в РУ VII подается по вводам 10 от специального трансформатора VI, подключенного к РУ 25 кВ V проводами //. Следует заметить, что схема тяговой подстанции кончается там, где на рис. 5.8 проходит штриховая линия.

Как и в рассмотренных выше структурных схемах тяговой подстанции (см. рис. 5.5 и 5.7), в схеме на рис. 5.8 между истинным потребителем электрической энергии - э.п.с. 27 - и истинным источником - генераторами электрических станций (на схеме не показаны) - существует несколько гальванически разделенных, но магнитосвязанных контуров тока, в каждом из которых имеются свой формальный источник и потребитель энергии.

5.3. Защита систем тягового электроснабжения от перегрузок и коротких замыканий

Приведенное выше название стереотипно. В действительности же речь будет идти о защите элементов систем тягового электроснабжения от последствий перегрузок и коротких замыканий.

Длительное протекание больших токов по токоведущим частям и аппаратам системы тягового электроснабжения приводит к их избыточному нагреву, в результате которого могут произойти необратимые изменения в материалах токоведущих частей и аппаратов, и как результат - выход их из строя, иногда сопровождаемый остановкой движения. Причинами длительного протекания больших токов являются неконтролируемые перегрузки и неотключенные короткие замыкания.

Особенно чувствительны к перегрузкам и коротким замыканиям провода контактных сетей электрических железных дорог.

В качестве примера достаточно лишь указать, что выдержка контактного провода марки МФ-100 (см. раздел 5.4 настоящего

пособия) нагретого до температуры 200°C в течение 15 минут приводит к так называемому «отжигу контактного провода», в результате которого он теряет свои упругие свойства и, растягиваясь под действием собственного веса, ложится на рельсы. «Отжиг контактного провода» - серьезнейшая авария, надолго останавливающая движение на участке электрифицированной железной дороги, поскольку требует полной замены отожженного провода новым. Сказанное означает, что необходимо контролировать процессы нагрева проводов контактной сети, с тем чтобы не допускать их отжига.

Не менее опасен и кратковременный местный перегрев проводов контактной сети, особенно в местах, где при коротком замыкании (к.з.) образуется электрическая дуга. На рис.5.10 показано к.з. через дугу 4, образовавшуюся в результате перекрытия загрязненной гирлянды изоляторов 3 между несущим тросом контактной сети 5 и консолью 2, соединенной с рельсами 6 отрезками стального прутка 9 и 7 через искровой промежуток 8. В момент перекрытия гирлянды изоляторов искровой промежуток, нормально изолирующий арматуру опоры от рельсов, пробивается и по цепи начинает протекать ток короткого замыкания. Путь протекания тока к.з. со стороны тяговой подстанции, расположенной слева от места к.з., показан стрелками.

Специальные исследования, проведенные профессором С.Д. Соколовым (ВНИИЖТ) показали, что пережог контактного провода электрической дугой между ним и замкнутым на корпус токоприемником электровоза, происходит в течение $0,15 - 0,1$ с, если ток короткого замыкания через дугу составляет, соответственно, $3000 - 4000$ А. Из сказанного следует, что короткие замыкания, при которых величина тока достигает указанных выше величин, должны быть обнаружены и отключены за время существенно меньшее, чем $0,1 \div 0,15$ с.

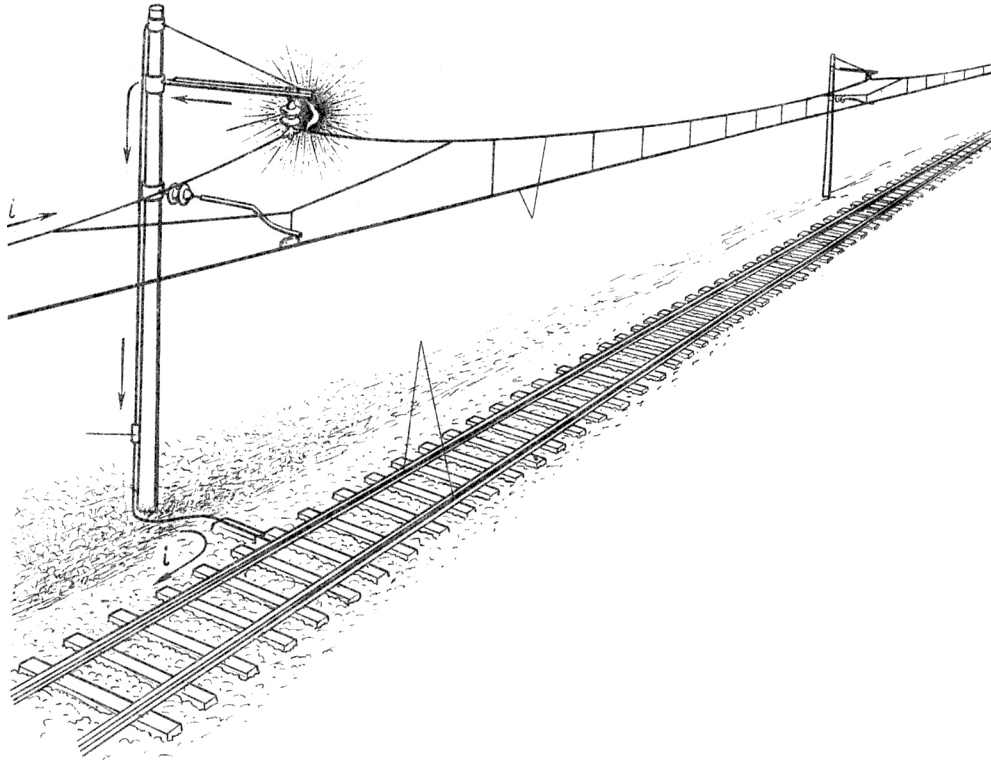


Рис. 5.10. Короткое замыкание между несущим тросом и консолью опоры контактной сети через дугу, образовавшуюся в результате перекрытия загрязненной гирлянды изоляторов

Обнаружение недопустимых перегрузок и токов коротких замыканий в тяговых сетях постоянного и переменного тока, а также во всех других цепях тяговых подстанций, производится специальными устройствами - релейными защитами. В нынешнем исполнении релейные защиты это, как правило, электронные устройства, которые по сопоставлению токов, напряжений и их изменений во времени в защищаемых цепях, улавливают наличие в них перегрузок или коротких замыканий, после чего выдают команду на отключение цепи. Само же отключение цепи производится так называемыми выключателями – коммутационными аппаратами, способными за короткое время разорвать электрическую цепь и, тем самым, предотвратить аварийные последствия недопустимых перегрузок и коротких замыканий.

Из сказанного ясно, что подобного рода электрические аппараты устанавливаются в цепях всех вводов и отходящих линий РУ всех напряжений, в частности в РУ I, III, IV и VII подстанции постоянного тока (рис.5.5), и в РУ I, III и IV опорной тяговой подстанции переменного тока (рис.5.7).

Познакомимся с конструкциями и принципами действия современных выключателей, используемых на тяговых подстанциях переменного и постоянного тока.

Высоковольтные выключатели переменного тока

Все выключатели переменного тока на напряжение выше 1000 В, как правило, выключатели контактные, т.е. отключение цепи с током такими выключателями происходит путём размыкания контактов. При этом вне зависимости от вида и конструкции у всех у них в момент размыкания контактов между ними появляется электрическая дуга.

Обязательное появление дуги между контактами выключателя (в межконтактном промежутке) с точки зрения электротехники объясняется тем, что все электрические сети и трансформаторы обладают значительной индуктивностью. Попытка мгновенно разорвать цепь с индуктивностью оборачивается, по закону Ленца, появлением на индуктивностях цепи напряжений, стремящихся во чтобы то ни стало поддержать ток в цепи. Именно этими напряжениями, прикладываемыми к размыкаемым контактам выключателя, и ионизируется образуемый межконтактный промежуток, между контактами возникает проводящий плазменный шнур – загорается электрическая дуга.

Общее свойство всех выключателей переменного тока состоит в том, что дуга всегда гаснет вблизи нуля тока, а вернее несколько ранее естественного прихода тока к нулю. С учетом этого основная функция выключателей состоит в том, чтобы не допустить повторного зажигания дуги после ее погасания. Последнее достигается созданием условий, способствующих быстрой деионизации межконтактного промежутка. Рассмотрим указанные процессы подробнее, используя диаграмму изменения отключаемого тока (рис.5.11).

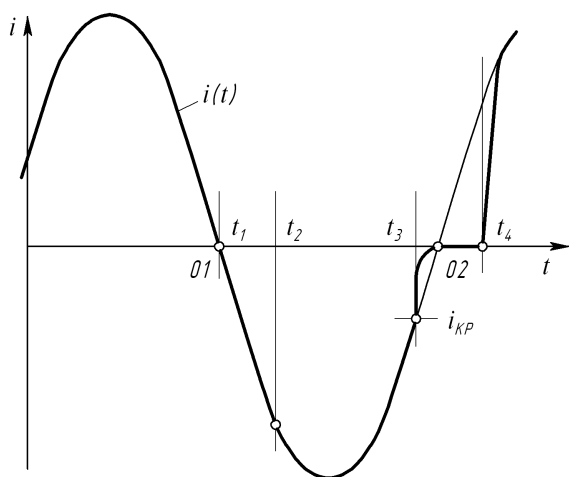


Рис. 5.11. Диаграмма тока, отключаемого выключателем, поясняющая процесс образования бестоковой паузы в межконтактном промежутке.

Пока контакты выключателя замкнуты, изменение тока $i(t)$ происходит по гармоническому закону и в момент t_1 (точка 01) ток должен пройти через так называемый «естественный нуль». Пусть в момент t_2 контакты выключателя размыкаются и между ними появляется электрическая дуга. Падение напряжения в дуге незначительно (по сравнению с напряжением сети), поэтому можно считать, что и после появления дуги измерение тока продолжается по тому же гармоническому закону. Однако в момент времени t_2 убывающий ток цепи достигает критического для дуги значения $i_{кр}$. С током ниже $i_{кр}$ дуга

не может существовать и поэтому она распадается (угасает) ранее, чем достигается момент естественного прихода тока к нулю.

Угасание дуги происходит из-за недостатка в ней электронов, необходимых для проведения естественного тока. При горении дуги электроны возникают в ней автоматически при ионизации среды, в которой она горит (пары масла, элегаз, пары металла в вакууме и т.п.), под действием высокой температуры дуги, вызываемой самим током (термическая ионизация). При токе выше критического электронов для его проведения хватает с избытком, при токе ниже критического – их недостаточно, дуга угасает ранее момента естественного прихода тока к нулю (точка 02 на рис. 5.11). Поэтому после момента времени t_3 начинается интенсивная деионизация межконтактного промежутка выключателя или, как говорят, восстановление его электрической прочности. Если контакты еще недалеко отошли друг от друга и электрическая прочность межконтактного промежутка невелика, то в некоторый момент времени t_4 дуга может загореться вновь, если напряжение, прикладываемое к контактам выключателя со стороны сети способно «пробить» межконтактный промежуток, т.е. на короткое время образовать между контактами электрическую дугу. Процесс образования дуги под действием напряжения между контактами называется электрической ионизацией промежутка. Электроны, необходимые для образования дуги, при этом появляются за счет разгона электрическим полем электронов, еще остающихся в межконтактном промежутке, до скоростей, при которых их кинетической энергии хватает для того, чтобы ионизировать нейтральные атомы среды и получить новые электроны и т.д.

Если же контакты отошли друг от друга достаточно далеко и электрическая прочность промежутка высока, повторного пробоя и загорания дуги не происходит – цепь оказывается прерванной, ток отключенным.

Отсюда можно сделать вывод, для быстрого отключения цепи переменного тока конструкция выключателей должна предусматривать быстрое разведение контактов и размещение их в среде, обеспечивающей максимально быстрое восстановление электрической прочности межконтактного промежутка. Конструкции выключателей, в которых реализуются указанные требования весьма многообразны. Познакомимся с двумя наиболее широко применяемыми классами выключателей: масляными и вакуумными.

Масляные выключатели. По конструкции они делятся на два подкласса: выключатели с большим и малым объемом масла (маломаслянные). Масло в них служит и средой для гашения тока и изолирующей средой.

На рис. 5.12, а, б, в показаны, соответственно, внешний вид, раз-

рез и принципиальная схема масляного выключателя переменного тока с большим объемом масла типа У-220, а на рис 5.12, в и д – используемые в них методы гашения дуги.

Таковыми выключателями оборудовано большое количество РУ-220 кВ, действующих тяговых подстанций переменного и постоянного тока. На рис. 5.12, а ясно видны три круглых металлических бака (полюса) 1 выключателя, заполненных минеральным трансформаторным маслом, внутри которых размещены специальные дугогасительные камеры 7 (рис. 5.12, б и в) с контактами 11 и 12, обеспечивающие быстрое восстановление электрической прочности межконтактных промежутков. Через маслonaполненные фарфоровые вводы 2 ток по проводнику внутри ввода подводится к неподвижной части контакта 11. Каждый полюс выключателя имеет свой привод 5, служащий для приведения в действие (замыкания и размыкания) подвижных частей главных контактов 11 и 12 внутри дугогасительных камер 7 и

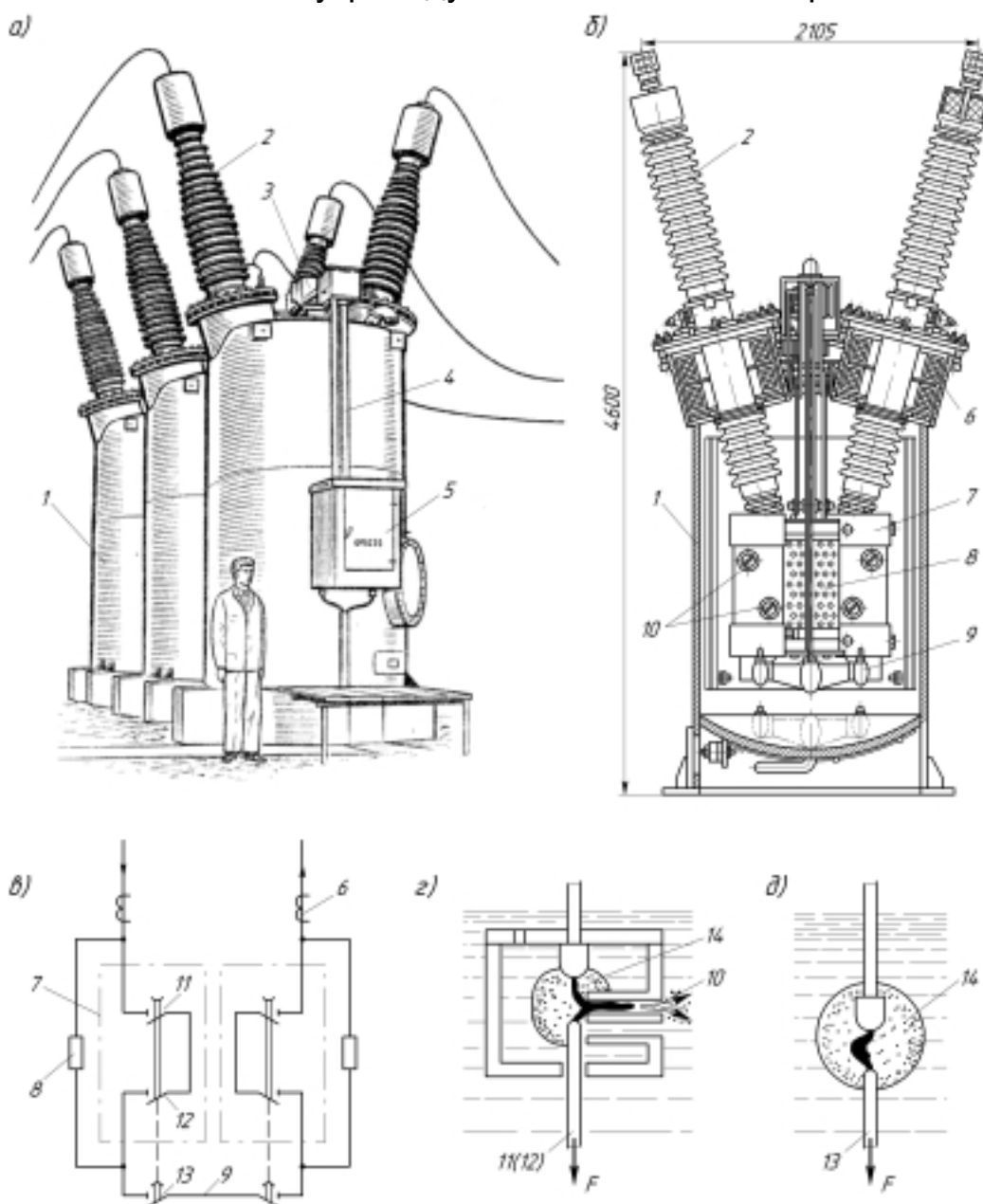


Рис. 5.12. Масляный выключатель с большим объемом масла типа У-220: общий вид (а), разрез по баку выключателя (б), принципиальная схема полюса выключателя (в), метод гашение дуги между контактами в дугогасительных камерах (г) и между нижними контактами в открытом масле (д)

вспомогательных контактов 13, размещенных за пределами камер внизу бака непосредственно в масле. Передача усилий от привода к контактам осуществляется через валы 3, 4 и траверсу 9.

Отключение тока такими выключателями производится в два этапа. Сначала при размыкании двух пар главных контактов 11 и 12, (рис. 5.12, в), размещенных в дугогасительных камерах 7 (рис.5.12, б и в) в цепь тока к.з. вводятся токоограничивающие резисторы 8, шунтирующие эти контакты. За счет этого снижаются величина и мощность тока к.з. После этого ограниченный ток к.з. уже окончательно разрывается контактами 13, размещенными внизу траверсы 9.

Разрыв дуги между контактами 11 и 12 в дугогасительных камерах 7 производится с использованием метода поперечного масляного дутья (рис.5.11, г). Этот метод основан на том, что образующийся под действием тепла дуги газовый пузырь паров трансформаторного масла 14 при движении подвижного контакта 11 вниз выдувает дугу в поперечном направлении в щели 10 (см. рис.5.12 б и г), охлаждает ее, чем обеспечивает быстрое восстановление электрической прочности межконтактного промежутка. Окончательный разрыв уже ограниченного тока контактами 13, производится методом простого гашения дуги в масле (рис. 5.12, д).

Большие габариты выключателя и заполненная маслом изолирующая среда позволяет здесь же на вводах выключателя разместить и трансформаторы тока 6, используемые для питания токовых цепей защиты, контролирующей исправность цепей, питаемых через выключатель, и обеспечивающей подачу сигнала на отключение выключателя при коротких замыканиях или недопустимых перегрузках цепи.

Маломасляные выключатели имеют существенно меньшие габариты. Ниже, в качестве примера (см. рис.5.13) приведены габаритные и установочные размеры трехфазного маломасляного выключателя типа ВМТ-110, которым в последнее время оснащались РУ-110 тяговых подстанций с первичным питающим напряжением 110 кВ. Все полюса выключателя размещены на общем основании (раме) 5. Каждый полюс выключателя (рис.5.12, а) выполнен в виде колонки, состоящей из двух изоляторов 2 и 3. Собственно выключатель каждой фазы размещен внутри верхнего изолятора 3 колонки, залитой маслом, и выполнен в виде так называемой дугогасительной камеры продольного масляного дутья (рис.5.13, б).

Метод продольного масляного дутья основан на том, что газовый пузырь паров масла 9, образующийся в процессе гашения тока под действием тепла электрической дуги 8 при движении подвижного контакта 10 вниз отнимает у дуги тепло, охлаждает ее и тем самым обеспечивает быстрое нарастание электрической прочности межконтактного промежутка. Избыток масла выталкивается вниз, в зазор между подвижным контакстом 10 и корпусом дуго-гасительной камеры 11. Уровень масла в верхних колонках изоляторов можно отследить по маслоуказателю 4.

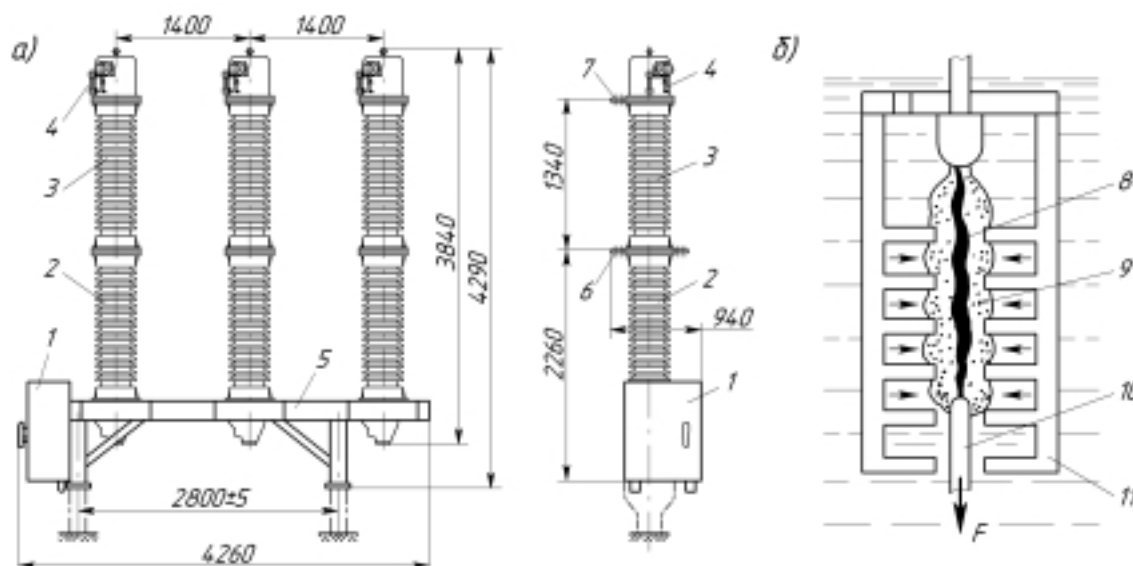


Рис. 5. 13. Маломастный выключатель типа ВМТ-110: габаритные размеры (а) и метод гашения дуги между контактами в дугогасительной камере (б)

Нижний изолятор 2 колонки обеспечивает изоляцию фазы выключателя от земли и, кроме того, служит основанием, внутри которого проходит изолирующая тяга, соединенная с подвижным контактом 10 (рис.5.13, б) и, в свою очередь, приводимая в движение приводом выключателя 1 (рис.5.13, а). Присоединение выключателя к сети производится через контактные зажимы 6 и 7.

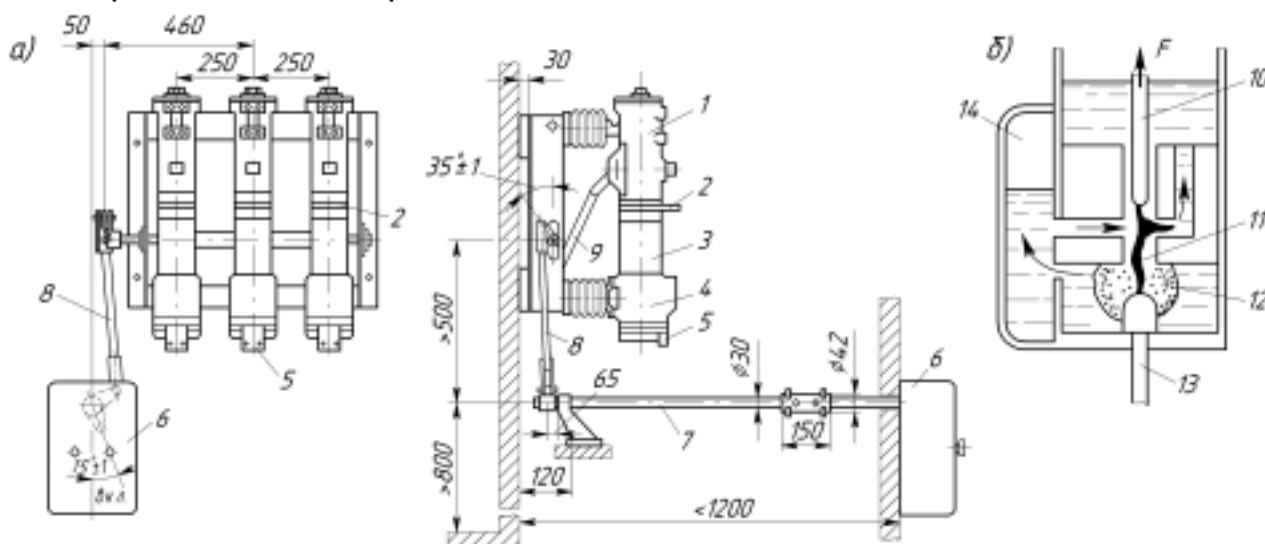


Рис. 5.14. Маломасляный выключатель типа ВМП-10: габаритные размеры (а) и метод гашения дуги между контактами в дугогасительной камере (б)

Малообъемные масляные выключатели на напряжение 10 кВ, например ВМП -10 (рис. 5.14), конструктивно выполнены несколько иначе. Неподвижный контакт полюса выключателя 13 (рис. 5.13, б) расположен в нижней металлической части бачка выключателя 4 (рис.5.14, а), а подвижный 10 – в верхней части 1, также металлической. Верхняя и нижняя части разделены изолирующей вставкой 3, в которой располагается дугогасительная камера продольно-поперечного дутья. Подвижные контакты всех трех полюсов (фаз) выключателя приводятся в действие одним приводом 6, передающим движение посредством вала 6, рычага 8 и изолирующей тяги 9. В электрическую цепь выключатель подключается посредством контактов 2 и 5. Принцип действия дугогасительной камеры выключателя показан на рис.5.14, б. В начальный момент отключения выключателя, как и в выключателях рассмотренных выше, между подвижным 10 и неподвижным 12 контактами камеры образуется электрическая дуга 11. Под действием тепла, выделяемого дугой, образуется газовый пузырь паров трансформаторного масла 12, который не имеет выхода вверх, так как он перекрыт телом подвижного контакта, поэтому под действием газового пузыря масло, которым заполнена нижняя и средняя части бачка выключателя, поднимаясь по пути левой стрелки вверх, сжимает воздух в объеме 14 бачка. В дальнейшем, когда поднимающийся вверх подвижный контакт выключателя 10 откроет канал для выхода масла, оно движется по пути верхних стрелок слева направо, пресекая столб дуги в поперечном направлении, в то время как нижняя часть дуги обтекается газо-паровой смесью снизу вверх вдоль канала дуги. Благодаря этому после распада дуги вблизи перехода тока через естественный нуль межконтактный промежуток быстро восстанавливает электрическую прочность и обеспечивает разрыв тока в цепи.

Вакуумные выключатели. В последнее время в электрических цепях напряжением 6 – 35 кВ все чаще используют вакуумные выключатели. Из самого названия ясно, что среда, в которой происходит гашение дуги между контактами этих выключателей – вакуум. Физический процесс гашения дуги в вакууме имеет свои особенности. Рассмотрим их.

При размыкании подвижного и неподвижного контактов выключателя физически размыкаются точки их соприкосновения. Последняя из размыкаемых точек расплавляется, образуя металлический мостик, который под действием тепла, выделяемого током, быстро нагревается до температуры кипения и со взрывом испаряется. Образовавшееся при этом облачко паров металлов под действием того же тепла оказывается частично ионизированным и между контактами в камере загорается дуга.

Давление внутри области, занимаемой парами металлов, существенно выше, чем в разреженном окружающем пространстве камеры. Вследствие этого процессы деионизации вблизи естественного нуля тока после момента времени t_3 (см. рис.5.11) протекают чрезвычайно интенсивно в основном за счет диффузии ионизированных частичек паров металлов в окружающее разреженное пространство (вакуум). В результате очень быстро восстанавливается электрическая прочность межконтактного промежутка и поэтому уже в конце первого, максимум второго периода после размыкания контактов дугогасительной камеры, ток через нее прерывается.

Применение вакуумных выключателей наиболее перспективно в тех электроустановках, где используются в полной мере их достоинства: быстрота действия, длительный срок службы без ремонта при частых отключениях, небольшие размеры и масса. К таким установкам относятся, в частности, тяговые сети электрических железных дорог переменного тока, где частота отключения фидеров, вследствие большей вероятности повреждения контактной сети, на один — два порядка превышает частоту отключений питающих линий промышленных трехфазных сетей и где быстрое отключение уменьшает вероятность пережога контактных проводов.

Рассмотрим некоторые конструктивные особенности трехфазного вакуумного выключателя типа ВВПТ-10 на напряжение 10 кВ (рис. 5.15, а).

Сердцем такого выключателя является вакуумная камера (см. рис. 5.15, б). Корпус камеры состоит из двухсекционного стакана-изолятора 1, вакуумно-плотно приваренного к медным металлическим

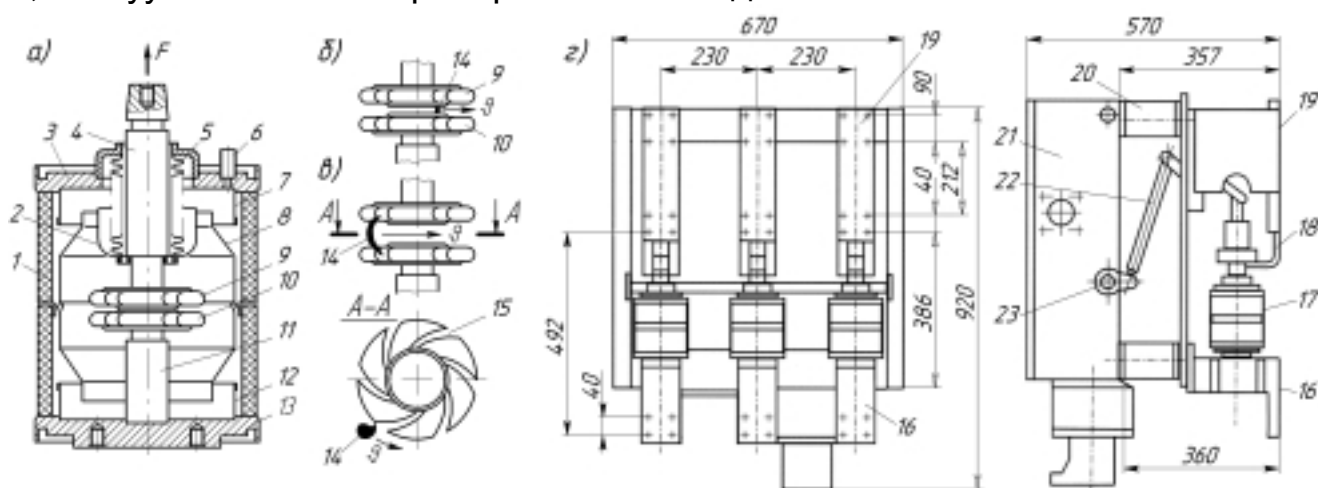


Рис. 5.15. Вакуумный выключатель типа ВВПТ-10: конструкция вакуумной камеры (разрез) (а), метод гашения дуги между контактами камеры (б, в) и габаритные размеры выключателя (г)

фланцам 3 и 13, на которых установлены подвижный 9 и неподвижный 10 медные легированные контакты. Токоввод подвижного контакта 4 выведен наружу через гофрированную стальную трубку — сильфон — 5, а токоввод неподвижного контакта укреплен на фланце

13.

Для защиты стаканов-изоляторов 1 от частичек металла, распыляемых при взрыве металлических мостиков в момент образования дуги между контактами, они окружены системой экранов, на которых эти частички оседают. Экраны 7 и 12 потенциальные, 8 - беспотенциальный. Защитный экран 2 предохраняет от прожигания дугой трубку сильфона.

При изготовлении камера проходит специальную вакуумно-термическую обработку: ее прогревают и через патрубок 6 откачивают воздух. Патрубок заваривают при разрежении в камере до давления не выше 10^{-2} Па. Благодаря такой обработке в камере в течение всего срока службы поддерживается достаточно высокое разрежение (вакуум).

Форму контактов выбирают такую, при которой обеспечивается автоматическое и очень быстрое перемещение дуги 14, возникающей между контактными площадками (рис. 5.15, б), за их пределы, чтобы не изнашивать площадки. Один из вариантов выполнения таких контактов приведен на рис. 5.15, в. Перемещение дуги 14 за пределы контактных площадок, а затем круговое перемещение ее между боковыми частями контактов обеспечивается магнитным полем тока дуги за счет вырезов 15 в боковых частях контактов.

Три вакуумных камеры 17 (рис. 5.15, г) через изоляторы 20 укреплены на общей станине 21 и синхронно приводятся в действие с помощью вала 23 и изолирующих тяг 22. В электрическую цепь выключатель включается в местах 16 и 19, причем подвод тока к подвижным контактам камер осуществляется посредством пакета медных листов 18. Вакуумный выключатель приводится в действие с помощью привода, аналогичного тому, которым приводился в действие маломасляный выключатель ВМП-10 (см. рис. 5.14).

Высоковольтные выключатели постоянного тока

Отключение постоянного тока представляет более трудную задачу, чем переменного. Для отключения переменного тока нужно было (см. выше), разомкнув контакты выключателя, получить электрическую дугу между ними и обеспечить условия быстрого восстановления электрической прочности межконтактного промежутка вблизи перехода тока через естественный нуль тока, неизбежно наступающий 100 раз в секунду (см. выше, рис. 5.11). Однако при отключении постоянного тока нужно, разомкнув контакты и получив электрическую дугу, вначале тем или иным способом ограничить нарастание тока, а затем уменьшить ток в цепи до значения, при котором дуга начнет самопроизвольно распадаться из-за недостаточной термической ионизации промежутка, и уже затем обеспечить условия восстановления электрической прочности межконтактного промежутка.

Практически первая часть задачи может быть осуществлена, если обеспечить такие условия горения электрической дуги, при которых ее сопротивление начнет резко возрастать от нуля до очень большого,

но конечного значения. Задача осложняется тем, что сделать это нужно очень быстро, иначе ток в цепи при близком к.з. недопустимо возрастет до таких значений, при которых выключатель уже не сможет его отключить. При этом в месте к. з. произойдут большие разрушения. По этой причине в цепях постоянного тока используются исключительно так называемые **быстродействующие выключатели**, которые позволяют даже самые большие токи близких к подстанции коротких замыканий, установившиеся значения которых могут достигать $35 \div 50$ кА, отключать за время $25 \div 40$ мсек.

Конструктивно современный быстродействующий выключатель постоянного тока типа 2 х ВАБ-49 состоит из следующих основных узлов (рис. 5.16, а): дугогасительной камеры 1, электромагнитного привода 2, электрически изолированного от дугогасительной камеры. В электрическую цепь выключатель подключается выводами 3 и 4. Для реализации необходимого быстродействия и повышения надежности действия выключатель разделен на два аналогичных блока, соединяемых последовательно (см. рис.5.16, а), каждый из которых способен самостоятельно отключить ток короткого замыкания.

Устройство дугогасительной камеры 1 выключателя показано на принципиальной схеме рис. 5.16, б. В нижней части камеры, заключенной между изолирующими стенками, размещены подвижный 9 и неподвижный 10 контакты выключателя. Неподвижный контакт 10 представляет единое целое с разгонным рогом 11, а подвижный 9 соединен с разгонным рогом 7 с помощью гибкой связи 8. Остальная часть камеры слева и справа заполнена двумя рядами стальных пластин 6, разделенными промежуточным разгонным рогом 5.

Отключение тока к. з. выключателем постоянного тока. Рассмотрим процесс отключения короткого замыкания, произошедшего вблизи от тяговой подстанции некоторого характерного участка электрифицированной железной дороги. Для наглядности сравним кривые изменения тока во времени для случая, когда короткое замыкание не отключается и ток к.з. достигает своего максимального установившегося значения (кривая 12 на рис.5.16, в) и когда происходит отключение короткого замыкания быстродействующим выключателем (кривая 13).

Короткое замыкание начинается при $t = 0$. К моменту времени t_1 ток к. з. в цепи i достигает значения I_y , называемого уставкой выключателя по току. При этом значении тока выключатель начинает процесс отключения, однако контакты выключателя размыкаются некоторое время спустя – в момент времени t_2 . Отрезок времени $t_2 - t_1 = t_c$ затрачивается на преодоление электрической и механической инерции механизма привода выключателя и называется собственным временем выключателя. У современных быстродействующих выключателей постоянного тока собственное время выключателя $t_c = 3 \div 6$ мсек.

В момент t_2 между контактами выключателя появляется электрическая дуга, сопротивление которой стремительно растет. Это происходит в результате движения дуги вверх (см. последовательные положения дуги по времени I – II – III) под действием магнитного поля, создаваемого специальной катушкой магнитного дутья (на рис. 5.16 не показана) и самими стальными пластинами 6 камеры 1.

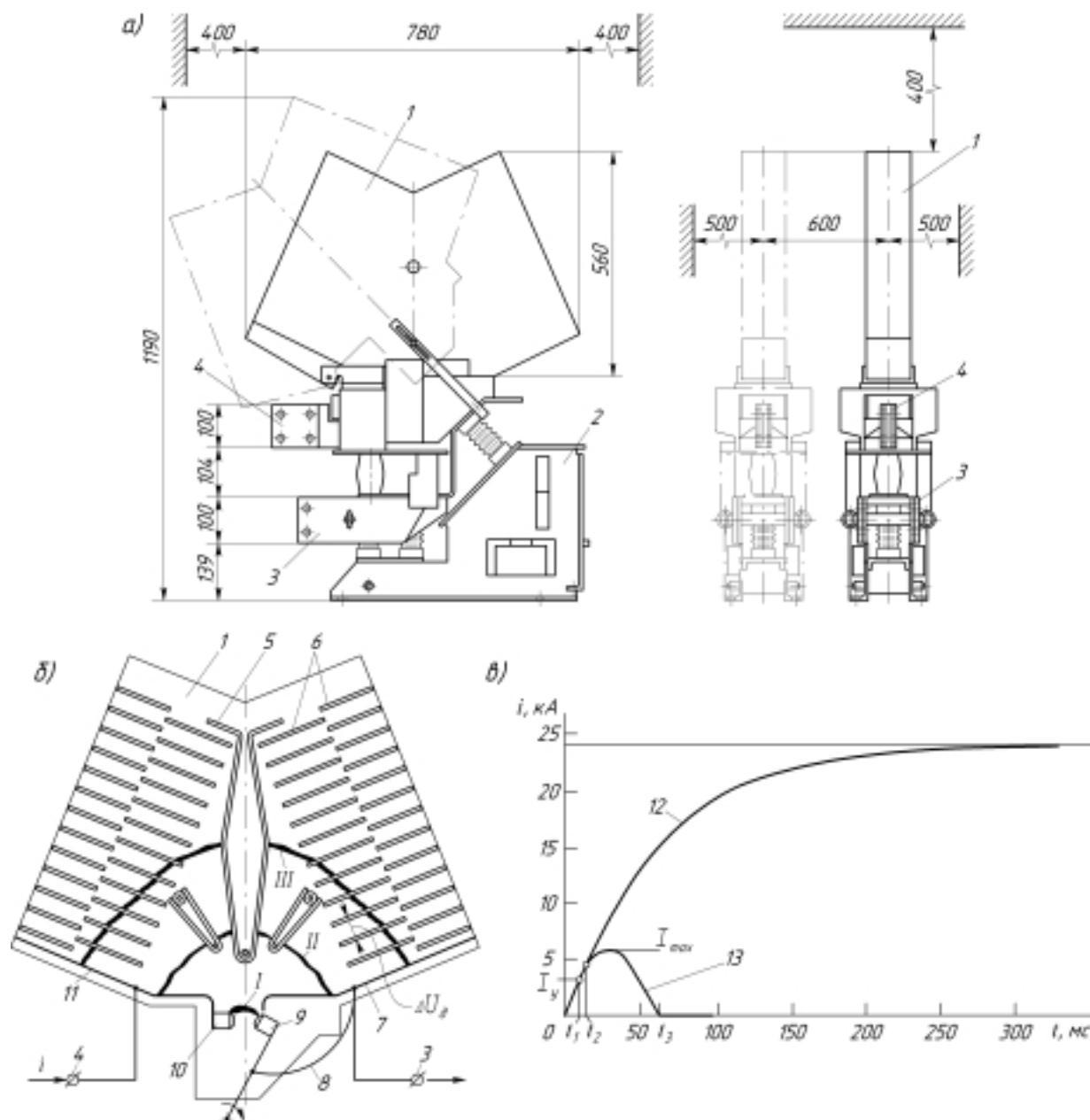


Рис. 5.16. Быстродействующий выключатель 2xВАБ-49: габаритные размеры (а), принцип гашения дуги в дугогасительной камере (б) и кривые изменения тока фидера контактной сети при близком коротком замыкании 12 и при отключении этого короткого замыкания фидерным выключателем 13 (в)

Магнитное поле направлено в плоскость чертежа перпендикулярно ему, поэтому при направлении тока через выключатель слева направо (см. рис.5.16, б) дуга под действием электродинамических сил, согласно правилу левой руки, движется в плоскости чертежа

вверх, разбиваясь на отдельные отрезки дуги (см. положение дуги *III*) между стальными пластинами камеры 6. На каждой такой короткой дужке образуется падение напряжения, равное сумме анодного и катодного падений напряжения, равное $30 \div 50$ В и направленное против напряжения выпрямителей тяговой подстанции (*VI*, см. схему рис.5.5). По мере подъема дуги вверх и заполнения дугой все новых и новых промежутков между стальными пластинами 6, суммарное падение напряжения на всей дуге выключателя растет и в конце концов начинает превышать значение напряжения источника питания – преобразователей подстанции (*VI* рис.5.5). Вначале падение напряжения на дуге ограничивает рост тока в цепи до значения I_{\max} , а затем начинает уменьшать ток до нуля. Где-то вблизи момента времени t_3 ток через дугу становится настолько малым, что число электронов, выделяемых в ней в единицу времени за счет тепла (термоэлектронная эмиссия), оказывается меньшим, чем необходимо для поддержания тока через дугу. В результате этого за моментом t_3 дуга самопроизвольно распадается, перестает проводить ток и при этом начинает резко возрастать электрическая прочность межконтактного промежутка. Тем самым завершается процесс отключения цепи постоянного тока. Как видим, на последнем этапе процесс аналогичен процессу в цепи переменного тока (см. рис. 5.15).

Такого типа камера, в которой дуга разбивается на ряд отрезков дуги, горящих в промежутках между стальными пластинами, называется дугогасительной камерой типа «деионная решетка».

Следует иметь в виду, что скорость роста сопротивления дуги или адекватного ему падения напряжения на дуге не должны быть чрезмерно большими. По техническим условиям на выключатели постоянного тока падение напряжения на его дуге при отключении им короткого замыкания не должно превышать трех значений максимального напряжения на выходе преобразователей тяговой подстанции, т.е. 12 кВ, иначе это может привести к повреждению электрооборудования электроподвижного состава.

Безопасность работ при обслуживании выключателей обеспечивается соответствующей схемой их включения. Типовая схема включения фазы выключателя переменного тока в электрическую цепь показана на рис.5.17, а, а постоянного тока – на рис.5.17, б.

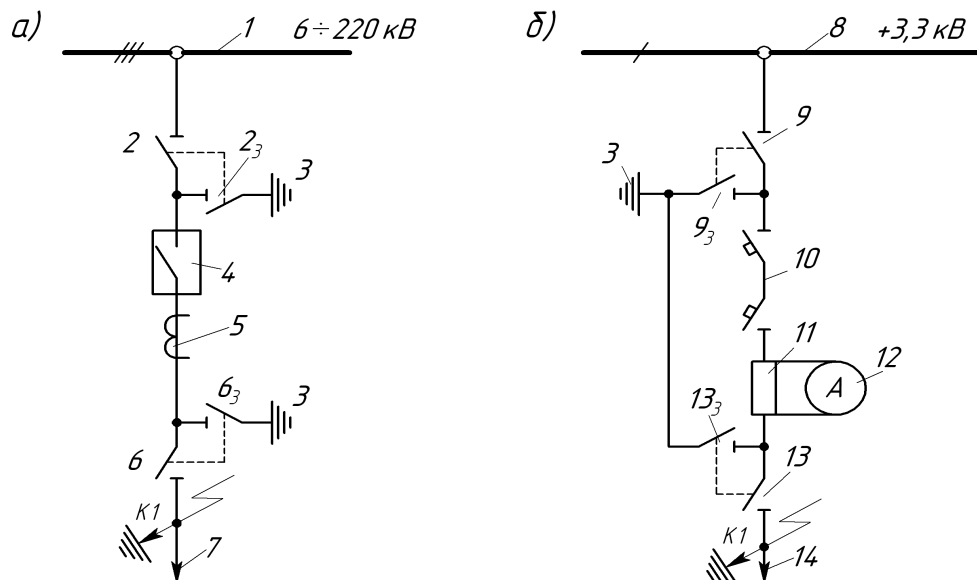


Рис. 5.17. Схемы питающей линии переменного тока (а) и фидера постоянного тока (б)

Выключатель переменного тока 4 с обеих сторон огражден разъединителями с главными 2 и 6 с заземляющими ножами 2₃ и 6₃ соответственно. Разъединители, простейшие конструкции которых напоминают увеличенные в размерах рубильники, ножи и пинцеты которых изолированы от металлического основания фарфоровыми или пластмассовыми изоляторами, позволяют отсоединить разорванную выключателями цепь от источников напряжения сверху (сборные шины распределительного устройства 1) и снизу, со стороны питаемой линии 7. Однако для осмотра или ремонта выключателя только отсоединения его от всех элементов цепи, на которых есть напряжение, считается абсолютно недостаточным, поскольку случайное перекрытие отключенных разъединителей проводниками или же их несанкционированное включение приводит к появлению на осматриваемом выключателе напряжения относительно земли, смертельного для работающих на выключателе людей. Обеспечить безопасность работ можно, заземлив место работ (осматриваемый выключатель), т.е. соединив его со всех сторон с землей 3. Такое соединение обеспечивается заземляющими ножами разъединителей 2₃ и 6₃. При включенных заземляющих ножах случайная подача напряжения на выключатель не страшна, так как потенциалы земли и фаз выключателя оказываются практически одинаковыми.

Следует иметь в виду, что при наличии заземляющих ножей должна быть исключена и другая опасность: случайное или ошибочное включение заземляющего ножа при включенном главном ноже разъединителя (например 3 при включенном 2) или главного ножа при включенном заземляющем ноже («при включенном 3»), так как в этих случаях образуется цепь короткого замыкания через заземляющие ножи, что приводит к отключению выключателя линии, по которой получают питание сборные шины. При этом, естественно, теряют питание и все другие потребители, присоединенные к сборным

шинам. Это является серьезной аварией. Чтобы не допустить этого главные и заземляющие ножи блокируются, т.е. конструктивно связываются таким образом, что одновременное включение главных и заземляющих ножей исключается. О наличии такой блокировки говорит пунктирная линия на схеме, соединяющая главные и заземляющие ножи.

Аналогичным образом строится и схема фидера контактной сети постоянного тока рис. 5.17, б. Здесь выключатель постоянного тока 10, выполненный в виде двух последовательно-соединенных выключателей, резервирующих друг друга, также огражден с двух сторон разъединителями 9 и 13 с заземляющими ножами 9_3 и 13_3 . В качестве датчика тока, протекающего по фидеру, используется калиброванный резистор 11 (измерительный шунт), падение напряжения на котором пропорционально величине протекающего тока.

5.4. Контактные сети и железнодорожные высоковольтные линии электропередачи

Контактная сеть - основная часть тяговой сети, которая обеспечивает передачу энергии от тяговой подстанции к движущемуся э.п.с. Для осуществления этого прежде всего необходимо создать цепь тока через двигатели э.п.с. Последнее будет возможно, если обеспечить надежный непрерывный скользящий контакт между контактной сетью и токоприемником движущегося э.п.с. или, как говорят, если обеспечить надежный непрерывный токосъем с контактной сети.

Ниже рассматриваются только воздушные контактные сети, используемые на магистральном железнодорожном транспорте. В общем случае они состоят из совокупности проводов различного назначения, среди которых главный - контактный провод, а также изоляторов, поддерживающих и опорных конструкций. Контактный провод является главным проводом контактной сети потому, что именно с ним контактирует токоприемник движущегося э.п.с. От расположения контактного провода в пространстве зависит обеспечение надежного, непрерывного токосъема с контактной сети.

Согласно требованиям ПТЭ устройства контактной сети не должны ограничивать наибольшие скорости движения электрических поездов, установленных графиком движения. Для удовлетворения этих требований контактная сеть прежде всего должна быть выполнена таким образом, чтобы надежный и непрерывный токосъем с контактной сети обеспечивался при любых расчетных погодных условиях в пределах расчетных скоростей движения. Сделать это совсем не просто, так как через скользящий контакт движущегося токоприемника с контактным проводом проходят большие тяговые токи (до 4000 А при системе постоянного и до 600 А при системе переменного тока). Чтобы такой

контакт был непрерывным, токоприемник поджимается к контактному проводу силами установленных на нем пружин.

Без особых усилий удастся обеспечить надежный токосъем лишь при небольших скоростях движения поездов (до 60 км/ч). Однако при высоких скоростях движения (свыше 120 км/ч) добиться качественного токосъема трудно, так как на взаимодействии токоприемника и контактного провода начинают сказываться любые отклонения траектории точки скользящего контакта от прямолинейной, параллельной плоскости рельсов. При этом все большую роль начинает играть состояние окружающей среды: температура, влажность, сила и направление ветра и т. д. Например, встречный поток воздуха в зависимости от его направления по отношению к поверхности токоприемника (снизу вверх или сверху вниз) создает дополнительные усилия, увеличивающие или уменьшающие нажатие токоприемника на контактный провод и это сразу же сказывается на прямолинейности траектории точки скользящего контакта.

Условия токосъема дополнительно осложняются при повышении температуры, так как это приводит к удлинению всех проводов контактной сети и, как следствие, к провисанию контактного провода. Существенно ухудшает условия токосъема (особенно при больших скоростях движения) гололед на проводах контактной сети. Влияние его в какой-то мере эквивалентно увеличению температуры воздуха, поскольку также приводит к удлинению проводов контактной сети и дополнительному провисанию контактного провода. Гололед, кроме того, увеличивает сопротивление скользящего контакта, делает его непостоянным. Это приводит к искрению между контактным проводом и токоприемником, которое вызывается появляющимися и гаснущими короткими электрическими дугами. Искрение быстро изнашивает поверхность скольжения на контактном проводе и медные контактные пластины токоприемника, набрызгивая на них расплавленные капли меди от контактного провода или выкрашивая их, если контактные пластины угольные (графитовые). При толстой корке гололеда возможен полный отрыв токоприемника от контактного провода. Если такой обрыв достаточно длителен (1-2 с), то возобновление контакта приводит к появлению резких рывков тягового усилия электровоза.

Особо неприятно сказывается на токосъеме суммарное воздействие сразу нескольких осложняющих факторов, например, бокового ветра на провода контактной сети при гололеде. В этом случае может наблюдаться «выдувание» контактного провода с рабочей поверхности токоприемника, что приводит к его поломкам и даже к обрывам контактного провода.

На работу контактной сети оказывают влияние и такие факторы, как запыленность воздуха, загрязнение его, насыщенность солями в районах морских побережий, интенсивность солнечной радиации и др. Действуя в различных сочетаниях, особенно при повышенной влажности, эти факторы приводят к развитию коррозионных процессов в устройствах контактной сети, к нарушению работы изоляции, росту износа контактного провода и контактных пластин токоприемников.

Контактная сеть относится к числу тех редких технических устройств, которые не имеют резерва. При повреждениях ее на одном из путей движение по этому пути должно быть остановлено на время ремонта и восстановления работоспособности сети. В некоторых случаях можно организовать движение по другим путям, но это, как правило, приводит к нарушению графика движения и определенному народнохозяйственному ущербу, связанному с задержками поездов.

Указанные обстоятельства позволяют сформулировать требования к контактной сети, которым она должна удовлетворять. Очевидно контактная сеть должна:

- обеспечивать бесперебойное движение поездов с установленными нормами, скоростями и интервалами между поездами при требуемых размерах движения;
- противостоять воздействию различных расчетных климатических и эксплуатационных факторов, сохраняя при этом достаточный запас надежности в работе;
- иметь простую конструкцию, состоящую из высоконадежных легкозаменяемых узлов, позволяющих обеспечить быстрое восстановление работоспособности при повреждениях;
- обладать высокой долговечностью и требовать минимальных расходов на эксплуатационное обслуживание;
- иметь возможно меньшую строительную и монтажную стоимость при минимальном расходе дефицитных материалов.

На железных дорогах имеется большое количество высоковольтных линий электропередачи (ВЛ), непосредственно не связанных с токобъемом, которые выполняют самые различные функции: подводят электропитание к тяговой сети (фидеры контактной сети и рельсовые фидеры); обеспечивают электроснабжение нетяговых потребителей (линии ДПР, ВЛ продольного электроснабжения); усиливают сечение контактной сети (усиливающие провода); подводят электропитание к устройствам СЦБ и связи (ВЛ СЦБ); обеспечивают освещение станций и остановочных пунктов (осветительные ВЛ) и др.

На работу таких ВЛ, как и на контактные сети, большое влияние оказывают различные метеорологические факторы. Повышение температуры окружающего воздуха и ветер могут способствовать нарушению вертикальных и горизонтальных габаритов и установленных нормами расстояний от находящихся под напряжением проводов ВЛ до земли или каких-либо сооружений (пассажирские платформы, служебные здания, осветительные мачты, искусственные сооружения и др.). Понижение температуры так же, как и интенсивный гололед, могут привести к обрывам проводов и перерывам в питании потребителей электрической энергии на время, необходимое для устранения повреждений. Поэтому для потребителей электрической энергии, перерыв в питании которых недопустим даже на короткий промежуток времени (например, устройства СЦБ и связи), необходимо предусматривать

резервное питание. Из сказанного ясно, что к железнодорожным ВЛ предъявляются такие же высокие требования, как и к контактным сетям, за исключением требований токосяема.

Для создания условий токосяема контактный провод должен быть тем или иным способом подвешен над железнодорожным путем. Наиболее часто используют два вида подвешивания контактного провода: простое и цепное.

При простом подвешивании контактного провода или, как говорят, при простой подвеске (рис. 5.18,а) контактный провод 1 подвешивается непосредственно к конструкциям 4 опор контактной сети 2. Конструкции изолированы от опор изоляторами 3 и 5 и обеспечивают определенное положение провода относительно оси пути и возможность некоторого его подъема (эластичность подвески) при проходе токоприемника под точкой подвешивания. Простую подвеску контактного провода еще называют трамвайной, так как она чаще всего используется в тяговых сетях городского электрифицированного транспорта, где скорости движения невелики и удастся достичь приемлемых условий токосяема, несмотря на большое провисание провода в середине пролета между опорами контактной сети. Несомненно токосяем с простой подвески можно улучшить, увеличивая силу натяжения провода или уменьшая расстояния между опорами контактной сети. Однако увеличивать силу натяжения провода можно только до известных пределов, ограничиваемых прочностью провода. Уменьшение же расстояния между опорами экономически невыгодно. По указанным причинам на железных дорогах простую подвеску применяют только на второстепенных путях станций и путях депо.

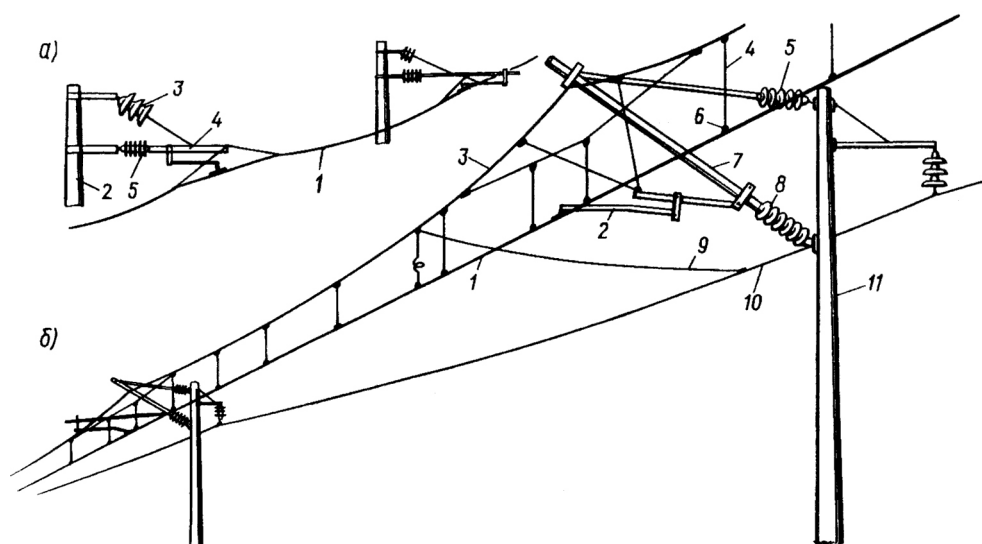


Рис. 5.18. Схема простой (а) и цепной (б) подвесок контактного провода

Для больших скоростей движения идеальным явилось бы такое подвешивание контактного провода, при котором траектория точки

скользящего контакта движущегося токоприемника с контактным проводом прямолинейна и проходит параллельно плоскости рельсов.

Приближенно этого можно достичь при цепном подвешивании контактного провода или, как говорят, при цепной подвеске (рис. 5.18,б), когда на конструкциях 7 опор контактной сети 11 сначала подвешивается вспомогательный провод - несущий трос 3, к которому с помощью струн 4 на зажимах 6 подвешивается контактный провод 1. Расположение провода относительно оси пути фиксируется фиксаторами 2. Несущий трос и контактный провод изолированы от опоры изоляторами 5 и 8. Необходимого расположения контактного провода относительно плоскости рельсов удастся добиться регулировкой длины струн и автоматической регулировкой натяжения контактного провода. Правда, это возможно только при неизменной температуре воздуха. При более высокой или низкой температуре из-за удлинения или укорачивания несущего троса будет наблюдаться соответственно провисание или поджатие контактного провода с максимальными значениями в середине пролета. Эти отклонения существенно меньше, чем у простой подвески. Важно и то, что необходимые натяжения контактного провода у цепной подвески ниже предела прочности провода, что обеспечивает ему значительно большую стойкость при воздействии электрической дуги (например, при коротких замыканиях на э.п.с.). На электрифицированных железных дорогах основное применение нашли цепные подвески, так как, совершенствуя различные узлы, можно добиться оптимального для качественного токосъема расположения контактного провода относительно плоскости рельсов.

Подвеска проводов других линий: например, усиливающих проводов контактной сети 10, питающих и рельсовых фидеров, железнодорожных высоковольтных линий (ВЛ и др.), располагаемых, как правило, на опорах контактной сети с полевой стороны или на отдельно стоящих опорах - простая, отличающаяся, однако, тем, что в каждой точке подвешивания провод крепится к подвесному или опорному изолятору.

В контактных сетях и ВЛ применяют провода различной конструкции, выполненные из разных материалов. *Контактные провода* должны иметь высокую механическую прочность, быть износоустойчивыми, неподверженными коррозии и обладать высокой электрической проводимостью. Контактные провода различают по форме, поперечному сечению и материалу (рис. 5.19). Изготавливают контактные провода в основном из твердотянутой электролитической меди, что придает им большую механическую прочность. Однако даже кратковременное (в течение нескольких секунд) воздействие электрической дуги при токах свыше 2000 А приводит к разупрочнению (отжигу) проводов и потере ими первоначальных механических свойств. То же действие оказывают длительно протекающие токи нагрузки, значения которых превышают допустимые. Наибольшее распространение получили провода марки МФ (М - медный, Ф - фасонный). Для крепления на проводах различных зажимов

(например зажима 6 на рис. 5.18,б) предусмотрены два продольных паза, из-за которых их и называют фасонными. Различают провода круглого (рис. 5.19,а) и овального (рис. 5.19,б) профилей. Применяют в основном контактные провода с поперечным сечением 85, 100 и 150 мм². Наиболее распространенный провод МФ-100 имеет размеры A и H соответственно 12,8 и 11,8 мм.

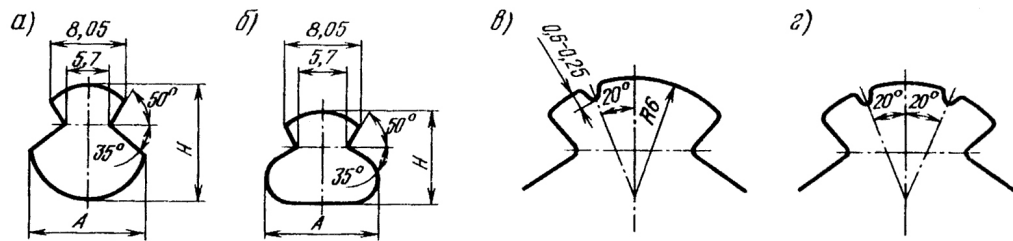


Рис. 5.19. Профили контактных проводов (а, б) и расположение канавок на бронзовых (в) и низколегированных контактных проводах (г)

Для повышения износостойкости, механической прочности и сопротивляемости разупрочнению при нагреве рекомендуется применение бронзового контактного провода марки БрФ. Небольшая присадка (до 1%) кадмия, магния, хрома, циркония и других металлов улучшает в разной степени механические характеристики этого провода, но ухудшает

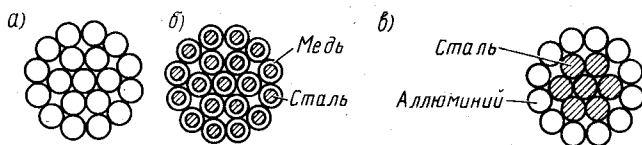


Рис. 5.20. Конструкции многопроволочных проводов

электрические параметры, что ограничивает его применение на участках с интенсивным движением поездов. Кроме того, этот провод имеет значительно большую стоимость, чем медные. Более перспективен низколегированный бронзовый контактный провод марки

НЛФ, такого же профиля, как и БрФ. В качестве легирующего компонента в нем используют магний, цирконий, олово, кремний и титан, а в некоторых зарубежных странах и серебро (ФРГ, Япония и др.), добавляемые в количестве не более 0,04-0,06 %. Электрические параметры такого провода не хуже, чем у медных, а механические - существенно лучше. К тому же он значительно дешевле бронзового провода марки БрФ.

Для отличия медных проводов от бронзовых и низколегированных бронзовых на последних предусмотрены отличительные канавки в верхней части сечения: для бронзовых - одна, а для низколегированных бронзовых - две, расположенные симметрично относительно вертикальной оси сечения (рис. 5.19,в,г).

На участках, подверженных сильным ветровым воздействиям, могут быть применены провода овального профиля (МФО, БрФО), имеющие лучшие аэродинамические характеристики по сравнению с круглыми проводами, что повышает ветроустойчивость контактных проводов (см. рис. 5.19,б).

Несущие тросы цепных подвесок должны быть более упругими и гибкими нежели контактные провода, иметь высокую механическую прочность, незначительно изменять длину при колебаниях температуры, быть устойчивым к коррозии и обладать достаточной электрической проводимостью. Для несущих тросов используют многопроволочные провода, свитые из 7 или 19 проволок. На главных путях станций и перегонах дорог постоянного тока применяют несущие тросы, свитые из медных проволок марки М сечением 95 и 120 мм² (рис. 5.20,а). Они обладают высокой электрической проводимостью и устойчивостью к коррозии, однако существенно изменяют длину при колебаниях температуры и имеют меньшую механическую прочность по сравнению с биметаллическими проводами. Поэтому в цепных подвесках тех путей, где тяговые токи незначительны, и на участках переменного тока применяют биметаллические несущие тросы ПБСМ-70 (95) (ГОСТ 4775—75), ПБСМ-70 (95). Они свиты из отдельных биметаллических проволок, каждая из которых имеет стальную сердцевину, покрытую тонким слоем меди (рис. 5.20,б). С целью экономии меди на тех участках, где допустимо иметь большее сопротивление контактной сети, в качестве несущих тросов могут быть применены биметаллические сталеалюминевые провода марки ПБСА-50/70 (рис. 5.20,в).

Фидеры контактной сети и рельсовые фидеры должны иметь электрическую проводимость не меньшую, чем проводимость контактной сети и при этом быть достаточно прочными и дешёвыми. Этим условиям более всего отвечают алюминиевые провода марки А сечением 150 и 185 мм².

Усиливающие провода контактной сети (см. рис. 5.18,б, 10) должны быть достаточно прочны и дешевы. Для них чаще всего также используют алюминиевые провода марки А сечением 150 и 185 мм².

Электрические соединители (см. рис. 5.18,б, 9) должны обеспечить малое переходное сопротивление между проводами подвески контактного провода и усиливающими проводами и быть достаточно гибкими. Обычно применяют медный неизолированный гибкий провод марки МГ-70 или МГ-95.

Струны контактной сети должны обеспечивать беспрепятственный подъем контактного провода токоприемником э.п.с. Пролетные (см. рис. 5.18,б, 4), околоопорные и подрессорные струны изготавливают из биметаллической проволоки марки 4БСМ. Для того чтобы струны не препятствовали подъему контактного провода токоприемником при токосъеме, их выполняют из нескольких звеньев. В последнее время все чаще начинают применять гибкие струны из крученых капроновых канатов диаметром 4-6 мм.

Рессорные тросы контактной сети должны быть прочными и обеспечивать свободный подъем токоприемником участков контактного провода вблизи опор. Для рессорных тросов обычно используют проволоку марки 6БСМ, а также капроновые канаты диаметром 8-10 мм.

Провода ВЛ имеют сечение 20-35 мм² в медном эквиваленте. Однако медные провода дороги и малопрочны, так как должны выдерживать гололед и ветер на пролетах длиной 50-80 м. По этой причине более подходящими являются сталеалюминевые провода марки АС сечением 35, 50 или 70 мм² (ГОСТ 839—80).

6. АВТОМАТИКА, СЦБ И СВЯЗЬ

6.1 Автоблокировка, принцип ее работы

Для интервального регулирования движения поездов служат перегонные устройства сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и связи. Эти системы автоматики и телемеханики обеспечивают безопасность движения и необходимую пропускную способность.

Автоматизированная система управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ) включает в себя ряд систем более низкого уровня - сортировочных станций (АСУСС), оперативного управления перевозочным процессом (АСУОП), электроснабжения (АСУЭ) и др. В настоящем разделе рассматриваются устройства автоматики и телемеханики, при помощи которых осуществляется регулирование движения поездов и обеспечивается безопасность их следования по перегонам и станциям. К таким устройствам относятся: автоматическая блокировка; автоматическая локомотивная сигнализация; устройства диспетчерского контроля за движением поездов; автоматическая переездная сигнализация и автошлагбаумы; релейная полуавтоматическая блокировка; электрическая централизация стрелок и сигналов; диспетчерская централизация; средства механизации и автоматизации сортировочных горок.

Поскольку движение поездов и маневровая работа на станциях осуществляются в условиях непрерывно изменяющейся обстановки, то для быстрой передачи на расстояние различных приказов и извещений локомотивным бригадам и другим работникам, связанным с движением поездов, применяют железнодорожную сигнализацию.

В настоящее время основными средствами интервального регулирования движения поездов являются: автоматическая блокировка, автоматическая локомотивная сигнализация, устройства диспетчерского контроля за движением поездов, автоматическая переездная сигнализация и автошлагбаумы, а также полуавтоматическая блокировка, хотя она и не обладает высокими качествами автоматических систем.

Применение путевой блокировки, особенно автоматической, дает возможность обеспечить высокую пропускную способность перегонов за счет деления их проходными сигналами на отдельные участки и движения по принципу единственного поезда на каждом участке пути. Безопасность движения обеспечивается тем, что устройства путевой блокировки не допускают открытия сигнала для пропуска поезда до тех пор, пока участок пути, огражденный этим сигналом, занят другим поездом.

На станциях, оборудованных путевой блокировкой, устанавливают выходные светофоры, и поезд отправляется по открытому показанию сигнала без затраты времени на вручение машинисту особого разрешения. Благодаря этому сокращаются стоянки поездов, увеличивается безопасность движения и возрастает пропускная способность участков.

Автоматическая блокировка является наиболее совершенным современным средством регулирования движения поездов. При автоматической блокировке светофоры автоматически закрываются при входе поезда на ограждаемые ими блок-участки. Для повышения безопасности движения автоблокировка дополняется устройствами автоматической локомотивной сигнализации и автостопами.

Сигнализация служит для обеспечения безопасности движения, а также для четкой организации движения поездов и маневровой работы.

Сигналом называется условный видимый или звуковой знак, с помощью которого подается определенный приказ. Сам сигнал является приказом. Под словом сигнал понимают и сигнальный прибор и его сигнальное показание. Работники железнодорожного транспорта должны использовать все возможные средства для выполнения требования сигнала.

Применяемые на транспорте сигналы по способу их восприятия классифицируют на видимые и звуковые.

Видимые сигналы выражаются цветом огней, щитов, флагов, дисков; числом и взаимным положением сигнальных показаний; режимом горения сигнальных огней и формой переносных сигнальных щитов. Достоинство видимых сигналов заключается в том, что они могут быть переданы на расстояния большие, чем обычно слышны звуковые сигналы.

Звуковые сигналы выражаются числом и сочетанием звуков различной продолжительности. Значение их днем и ночью одно и то же. Для подачи звуковых сигналов служат свистки локомотивов, моторвагонных поездов и дрезин, ручные свистки, духовые рожки, сирены, гудки и петарды. Звуковые сигналы подают по возможности так, чтобы не создавать шума, особенно в населенных пунктах. Поэтому они слышны обычно на сравнительно небольшие расстояния. Подача многих звуковых сигналов требует непрямого участия человека.

По времени применения видимые сигналы подразделяют на дневные, подаваемые в светлое время суток и сигнализирующие цветом окраски щита, флага, диска или цветом, режимом горения и сочетанием огней сигнального прибора; ночные, сигнализирующие огнями установленных цветов и подаваемые в темное время суток; круглосуточные, подаваемые одинаково как в светлое, так и в темное время суток и сигнализирующие цветом, режимом горения и сочетанием огней.

Видимые сигналы подаются светофорами, флагами, фонарями, щитами и дисками. Назначение этих приборов, их сигнальные показания, места установки и порядок пользования определены ПТЭ и Инструкцией по сигнализации на железных дорогах РФ.

Видимые сигналы в зависимости от сигнальных приборов, которыми их подают, классифицируют на: постоянные (светофоры, устанавливаемые в определенных местах железнодорожного пути, и локомотивные светофоры); переносные (щиты, флаги, фонари на шестах, предназначенные для временного ограждения тех или иных участков пути

и подвижного состава); ручные (флаги, диски, фонари, посредством которых подают на поезда различные команды и указания); поездные (диски, флаги и фонари для обозначения головы и хвоста поезда).

Кроме сигналов, для передачи локомотивным бригадам дополнительных указаний и информации на железных дорогах широко применяют видимые сигнальные указатели и сигнальные знаки. Имеется шесть типов сигнальных указателей: маршрутные, стрелочные, путевого заграждения, гидроколонок, перегрева букс и «Опустить токоприемник». Они извещают о положении определённых устройств - стрелок, гидроколонок и др.

На железных дорогах применяют также разнообразные по назначению и виду сигнальные знаки, которые устанавливают в местах прохода электроподвижного состава с поднятым токоприемником и на участках, где работают снегоочистители и др. Сигнальные знаки требуют от машиниста локомотива определенного действия или сообщают ему определенную информацию. Каждый сигнальный знак в отличие от светофоров и сигнальных указателей, имеющих два и более показаний, имеет только одно сигнальное значение. Сигнальные знаки отличаются и тем, что не имеют собственных источников света, поэтому их размещают так, чтобы при приближении поезда они освещались прожектором. Для лучшей видимости некоторые сигнальные знаки оборудованы отражателями. В качестве постоянных сигналов на железных дорогах применяются светофоры, которые используются во всех системах железнодорожной автоматики и телемеханики. По назначению постоянные сигналы делят на основные и предупредительные. Основные сигналы ограждают станции и блок-участки на перегонах и подают сигналы, которые разрешают или запрещают движение поездов по этим пунктам или участкам. Предупредительные сигналы извещают о приближении к основным сигналам и о их показании.

Основные сигналы, в свою очередь, в зависимости от назначения подразделяются на: входные, ограждающие станции со стороны прилегающих перегонов и служащие для разрешения или запрещения машинисту поезда следовать на станцию; выходные, разрешающие или запрещающие поезду отправиться со станции на перегон; проходные, расположенные на перегонах разрешающие или запрещающие машинисту поезда проследовать на ограждаемые ими участки; маршрутные - для разрешения или запрещения машинисту поезда проследовать из одного района станции в другой; прикрытия - для ограждения мест пересечений в одном уровне железных дорог с другими железными дорогами, трамвайными путями, троллейбусными линиями, а также разводных мостов. Светофоры, кроме того, применяют в качестве маневровых, горочных, повторительных, заградительных и локомотивных.

Основными сигнальными цветами на транспорте являются красный, желтый и зеленый. Их выбор неслучаен. Установлено, что при одинаковой силе света красный огонь лучше виден и искажается меньше, чем другие огни. Поэтому он принят в качестве сигнала остановки. Желтый огонь

близок по частоте колебаний к красному, виднее зеленого; он разрешает машинисту движение и требует снижения скорости. В тумане желтый огонь приобретает красноватый оттенок и благодаря этому его трудно ошибочно воспринимать как зеленый огонь, разрешающий движение с установленной скоростью.

Кроме названных, применяют синий, лунно-белый, прозрачно-белый и молочно-белый сигнальные огни. Синий огонь используют как запрещающий на маневровых светофорах. На проходных светофорах, расположенных на затяжных подъемах, допускается установка условно разрешающего сигнала - щита с отражательным знаком в виде буквы Т. Он разрешает машинисту грузового поезда проследовать светофор с красным огнем со скоростью не более 20 км/ч с особой бдительностью и готовностью немедленно остановить поезд, если встретится препятствие для дальнейшего движения. Лунно-белый огонь применяют как разрешающий маневровый и как пригласительный на входных, выходных и маршрутных светофорах, прозрачно-белый - в ручных фонарях, поездных сигналах, указателях гидроколонок и светящихся указателях перегрева букс. Молочно-белый огонь применяют в стрелочных указателях и указателях путевого заграждения.

Основным сигнальным прибором на железнодорожном транспорте является светофор - оптический прибор, сигнализирующий днем и ночью цветом одного или нескольких огней.

Светофоры подразделяют на линзовые и прожекторные. Линзовые светофоры бывают: мачтовые (рис. 6.1, а), состоящие из металлической или железобетонной мачты и укрепленной на ней головки с линзовыми комплектами; консольные или мостиковые (рис. 6.1, б), у которых головки подвешены над путями на консолях (мостиках) с правой стороны по ходу поезда или над осью пути; карликовые (рис. 6.1, в), у которых светофорная

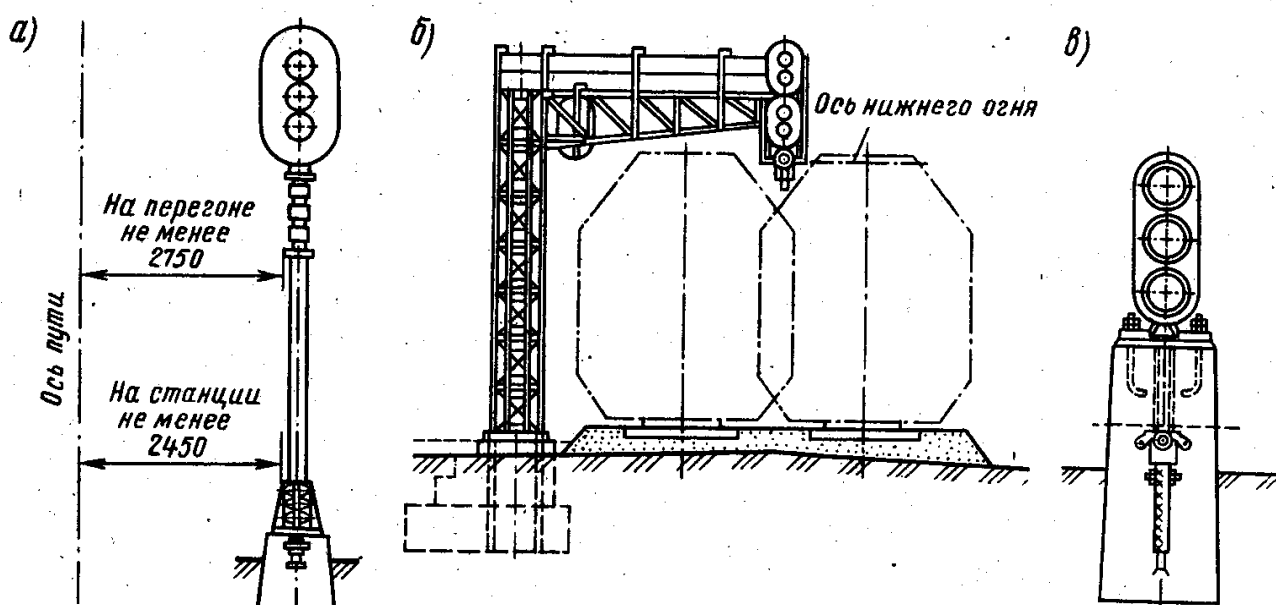


Рис. 6.1. Типы линзовых светофоров: а - мачтовый; б - консольный; в - карликовый

головка без мачты укреплена непосредственно на фундаменте с небольшим наклоном по вертикали, благодаря чему обеспечивается видимость сигнала с локомотива на близком расстоянии. Относительно оси пути светофоры устанавливаются в соответствии с требованиями габарита приближения строений. Консольные светофоры применяют, если по условиям габарита нельзя установить мачтовый светофор, а также на электрифицированных дорогах, где опоры контактной сети мешают видимости сигналов.

Карликовые светофоры устанавливают в узких междупутьях и применяют в качестве маневровых и выходных с боковых путей.

Линзовый светофор имеет для каждого огня отдельный линзовый комплект с лампами 15, 25 и 35 Вт при напряжении 12 В. Линзовые комплекты размещены в светофорных головках таким образом, что они отделены друг от друга перегородками, благодаря чему исключено появление ложного сигнального показания от горячей лампы соседнего комплекта.

Головки имеют фоновые щитки для улучшения видимости сигналов и козырьки, защищающие фонари от попадания грязи, снега, солнечных лучей и света локомотивных прожекторов (во избежание искажения сигнальных показаний). В линзовых комплектах светофоров, установленных на кривых участках пути, имеются рассеивающие стекла. Они отклоняют лучи, на 10 или 20° в горизонтальной плоскости в сторону кривой, благодаря чему сигнальные огни светофоров видны в любых точках кривых на расстоянии не менее тормозного пути.

Прожекторный светофор представляет собой мачту, на которой укреплена светофорная головка с круглым фоновым щитом. Для получения трех различных сигнальных огней в головке светофора установлен светофильтр с тремя цветными стеклами, который передвигается прожекторным реле при пропускании через него тока прямой или обратной полярности. Прожекторные светофоры по расходу электроэнергии более экономичны, чем линзовые, но они менее надежны в эксплуатации.

Светофоры устанавливают у железнодорожных путей с правой стороны по направлению движения поездов или над осью ограждаемого пути с учетом габарита приближения строений С. Причем размещают светофоры так, чтобы их показания нельзя было принять за сигналы, относящиеся к смежным путям.

Входные светофоры устанавливают от первого входного стрелочного перевода на расстоянии не ближе 50 м, считая от острья противошерстного или предельного столбика пошерстного стрелочного перевода. На электрифицированных участках входные светофоры устанавливаются перед воздушными промежутками (со стороны перегона), отделяющими контактную сеть перегонов от контактной сети станций, т. е. так, что поезд, остановившийся у закрытого входного светофора, получает питание от контактного провода перегона и, следовательно, его трогание с места и дальнейшее движение будут

обеспечены. Для обеспечения безопасности движения поездов красные, желтые и зеленые огни светофоров входных, проходных, заградительных и прикрытия на прямых участках пути днем и ночью должны быть отчетливо различимы из кабины управления локомотива приближающегося поезда на расстоянии не менее 1000 м.

Минимальные расстояния видимости сигнальных огней зависят от плана пути и местных условий. При отсутствии габарита для установки светофоров с правой стороны путей в отдельных случаях допускается располагать входные светофоры с левой стороны (ПТЭ, п. 6.6).

Перед всеми входными и проходными светофорами устанавливаются предупредительные светофоры. На линиях, оборудованных автоблокировкой, каждый проходной светофор является предупредительным по отношению к следующему. Расстояние между смежными светофорами на линиях, оборудованных автоблокировкой с трехзначной сигнализацией, должно быть не менее тормозного пути, определенного для данного места при полном служебном торможении и максимальной реализуемой скорости, но не более 120 км/ч для пассажирских поездов и 80 км/ч для грузовых и, кроме того, должно быть не менее тормозного пути при экстренном торможении с учетом времени, необходимого для воздействия устройств автоматической локомотивной сигнализации и автостопа на тормозную систему поезда. При этом на участках, где видимость сигналов менее 400 м, а также на линиях, вновь оборудуемых автоблокировкой, указанное расстояние должно быть не менее 1000 м.

Показания входных светофоров на прямых участках пути днем и ночью должны быть отчетливо различимы из кабины управления локомотива приближающегося поезда на расстоянии не менее 1000 м, на кривых участках - не менее 400 м, в сильно пересеченной местности - не менее 200 м.

Выходные светофоры устанавливают у каждого отправочного пути впереди места, предназначенного для стоянки локомотива отправляющегося поезда. Показания выходных и маршрутных светофоров главных путей должны быть отчетливо различимы на расстоянии не менее 400 м, а боковых путей - не менее 200 м.

На рис. 6.2 приведена схема расстановки входных, предупредительных и выходных светофоров на разъезде при автоблокировке. Входные светофоры, по которым на станцию принимают,

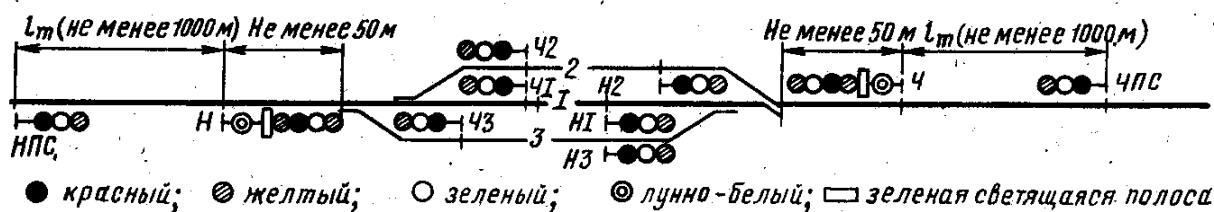


Рис. 6.2. Схема расстановки входных, предупредительных и выходных светофоров

нечетные поезда, обозначают буквой Н, предупредительные перед ними - НПС, а со стороны прибытия четных поездов - соответственно Ч и ЧПС. Выходные светофоры нечетного и четного направлений обозначают соответственно буквами Н и Ч с указанием номера пути, к которому они относятся.

Управление станционными светофорами полуавтоматического действия: открывает светофоры (включает разрешающие сигнальные огни) дежурный по станции или поездной диспетчер, а закрываются они (загорается красный огонь) автоматически от проходящих поездов.

Разрешающие показания входных и выходных светофоров предусмотрены Инструкцией по сигнализации и различаются в зависимости от условий приема, пропуска или отправления поездов.

При автоматической блокировке перегоны делятся на блок-участки, автоматически действующими проходными светофорами. Длина блок-участков равна расстоянию между смежными светофорами. При автоблокировке с трехзначной сигнализацией она должна быть не менее тормозного пути при полном служебном торможении и максимально реализуемой скорости, кроме того, должна быть не менее тормозного пути при экстренном торможении с учетом пути, проходимого за время срабатывания автостопа, и составлять от 1000 до 2600 м.

Автоматическая смена сигнальных показаний проходных светофоров достигается тем, что в пределах каждого блок-участка устраивают электрические рельсовые цепи, через которые поезд воздействует на аппаратуру управления огнями светофора. С помощью электрических рельсовых цепей осуществляется не только контроль занятости блок-участка, но и целости рельсового пути. Электрические схемы рельсовых цепей современных систем автоблокировок довольно сложны.

Чтобы не затруднять понимание принципа изменения показаний светофоров в зависимости от состояния рельсовых цепей (блок-участков) на рис. 6.3 показана упрощенная схема двузначной автоблокировки. Рельсовые цепи отделены друг от друга изолирующими стыками (ИС).

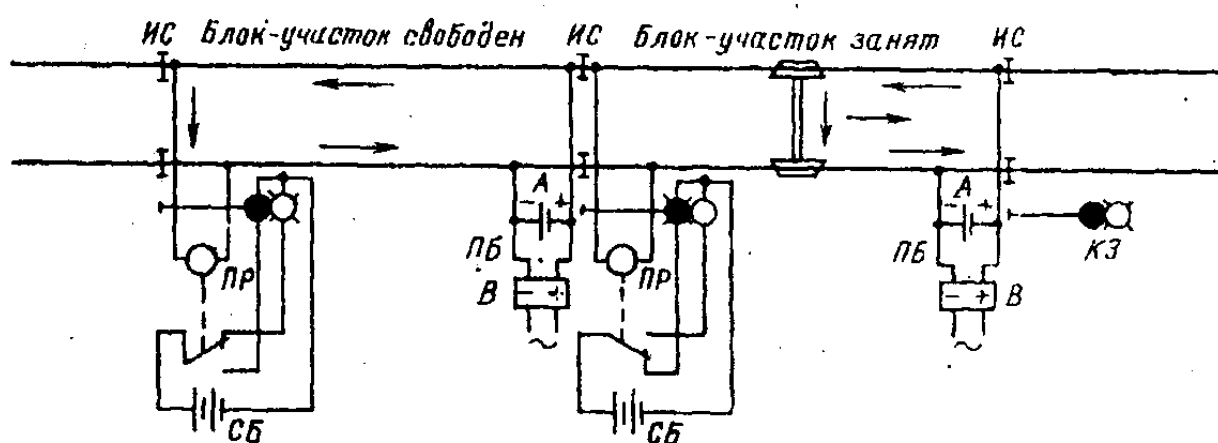


Рис. 6.3. Схема рельсовой цепи двузначной автоматической блокировки

Такие стыки имеют металлические накладки с фибровой изоляцией. На главных путях применяется новый вид изолирующего стыка - клееболтовой. В этом стыке применены стандартные двухголовые накладки, которые с помощью клеевого шва из стеклоткани, пропитанной эпоксидным компаундом с отвердителем, склеиваются с рельсовыми концами, благодаря чему образуется монолитное соединение, способное работать в несколько раз больше, чем стыки с фиброй или полиэтиленовой изоляцией.

Источником тока в рельсовой цепи является путевая батарея (ПБ), в состав которой входят аккумулятор А и выпрямитель В, потребитель тока - путевое реле ПР. Питание автоблокировки осуществляется от высоковольтной сигнальной линии электропередачи.

Если блок-участок свободен, ток от источника питания протекает по рельсам и поступает в путевое реле, которое замыкает цепь сигнальной батареи СБ на зеленый огонь светофора. Если блок-участок занят хотя бы одной колесной парой (или лопнул рельс), то ток не будет поступать в путевое реле, якорь его отпадет и цепь сигнальной батареи замкнется на лампу красного огня светофора.

При электрической тяге на постоянном или переменном токе устраивают рельсовые цепи переменного тока в виде импульсов числового кода. Автоблокировку с кодовыми рельсовыми цепями называют кодовой числовой автоблокировкой. В ней сигнальные показания впереди стоящего светофора по рельсовым цепям передаются на позади стоящий светофор. Каждому сигнальному огню соответствует определенный сигнальный код тока, поступающего в рельсовую цепь перед данным светофором: если в рельсовой цепи три импульса в кодовом цикле (код З), то на впереди стоящем светофоре горит зеленый огонь; если два импульса в кодовом цикле (код Ж), то на впереди стоящем светофоре горит желтый огонь; если один импульс в кодовом цикле (код КЖ - красного с желтым огня), то, следовательно, на впереди стоящем светофоре горит красный огонь. Эти сигнальные коды управляют и огнями локомотивного светофора автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН).

На электрифицированных участках по рельсам протекает тяговый ток (постоянный или переменный) и ток рельсовых цепей автоматической блокировки (переменный). Для пропуска тяговых токов в обход изолирующих стыков автоблокировки в рельсовые цепи включают специальные приборы - дроссель-трансформаторы и частотные фильтры.

Автоблокировка бывает одно- и двухпутной, причем первая всегда двусторонняя и позволяет осуществлять движение поездов по одному пути в оба направления. Нормально открыты только светофоры по направлению движения. Светофоры встречного направления выключены. Для изменения направления движения дежурный по станции, на которую должен прибыть поезд, нажимает на аппарате кнопку смены направления, отчего загораются светофоры для движения в направлении к данной станции, а светофоры ранее установленного направления выключаются.

На двухпутных участках может применяться дву- и односторонняя автоблокировка. Применяют автоблокировку с нормально горящими сигнальными огнями.

Различают автоблокировку с двузначной (К, З), трехзначной (К, Ж, З) и четырехзначной (К, Ж, ЖЗ, З) сигнализацией.

На магистральных железных дорогах вследствие высоких скоростей движения и значительной длины тормозных путей применяют трех- и четырехзначную сигнализацию. При трехзначной блокировке поезда следуют на зеленый огонь и разграничены тремя блок-участками. Интервал времени между поездами 8-10 мин и менее. За это время поезд проходит расстояние, равное длине поезда и трем блок-участкам, длина каждого из которых в зависимости от их расположения (на спуске или на подъеме) разная.

Одна из таких систем называется числовой кодовой (рис. 6.4).

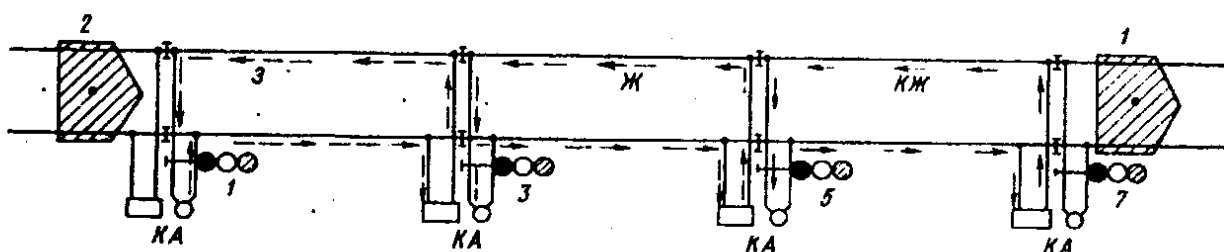


Рис. 6.4. Схема сигнальных показаний светофоров при кодовой автоблокировке: КА – кодовая аппаратура проходных светофоров 1, 3, 5, 7; Ж, КЖ – коды тока светофоров соответственно с зеленым, желтым и красным огнями

Блок-участок, занятый поездом 1, огражден красным огнем светофора 7, кодовая аппаратура которого посылает в рельсовую цепь 5-7 кодовый сигнал желтого с красным огнем (КЖ). Этот код поступает в аппаратуру светофора 5 и на нем загорается желтый огонь. В свою очередь кодовая ячейка светофора 5 посылает в рельсовую цепь 3 - 5 код желтого сигнала Ж и на светофоре 3 загорается зеленый огонь. От светофора 3 поступает код зеленого огня З и на светофоре 1 загорается зеленый огонь. Светофор 1 посылает код зеленого огня, который замыкается колесными парами поезда 2. Код на предыдущий светофор не поступает и на нем горит красный огонь.

Четырехзначная автоблокировка наиболее часто применяется на пригородных участках, где скоростное пассажирское движение.

6.2 Полуавтоматическая блокировка

Кроме автоблокировки в качестве средств интервального регулирования движения поездов, применяют релейную полуавтоматическую блокировку. Полуавтоматической она является потому, что часть действий по изменению показаний сигналов производится автоматически (от воздействия поездов), а часть -

работниками, занятыми приемом, отправлением и пропуском поездов.

Каждый межстанционный перегон со стороны станции огражден выходными светофорами. Нормально выходные светофоры закрыты. Для разрешения машинисту поезда занять перегон дежурный по станции открывает выходной светофор нажатием кнопки на пульте управления. На однопутных перегонах это возможно только при получении согласия дежурного по соседней станции, на двухпутных - после получения с соседней станции блокировочного сигнала о прибытии ранее отправленного с данной станции поезда. Выходной сигнал закрывается автоматически или дежурным по станции с помощью сигнальной кнопки. Об отправлении поезда извещается соседняя станция, и на аппаратах обеих станций появляются указатели занятости перегона и исключается возможность отправления другого поезда на занятый перегон.

Действия по отправлению и приему поездов, в том числе и установка стрелочных маршрутов (если стрелки оборудованы электрическими приводами), производит дежурный по станции, используя пульт управления. На малых станциях стрелки может обслуживать дежурный по стрелочному посту.

6.3 Диспетчерская централизация

Система управления движением поездов из одного пункта с помощью каналов телеуправления и телесигнализации получила название диспетчерской централизации (ДЦ). Она представляет собой сочетание автоматической блокировки на перегонах с электрической централизацией стрелок и сигналов станций. Таким образом обеспечивается: управление из одного пункта стрелками и сигналами ряда станций и перегонов; контроль на аппарате управления за положением и занятостью перегонов, путей на станциях и прилегающих к ним блок-участках; дублируются показания входных, маршрутных и выходных светофоров; имеется возможность передачи станций на резервное управление стрелками и сигналами по приему, отправлению поездов и производству маневров, а также передача на местное управление стрелками для выполнения маневров; предусмотрена автоматическая запись графика исполненного движения поездов; выполнение требований, предъявляемых к электрической централизации и автоматической блокировке. Все операции по приему и отправлению поездов со станций участка производит диспетчер; регулирование следования поездов по перегонам совершается автоматически по сигналам автоблокировки. Диспетчерская централизация позволяет повысить пропускную способность, участковую скорость и безопасность движения поездов, позволяет сократить штат на 50-60 чел. на каждые 100 км, благодаря чему ДЦ получила широкое применение.

Станции участка, кроме обычной релейной централизации, оборудованы линейными кодовыми ячейками для приема от диспетчерского поста управляющих кодовых приказов и посылки

известительных (контрольных) кодов.

В системах диспетчерской централизации наших дорог используется передача частотными кодовыми сигналами. Коды могут быть построены в виде различных импульсов, отличающихся продолжительностью, различной полярностью, разной частотой или фазами переменного тока.

Значительное повышение интенсивности движения поездов, широкое внедрение ЭВМ и электронных средств обработки данных в практику эксплуатационной работы железных дорог вызвали изменение системы диспетчерского руководства поездной работы с созданием единого центра управления дороги. Такой центр оборудован необходимыми средствами связи, диспетчерскими пультами и автоматизированными рабочими местами, табло, микропроцессорной техникой и другими средствами обработки и отображения информации. Динамическая модель поездного положения на табло-мнемосхеме коллективного пользования используется всеми поездными диспетчерами и другими оперативными работниками.

На линиях, оборудованных автоблокировкой, применяют устройства диспетчерского контроля, предназначенные для дачи поездному диспетчеру информации об установленном направлении движения на участках однопутной блокировки, занятости блок-участков, главных и приемо-отправочных путей промежуточных станций, показаниях входных и выходных светофоров, а также автоматических переездных устройств. На железных дорогах применяют систему частотного диспетчерского контроля (ЧДК). Система построена на бесконтактной аппаратуре, обладает высокой надежностью и благодаря быстрдействию позволяет применять ее на участках высокоскоростного движения. С перегона информация о состоянии контролируемых объектов по специально выделенным проводам сначала передается на промежуточные станции, а затем по цепи диспетчерского контроля поступает на центральный диспетчерский пункт.

С каждой перегонной установки контрольная информация посылается в виде определенного частотного кода и на табло дежурного по промежуточной станции включается соответствующая контрольная лампочка. Принятые на диспетчерском пункте частотные сигналы усиливаются, расшифровываются и определяется станция, с которой поступил сигнал, и состояние контролируемого объекта. Визуальный контроль состояния объектов на перегонах и станциях диспетчер получает на табло-матрице, на котором схематично показан план участка. Сигнальная индикация состояния контролируемых объектов в системе ЧДК высвечивается на табло.

Система диспетчерского контроля дает возможность дежурным по промежуточным станциям следить за движением поездов на прилегающих перегонах, а поездному диспетчеру получать непрерывную информацию о продвижении поездов на участке и избавляет его от многих переговоров с дежурными по станциям. Сигнальная индикация на табло промежуточных станций выполнена таким образом, что дежурные по станциям получают

также информацию о повреждениях перегонных устройств автоблокировки и переездной сигнализации.

Для повышения надежности и улучшения содержания устройств интервального регулирования движения поездов внедряется система технической диагностики. Она обеспечивает непрерывную проверку состояния сигнальных устройств автоблокировки и автоматической переездной сигнализации. Контрольная информация передается дежурному инженеру (диспетчеру) дистанции сигнализации и связи. Система может быть дополнена устройствами технического прогнозирования состояния названных объектов. Чтобы контролировать состояние объектов линейных пунктов, с промежуточных станций посылаются сигналы опроса, а обратно - ответные сигналы для передачи контрольной и диагностической информации. Для оперативного контроля, за техническим состоянием аппаратуры автоблокировки и электрической централизации в пределах дистанции используется система «Прогноз». Кроме световой индикации состояния объектов, на центральном посту предусмотрена запись контрольной информации на электронный носитель.

6.4 Устройства автоматики и телемеханики на станциях

К станционным устройствам автоматики и телемеханики относятся прежде всего системы сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). Они служат для управления стрелками и сигналами и обеспечения таких взаимных зависимостей между ними, при которых исключается открытие сигнала при неправильно установленных и незапертых стрелках, а при открытом сигнале не допускается перевод тех стрелок, по которым предусмотрен пропуск поезда, маневры и др.

Движение поездов и маневровые передвижения в пределах станций совершаются по определенным маршрутам. Маршрут - это путь следования поезда или маневрового состава по станции при установленных в определенное положение и запертых стрелках и открытому светофору, разрешающему движение по данному маршруту. Те маршруты, по которым нельзя одновременно пропускать поезда, называются враждебными, например маршрут приема на один и тот же путь поездов с разных сторон станции, приема поездов и маневров с выездом на маршрут приема и т. п.

Основными техническими средствами управления и контроля за передвижениями поездных единиц на станциях служат устройства электрической централизации стрелок и сигналов (ЭЦ). К станционным устройствам относятся также горочная автоматическая централизация (ГАЦ) и диспетчерская централизация (ДЦ). На некоторых промежуточных станциях малодейственных участков еще сохранилось ручное управление стрелками и сигналами, а контроль их положения и обеспечение взаимных зависимостей осуществляются с помощью простейших маршрутно-контрольных устройств. Такие устройства не решают проблемы замены

тяжелого труда дежурных стрелочных постов, не обеспечивают высокую пропускную способность и полную безопасность движения.

Электрическая централизация предназначена для управления стрелками и сигналами станций с использованием электрической энергии. При электрической централизации (ЭЦ) - дальность управления стрелками и сигналами практически не ограничена, поэтому с одного поста можно управлять большим числом объектов, т. е. можно охватить управление всеми стрелками и сигналами самой крупной станции. Электрическая централизация обеспечивает централизованное управление стрелками и сигналами и автоматический контроль их положения, а также облегчает труд операторов поста централизации, так как управление стрелками и сигналами производится нажатием кнопок. Время на приготовление маршрута сокращается до 5 - 7 с против 6 - 10 мин при ручном управлении стрелками, благодаря ускорению операций по приготовлению маршрутов на 50 - 70 % увеличивается пропускная способность станций, сокращаются штаты обслуживающего персонала, повышается производительность и культура труда. Устройства взаимных зависимостей стрелок и сигналов обеспечивают высокий уровень безопасности движения поездов и маневровой работы.

Согласно ПТЭ (п. 6.25) устройства ЭЦ не должны допускать: открытия входного светофора при маршруте, установленном на занятый путь; перевода стрелки под подвижным составом; открытия светофоров, соответствующих данному маршруту, если стрелки не поставлены в надлежащее положение, а светофоры враждебных маршрутов не закрыты; перевода входящей в маршрут стрелки и открытия светофора враждебного маршрута при открытом светофоре, ограждающем установленный маршрут.

Электрические схемы ЭЦ выполняются таким образом, что обеспечивается: взаимное замыкание стрелок и светофоров; контроль на аппарате управления врезки стрелки с одновременным закрытием светофора, ограждающего данный маршрут, а также положения стрелок и занятости путей; возможность маршрутного или отдельного управления стрелками и сигналами и производства маневров по показаниям маневровых светофоров.

На крупных станциях поезда расформировывают и формируют на сортировочных горках. Состав надвигают на горку, откуда отдельные вагоны или группы вагонов (отцепы) скатываются на подгорочные пути, специализированные по назначениям вагонов. Управление централизованными стрелками, сигналами и замедлителями для торможения вагонов ведут с одного горочного поста.

Для расформирования составов и повышения перерабатывающей способности сортировочные горки оснащены комплексом автоматических устройств, в состав которых входит горочная автоматическая централизация (ГАЦ), обеспечивающая автоматический перевод стрелок для каждого отцепа, скатывающегося с горки по заданному маршруту, на подгорочный путь. Устройства ГАЦ состоят из стрелочных

электроприводов, электрических рельсовых цепей и другого оборудования.

Система ГАЦ может работать в двух режимах:

программном автоматическом, при котором до роспуска состава с горки с помощью накопителя производится предварительный набор маршрутов на все отцепы состава поезда. Корректировка или добор маршрутов возможны в процессе роспуска состава. Маршруты набирает оператор нажатием соответствующих кнопок на горочном пульте или они передаются из вычислительного центра. Эти приказы воспринимает наборная группа блоков и накопитель, откуда передаются в стрелочные блоки для исполнения. Стрелки, входящие в данный маршрут, переводятся последовательно по мере воздействия скатывающихся отцепов на рельсовые цепи, педали и другую аппаратуру. На ряде сортировочных горок набор программы роспуска составов, в которой устанавливается на какой подгорочный путь должен следовать каждый очередной отцеп, производится по натурному листу поезда с помощью дисплея. Набранная программа высвечивается на экране, что позволяет оператору контролировать правильность набора и при необходимости корректировать программу. В процессе роспуска команды на установку стрелочного маршрута для каждого отцепа с дисплея вводятся в ГАЦ для исполнения;

маршрутном, при котором маршруты задают для каждого очередного отцепа непосредственно перед его скатыванием с горки нажатием кнопки, соответствующей номеру подгорочного пути. Выполняется маршрут автоматически от воздействия вагона. В случае неисправности ГАЦ каждую стрелку по пути следования отцепа оператор горки устанавливает в нужное положение индивидуально путем поворота рукоятки стрелочного коммутатора.

Следует отметить, что комплексная система автоматизации процесса расформирования составов на сортировочных горках включает в себя, кроме ГАЦ, также устройства автоматического регулирования скорости скатывания отцепов (АРС), горочных программно-задающих устройств (ГПЗУ), оперативно-запоминающих устройств (ГОЗУ) для ввода информации в ГАЦ, телеуправления горочным локомотивом (ТГЛ), автоматического задания скорости роспуска составов (АЗСР), автоматического контроля заполнения путей подгорочного парка (КЗП). Ведутся разработки по совершенствованию систем автоматизации сортировочных процессов с использованием ЭВМ, микропроцессоров и других новейших средств.

6.5 Автоматическая локомотивная сигнализация. Автостоп

На участках, оборудованных автоблокировкой, безопасность движения зависит от точного и своевременного выполнения машинистами поездов сигналов, подаваемых проходными светофорами. Однако при плохой видимости из-за тумана, снегопада, дождя и в других трудных

условиях машинист не всегда может своевременно различить показание светофора и может проехать запрещающий сигнал. Чтобы исключить такие случаи и облегчить машинисту ведение поезда, все участки, оборудованные автоблокировкой, согласно ПТЭ дополнены устройствами автоматической локомотивной сигнализации. Она предназначена для передачи показаний путевого светофора, к которому приближается поезд, на локомотивный светофор (ЛС), установленный в кабине машиниста. Это обеспечивает машинисту, особенно при плохих условиях видимости, возможность уверенно и безопасно вести поезд с разрешенной скоростью.

Дополнительно к устройствам АЛС на локомотивах устанавливаются автостопа, которые служат для автоматической остановки поезда, если машинист не примет мер к торможению и своевременной остановки поезда перед светофором. В зависимости от способа передачи сигнальных показаний путевых сигналов на локомотив различают автоматическую локомотивную сигнализацию непрерывного типа с автостопом (АЛСН) и автоматическую локомотивную сигнализацию точечного типа с автостопом (АСНТ).

Автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа с автостопом (рис. 6.5) служит для постоянной передачи на локомотив показания путевого светофора, к которому приближается поезд. Показания светофора передаются на локомотив посредством рельсовых цепей.

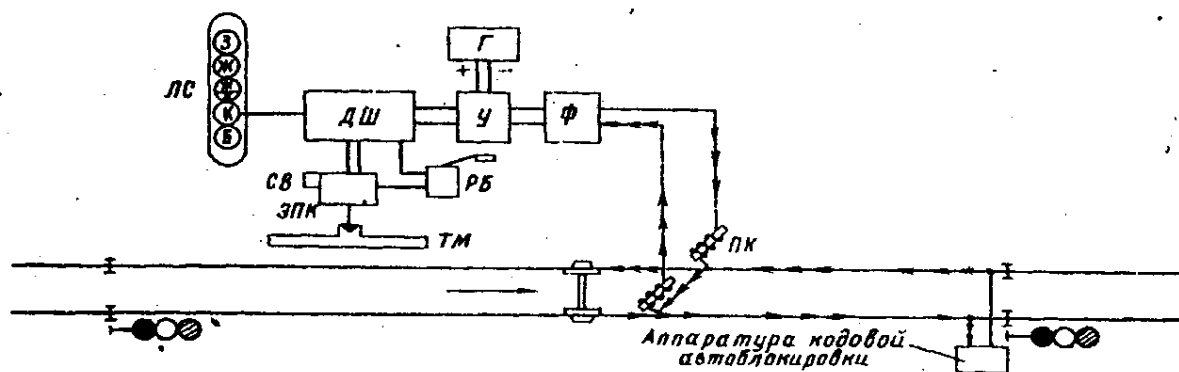


Рис. 6.5. Схема автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа: ПК – приемные катушки; Ф – фильтр; У – усилитель; ДШ – дешифратор; Г – генератор; СВ – свисток; ЭПК – электропневматический клапан; РБ – рукоятка бдительности; ТМ – тормозная магистраль; ЛС – локомотивный светофор

В момент смены на ЛС более разрешающего огня на менее разрешающий машинисту подается предупредительный свисток о возможности срабатывания автостопа. В этом случае машинист обязан в течение 6-8 с нажать рукоятку бдительности, в противном случае произойдет автоматическое торможение поезда. После нажатия рукоятки бдительности машинист должен снизить скорость движения до установленной или остановить поезд.

Когда машинист проезжает светофор с желтым огнем и при движении на красный огонь на ЛС происходит смена огня на желтый с

красным; машинист обязан руководствоваться показаниями путевых светофоров. С момента появления на локомотивном светофоре желтого огня с красным машинист обязан периодически через каждые 20-30 с нажимать рукоятку бдительности, в противном случае сработает автостоп.

Дальнейшим развитием таких систем на линиях со сверхскоростным движением является сочетание интервального, скоростного и диспетчерского регулирования движения. Важнейшим их элементом являются устройства автоматического ведения поезда (система автоматического управления тормозами - САУТ), что достигается благодаря применению ЭВМ и микропроцессоров.

6.6 Связь на железнодорожном транспорте

Для руководства движением поездов и работой линейных подразделений железные дороги имеют различные виды связи, осуществляемые по кабельным, радиорелейным и воздушным линиям.

Всю связь можно разделить на первичную сеть и сеть оперативно-технологическую.

Первичная сеть связи федерального железнодорожного транспорта представляет собой совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, образованную на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи. В первичной сети федерального железнодорожного транспорта четыре уровня: магистральный, дорожный, отделенческий и местный. По одной и той же линии передачи, проложенной вдоль полотна железной дороги, могут быть организованы каналы и тракты различных уровней первичной сети. Одна система передачи может также совмещать разные уровни, например магистральный и дорожный, дорожный и отделенческий.

Сеть оперативно-технологической связи предназначена для передачи информации в системе оперативного диспетчерского управления работой железнодорожного транспорта на всех уровнях и во всех звеньях с обеспечением прямых и групповых каналов для передачи речевой и дискретной информации. Оперативно-технологическая связь (ОТС) включает в себя сети всех уровней управления железнодорожным транспортом: магистральную, дорожную, отделенческую и станционную.

В состав *отделенческой* ОТС входят следующие виды связи:

- поездная диспетчерская, предназначенная для руководства движением поездов; линейно-путевая, предназначенная для переговоров работников пути по вопросам текущего содержания устройств и сооружений путевого хозяйства;
- служебная диспетчерская, предназначенная для служебных переговоров работников дистанций сигнализации и связи по техническому содержанию и ремонту устройств СЦБ и связи;
- энергодиспетчерская, предназначенная для руководства техническим содержанием устройств энергоснабжения;

- вагонораспорядительная диспетчерская, предназначенная для контроля за прохождением подвижного состава и выполнением погрузочно-разгрузочных работ;
- транспортно-военизированной охраны, предназначенная для переговоров работников военизированной охраны по вопросам обеспечения охраны железнодорожных объектов;
- опорных станций, предназначенная для переговоров с дежурным по опорной станции;
- пунктов технологических осмотров, предназначенная для обслуживания устройств ПОНАБ и ДИСК;
- дежурного по охраняемому переезду, предназначенная для его переговоров с дежурным ближайшей станции по обеспечению безопасности движения и контроля внешнего состояния поездов;
- поездная межстанционная, предназначенная для служебных переговоров по движению поездов между дежурными смежных раздельных пунктов (станций);
- перегонная, предназначенная для переговоров работников, находящихся на перегоне, с дежурными раздельных пунктов, ограничивающих перегон, с поездным и энергодиспетчером, диспетчером дистанции пути, диспетчером службы информатизации и связи и диспетчером службы сигнализации по вопросам движения поездов и технического содержания устройств;
- постанционная, предназначенная для служебных переговоров работников промежуточных станций (разъездов и остановочных пунктов) между собой и с работниками участковых и отделенческих станций;
- билетная диспетчерская, предназначенная для передачи сведений в билетные кассы о наличии свободных мест в поездах всех назначений.

Сеть *станционной* ОТС предназначена для оперативного диспетчерского управления эксплуатационной работой железнодорожной станции. Станционная проводная ОТС включает в себя следующие виды связи:

- станционная распорядительная телефонная связь, содержащая отдельные сети распорядительной связи, используемые для оперативного руководства работой технологических зон станций;
- стрелочная телефонная связь, предназначенная для связи дежурного по станции со стрелочными постами в процессе управления поездной и маневровой работой и т. д.

Сеть общетехнологической телефонной связи предназначена для предоставления работникам различных подразделений железнодорожного транспорта услуг по передаче речевой, документальной и видеоинформации в пределах всей сети железных дорог Российской Федерации, необходимых для управления железнодорожным транспортом, а также дополнительных услуг, обеспечиваемых современным телекоммуникационным оборудованием. Коммутируемая телефонная сеть организуется на магистральном, дорожном и местном уровнях и представляет собой совокупность коммутационного

оборудования, каналов, устройств абонентского доступа и терминального оборудования.

Сеть передачи данных общетехнологического назначения обеспечивает функционирование АСУЖТ верхнего уровня управления железнодорожным транспортом.

Специализированные дорожные сети передачи данных оперативно-технологического назначения обеспечивают функционирование информационных и информационно-управляющих систем оперативно-технологического назначения нижнего уровня АСУЖТ.

Автоматизированная система документальной телеграфной связи предназначена для организации автоматического обмена организационно-распорядительной и информационной корреспонденцией в виде телеграфных сообщений между абонентами. Автоматизированная система документальной телеграфной связи представляет собой совокупность специализированных аппаратно-программных средств и каналов связи (цифровых и аналоговых), обеспечивающих сбор, хранение, обработку и передачу абонентам входящей и исходящей телеграфной корреспонденции.

Поездная радиосвязь используется для служебных переговоров поездного и локомотивного диспетчеров, а также дежурных по станциям с машинистами локомотивов. На станциях с большой маневровой работой и на сортировочных горках применяется *станционная радиосвязь* для служебных переговоров станционного диспетчера или дежурного по горке с машинистами маневровых локомотивов, дежурных технических контор - со списчиками вагонов, дежурных пунктов обслуживания вагонов - с осмотрщиками вагонов и т.п. Системы радиорелейных линий связи состоят из системы магистральных и зонавых радиорелейных линий связи и системы технологической радиорелейной связи. Применяются и системы спутниковой связи.

7. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

7.1 Грузовая работа. Пассажирские перевозки

Перевозочный процесс включает в себя операции по перевозке и обслуживанию пассажиров, погрузке, выгрузке грузов, включая подачу для этого вагонов, уборку их, включение в поезд и продвижение по участку.

В основу организации перевозочного процесса и движения поездов положены следующие важнейшие принципы: безусловное обеспечение безопасности движения и сохранности грузов; внедрение интенсивной технологии, научная организация труда и управления во всех звеньях, четкое их взаимодействие на основе единого плана высокопроизводительного и экономичного использования технических средств; высококачественное и комфортное обслуживание пассажиров; увязка движения поездов с другими видами транспорта. Осуществление этих принципов, составляющих сущность эксплуатационной работы, обеспечивает выполнение плана перевозок при минимальных затратах, быстроту перевозки пассажиров и грузов.

Методы эксплуатации железных дорог непрерывно совершенствуются. Основными из них являются научно обоснованная организация вагонопотоков и тщательно разработанный план формирования, организация движения поездов строго по графику, техническое нормирование, оперативное планирование и регулирование поездной и грузовой работы.

Грузовые перевозки осуществляются в строгом соответствии с «Уставом железнодорожного транспорта Российской Федерации» от 10.01.2003 г., принятым Правительством РФ.

Транспортирование грузов на железных дорогах осуществляется по плану перевозок. Планы перевозок грузов разрабатываются на основе прогнозов промышленного и сельскохозяйственного производства, капитального строительства, материально-технического снабжения, торговых поставок, договоров об организации перевозок и заявок грузоотправителей на перевозку грузов с учетом пропускной и провозной способностей железных дорог.

План перевозок является основой для разработки технических норм эксплуатационной работы сети железных дорог. Так, на основе показателей плана перевозок устанавливаются нормы пробега подвижного состава, рабочие парк вагонов и локомотивов.

От объема перевозок, предусмотренных планом, зависит потребность железных дорог в топливе и материалах, контингент работников, фонд оплаты труда, план эксплуатационных расходов, план доходов и прибылей, производительность труда, себестоимость перевозок.

Планы перевозок грузов разрабатываются как на месячный период (месячный план перевозок грузов), так и по календарным датам погрузки (оперативный план перевозок грузов) в тоннах и вагонах, по видам сообщений и железным дорогам отправления, по номенклатуре грузов.

Проект месячного плана перевозок грузов по железной дороге на

планируемый месяц, утвержденный начальником этой железной дороги, не позднее чем за 10 дней, до начала планируемого месяца, дорожный центр фирменного транспортного обслуживания (ДЦФТО) представляют в Центр фирменного транспортного обслуживания (ЦФТО) ОАО РЖД для составления сводного плана перевозок грузов по сети железных дорог.

ЦФТО разрабатывает на основе представленных железными дорогами проектов планов перевозок грузов проект сводного плана перевозок грузов в целом по сети железных дорог, с разбивкой по железным дорогам отправления и номенклатуре грузов и согласовывает его с причастными департаментами ОАО РЖД.

Оперативный план перевозок грузов на дорогах составляет ДЦФТО. Заявки, принятые от грузоотправителей, вводятся в базу данных системы автоматизированного сбора и обработки заявок, где формируются сводные заявки на перевозки грузов по железным дорогам, отделениям и станциям железной дороги по календарным датам планируемого периода, согласовываются железной дорогой и ежедневно направляются ДЦФТО по каналам связи в ЦФТО.

Среднесуточная погрузка планируется и учитывается числом физических используемых вагонов:

$$U_n = \frac{Q_{год}}{365 \cdot P_{cm}},$$

где $Q_{год}$ - количество груза, подлежащего отпращиванию за год, т;

P_{cm} - статическая нагрузка вагона, т.

Статическая нагрузка вагона определяется для каждой номенклатуры груза:

$$P_{cm} = \frac{\sum P_n}{\sum U_n},$$

где $\sum P_n$ - общее количество погруженных грузов, т;

$\sum U_n$ - число погруженных вагонов.

Средняя дальность перевозки грузов определяют делением общего грузооборота (т - км) на количество грузов (т):

$$l_{cp} = \frac{\sum pl}{\sum p}.$$

Грузовая работа производится на местах общего и необщего пользования. *К местам общего пользования* относятся крытые и открытые склады, а также специально выделенные участки на территории железнодорожной станции, в которых выполняются операции по погрузке, выгрузке, сортировке, хранению грузов, грузобагажа и контейнеров пользователей услугами железнодорожного транспорта. Места общего пользования принадлежат владельцу инфраструктуры. *К местам необщего пользования* относятся железнодорожные пути необщего пользования, крытые и открытые склады, а также участки, расположенные на территории железнодорожной станции и используемые для выполнения операций по погрузке, выгрузке грузов и контейнеров *определенных* пользователей услугами же-

лезнодорожного транспорта. Места необщего пользования или не принадлежат владельцу инфраструктуры, или сданы им в аренду.

Места общего и необщего пользования должны отвечать следующим обязательным требованиям:

- наличие сооружений и устройств для обеспечения сохранности грузов, грузобагажа, вагонов и контейнеров;
- наличие сооружений и устройств для обеспечения бесперебойной погрузки грузов в вагоны и выгрузки из вагонов;
- соответствие требованиям законодательства Российской Федерации об охране окружающей среды.

Наряду с погрузкой и выгрузкой на станциях выполняют следующие операции: взвешивание и прием его к перевозке, оформление перевозочных документов, взимание провозной платы и сборов, пломбирование вагонов, хранение груза на станциях, выдачу прибывшего груза получателям и др.

Перевозки грузов осуществляются грузовой или большой скоростью. Критерии определения категорий скорости перевозок грузов устанавливаются ОАО РЖД. Категория скорости перевозок грузов выбирается грузоотправителем и указывается им в транспортной железнодорожной накладной.

Перед подачей под погрузку проводят технический и коммерческий осмотры вагонов с целью установления пригодности их для перевозки данного груза.

На каждую отправку груза - повагонную или мелкую, а также на целый маршрут или группу вагонов и комплект контейнеров грузоотправитель составляет накладную - основной грузовой перевозочный документ.

На основании накладной составляют дорожную ведомость, необходимую для учета и отчетности о выполнении плана перевозок, прибытии грузов и взыскания провозной платы.

На каждый загруженный вагон составляется вагонный лист, в котором приводятся данные о вагонах и отправках груза с указанием номеров накладных. По вагонному листу проверяют наличие груза при выгрузке и подсчитывают массу грузов в вагонах при определении массы поезда.

Перевозочные грузовые документы пересылаются в товарную контору, где составляют поездной документ - натурный лист - на каждый сформированный состав. В натурном листе указывают номер поезда, станцию формирования и станцию назначения, номера вагонов в порядке их расположения в составе, массу и длину поезда и другие данные. По натурному листу производят прием и сдачу поездов, подборку, прием и сдачу грузовых документов, расформирование и формирование поездов на станциях. Вся система передачи грузовых и поездных документов проводится с помощью системы «ЭТРАН», что позволяет автоматизировать процесс слежения за местонахождением каждого вагона на сети железных дорог и составления необходимой отчетности.

Основная задача организации пассажирских перевозок состоит в максимальном удовлетворении растущих потребностей населения в этих

перевозках при их высокой культуре обслуживания на вокзалах и в поездах. При планировании перевозок определяют пассажиропотоки по направлениям и периодам года, а для пригородного движения и по месяцам, дням и часам суток, используя для этого данные обследований пассажиропотоков.

Пассажирские поезда делятся на три группы: дальние (на расстояние свыше 700 км), местные (от 150 до 700 км) и пригородные (до 150 км). Дальние и местные поезда в зависимости от скорости движения и числа остановок подразделяются на скорые и пассажирские. К скорым относят поезда, следующие с высокими скоростями и имеющие остановки только на крупных станциях. Перевозку почты и багажа осуществляют в специальных вагонах, включаемых в скорые, пассажирские и почтово-багажные поезда

На пригородных линиях со значительными пассажиропотоками для удобства пассажиров применяют так называемое зонное движение, разбивая линию по длине на несколько частей - зон.

7.2 План и порядок формирования поездов. Порядок приема, отправления и движения поездов

Вагоны, отправляемые со станций и следующие по определенным направлениям, образуют вагонные потоки.

Правильная организация этих потоков обеспечивает ускорение оборота вагона, наименьшую затрату маневровых средств, экономию эксплуатационных расходов.

Система организации и продвижения груженых и порожних вагонопотоков в пункты назначения определяется *планом формирования поездов*. Разрабатывается он на основе плана перевозок, который устанавливает корреспонденцию вагонопотоков между районами погрузки и выгрузки.

План формирования устанавливает, какие поезда, из вагонов какого назначения и в адрес каких станций формирует каждая участковая, сортировочная, грузовая или другая станция. Таким образом, он определяет станции назначения или расформирования поездов, а также характер и объем работы всех станций. При составлении этого плана стремятся включить как можно большее число вагонов в маршруты, чтобы поезда следовали на большие расстояния без переработки (переклассификации) на попутных станциях. При формировании подбираются вагоны, следующие до одной станции назначения или расформирования. При этом ускоряется продвижение груза, улучшается использование подвижного состава, снижаются затраты на перевозки. В этом суть и значение *маршрутизации* перевозок.

Маршрутизация может осуществляться непосредственно с мест (станций) массовой погрузки (отправительская маршрутизация) и на технических станциях (сортировочных, участковых), где из прибывших вагонов накапливаются составы определенных назначений, проходящие без переработки не менее одной технической станции. Отправительские мар-

шруты организуются на одной станции из вагонов, загруженных одним грузоотправителем и следующих на одну станцию выгрузки или распределения по точкам выгрузки.

Если загруженных отправителем вагонов недостаточно для целого состава, маршруты формируют из вагонов, загруженных на нескольких станциях одного (двух) участка или несколькими отправителями на одной станции. Такие маршруты называются *ступенчатыми*.

При разработке плана формирования после выделения отправительских и ступенчатых маршрутов из оставшегося вагонопотока планируют формирование поездов других категорий. К ним относятся поезда:

сквозные - проходящие без переработки не менее чем через одну техническую (сортировочную или участковую) станцию;

участковые - следующие без переработки от одной технической станции до другой;

сборные - состоящие из вагонов назначением на промежуточные станции прилегающего участка;

передаточные - для доставки вагонов с одной станции узла на другую;

вывозные - для вывоза групп вагонов с узла на ближайшие станции участка.

Отдельно планируют формирование грузовых ускоренных поездов, в которые включаются вагоны с живностью, скоропортящимися и другими грузами, требующими быстрой доставки.

При разработке плана формирования предусматривается составление поездов из порожних вагонов по отдельным родам подвижного состава, например из крытых вагонов, цистерн, платформ. Эти поезда должны, как правило, следовать без переработки до станций погрузки. В зависимости от числа групп вагонов разных назначений поезда могут быть *однотупенчатые* и *групповые*.

В целом план формирования должен обеспечить наименьший общий простой вагонов как под накоплением, так и при их переработке, а также минимальные эксплуатационные расходы.

Для оценки плана формирования поездов подсчитывают его показатели. Основные из них: общая затрата вагоночасов, в том числе на накопление вагонов и их переработку; уровень отправительской и ступенчатой маршрутизации; средняя дальность пробега вагонов без переработки; эксплуатационные расходы, зависящие от плана формирования и др.

Выбор оптимального плана формирования поезда автоматизирован. Основными исходными данными при этом являются: вагонопотоки между станциями; нормы затрат вагоночасов на накопление и переработку вагонов; данные о числе сортировочных путей и вагонов, которые может переработать станция.

Поездом называется сформированный и сцепленный состав вагонов с одним или несколькими действующими локомотивами или моторными вагонами, имеющий установленные сигналы. Отправляемые на перегон локомотивы без вагонов, моторные вагоны, автомотрисы и дрезины не-

съемного типа рассматриваются как поезда.

По старшинству поезда делятся на внеочередные и очередные. К *внеочередным* относят пожарные и восстановительные поезда, снегоочистители, одиночные локомотивы, автотрисы и дрезины несъемного типа, назначаемые для восстановления нормального движения и тушения пожара.

Очередные поезда: пассажирские скоростные и скорые, пассажирские всех остальных наименований, почтово-багажные, воинские, грузо-пассажирские, людские, ускоренные грузовые, грузовые, хозяйственные поезда и локомотивы без вагонов. Людскими считаются грузовые поезда при постановке в них 10 вагонов и более, занятых людьми. Хозяйственными называются поезда, обслуживающие собственные нужды дороги (перевозка балласта, рельсов, шпал и др.).

Каждому поезду в зависимости от его категории на станциях формирования присваивают номер: скорым – 1-99, пассажирским дальним круглогодичного обращения – 171-299, пригородным – 6001-6999, грузовым: сквозным – 2001-2998, участковым – 3001-3398, сборным – 3401-3498 и т. д. Поездам одного направления (с севера на юг и с востока на запад) присваиваются нечетные номера, а поездам обратного направления - четные.

Кроме номера, каждому грузовому поезду на станции его формирования присваивается индекс, который не изменяется до станции расформирования. Индекс грузового поезда представляет собой специальный код, состоящий из 10 цифр, первые четыре из которых являются единой сетевой разметкой (ЕСР) станции формирования, следующие две - порядковым номером состава, сформированного на этой станции, а последние четыре - ЕСР станции назначения поезда.

Нормы массы и длины поездов устанавливаются в плане формирования и графике движения поездов. Норма для сквозных и в том числе маршрутных поездов принимается унифицированной для всего направления следования с тем, чтобы избежать перелома (изменения) массы поездов при переходе с одного участка на другой. Ускоренные грузовые поезда имеют несколько меньшие нормы массы, а скорости движения их более высокие.

Широкое развитие получило вождение тяжеловесных поездов, масса которых значительно превышает норму. Это позволяет дорогам перевозить сверх плана дополнительное количество груза при том же числе локомотивов и снизить затраты на перевозки.

Грузовые поезда могут быть *тяжеловесными* и *повышенной массы*. В первом случае масса поезда для соответствующих серий локомотивов на 100 т и более превышает установленную графиком движения весовую норму на участке следования этого поезда. Во втором случае, грузовой поезд с одним или несколькими действующими локомотивами (в голове состава, в голове и хвосте, в голове и последней трети состава) имеет массу более 6 тыс. т.

В зависимости от длины, помимо обычных, различают грузовые поезда: *повышенной длины*, *длинносоставные* и *соединенные*. В первом

случае длина поезда составляет 350 осей и более. Длинносоставным называют поезд, длина которого превышает максимальную норму, установленную графиком движения на участке следования этого поезда. Грузовой поезд, составленный из двух и более сцепленных между собой поездов с действующими локомотивами в голове каждого поезда называют соединенным.

При формировании поездов подсчитывают их массу брутто. Для этого к tare вагонов прибавляют массу груза, определяемую по грузовым документам. Норма длины поезда выбирается в соответствии с полезной длиной приемо-отправочных путей станций на участках.

Поезда должны составляться в полном соответствии с требованиями ПТЭ; графика движения и плана формирования. Нарушение этих требований может создать угрозу для безопасности движения и вызвать излишние задержки в переработке поездов на попутных станциях. При формировании грузовых поездов вагоны ставят без подборки по числу осей и массе. В сборных поездах вагоны подбирают в группы по станциям назначения, а в групповых поездах - по назначениям, установленным планом формирования.

Одним из основных требований безопасности движения поездов является обеспечение их тормозными средствами. Этим средств должно быть достаточно для остановки поезда на расстоянии, равном длине тормозного пути при следовании с наибольшей допустимой скоростью по руководящему спуску в случае возникновения препятствия для движения. Руководящим называется наибольший по крутизне спуск (с учетом сопротивления от кривых) протяженностью не менее тормозного пути. Тормозной путь в зависимости от руководящего спуска и допускаемой максимальной скорости движения принимается равным 1000, 1200, 1300, 1500, 1600 и 1700 м.

Потребное тормозное нажатие в поезде зависит от скорости движения и руководящего спуска и рассчитывается по нормам, установленным МПС. Так, в частности, указаны: единое наименьшее тормозное нажатие на каждые 100 т массы грузовых и пассажирских поездов; зависимости между скоростью движения, уклоном, тормозным нажатием и тормозным путем; расчетные нормы нажатия тормозных колодок и другие данные, необходимые для тормозных расчетов.

Грузовой поезд обслуживает локомотивная бригада. Пассажирские поезда обслуживают локомотивные бригады и проводники, а в необходимых случаях и другие работники в соответствии с указаниями ОАО РЖД.

Пассажирские и другие поезда для перевозки людей, а также почтово-багажные поезда снабжают противопожарными средствами, средствами для оказания первой медицинской помощи и другим необходимым снаряжением.

На каждую поездку заполняют *маршрут машиниста*, который является одним из основных поездных документов на участке работы локомотивной бригады. В нем указывают число вагонов в составе по роду, массу груза (нетто) и общую массу состава (брутто), состав бригады, серию и

номер локомотива и другие данные. После поездки машинист сдает маршрут в контору депо для начисления заработной платы бригаде. Из конторы маршруты передают на фабрику механизированного учета, где по ним определяют выполненный объем перевозочной работы, степень использования подвижного состава, расход электроэнергии, топлива, смазки и др.

Организация движения поездов, операции по приему, отправлению и сквозному пропуску поездов на станциях осуществляются согласно ПТЭ, Инструкции по движению поездов и маневровой работе и Инструкции по сигнализации. ПТЭ устанавливают, что поезд находится в распоряжении машиниста ведущего локомотива (мотор-вагонного поезда). На станциях машинист и все остальные работники, обслуживающие поезд, подчиняются указаниям дежурного по станции, а на станциях участков с диспетчерской централизацией - поездного диспетчера.

Прием поездов на станцию при всех средствах сигнализации и связи производится при разрешающем показании входного сигнала. Приемом, отправлением и проследованием поездов на каждом отдельном пункте распоряжается только один работник - дежурный по станции. В связи с этим вся связь между станциями по вопросам регулирования движения поездов, а также управление приборами СЦБ на станциях осуществляются лично дежурным по станции или по его распоряжению подчиненным ему работником - оператором, сигналистом или дежурным стрелочного поста. При диспетчерской централизации руководство движением поездов и управление стрелками и сигналами станций участка осуществляет дежурный поездной диспетчер.

Для отправления поезда на перегон однопутной линии или по неправильному пути на двухпутных участках дежурный по станции должен предварительно запросить и получить согласие от дежурного по той станции, на которую отправляется поезд. Исключением являются однопутные участки, оборудованные автоблокировкой, - там поезда отправляются по указанию поездного диспетчера без предварительного согласия дежурного соседней станции после освобождения первого блок-участка.

На двухпутных перегонах каждый главный путь, как правило, служит для движения поездов в одном определенном направлении. На железных дорогах России и многих стран установлено правостороннее движение. На двухпутных линиях для отправления поезда по правильному (правому) пути не требуется согласия от дежурного по соседней станции. При этом на участках, не оборудованных автоблокировкой, поезда отправляют на перегон после получения от дежурного соседней станции уведомления о прибытии ранее отправленного поезда, а при наличии автоблокировки - после освобождения ранее отправленным поездом первого блок-участка. В особых случаях по распоряжению поездного диспетчера поезд может быть отправлен на двухпутный перегон по пути, предназначенному для встречного движения, - по неправильному пути.

При перерыве действия всех средств сигнализации и связи поезда следуют на двухпутных участках с разграничением времени, положенным

на проследование перегона между станциями, а на однопутных участках - с письменными извещениями. В последнем случае движение устанавливают станции преимущественного направления. На однопутных перегонах преимущественным будет нечетное направление, на двухпутных перегонах - то направление, которое для оставшегося действующего пути было правильным.

Перед приемом и отправлением поезда дежурный по станции, а на участках с диспетчерской централизацией поездной диспетчер обеспечивают прекращение маневровой работы на стрелках или путях, по которым должен проследовать поезд. Дежурный по станции отдает распоряжение сигналистам или дежурным стрелочных постов о подготовке маршрута приема или отправления. Только убедившись в том, что путь приема, а при отправлении - перегон (при автоблокировке - первый блок-участок) свободны, маневры прекращены, соответствующие стрелки установлены в надлежащее положение и заперты, дежурный по станции при приеме открывает входной сигнал, а при отправлении - выходной сигнал или выдает машинисту соответствующее разрешение.

Дежурный по станции встречает прибывающий и провожает отправляемый или следующий через станцию безостановочно поезд, следя за его состоянием, наличием и правильным показанием поездных сигналов. Время фактического прибытия, отправления или проследования каждого поезда дежурный по станции отмечает в настольном журнале движения поездов и немедленно сообщает дежурному по соседней станции и поездному диспетчеру; кроме того, обеспечивает передачу необходимых данных о поезде в автоматизированную систему управления.

Работники станции перед отправлением поезда проверяют правильность формирования его и сцепления вагонов в составе, прочность крепления грузов на открытом подвижном составе; убеждаются, что сохранность грузов полностью обеспечена, а поезд имеет установленные сигналы и снабжен необходимым поездным инвентарем.

Когда при следовании поезда необходимо обеспечить особую бдительность локомотивных бригад и предупредить их о производстве работ на перегоне, им выдаются письменные предупреждения.

При вынужденной остановке поезда на перегоне машинист приводит в действие автотормоза поезда, вспомогательный, а иногда и ручной тормоз локомотива. При необходимости по его сигналу работники, обслуживающие поезд, приводят в действие ручные тормоза состава, а если этого недостаточно, укладывают под колеса вагонов имеющиеся на локомотиве тормозные башмаки. Локомотивная бригада совместно с другими работниками принимает меры к устранению возникших для движения препятствий.

В необходимых случаях поезд и смежные пути двух- или многопутного перегона ограждают в соответствии с указаниями Инструкции по сигнализации.

По поездной радиосвязи машинист немедленно объявляет об остановке машинистам локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава,

следующих по перегону, и дежурным по станциям, ограничивающим перегон.

При неисправности радиосвязи используется телефонная связь ближайшего пункта для сообщения о случившемся поездному диспетчеру или дежурному по станции.

7.3 Пропускная и провозная способности. График движения поездов. Основные показатели эксплуатационной работы.

Пропускной способностью железнодорожной линии называют наибольшее число поездов или пар поездов установленной массы, которое может быть пропущено в единицу времени (сутки, час). Пропускная способность зависит от имеющихся постоянных технических средств, типа и мощности подвижного состава, рельсовой колеи, а также принятых методов организации движения поездов (типа графика). Различают пропускную способность наличную, т.е. ту, которой обладает линия в настоящее время, и потребную, необходимую для обеспечения заданных размеров движения.

Возможные размеры грузовых перевозок (млн. тонн), которые могут быть осуществлены на данной линии в течение года, называют провозной способностью. Провозная способность определяется типом и числом локомотивов, вагонов, и техническим развитием линии, наличием электроэнергии, топлива и обеспеченностью кадрами (локомотивные бригады, дежурные по станции и др.).

Пропускную способность железнодорожных линий рассчитывают по перегонам, участкам движения с учетом мощности устройств электропитания на электрифицированных железных дорогах. По наименьшим из рассчитанных по этим элементам значениям пропускной способности, называемой результативной, устанавливают пропускную способность участка или линии в целом.

Пропускная способность участка по ограничивающему перегону:

$$N = 1440 \cdot k / T,$$

где T - период графика на ограничивающем перегоне;

k - число пар поездов или поездов данного направления, пропускаемых за один период графика.

На транспорте движение поездов осуществляется по графику. График движения поездов представляет план всей эксплуатационной работы дороги и является основой организации перевозок. Движение поездов по графику достигается строгим выполнением технологического процесса работы станций, локомотивных и вагонных депо, тяговых подстанций; пунктов технического обслуживания, дистанций пути и других подразделений железных дорог, связанных с движением поездов. Объединяя и координируя работу этих подразделений, график движения дает возможность осуществить их необходимое взаимодействие.

График движения поездов должен обеспечивать: удовлетворение по-

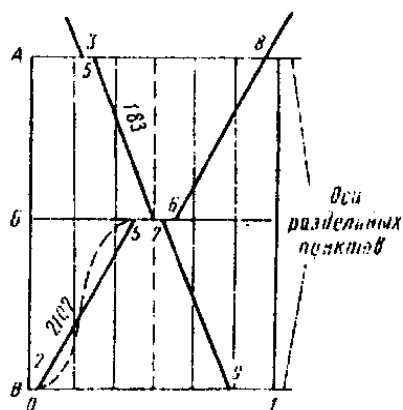


Рис. 7.1. График движения поездов

требностей в перевозках пассажиров и грузов; безопасность движения поездов; наиболее эффективное использование пропускной и провозной способности участков и перерабатывающей способности станций; высокопроизводительное использование подвижного состава; соблюдение установленной продолжительности непрерывной работы локомотивных бригад; возможность производства работ по текущему содержанию пути, сооружений, устройств СЦБ, связи и электроснабжения (рис. 7.1).

Графики движения поездов классифицируют по следующим признакам:

в зависимости от скорости движения поездов параллельные и непараллельные (нормальные) (рис. 7.2);

по числу главных путей на перегонах однопутные и двухпутные (рис. 7.3);

по соотношению числа поездов в четном и нечетном направлениях парные (это число одинаковое), и непарные (различное).

В зависимости от расположения поездов попутного следования графики различают пачечные, пакетные и частично пакетные. При пачечном графике (рис. 7.4) поезда двигаются друг за другом с разграничением межстанционным перегонем. При пакетном графике (рис. 7.5, а) поезда следуют пакетами с разграничением во времени или блок-участками при автоблокировке. При частично пакетных графиках (рис. 7.5, б) часть поездов движется одиночно, а часть - пакетами.

Для составления графика должны быть определены его основные элементы:

время хода поездов различных категорий по перегонам;

продолжительность стоянки поездов на станциях для выполнения технических, грузовых и пассажирских операций;

станционные интервалы;

интервалы между поездами в пакете; время нахождения локомотивов на станциях локомотивного депо и в пунктах оборота.

Время хода поезда определяется тяговыми расчетами и уточняется на основании опытных поездок и достижений передовых машинистов. Это время устанавливается отдельно для каждой категории пассажирских и грузовых поездов при движении по каждому пе-

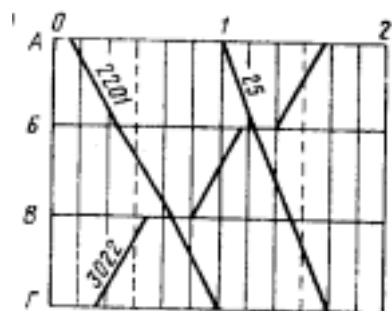
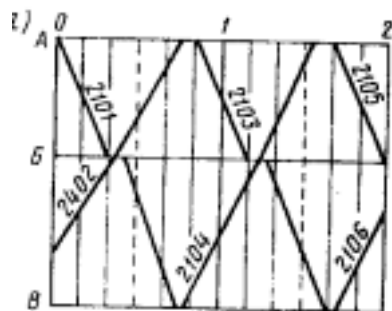


рис. 7.2. Однопутный график: а - параллельный; б - нормальный

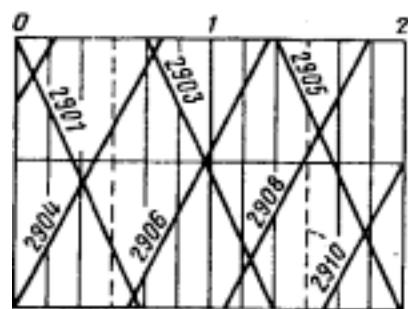


рис. 7.3. Двухпутный график

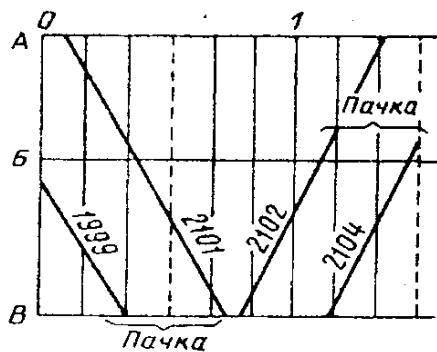


Рис. 7.4 Пачечный график

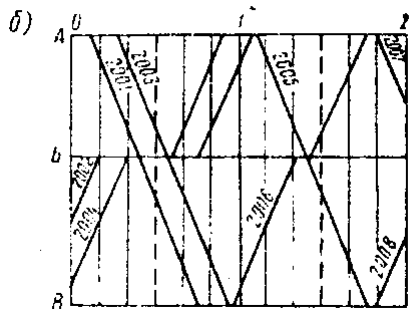
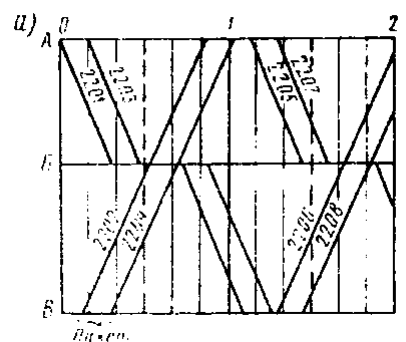


Рис. 7.5. График на однопутном участке:
а - пакетный; б - частично пакетный

региону в четном и нечетном направлениях.

Продолжительность стоянки поездов под техническими, пассажирскими и грузовыми операциями зависит от категории поездов, типа станции и определяется технологическим процессом ее работы.

Важным элементом графика являются станционные интервалы (рис. 7.6), т. е. минимальные промежутки времени, необходимые для выполнения операций на отдельных пунктах по приему, отправлению и пропуску поездов.

Интервалом скрещения τ_c называется минимальный промежуток времени между прибытием, с однопутного перегона на раздельный пункт одного поезда до отправления на тот же перегон встречного поезда.

Интервалом неодновременного прибытия $\tau_{ин}$ называется минимальный промежуток времени между прибытием на раздельный пункт двух поездов противоположных направлений. Соблюдение этого интервала требуется при пропуске одного из поездов сходу и при остановке обоих поездов на раздельном пункте.

Интервалом попутного следования $\tau_{пс}$ называется минимальный промежуток времени между прибытием на раздельный пункт одного поезда и отправлением с предыдущего раздельного пункта следующего поезда того же направления.

Этот интервал определяется затратой времени на контроль прибытия или проследования первого поезда в полном составе через станцию, на связь между раздельными пунктами и на открытие выходного сигнала или выдачу разрешения на отправление второго поезда с предыдущей станции.

Интервалы неодновременного отправления и прибытия $\tau_{он}$ и неодновременного прибытия и отправления $\tau_{но}$ поездов, следующих в том же направлении, предусматриваются лишь в случае, когда ПТЭ запрещают производить эти операции одновременно по условиям профиля при подходе к станции с имеющимися на ней устройствами СЦБ и при отсутствии изоляции маршрутов отправляемого и принимаемого поездов.

Станционный интервал	Схема интервалов	Станционный интервал	Схема интервалов
<p>Скращения τ_c:</p> <p>при пропуске одного из поездов сходу</p> <p>при остановке обоих поездов</p>		<p>Попутного следования $\tau_{пс}$</p>	
<p>Неодновременного прибытия $\tau_{нп}$:</p> <p>при пропуске одного из поездов сходу</p> <p>при остановке обоих поездов</p>		<p>Неодновременного прибытия и отправления $\tau_{по}$</p> <p>Неодновременного отправления и прибытия $\tau_{оп}$</p>	

Рис. 7.6. Станционные интервалы

Станционные интервалы определяют построением графика выполняемых операций исходя из максимального совмещения их и конкретных условий работы. Интервалы зависят в основном от средств сигнализации и связи на прилегающих перегонах, способа управления стрелками и сигналами, схемы раздельного пункта (длины горловины, числа стрелок, входящих в маршрут приема и отправления поездов и др.), профиля подхода к раздельному пункту. Например, при автоблокировке и электрической централизации стрелок интервал скрещения может составить 1 мин, интервал неодновременного прибытия - 2 мин; при полуавтоматической блокировке и механической централизации интервал скрещения - 2 мин, интервал неодновременного прибытия - до 4 мин и интервал попутного следования - 2-3 мин.

Одним из элементов графика при автоблокировке является интервал между поездами в пакете l . Он определяется наименьшим промежутком времени, необходимым для безопасного следования по перегонам одного поезда вслед за другим и создания условий обеспечения нормальных скоростей движения поездов. По заданному интервалу l производится расстановка светофоров при проектировании автоблокировки на участках. Однако при изменении условий эксплуатации (скорости движения, рода тяги, массы состава и т. п.) изменяется и значение l . Так, при современных видах тяги, особенно при электрической, благодаря высоким скоростям движения интервалы между поездами в пакете могут быть доведены до 8-

6 мин, а на участках, прилегающих к крупным центрам, для пригородных поездов - до 4-3 мин.

Интервал между поездами в пакете может быть рассчитан при автоблокировке исходя из нормальной схемы разграничения поездов в пакете тремя блок-участками, при этом второй поезд следует на зеленый огонь без снижения скорости:

$$I = 0,06 \frac{l'_{\text{бл}} + l''_{\text{бл}} + l'''_{\text{бл}} + l_n}{V_x},$$

где $l'_{\text{бл}}, l''_{\text{бл}}, l'''_{\text{бл}}$ - длина блок-участков, м;

l_n - длина поезда, м;

V_x - средняя ходовая скорость поезда на протяжении L_p , км/ч;

0,06 - переводной коэффициент, так как исчисляется в км/ч, а интервал - в мин.

Нормы продолжительности нахождения локомотивов на станциях локомотивного депо и в пунктах оборота зависят от того, заходит ли локомотив в депо или оборот его осуществляется непосредственно на приемо-отправочных путях. В первом случае продолжительность стоянки складывается из времени нахождения локомотива на пути прибытия, прохода на территорию депо, выполнения там технических операций, возвращения из депо на путь отправления и простоя у состава до отправления поезда. Во втором случае время нахождения локомотива на станции значительно уменьшится.

Продолжительность операций с локомотивами устанавливается на основе хронометражных наблюдений с учетом передовых приемов работы.

Для составления графика, кроме основных его элементов, должны быть известны размеры движения пассажирских и грузовых поездов, нормы их массы и длины и другие данные. В целях взаимной увязки графиков движения ОАО РЖД передает дорогам схемы движения пассажирских поездов и основные данные о передаче грузовых поездов по пунктам перехода с одной дороги на другую.

При составлении графика прокладывают линии хода пассажирских поездов, затем ускоренных грузовых, отправительских и ступенчатых маршрутов постоянного обращения и, наконец, всех остальных поездов.

Поезда, предназначенные для выполнения местной работы на участке, в том числе сборные, прокладывают по заранее составленной схеме с таким расчетом, чтобы простой местных вагонов на промежуточных станциях был наименьшим. Грузовые поезда стремятся распределить на графике равномерно в течение суток, так как при этом создаются условия для ритмичной работы станций и сокращается время нахождения локомотивов в пунктах оборота. Наряду с этим на электрифицированных линиях улучшается использование мощности локомотива и создается равномерная нагрузка на тяговые подстанции. С этой же целью чередуют на графике линии хода грузовых и пассажирских поездов, особенно в периоды сгущенного движения, предусматривают следование одного поезда на подъ-

ём в то время, когда другой идет под уклон и т. д.

Прокладку линий хода грузовых поездов на графиках однопутных участков в большинстве случаев начинают с ограничивающего перегона. *Ограничивающим* называется перегон, время занятия которого парой поездов или поездом является максимальным. Ограничивающим чаще всего бывает перегон, имеющий наибольшую длину и тяжелый профиль. Как видно на рис. 7.7 это время, называемое периодом графика T , для рассматриваемого случая составит:

$$T = t' + t'' + 2\tau_c,$$

где t' и t'' - время хода соответственно нечетного и четного поездов по ограничивающему перегону с учетом их разгона после отправления;
 τ_c - интервал скрещения.

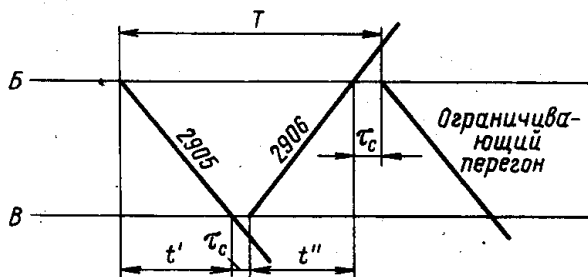


Рис. 7.7. Период графика

При заполнении ограничивающего перегона должна быть использована та схема пропуска поездов, которая обеспечивает прокладку наибольшего числа их при заданных условиях. Например, в случае, приведенном на рис. 7.7, таковой может быть схема пропуска поездов с ходу с ограничивающего перегона при

$$\tau_c + t_p < \tau_{ин} + t_3$$

где t_p — время на разгон поезда;

t_3 — время на замедление поезда.

После заполнения ограничивающего перегона прокладываются линии хода грузовых поездов на остальных перегонах.

Прокладку поездов на графиках двухпутных линий начинают с перегона, примыкающего к узловой станции или к станции оборота локомотивов, с тем, чтобы прежде всего увязать оборот локомотивов на этих станциях.

График движения поездов разрабатывают на наибольшие размеры движения, предусмотренные на период его действия. Кроме того, при значительных колебаниях размеров перевозок, а также для производства плановых работ по реконструкции и капитальному ремонту пути, осмотру и ремонту контактной сети, электрификации линии составляют и вводят в действие на определенный период варианты графики. В графиках для производства больших объемов работ предусматривают «окна», в течение которых определенные перегоны предоставляют в распоряжение путевой или строительной организации.

График движения составляют одновременно для всей сети железных дорог сроком на 1 год и вводят в действие в мае. На зимний период его корректируют в связи с сезонными изменениями размеров перевозок. Форма графика едина для всех дорог России. На основе графика издаются расписания движения поездов для служебного и общего пользования. Разработка графиков движения производится с помощью автоматизированной системы управления перевозочным процессом. Одновременно с

графиком движения поездов и на его основе составляют график оборота локомотивов.

График движения характеризуется количественными и качественными показателями. К количественным относятся: число грузовых и пассажирских поездов, нанесенных на график, размеры погрузки и выгрузки, которые могут быть освоены при данном графике, и др.

К основным качественным показателям графика относятся: техническая, участковая и маршрутная скорости (отдельно для грузовых и пассажирских поездов), коэффициент скорости, средние простои транзитных поездов и локомотивов на участковых станциях.

Технической скоростью V_m называется средняя скорость движения поездов по участку (в км/ч) с учетом дополнительного времени на разгон и замедление

$$V_m = \sum NL / \sum NT_{ос},$$

где $\sum NL$ - сумма поездо-километров (пробег всех поездов, предусмотренных в графике);

$\sum NT_{ос}$ - сумма поездо-часов (время нахождения всех поездов в движении с учетом разгона и замедления).

Участковая скорость V_y отличается от технической тем, что она учитывает стоянки на промежуточных станциях

$$V_y = \frac{\sum NL}{\sum NT_{ос} + \sum NT_{см}},$$

где $\sum NL_{см}$ - общее время стоянки поездов на промежуточных станциях.

Коэффициент скорости β представляет собой отношение участковой скорости к технической, т. е.

$$\beta = V_y / V_m.$$

Маршрутной называется средняя скорость (в км/сут) движения поездов на направлении от начального до конечного пунктов их следования с учетом всех стоянок на отдельных пунктах. Подсчитывается она отдельно для дальних пассажирских, ускоренных грузовых, отправительских маршрутов, а в некоторых случаях и для сквозных поездов.

Средние простои транзитных поездов и локомотивов определяют непосредственно по графику делением суммарной продолжительности простоев на число соответственно транзитных поездов и локомотивов.

Рассмотренные показатели подсчитывают для участка, отделения, дороги и сети в целом.

Контроль за ходом выполнения плана перевозок, анализ использования технических средств, а также планирование, учет и оценка работы невозможны без системы показателей, определяющих эксплуатационную работу. Эти показатели делятся на количественные и качественные.

Количественные показатели характеризуют объем перевозочной работы. К ним относятся:

объем перевозок (отправления) грузов (млн. т);

грузо- и пассажирооборот, число перевезенных пассажиров (т - км

брутто, пассажира - км, млн. чел.);

число вагонов или тонн грузов, погруженных за сутки;

работа вагонного парка, определяемая для всей сети числом вагонов, погруженных за сутки, для дорог и отделений - суммой вагонов своей погрузки и принятых груженых вагонов от других дорог и отделений,

$$\text{т. е. } U = U_n + U_{zp}^{np},$$

где U_n - число своих вагонов, погруженных за сутки;

U_{zp}^{np} - число вагонов принятых гружеными.

Так как эти вагоны могут быть или выгружены, или сданы гружеными, работа определяется как сумма выгруженных и сданных груженых вагонов.

Основными качественными показателями работы железных дорог и их подразделений служат: выполнение плана перевозок, графика движения и плана формирования поездов; техническая, участковая и маршрутная скорости движения поездов; степень использования подвижного состава, определяемая:

- оборотом, бюджетом времени, среднесуточным пробегом и производительностью локомотивов;

- оборотом и среднесуточным пробегом вагонов;

- производительностью грузовых вагонов.

Оборот, бюджет времени, среднесуточный пробег и производительность локомотива более подробно рассмотрен в следующей главе.

Оборот вагона определяют в виде зависимости:

$$V = \frac{1}{24} \cdot \left(\frac{l}{V_y} + \frac{l}{L_g} \cdot t_{mex} + k_m \cdot t_{zp} \right),$$

где $l = \sum nS / U$ - полный рейс вагона - расстояние, проходимое им за время оборота в груженом и порожнем состояниях, км;

$\sum nS$ - общий пробег груженых и порожних вагонов в среднем за сутки, вагоно-км;

U - работа в вагонах;

L_g - вагонное плечо - среднее расстояние между техническими станциями, км;

t_{mex} - средний простой транзитного вагона на одной технической станции, ч;

k_m - коэффициент местной работы, определяемый числом грузовых операций, приходящихся на единицу работы :

$$k_m = (U_n + U_g) / U,$$

где U_n, U_g - соответственно число погруженных и выгруженных вагонов;

t_{zp} - простой вагонов, приходящийся на одну грузовую операцию (погрузку или выгрузку), ч.

Первое слагаемое в формуле оборота вагона представляет собой время нахождения вагона в поездах на участке (в движении и на промежуточных станциях); второе слагаемое - время нахождения транзитного ва-

гона на технических станциях (в транзитных поездах и под переработкой) и третье слагаемое - время нахождения на станциях погрузки и выгрузки. Распределение времени оборота вагона по элементам (в %) дано на рис. 7.8 в среднем по сети дорог.

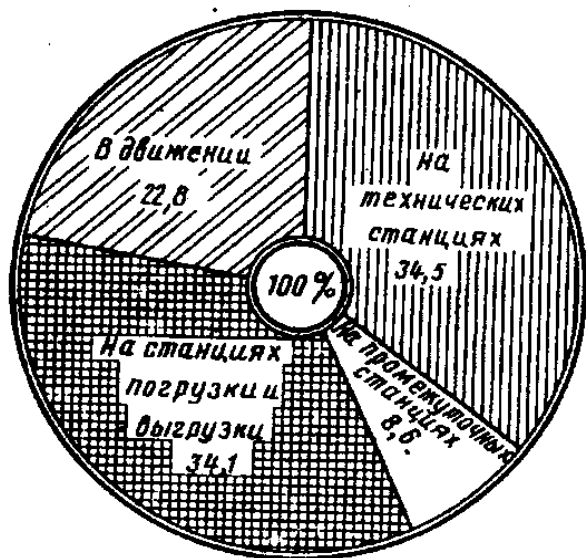


Рис. 7.8. Расчленение оборота вагона на элементы

Оборот вагона может быть определен также и в зависимости от работы U и численности рабочего парка n , т.е. от числа вагонов, предназначенных для выполнения плана перевозок. Если, например, нужно ежедневно грузить 1000 вагонов, а оборот их составляет 5 суток, то погруженные в 1-й день вагоны поступят под следующую погрузку лишь на 6-е сутки, а в течение 5 суток потребуется представлять под погрузку другие вагоны в количестве $n = Uv = 1000 \cdot 5 = 5000$ вагонов. Отсюда следует, что оборот вагона $v = n/U$.

Сократив таким образом оборот, можно ту же работу выполнить меньшим числом вагонов и высвободить их для дополнительной погрузки. Оборот вагона имеет большое государственное значение, им определяют не только качество использования подвижного состава и транспортные издержки, но и продолжительность перевозки самих грузов.

Среднесуточный пробег вагона определяют делением полного рейса на оборот вагона, или суммы вагоно-километров на рабочий парк:

$$S = l/v$$

или

$$S = \sum nS/n.$$

Одним из важнейших комплексных показателей качества использования вагона является его производительность, приходящаяся на каждый вагон рабочего парка в сутки.

$$W_s = \sum pl/n,$$

где $\sum pl$ - сумма т км нетто в грузовом движении.

Для анализа перевозочного процесса важно иметь экономическую оценку выполнения показателей эксплуатационной работы. Для этой цели на дорогах разрабатывают специальные справочники применительно к местным условиям.

7.4 Оперативное планирование и руководство поездной работой. Функции поездного диспетчера. Роль дежурного по отделению дороги

Выполнение перевозок пассажиров и грузов требует четкой организации управления движением поездов и взаимодействия работников службы перевозок и других служб. Система управления движением поездов - это техническое и оперативное планирование эксплуатационной работы, регулирование перевозок и перевозочных средств, оперативное руководство движением поездов и анализ выполненной работы.

Для выполнения плана перевозок с наименьшими затратами необходимо обеспечить все подразделения железных дорог требуемым числом вагонов и локомотивов, а также установить наиболее прогрессивные нормы их использования. Этой цели служит техническое нормирование, заключающееся в разработке технических нормативов эксплуатационной работы: количественных заданий, качественных показателей, норм рабочего парка вагонов и эксплуатируемого парка локомотивов. Количественные задания содержат: размеры погрузки-выгрузки, сдачи порожних вагонов из-под выгрузки (регулирующее задание); число поездов и вагонов, передаваемых по стыковым пунктам и др.; качественные показатели - оборот и рейс вагона, коэффициент порожнего пробега, производительность локомотивов и вагонов, скорости движения поездов.

Система оперативного планирования предусматривает установление на определенный период размеров грузового движения и необходимого для этого эксплуатируемого парка локомотивов, а также составление суточных, а по отделениям и станциям, кроме того, сменных планов поездной и грузовой работы. Размеры движения по каждому участку на определенный период устанавливает служба перевозок, она же заблаговременно сообщает их производственным единицам.

Регулирование перевозок и перевозочных средств заключается в осуществлении мероприятий, направленных на устранение затруднений в продвижении вагонопотоков и отклонений от технических нормативов, обеспечении устойчивой и ритмичной работы участков движения и в целом железных дорог. К этим мероприятиям относится перераспределение вагонного и локомотивного парков в соответствии с изменившимся объемом работы, регулирование погрузки по дням, направлениям и роду подвижного состава.

Оперативное руководство перевозочным процессом осуществляет диспетчерский аппарат, имеющий сменное дежурство. На дорогах эту задачу выполняет ЕДЦУ (единый диспетчерский центр управления), в ОАО РЖД центр управления перевозками (ЦУП) по группам дорог - оперативно-распорядительные отделы департамента перевозок. Оперативной работой станций руководят дежурные по станции, на крупных станциях стационарные и маневровые диспетчеры.

В отделениях дорог движением поездов руководят поездные диспетчеры. Участки, которыми они ведают, называются диспетчерскими кругами. Границами этих кругов являются, как правило, участковые и сортировочные станции. Смену поездных диспетчеров возглавляет дежурный по отделению; он координирует действия поездных и локомотивных диспетчеров, на электрифицированных участках и энергодиспетчеров. Во время

дежурства движением поездов на участке единолично руководит поездной диспетчер. Основная его задача обеспечить движение поездов по графику, а в случае нарушения его - ввод опоздавших поездов в график. С этой целью он принимает регулировочные меры: сокращение стоянок поездов на отдельных пунктах, отправление поездов по неправильному пути на двухпутных участках, изменение порядка и пунктов скрещения и обгона поездов и др.

Большое значение для совершенствования организации движения поездов и приведения в действие неиспользованных резервов имеет анализ эксплуатационной работы железнодорожной сети, дорог, отделений и станций. Он позволяет выявлять степень выполнения плановых норм и показателей, причины отклонения от них и наметить меры, необходимые для выполнения установленных норм и заданий. Различают анализ оперативный и периодический. Оперативный заключается в разборе результатов работы за смену и сутки, периодический за более длительный срок - неделю, декаду, месяц, год. В процессе анализа особое внимание уделяют вопросам безопасности движения и изучению передовых методов труда.

Создание СФТО, ДИСПАРК, ГИД, ДИСЛОК, внедрение систем автоматического считывания информации с подвижного состава, разработка ряда других систем создали предпосылки для реального управления вагонопотоками при непрерывном планировании, постоянном контроле за перевозками и финансовой оценке работы.

8. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТА ЛОКОМОТИВОВ

8.1 Структура локомотивного хозяйства. Классификация и распределение локомотивного парка

Локомотивное хозяйство обеспечивает перевозочную работу железных дорог тяговыми средствами и содержание этих средств в соответствии с техническими требованиями. К сооружениям и устройствам этого хозяйства относятся основные локомотивные депо, специализированные мастерские по ремонту отдельных узлов локомотивов, пункты технического обслуживания, экипировки локомотивов и смены бригад, базы запаса локомотивов. Под экипировкой понимают комплекс операций по снабжению их топливом, водой, песком, смазкой, обтирочными материалами, связанных с подготовкой локомотивов к работе.

Локомотивные депо — это основные производственные единицы локомотивного хозяйства. Их сооружают на участковых, сортировочных и пассажирских станциях, выбираемых на основе технико-экономического сравнения различных вариантов. Депо, имеющие приписной парк локомотивов для обслуживания грузовых или пассажирских поездов, локомотивные здания, мастерские и другие технические средства для производства текущего ремонта, технического, обслуживания и экипировки, называются основными.

Наряду с ними в целях совершенствования организации ремонта и лучшего использования производственных мощностей на дорогах создают и ремонтные базы - депо, специализированные по видам ремонта и типам локомотива.

По виду тяги различают тепловозные, электровозные, моторвагонные, дизельные, паровозные и смешанные депо. В крупных железнодорожных узлах со специализированными станциями - пассажирскими и сортировочными - предусматривают отдельные локомотивные депо для грузовых и пассажирских локомотивов.

В *пунктах оборота* локомотивы находятся в ожидании поездов для обратного следования с ними. За это время, как правило, производится их техническое обслуживание, совмещаемое с экипировкой.

Пункты смены бригад предусматривают преимущественно на участковых станциях и размещают исходя из условия обеспечения нормальной продолжительности работы бригад.

Пункты экипировки располагают на деповской территории. Иногда экипировочные устройства размещают непосредственно на приемо-отправочных путях для производства операций без отцепки локомотива от поезда.

Пункты технического обслуживания локомотивов размещают как в локомотивных депо, так и в пунктах оборота и экипировки локомотивов.

Размещение и техническое оснащение локомотивных депо, пунктов технического обслуживания локомотивов, мастерских, экипировочных

устройств и других сооружений и устройств локомотивного хозяйства должны обеспечивать установленные размеры движения поездов, эффективное использование локомотивов, высокое качество их технического обслуживания и ремонта, высокую производительность труда.

Все локомотивы, приписанные к дороге или депо и состоящие на их балансе, составляют так называемый инвентарный парк, который подразделяется на эксплуатируемый и неэксплуатируемый. Эксплуатируемый парк состоит из локомотивов, находящихся в работе, в процессе экипировки, технического обслуживания, приемки и сдачи, а также в ожидании работы. Неэксплуатируемый парк составляют локомотивы, находящиеся в ремонте и резерве, в процессе пересылки в холодном состоянии и др.

В зависимости от вида движения локомотивный парк подразделяется на три группы: локомотивы, занятые в пассажирском движении; локомотивы, занятые в грузовом движении, и локомотивы, занятые на маневровой и хозяйственной работах.

По роду выполняемой работы различают: поездные, передаточные и вывозные локомотивы, специально маневровые и занятые на прочих видах работы.

Локомотивы хозяйственного движения перевозят грузы для нужд собственно железнодорожного транспорта. К локомотивам, занятым на прочих видах работы, относятся локомотивы, обслуживающие пожарные и вспомогательные поезда, снегоочистители и др.

Локомотивы, выполняющие вспомогательную работу, следующие в двойной тяге, подталкивании, одиночном следовании, а также локомотивы, ожидающие работы, относятся к тому виду движения, к которому относится выполняемая ими работа.

Локомотивы распределяются по отдельным железным дорогам, где они числятся на балансе и составляют инвентарный парк дорог. Локомотивы, приписанные к депо, числятся на его балансе и составляют его инвентарный парк. Следует стремиться, чтобы в депо эксплуатировались локомотивы одной-двух серий, так как многосерийность осложняет организацию их эксплуатации и ремонта.

Локомотив зачисляется в инвентарный парк дороги и депо с момента подписания акта приемки начальником депо или его заместителем по ремонту, мастером цеха ремонта и приемщиком локомотивов. В зависимости от состояния и места работы локомотивный парк учитывается по определенным группам.

Инвентарный парк локомотивов подразделяют на парки в распоряжении дороги (депо) и вне распоряжении дороги (депо). Парк локомотивов в распоряжении дороги (депо) подразделяется на эксплуатируемый и неэксплуатируемый. Такое распределение локомотивов по паркам учитывается при расчетах показателей их использования. В инвентарный парк депо (дороги) входят все локомотивы, приписанные к депо (дороге), за исключением локомотивов, временно

прикомандированных из других депо (дорог). На каждый локомотив инвентарного парка составляется технический паспорт, хранимый в депо приписки, в котором отражаются данные технического состояния локомотива, а также фиксируются производимые ремонты и модернизация.

8.2 Показатели использования локомотивов. Способы обслуживания поездов локомотивами и локомотивов бригадами

Для оценки качества эксплуатационной деятельности подразделений локомотивного хозяйства принята система показателей. Эти показатели характеризуют качество труда работников локомотивных депо и эффективность эксплуатации локомотивов. Показатели делятся на количественные и качественные.

К количественным показателям использования локомотивов относят: *годовой пробег*:

$$\sum MS_{\text{общ}} = 365 \cdot (\sum MS_{\text{эл}} + \sum MS_{\text{лин}} + \sum MS_{\text{всп}} + \sum MS_{\text{ман}} + \sum MS_{\text{ус}}),$$

где $\sum MS_{\text{эл}}$ - пробег во главе поезда;

$\sum MS_{\text{лин}}$ - линейный пробег;

$\sum MS_{\text{всп}}$ - вспомогательный линейный пробег;

$\sum MS_{\text{ман}}$ - условный пробег специально маневровых локомотивов;

$\sum MS_{\text{ус}}$ - условный пробег за исключением специально маневровых локомотивов;

перевозочную работу:

$$A = \sum_1^n 2l_i \cdot n \cdot Q_{\text{ср}i},$$

где l - длина i – го участка обслуживания, км;

n - число пар поездов на i – ом участке;

$Q_{\text{ср}i}$ - средняя масса состава брутто на i – ом участке, т.

К качественным показателям использования локомотивов относятся: *оборот локомотива по участку*:

$$O = \frac{2l}{V_y} + \sum (\tau_{\text{сб}}^{\text{л}} + \tau_o^{\text{л}} + \tau_{\text{нр}}^{\text{л}}), [\text{ч}]$$

где l - длина участка тягового обслуживания, км;

V_y - средняя участковая скорость движения поездов, км/ч;

$\tau_{\text{сб}}^{\text{л}}$ - среднее время нахождения локомотива на станции смены бригад внутри участка обращения, ч;

$\tau_o^{\text{л}}, \tau_{\text{нр}}^{\text{л}}$ - среднее время нахождения локомотивов соответственно в пункте оборота и на станции приписки под операциями (экипировка, техосмотр и др.), ч;

бюджет времени локомотива:

$$t_{\text{ос}} + t_{\text{нр}} + t_{\text{сб}} + t_o + t_{\text{нр}} = 24 \text{ ч}$$

или

$$\frac{100}{24}(t_{ос} + t_{nc} + t_{сб} + t_o + t_{np}) = 100\% ,$$

где $t_{ос}$ - часть времени, в течение которого локомотивы находятся в движении на перегонах;

$t_{nc}, t_{сб}, t_o, t_{np}$ - часть времени, в течении которого локомотивы простаивают соответственно на промежуточных станциях, станциях смены бригад, в пунктах оборота и на станциях приписки;

суточная производительность (т-км брутто/локомотивы):

$$W_n = \sum ql / M_s ,$$

где $\sum ql$ - общие т-км брутто на участках обращения локомотивов за сутки;

M_s - эксплуатируемый парк локомотивов, находящихся во всех видах движения/ под техническими операциями и осмотрами;

среднесуточный пробег локомотивов (в км)

$$S_n = \sum ML / M_s ,$$

где $\sum ML$ - общий линейный пробег локомотивов, локомотиво-км;

средняя масса поезда брутто (в т) определяется как частное от деления выполненной перевозочной работы (в т-км брутто) на пробег поездов за этот же период, т. е.

$$Q_{op} = \sum ql / \sum NL .$$

Также к качественным показателям относятся: коэффициент потребности в локомотивах; участковая, ходовая и техническая скорости; время полезной работы в чистом движении.

Существуют три способа организации работы локомотивов с поездами: плечевой, кольцевой и петлевой, применение которых зависит от размещения основного депо, станции формирования поездов и размеров транзитности поездопотока.

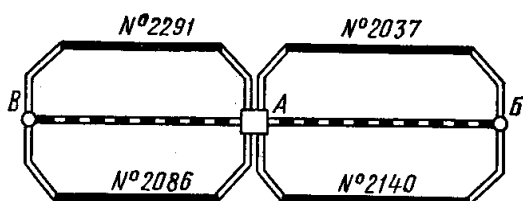


Рис. 8.1. Плечевой способ обслуживания

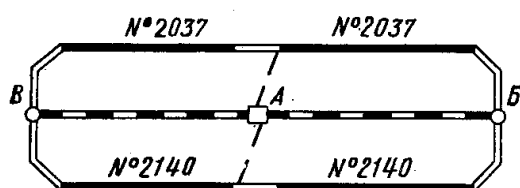


Рис. 8.2. Кольцевой способ обслуживания

Плечевой способ применяется, когда основное депо расположено на граничной станции участка обращения (рис. 8.1). Заключается он в том, что локомотив, вышедший из основного депо, обслуживает поезд до пункта оборота, где после отцепки от состава проходит предусмотренное техническое обслуживание, после чего прицепляется к ближайшему по времени отправления составу обратного направления и следует с ним до станции основного депо. На этой станции локомотив отцепляют от состава и в большинстве

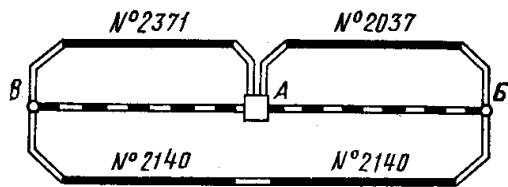


Рис. 8.3. Петлевой способ обслуживания

случаев направляют в депо для очередного технического обслуживания: экипировки, производства ТО-2, смены бригад; затем цикл работы (оборот) повторяется.

Кольцевой способ (рис. 8.2) обслуживания поездов может применяться, если основное депо расположено на участке обращения между двумя граничными станциями с

оборотными депо. Локомотив, выйдя из основного депо, следует с поездом до станции с пунктом оборота, где отцепляется от состава, проходит очередное техническое обслуживание, если требуется ТО-2, и экипировку, затем со встречным поездом возвращается на станцию с основным депо. Здесь без отцепки от состава, если он транзитный, может производиться экипировка локомотива, смена бригад и после технической и коммерческой обработки состава локомотив следует на другой участок к станции со вторым оборотным депо.

Таким порядком локомотив работает до очередного технического обслуживания (ТО-3), которое производится в основном депо.

При кольцевом способе обслуживания поездов снижается загрузка горловин приемо-отправочных парков станций с основным депо, увеличивается их пропускная способность, ускоряется оборот вагонов и локомотивов, так как время нахождения локомотива на станции основного депо сокращается примерно в 2-3 раза, и на 5-12% уменьшается эксплуатируемый парк локомотивов.

Петлевой способ работы локомотивов применяется так же, как кольцевой, в случае размещения станции с основным депо на участке обращения между граничными станциями с оборотными депо (рис. 8.3). Один раз за полный оборот на примыкающих участках локомотив отцепляется от поезда и заходит в основное депо для экипировки и технического обслуживания (ТО-2 и при необходимости ТО-3). Петлевой способ обслуживания поездов локомотивами менее эффективный, чем кольцевой, и может быть вызван нерациональным расположением станционных парков отправления, отсутствием там экипировочных устройств, потребностью выполнения ТО-2 в основном депо.

Известно несколько способов обслуживания локомотива бригадами: сменный - очередными сменными бригадами, назначаемыми на работу по мере окончания отдыха; прикрепленный - определенным количеством постоянно прикрепленных к локомотиву бригад: 1, 2, 3, 4; комбинированный - на части участка постоянно прикрепленными бригадами, а на части - сменными; турный - когда локомотив обслуживается несколькими (обычно четырьмя) постоянно закрепленными за ним бригадами, из которых 2-3 (или все) находятся в поездке и поочередно отдыхают в специальном вагоне, прикрепленном к локомотиву, а 1-2 отдыхают дома. Этот способ обслуживания применяется

при специальных командировках локомотивов с бригадами.

При сменном обслуживании локомотивов возможны следующие способы организации их работы:

по принципу обслуживания видов движения - раздельное, т. е. отдельно бригадами грузовых и пассажирских поездов, и совместное, т. е. грузовых и пассажирских поездов одними и теми же бригадами;

по схемам обслуживания участков - плечевая и накладная езда. Накладная езда дает более широкие возможности для выбора рационального варианта организации работы локомотивных бригад и догрузки бригад отдельных депо за счет перераспределения между депо заданных объемов работы.

Прикрепленный способ обслуживания локомотивов применялся как основной при паровой тяге, при этом ограничивалась протяженность участка работы локомотива без отцепки от поезда. Реконструкция локомотивного хозяйства - замена паровозов тепловозами и электровозами, конструктивные их особенности (широкое, внедрение автоматики в управление и защиту агрегатов), укрепление и развитие ремонтной базы и повышение квалификации работников локомотивного хозяйства дала возможность перейти к наиболее прогрессивному обслуживанию локомотивов сменными локомотивными бригадами.

Применение сменного обслуживания позволило организовать работу локомотивов без отцепки от поезда на участках значительной протяженности - до 1000 км и более, своевременно предоставлять бригадам дни отдыха нормальной продолжительности, отдых перед поездками, обеспечивать равномерную их загрузку, точно выполнять месячную норму рабочих часов, ликвидировать простои локомотивов, связанных ранее с предоставлением бригадам отдыха в оборотных и основных депо.

8.3 Локомотивные бригады

Локомотивная бригада назначается для управления локомотивом и его обслуживания в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации железных дорог РФ, правил текущего ремонта, приказов и инструкций Департамент локомотивного хозяйства ОАО РЖД. Локомотивная бригада, обслуживающая локомотив, состоит из двух человек: машиниста и его помощника. Машинист возглавляет бригаду, является ответственным за состояние и управление локомотивом и ведение поезда.

Повышение надежности локомотивов, внедрение автоматики в его управление и возросшая квалификация машинистов позволяют обслуживать моторвагонного поезда и поездных локомотивов производить по разрешению Департамента локомотивного хозяйства ОАО РЖД одним машинистом без помощника, а маневровых локомотивов - по разрешению начальника дороги. Маневровые тепловозы преимущественно обслуживаются одним машинистом. Это значительно

повышает производительность труда локомотивных бригад.

Для обслуживания моторвагонных поездов и поездных локомотивов одним машинистом необходимо наличие устройств автоматической остановки на случай потери машинистом способности к ведению поезда. На маневровых тепловозах должен быть второй пульт управления и радиостанция. Порядок обслуживания локомотивов одним машинистом, обеспечивающий безопасность движения, устанавливается начальником дороги в зависимости от местных условий.

При обслуживании маневровых локомотивов одним машинистом их подбор ведется с соблюдением специальных требований к возрасту, квалификации и некоторым индивидуальным качествам характера. Локомотивы в этих случаях оборудуются независимо от наличия АЛСН устройствами контроля бдительности для автоматической остановки поезда (локомотива) в случае потери машинистом бдительности - способности к осознанному ведению поезда и соблюдения правил технической эксплуатации, а в маневровых тепловозах применяют второй пульт управления и радиостанцию.

На участках с интенсивным движением поездов при большой скорости (120-150 км/ч) пассажирские локомотивы обслуживают два машиниста, периодически сменяющие друг друга в управлении локомотивом. Квалификация машиниста (право самостоятельного управления локомотивом) присваивается дорожной квалификационной комиссией помощникам машиниста, имеющим необходимое образование, 3-й слесарный разряд и определенный стаж (не менее 18 месяцев) работы действующим помощником на поездных локомотивах.

Для машинистов локомотива установлена квалификация I, II, III и IV классов, I класс — высший. Установлена классность для помощников машиниста. Помощники I класса имеют право управления локомотивом. Важным условием слаженной и эффективной работ локомотивных бригад, обеспечения безопасности движения поездов является соблюдение постоянства состава каждой бригады. Систематическое обучение машинистов и их помощников передовым методам обслуживания локомотивов и ведения поездов, экономии топлива (электроэнергии), повышения квалификации, а также контроль за выполнением бригадами требований правил технической эксплуатации, приказов и инструкций Департамента локомотивного хозяйства ОАО РЖД, управления и отделения дороги осуществляют машинисты-инструкторы (один машинист-инструктор на 50 локомотивных бригад).

Локомотивная бригада обязана являться на работу в установленное время в работоспособном состоянии. После явки на работу к дежурному по депо бригада знакомится с последними приказами и распоряжениями в книге приказов и расписывается в их знании, а также делает запись в техническом формуляре о содержании последних. Затем бригада направляется в медпункт, где после прохождения медосмотра врач ставит в маршруте машиниста специальный: штамп «Медосмотр произведен».

При приемке локомотива в депо машинист должен лично осмотреть

экипажную часть локомотива, ознакомиться с записями в Журнале технического состояния локомотива формы ТУ-152 и убедиться, что все ранее указанные в нем неисправности локомотива устранены, проверить его соответствие ПТЭ, установить скоростемерную ленту и только после этого приводить локомотив в движение.

При приемке локомотива на станционных путях от прибывшей бригады, кроме ранее перечисленных работ, принимающая бригада проверяет работу радиосвязи, АЛС, фиксирует показания счетчиков расхода электроэнергии или дизельного топлива и др. Кроме того, принимающая бригада оценивает качество технического обслуживания ТО-1 сданной бригадой.

По прибытии на станцию оборота бригада сдает локомотив. Перед сдачей машинист обязан сделать запись в журнале формы ТУ-152 об обнаруженных им неисправностях, снять скоростемерную ленту, зафиксировать расход топлива или электроэнергии.

После сдачи локомотива на станции основного депо бригада является к дежурному по депо, сдает ему маршрут и уточняет время явки на следующую поездку, после чего поездка считается завершенной, а бригада отправляется домой на отдых.

Во время поездки бригада обязана строго выполнять цикл работ по поддержанию в нормальном техническом состоянии локомотива, который предусмотрен техническим обслуживанием ТО-1. Во всех случаях выхода из строя агрегатов локомотива, вызвавших остановку поезда на перегоне или промежуточной станции, машинист докладывает по радиосвязи поездному диспетчеру о случившемся и с учетом обеспечения безопасности движения принимает все меры для следования локомотива с поездом до станции смены бригад, когда невозможно ничего сделать, требует подсылки резервного локомотива.

Контроль за работой локомотивных бригад осуществляют машинист-инструктор, заместитель начальника депо по эксплуатации, работники ревизорского аппарата отделения (РБТ) и управления дороги (РБ), работники локомотивного отдела отделения дороги (НОДТ) и службы локомотивного хозяйства (Т).

Различают явочный и списочный штат (контингент) локомотивных бригад. Явочный штат состоит из бригад, занятых на работе с поездами, на маневрах, с локомотивами на станциях и территории депо (в процессе приема-сдачи, технического обслуживания) и находящихся на отдыхе после работы.

Списочный штат составляют бригады, которые оформлены на постоянную работу в данном депо. Он больше явочного на число работников, заменяющих находящихся в очередном и учебном отпусках, в командировках, выполняющих государственные и общественные обязанности, и больных.

Кроме постоянного штата, в депо есть временный штат, привлекаемый к работе на период максимальных (сезонных) перевозок. Этот штат комплектуется из практикантов - учащихся профессионально-

технических училищ, студентов техникумов и транспортных вузов, командированных бригад из других депо.

Месячный бюджет времени бригады, включенный в явочный штат, можно расчленить на следующие составляющие: рабочее время; время отдыха в оборотном и в основном депо (домашний отдых); время выходных дней.

Нормирование этих элементов ведется в соответствии с Положением о рабочем времени и времени отдыха работников железнодорожного транспорта и Кодекса законов о труде (Трудовое законодательство РФ).

Рассмотрим каждую из составляющих месячного бюджета времени локомотивных бригад.

Рабочее время. Каждая локомотивная бригада обязана выработать в течение месяца положенную норму часов, которая определяется по каждому конкретному месяцу из расчета 40-часовой рабочей недели.

Для всех локомотивных бригад, кроме маневровых, вывозных и хозяйственных, применяется суммарно-помесячный учет рабочего времени, предусматривающий суммирование нарастающим итогом рабочего времени за каждую очередную выполненную поездку. Маневровые, вывозные и хозяйственные бригады работают по графикам с фиксированным временем начала и окончания смен, продолжительность которых составляет 12 ч, а в некоторых депо - 8 ч. Трудовое законодательство РФ допускает возможность превышения месячной нормы часов на 24 ч, но не более 120 ч за год.

Эти переработки относятся к сверхурочным работам и крайне нежелательны.

Рабочее время бригады считается от момента явки к месту постоянной работы по расписанию, наряду или вызову и до сдачи локомотива.

Время работы локомотивной бригады по обслуживанию пары поездов можно назвать рабочим оборотом локомотивной бригады. Рабочий оборот локомотивной бригады включает следующие затраты рабочего времени:

основное время - ведение поезда по участку с учетом простоев на промежуточных станциях в ч,

вспомогательное время - передвижение локомотива от контрольного поста (включая время на отметку маршрута машиниста на контрольном посту) до состава, прицепка к составу; опробование тормозов поезда; передвижение локомотива от состава на контрольный пост оборотного пункта (включая время на отметку маршрута); получение и сдача грузовых документов на станции, получение разрешения на отправление поезда, справки о тормозах, письменного предупреждения;

время регламентированных технологических перерывов - ожидание отправления поезда после опробования тормозов до момента отправления, установленного расписанием;

подготовительно-заключительное время - прием, экипировка и сдача локомотива и другие действия, выполненные бригадой в основном депо и

пункте оборота до прохода локомотивом контрольного поста при следовании из депо к составу и после прохода контрольного поста при возвращении локомотива в депо от состава, а также прохождение локомотивной бригадой медицинского осмотра.

При работе со сборными поездами в обороте бригады учитывается время для маневровой работы на станциях.

Важным нормативом является продолжительность непрерывной работы локомотивной бригады. Согласно Трудовому законодательству РФ максимальная продолжительность непрерывного рабочего времени не должна превышать 8 ч. В отдельных случаях по согласованию с профсоюзом рабочих железнодорожного транспорта и транспортного строительства время может быть увеличено до 12 ч.

Время, затраченное локомотивной бригадой на ожидание поезда для следования «пассажиrom» и следование «пассажиrom», хотя и учитывается как рабочее время, но не включается в непрерывную продолжительность работы.

Увеличение времени непрерывной работы свыше установленной по графику движения и более 12 ч не допускается, за исключением случаев стихийных бедствий и чрезвычайных обстоятельств. В этих случаях увеличение времени производится приказом начальника отделения дороги.

Повышение скорости движения потребует снижения продолжительности непрерывной работы до 4-3 ч и выполнения дополнительных мероприятий по созданию комфортных условий труда в кабине управления локомотива (снижение вибрации, шума, установка устройств кондиционирования воздуха, улучшение освещения, обзорности и др.).

Отдых в пункте оборота локомотивных бригад должен быть равен половине времени непрерывной работы локомотивной бригады, но не менее 3-х часов.

По завершении очередной поездки локомотивной бригаде предоставляется отдых в пункте жительства (отдых в основном депо).

Возможность изменения продолжительности отдыха в основном депо широко используется при составлении именных расписаний с целью ликвидации случаев работы бригад более двух ночей подряд, что запрещено КЗоТом.

Ночной поездкой считается каждая поездка, рабочее время которой попадает в интервал местного времени от 1 ч до 5 ч утра.

Еженедельные выходные дни предоставляются бригаде равномерно в течение всего месяца и в любой из дней недели. Количество выходных дней в месяце равно количеству воскресных дней конкретного месяца.

8.4 Экипировка локомотивов

Комплекс операций по снабжению локомотивов дизельным топливом, смазкой, песком, водой, обтирочными материалами, а также

осмотру и очистке деталей называют экипировкой локомотивов, а устройства, обеспечивающие их выполнение – экипировочными устройствами.

На экипировочные операции затрачивается до 15% времени оборота локомотивов, и сокращение этого времени увеличивает полезную работу локомотивов, повышает эффективность их использования. Большинство экипировочных операций приурочивается к моменту проведения очередного технического обслуживания и нахождения локомотивов в основном или оборотном депо.

Работу тепловозов и электровозов целесообразно организовать так, чтобы они как можно реже заходили на тяговую территорию основных и оборотных депо для экипировки и больше времени находились в работе, т.е. осуществляли перевозки пассажиров и грузов.

Эффективна работа локомотивов по кольцу, когда они обслуживают два смежных тяговых плеча с заходом в основное депо только для технического обслуживания или осмотра. Смена локомотивных бригад производится на станции основного депо за время простоя состава под техническими операциями.

При работе тепловозов и электровозов по кольцу без отдыха бригад в оборотных депо, экипировку локомотивов проводят на приемо-отправочных путях станции основного депо за время простоя состава под техническими операциями. В этом случае локомотив в оборотном депо не заходит на тяговую территорию для экипировки, время же затрачивается только на переезд его из парка прибытия в парк отправления, а также на осмотр и ожидание поезда.

Если же на отдельных тяговых плечах не представляется возможным организовать экипировку на приемо-отправочных путях, то она может производиться на станциях оборотных депо при переезде локомотива из парка в парк без захода на тяговую территорию.

В тех случаях, когда локомотив работает на длинных тяговых плечах с простоем по отдыху бригад в одном из оборотных депо, экипировка выполняется в этом депо во время отдыха локомотивных бригад.

Локомотивы, выходящие из технического обслуживания или ремонта, экипируются на тяговой территории основного депо.

Размещение пунктов экипировки локомотивов производится с учетом максимального возможного пробега между наборами топлива и песка.

Норма расхода песка и топлива зависит от климатических условий, оцениваемых температурой наружного воздуха, трудности пути, оцениваемой типом профиля, массы состава и серии локомотива. Следовательно, эти факторы определяют размещение пунктов экипировки на линии железной дороги.

Локомотивы могут экипироваться как на открытых позициях, так в закрытых экипировочных депо (на дорогах с суровыми климатическими условиями, при расчетных наружных температурах воздуха ниже - 25° С).

В состав устройств для экипировки электровозов входят стойла, склады для хранения и устройства для выдачи смазочных масел и песка, а

также производственно-бытовые помещения. Электровоз устанавливается для экипировки на смотровые канавы. Они сооружаются глубиной 1,2 и шириной 1,4 м. Длина канавы определяется длиной экипируемого электровоза с прибавлением на входы в канаву 1,5 м с каждого конца.

Так как в экипировочном депо контактный провод не подвешивается, ввод электровоза в стойла производится постоянным током пониженного напряжения.

Пескораздаточные бункера размещаются на железобетонных или металлических опорах, установленных на междупутье. Бункера располагаются так, чтобы обеспечивалось снабжение электровоза песком с одной постановки его, без передвижки. Сушка песка производится в барабанных сушилках. Запасы песка хранятся в крытых хранилищах и на открытых площадках. Для загрузки песочниц и осмотра пантографов электровоза по бокам каждого экипировочного пути устраиваются смотровые площадки, огражденные перилами и оборудованные лестницами. Моторно-осевые подшипники заправляются смазкой из малораздаточных колонок, установленных возле смотровых канав. Масло к этим колонкам подается сжатым воздухом из расходных баков кладовой по трубопроводу, уложенному в канале.

Запас индустриального, осевого и трансмиссионного масел хранится в металлических или железобетонных резервуарах, оборудованных устройствами для подогрева. Подача масел из резервуаров-хранилищ в расходные баки кладовой производится насосами или сжатым воздухом. Масла из цистерны сливаются на специальном железобетонном пути, имеющим приемные колодцы, паропроводы и устройства для разогрева масел.

Для экипировки тепловозов у смотровых канав на расстоянии 3,0 м от оси пути устанавливаются раздаточные колонки для подачи дизельного топлива, масла и охлаждающей воды. Для слива дизельного топлива, масла и жидкого каустика из цистерн устраивается сливная эстакада на расстоянии 3,0 м от оси сливного пути. Для разогрева нефтепродуктов сливная эстакада оборудуется змеевиковыми паровыми подогревателями с поворотными кранами. Дизельное топливо из цистерн сливается через горловины сифонным способом или перекачивается насосами в хранилища. Хранение дизельного топлива обычно осуществляют в металлических сварных вертикальных цилиндрических резервуарах, которые располагаются на специальных площадках. Из резервуаров дизельное топливо подается насосами к раздаточным колонкам.

В производственном корпусе располагаются: отделение для приготовления охлаждающей воды, насосная, кладовые, а иногда и регенерационное отделение, предназначенное для очистки и восстановления нормального качества смазочных масел.

Контроль за качеством дизельного топлива, смазочных материалов, а также за приготовлением охлаждающей воды осуществляется деповской лабораторией.

Кроме стационарных имеются передвижные экипировочные

устройства в виде поездов и заправщиков на базе грузовых автомобилей. Они применяются для экипировки маневровых локомотивов, работающих на станциях, удаленных от стационарных экипировочных пунктов и одиночных локомотивов на новостройках (временная эксплуатация).

Экипировочный поезд состоит из двух цистерн с дизельным топливом, двух вагонов пескораздатчиков, вагона с запасом смазочных и обтирочных материалов, воды, а также насосного и силового оборудования. Поезд раз в сутки заправляется на стационарных экипировочных устройствах и может одновременно экипировать два тепловоза, а за сутки до 30 тепловозов с затратой времени на одну экипировку до 30 минут.

8.5 Основы технического обслуживания и ремонтов локомотивов

Техническое состояние локомотивов в процессе эксплуатации изменяется. Оно ухудшается вследствие изнашивания деталей и механизмов, нарушения регулировок, ослабления креплений, поломок и других неисправностей. В электрических машинах изменяются (ухудшаются) физические и механические свойства электроизоляции. Понижается надежность локомотива.

Ресурс надежности, заложенный в конструкции локомотива при проектировании и постройке, постепенно расходуется, и при его значении ниже определенного уровня может произойти порча (отказ) локомотива, что может стать причиной аварии, чаще - нарушения графика движения поездов, перерасхода топлива или электроэнергии, остановки на железнодорожном участке и т. п. Подобные явления могут возникнуть и внезапно.

Для предупреждения этих недопустимых явлений создана и функционирует система технического обслуживания (ТО) и текущих ремонтов (ТР). Система ТО и ТР включает комплекс работ для поддержания и восстановления исправности или только работоспособности локомотива и МВПС.

Техническое обслуживание отличается от ремонтов объемом и содержанием работ. Большинство работ на ТО выполняют на ТПС без снятия оборудования и применения станочной обработки. Основные восстановительные работы при ТО: регулировки, слесарная обработка на месте, замена негодных или быстро изнашивающихся деталей при достижении ими предельных допусков на новые, подтяжка, крепление, добавление или смена смазочных материалов в узлах трения.

Проведение ТО должно обеспечивать высокий коэффициент технической готовности локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава, их бесперебойную и безаварийную работу в соответствии с графиком движения поездов, длительную работоспособность. Особому контролю подвергаются ходовые части, тормозное оборудование, устройства локомотивной сигнализации, скоростемеры, приборы контроля

бдительности и радиосвязи, т. е. все узлы и агрегаты, исправное состояние которых обеспечивает безопасность движения поездов.

Ремонтами называют комплекс операций, выполняемых с целью восстановления исправности или работоспособности ТПС и восстановления его ресурса (ресурса его элементов), регламентного внешнего вида, соответствующего требованиям ПТЭ, а также устранения отказов и неисправностей, возникающих при работе ТПС на линии или выявляемых в процессе технического обслуживания ТО.

Объемы обязательных работ, выполняемых при всех видах технического обслуживания и ремонта ТПС каждого вида и типа (серии), регламентируются Правилами текущего и капитального ремонта электроподвижного состава, тепловозов, дизель-поездов, Инструкцией по техническому обслуживанию электропоездов в эксплуатации.

Для поддержания надежности ТПС на необходимом уровне стандарт рекомендует следующую регламентацию выполнения видов ТО и ТР:

1) регламентированные ТО и ТР, выполняемые в объеме и в межремонтный период, установленными нормативно-технической документацией независимо от технического состояния ТПС (планово-предупредительный ремонт);

2) техническое обслуживание с периодическим контролем, при котором объем операций по поддержанию исправности и работоспособности определяется техническим состоянием ТПС в момент начала ТО;

3) техническое обслуживание с непрерывным контролем. При таком порядке операции, необходимые для поддержания исправности и работоспособности ТПС, выполняют по мере надобности на основе непрерывного наблюдения за техническим состоянием ТПС в эксплуатации;

4) ремонт по техническому состоянию. В этом случае объем и момент начала ремонта определяют по фактическому техническому состоянию единицы ТПС, а техническое состояние контролируется в объеме и в сроки, установленные нормативно-технической документацией. По существу - это ремонт по потребности.

Утвержденный объем работ каждого обслуживания и ремонта называют его характеристикой. Промежуток времени или пробег между двумя смежными ТО или ТР, имеющими одну и ту же характеристику, называют межремонтным периодом.

Ремонт по потребности назначается независимо от пробега локомотива и определяется фактом отказа в эксплуатации и обнаружением на ТО неисправности или предельно допустимого износа.

Планово-предупредительный ремонт назначается после выполнения определенного пробега (или времени работы) локомотива.

Основой установления системы планово-предупредительных ремонтов являются наблюдения за изменениями состояния локомотивов, приводящими к отказам при нормальных условиях эксплуатации.

На железнодорожном транспорте РФ для единиц ТПС принята

планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонтов, т. е. регламентированное выполнение ТО и ТР. Для этой системы характерны:

постановка локомотивов в ремонт после нормированного пробега или времени работы, устанавливаемых приказом Департамента локомотивного хозяйства ОАО РЖД;

фиксированный объем ремонтных работ;

профилактическое проведение ремонтных работ, т. е. не после отказов оборудования, а заранее с целью их предупреждения;

чередование ремонтов разной сложности и их повторяемость после определенного межремонтного пробега.

Система планово-предупредительных ремонтов обеспечивает более высокую безопасность движения, меньшее число случайных отказов, чем при ремонтах по техническому состоянию (по потребности), обеспечивает больший коэффициент технической готовности ТПС, разновременность загрузки ремонтного оборудования и бригад. Но для высокой эффективности планово-предупредительной системы ремонтов необходимо правильное назначение межремонтных пробегов на основе данных о процессах износа и прогнозирования его развития. Основой для определения межремонтных пробегов являются статистические данные о неисправностях и отказах оборудования единиц ТПС в эксплуатации. Определяют базовые - наиболее ответственные детали, узлы и агрегаты, от состояния которых зависит безопасность движения, безотказность работы ТПС. Отдельные базовые детали, узлы и агрегаты группируют по наработкам на отказ, трудоемкости восстановительных, ремонтных работ, что дает возможность выбрать оптимальный ремонтный цикл (чередование ремонтов и межремонтные периоды). За критерий оптимальности принимают минимум затрат на ТО и ТР, максимальное использование локомотивов в эксплуатационной работе и др.

Совокупность видов обслуживания и ремонтов образует ремонтный цикл, который характеризуется структурой и периодичностью.

Структура - количество и последовательность выполнения всех видов обслуживаний и ремонтов за полный межремонтный период, т. е. за время работы или пробега локомотива в эксплуатации от постройки до второго капитального ремонта или между двумя такими ремонтами.

Периодичность - время работы или пробег локомотива между двумя очередными ремонтами или видами технического обслуживания.

Структура и периодичность ремонтного цикла основываются, как указывалось ранее, на исследованиях надежности локомотивов, а так как надежность локомотивов изменяется в связи с совершенствованием конструкции локомотивов, улучшением методов и технологии ухода за локомотивами в эксплуатации, изменяются периодичность и структура ремонтного цикла.

Дифференцированные нормы пробега или продолжительности работы электровозов и тепловозов между техническими обслуживаниями и ремонтами для различных железных дорог установлены Департаментом

локомотивного хозяйства (ЦТ) ОАО РЖД на основе общесетевых норм в зависимости от типа локомотива и условий эксплуатации. Эти нормы при прочих равных условиях во многом зависят от нагрузочных режимов локомотива.

В соответствии с указанием МПС № П – 1328у с 01.10. 2002 г. на железных дорогах РФ действует следующая система планово-предупредительного технического обслуживания и ремонта электровозов, тепловозов, электро- и дизель-поездов, образующая ремонтный цикл:

технические обслуживания ТО-1, ТО-2, ТО-3 - для предупреждения появления неисправностей и поддержания локомотивов в работоспособном и надлежащем санитарно-гигиеническом состоянии, обеспечивающем их бесперебойную работу и безотказность движения;

техническое обслуживание ТО-4 - для обточки бандажей колесных пар без выкатки их из-под локомотивов с целью устранения проката бандажей;

техническое обслуживание ТО-5 - для подготовки локомотивов в запас, подготовки к эксплуатации после изъятия из запаса, или локомотивов прибывших в недействующем состоянии после постройки, ремонта или передислокации, а также при отправлении на капитальный, средний ремонт или на другие дороги;

текущие ремонты ТР, ТР-1, ТР-2, ТР-3 - для восстановления основных эксплуатационных характеристик и работоспособности локомотивов с целью обеспечения безопасности движения поездов в заданных межремонтных периодах;

средний ремонт СР – для восстановления эксплуатационных характеристик, полного или частичного восстановления ресурса основных узлов и агрегатов локомотивов, частичной замены трубопроводов, кабелей, проводов и оборудования с выработанным ресурсом на новое;

капитальные ремонты: КР – с целью восстановления эксплуатационных характеристик, исправности и полного ресурса всех узлов, агрегатов и деталей (включая базовые), полной замены проводов, кабелей, модернизации конструкции; КРП – для продления срока службы локомотивов, восстановления и улучшения их эксплуатационных характеристик, усиления несущих базовых элементов конструкции, замены оборудования на новое, соответствующее современному техническому уровню.

Среднесетевые нормы периодичности технического обслуживания и ремонта локомотивов основных серий представлены в табл. 8.1, 8.2.

Пробег локомотивов между ТО-4 устанавливается исходя из допустимой величины проката бандажей перед обточкой без выкатки колёсных пар из-под локомотива и средней интенсивности его нарастания. Исследования показали, что допустимый прокат бандажей составляет 5-6 мм (предельно допустимый - 7 мм). Интенсивность нарастания проката бандажей определяется по статистическим данным.

Исчисление межремонтных периодов в календарном времени удобно для планирования эксплуатационной работы и ремонтного обслуживания

локомотивов, но не учитывает колебаний суточного пробега подвижного состава и, следовательно, фактического износа, который сильно коррелируется с пробегом. Поэтому межремонтный период в календарном времени принимается только для маневровых, вывозных и передаточных локомотивов и моторвагонного состава, загрузка которых относительно стабильна.

Таблица 8.1

Среднесетевые нормы межремонтных периодов (электровозы)

Вид работ и серия электровоза	Нормативные межремонтные периоды					
	ТО-2 (час.)	ТО-3 (тыс. км.)	ТР (тыс. км.)	СР (тыс. км.)	КР (тыс. км.)	КРП (тыс. км.)
Поездн.эл-зы						
ВЛ-10, 10у, ВЛ-80	72	15	30	600	2400	3000
ЧС-2,	48	15	30	500	2100	2500
ЧС-7, ЧС-8,	48	15	30	600	2100	2400
ЭП1	72	-	30	600	2400	3600

Таблица 8.2

Среднесетевые нормы межремонтных периодов (тепловозы)

Серия тепловоза и дизель-поезда	Нормативные межремонтные периоды					
	Техническое обслуживание		Текущие ремонты (месяц/тыс.км.)		средний ремонт (лет/тыс.км)	капитальный ремонт (лет/тыс.км)
	ТО-2	ТО-3	ТР	ТР-3	СР	КР
После КРП1 ТЭ10 М, У, С	72 ч.	15 т. км	60 т.км		400 т.км	1600 т.км
После КРП2 ТЭ10М, У, С, ТЭП70	72 ч.	15 т. км	60 т.км		600 т.км	2400 т.км
ТЭМ2, ЧМЭ3	120 ч.		6 мес.		4 года	16 лет
Не подлежащие КРП						
ТЭ10 Л, В, М62, ТЭ П60	72 ч.	10 т. км	50 т.км	300 т.км	КР-1 600 т.км	КР-2 1200 т.км
ТЭМ1, ЧМЭ2	100 ч.	40 сут	9 мес	36 мес	9 лет	-

Сроки работы локомотивов и моторвагонного подвижного состава между техническими обслуживаниями ТО-2 устанавливаются начальником железной дороги в пределах 24—48 ч независимо от выполненного пробега.

Организационные формы ТО и ТР должны обеспечивать максимальную вероятность выявления и устранения всех неисправностей локомотивов при минимальных затратах трудовых и материальных ресурсов и простоях их в ремонтном обслуживании.

Применяют два основных метода выполнения ТО и ТР: индивидуальный и агрегатный и две основных формы организации ремонтных работ - стационарную и поточную.

Индивидуальный метод ремонта предусматривает возвращение деталей, агрегатов и узлов после ремонта на тот же локомотив, с которого они были сняты.

При агрегатном методе ремонта на ремонтируемый локомотив устанавливают заранее отремонтированные или новые детали, узлы и агрегаты из технологического запаса. В этом случае ремонтные мастерские работают не непосредственно на конкретный локомотив, а на пополнение технологического запаса, т. е. на кладовую.

Агрегатный метод дает существенное сокращение простоя локомотивов в ремонте, причем особую эффективность обеспечивает крупноагрегатный метод, при котором предусматривается замена на ремонтах таких крупных узлов и частей локомотивов, как тележки в сборе, дизель-генераторная установка, силовые трансформаторы электровозов переменного тока, компрессоры и т. п.

Непременным условием применения агрегатного или крупноагрегатного метода ремонта является взаимозаменяемость агрегатов, узлов и деталей локомотивов. Агрегатный метод приводит к значительному повышению производительности труда ремонтных бригад, улучшению качества работ, снижению себестоимости ремонта, исключает непредвиденные задержки, вызываемые различным объемом ремонтных работ, что обеспечивает выпуск локомотивов точно по графику.

При стационарной форме организации ремонтных работ локомотив в течение всего периода ремонта находится на одном рабочем месте, оборудованном в соответствии с объемом и характером ремонтных работ и обслуживаемом прикрепленной комплексной бригадой рабочих.

Поточной называют такую форму организации ТО и ТР, при которой объем обслуживания и ремонтных работ разбивают на технологически однородные, равные по суммарной трудоемкости части и закрепляют их за несколькими специально оборудованными рабочими местами (постами), образующими поточную линию. Каждый пост (рабочее место) обслуживает специализированная группа рабочих или часть комплексной бригады. Локомотив в процессе ремонта передвигают с одного рабочего места (поста) на другой через равные промежутки времени, называемые тактом поточной линии.

Условиями применения поточной формы ремонта являются:

достаточная программа однотипных ремонтов;

сравнительно небольшие отклонения объемов и трудоемкости ремонтов;

возможность расчленения объема ремонта на технологически родственные группы операций равной трудоемкости по числу постов поточной линии.

Основные достоинства поточной формы работ:

поток дисциплинирует производство, сокращаются непроизводительные потери рабочего времени и простой локомотивов в ремонте;

распределение ремонтных работ по отдельным специализированным

постам со строго определенным объемом работ обеспечивает возможность высокого насыщения их специализированным технологическим оборудованием, механизацию трудоемких процессов и четкую организацию рабочих мест в соответствии с требованиями научной организации труда (НОТ), благодаря всему этому резко повышается производительность труда;

закрепление за постами групп ремонтных рабочих дает возможность обеспечить четкое разделение труда между рабочими разных специальностей, освободить высококвалифицированных рабочих от выполнения вспомогательных работ;

поток обеспечивает удобство технического руководства и контроля качества работ на всех постах, что способствует высокому качеству ремонта;

снижается себестоимость ремонтных работ по сравнению с другими формами ремонта;

лучше используются производственные площади.

Главное условие экономичности поточной формы организации ремонта - однотипность и постоянный объем ремонтных работ на локомотивах, в противном случае такт поточной линии приходится рассчитывать с большим запасом (резервом), что снижает ее экономическую эффективность. Поточная форма организации ТО и ТР сочетается с агрегатным методом работ.

В практике электровозных и тепловозных депо применяют разные формы и методы ТО и ТР. Для ТО-2 и ТО-3 можно рекомендовать поточную форму в сочетании с индивидуальным методом ремонтных работ. Для этих видов обслуживания поточная линия должна состоять из трех позиций: на первой позиции производятся уборочно-моечные работы, на второй - осмотр, ревизия, регулировка, на третьей - контроль, заправка смазочными материалами.

Стационарную форму организации ремонта в сочетании с агрегатным методом в условиях депо применяют на ТР-1 и ТР-2, а также при неплановых ремонтах и при обточке бандажей колесных пар (ТО-4). Для выполнения ТР-3 и СР при достаточной программе ремонтов (не менее 150 тепловозов или электровозов в год) следует рекомендовать поточную форму ремонта, при малой программе - стационарную. Во всех случаях обязательно применение агрегатного и крупноагрегатного методов.

Конструкции электроподвижного состава и тепловозов усложняются, что объективно диктуется требованиями увеличения мощности, снижения энергетических затрат на тягу поездов, повышения безопасности движения, автоматизацией управления с выбором оптимальных режимов и т. д.

Особенно большой сложностью отличаются схемы современных локомотивов с тиристорно-импульсными системами управления, с передачами переменного тока. Усложняется не только электрическая, но и механическая часть за счет использования более сложных систем

подвески и передач, тормозных и рессорных систем. В связи с этим увеличивается объем контрольных работ на ТО и повышаются требования к их качеству и эффективности. Исследования показывают, что из общего количества операций ТО более 50% приходится на контрольные работы. В то же время анализ технологических процессов ТО и ТР, например тепловозов, показывает, что еще недавно почти 2/3 рабочего времени использовалось непроизводительно: около 20% времени ТО затрачивалось на локализацию дефектной области (выявление неисправного узла или агрегата), около 40% - на поиск дефекта внутри этой области и только 35% - на восстановление (ремонт) отказавшего элемента. Поэтому столь актуальна разработка совершенных методов и средств выявления неисправностей, контроля технического состояния деталей, узлов и агрегатов локомотивов. Требуется и соответствующая организация технического обслуживания, совмещаемого с контрольно-диагностическими операциями, выполняемыми на специализированных позициях потока и стационарных постах с помощью специальных средств диагностирования.

Диагностирование - особый технологический процесс технического контроля - определение технического состояния и прогнозирование работоспособности оборудования по диагностическим параметрам, функционально связанным с рабочими параметрами, характеризующими техническое состояние этого оборудования. Диагностическими параметрами могут быть потребляемый ток, электрическое сопротивление, тепловой режим, вибрация и шумовой эффект, степень герметичности, наличие продуктов изнашивания трущихся деталей в смазочных маслах и т. д.

Технической диагностикой решаются три типа задач: 1) задачи диагноза, т. е. определение технического состояния, в котором находятся локомотив и его элементы в настоящий момент времени; 2) задачи прогнозирования состояния локомотива и его элементов, в котором они будут находиться в некоторый будущий момент времени; 3) задачи генеза - определение состояния локомотива и его элементов, в котором они находились в некоторый прошлый момент времени.

Позиции (посты) диагностики могут включаться в поточные линии ТО, ТР и СР в начале для выявления неисправностей, в конце - для контроля исправного состояния после ТО, ТР и СР. Входные и выходные посты диагностики могут совмещаться. Средства технической диагностики должны не только способствовать предупреждению отказов и выявлению неисправностей, но и прогнозировать остаточный ресурс исправной работы контролируемых агрегатов и узлов.

СЛОВАРЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТЕРМИНОВ

Автосцепка - устройство, которое служит для автоматического сцепления железнодорожного подвижного состава в поезд, передачи и смягчения продольных усилий и амортизации ударных нагрузок при движении, остановках и маневрах.

Асинхронный электродвигатель - электрическая асинхронная машина для преобразования электрической энергии в механическую.

База экипажа (колесная база) - расстояние между осями колесных или центрами пятниковых опор экипажа, характеризует продольные размеры экипажной части вагона, локомотива.

Балласт – 1) минеральный сыпучий материал, заполняющий пространство между нижней постелью шпал или других рельсовых опор и основной площадкой земляного полотна; 2) груз, создающий дополнительную нагрузку.

Боксование - вращение движущих колес локомотива с угловой скоростью, превышающей скорость, соответствующую поступательной скорости локомотива.

Букса - стальной корпус, в котором размещают подшипники, вкладыши, смазочные и подбивочные материалы. Обеспечивает соединение колесных пар с рамой тележки или вагона. Различают по типу осей, применяемых подшипников, а также по конструкции и размеру корпуса, по виду смазочных и поливочных материалов.

Буфер - устройство, служащее для амортизации продольных ударных и отжимающих усилий, действующих на подвижной состав в поезде и при маневровой работе.

Вагоны - единица подвижного состава. Колесный экипаж открытого или закрытого типа, оборудованный всем необходимым для перевозки грузов и пассажиров. К грузовым относятся крытые вагоны, полувагоны, платформы, цистерны и др.. Парк пассажирских вагонов состоит из пассажирских, багажных, почтовых, ресторанов и др..

Вагон багажный - предназначается для перевозки багажа в составе пассажирских поездов. Имеет типовые кузов, ходовые части, систему электроснабжения.

Вагоны грузовые - крытые вагоны, полувагоны, платформы, цистерны, изотермические и вагоны специального назначения.

Вагоны крытые - предназначены для перевозки штучных и насыпных грузов, требующих защиты от атмосферных осадков.

Вагоны пассажирские - состоят из пассажирских, багажных, почтовых, ресторанов, служебных и специальных вагонов. Бывают дальнего следования, межобластного и пригородного сообщения.

Вагонная тележка - поворотное устройство, на которое опирается кузов вагона.

Верхнее строение пути - часть железнодорожного пути, предназначенная для восприятия нагрузок от колес подвижного состава и передачи их на нижнее строение пути, а также для направления движения колес по рельсовой колее.

Винтовые пружины - применяют во всех тележках 4-х, 6-и, и 8-й осных вагонов как гасители колебаний.

Вихревые токи, токи Фуко - замкнутые электрические токи в массивном проводнике, которые возникают при изменении пронизывающего его магнитного потока.

Вес (масса) поезда (состава) - брутто грузовых и пассажирских поездов складывается из веса локомотива, веса тары вагонов и соответственно веса грузов или пассажиров.

Нетто - это брутто без веса локомотивов или вагонов. Брутто и нетто подсчитывают по натуральному листу поезда.

Выпрямительный преобразователь - статический преобразователь для преобразования (выпрямления) переменного тока в постоянный, а также для регулирования напряжения устройств железнодорожного транспорта.

Габарит - предельное внешнее геометрическое очертание предметов, сооружений, устройств.

График движения поездов - графическое изображение следования поездов на масштабной сетке, на которой движение поездов изображается прямыми наклонными линиями (линиями хода), по горизонтали сетки отложено время (в мин.), по вертикали - расстояние (в км.).

Грузооборот /нетто, брутто/ ж. д. - основной показатель работы железнодорожном транспорте по грузовым перевозкам. Грузооборот определяется как произведение количества перевезенного груза на расстояние перевозки (т-км).

Грузопоток - масса грузов (в т.), перевозимых транспортом в определенном направлении за рассматриваемый период (обычно за год).

Дальность перевозки грузов - расстояние перемещения грузов между пунктами их отправления и прибытия.

Движущая сила - внешняя сила, вызывавшая движение, которая зависит от сопротивления движению.

Дизель-поезд - состоит из моторных и прицепных вагонов, приводится в движение от дизелей. Предназначен для перевозки пассажиров на неэлектрифицированных линиях.

Дизель-электровоз - локомотив с электрическими тяговыми двигателями, способный работать как в автономном режиме, так и при питании от тяговых подстанций через контактную сеть.

Длина поезда - расстояние между осями сцепления передней автосцепки первой единицы и задней автосцепки последней единицы поезда, находящегося на прямолинейном участке пути.

Долговечность - свойство объекта сохранять работоспособное состояние при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Дополнительные сопротивления - создаются силами, возникающими в условиях движения поезда по уклонам, в кривых, трогания поезда с места, низких температурах, действии ветра, при работе подвагонных генераторов пассажирских вагонов.

Дополнительное сопротивление от кривизны пути - появляется вследствие отжатия поезда силами инерции в сторону внешнего рельса и возникновения трения гребней колес о боковую поверхность наружного рельса.

Дополнительное сопротивление от уклона профиля - определяют как $W_i = i$. Здесь i - уклон в тысячных; для подъема берется i со знаком "+", для спусков - со знаком "-".

Железная дорога - проложенный на местности рельсовый путь, предназначенный для движения специального подвижного состава.

Железнодорожный путь - комплекс инженерных сооружений и обустройств, расположенных в полосе отвода, образующих дорогу с направляющей рельсовой колеей.

Железнодорожная станция - отдельный пункт, имеющий путевое развитие, позволяющее производить операции по приему, отправлению, скрещению, обгону поездов, обслуживанию пассажиров, приему, выдаче грузов, а при развитых путевых устройствах - маневровую работу по формированию (расформированию) железнодорожных составов и технические операции с поездами.

Железнодорожный узел - находящийся в пункте пересечения или примыкания не менее 3-х железнодорожных линий комплекс технологически связанных между собой железнодорожных станций, главных, соединительных, подъездных путей, путепроводных развязок, вокзалов и т.д.

Зависимые кривые - смежные кривые, близко расположенные участки железнодорожного пути, каждый из которых влияет на условия движения поездов по смежному участку.

Износ рельсов - результат истирания головок рельсов, возникающего при взаимодействии их с колесами подвижного состава.

Искусственные сооружения - собирательное название сооружений, возводимых на пересечениях железных дорог с различными препятствиями (мосты, тоннели, дамбы и т.д.)

Карьерный железнодорожный транспорт - вид промышленного транспорта, тех. средства которого используются для перевозки вскрытых пород и полезных ископаемых из карьеров (разрезов).

Классификация - система соподчиненных понятий (классов объектов) какой-либо области знания или деятельности человека, часто представляемая в виде различных по форме схем, таблиц и используемая как средство для установления связей между этими понятиями или классами объектов.

Классификация железнодорожного транспорта - система понятий и показателей, характеризующих железнодорожный транспорт по назначению, принадлежности, виду работ и функциональным возможностям.

Колебания вагона - многократное поочередное возрастание и убывание перемещений, скорости, ускорения вагона в целом и его частей.

Колесная пара - несет на себе массу всего вагона и груза, направляет его по рельсовому пути и воспринимает жесткие и разнообразные по направлению удары от неровности пути. Состоит из оси с напрессованными на нее двумя колесами.

Колесо - основным типом колес являются стальные цельнокатанные. Бывают двух диаметров: 950 и 1050 мм. Наружная поверхность колеса, соприкасающаяся с рельсом, называется поверхностью катания.

Кольцевой маршрут - разновидность маршрута для перевозки грузов между постоянными отправителями и получателями.

Комбинированная езда - обслуживание локомотивов на определенных участках тягового плеча постоянно прикрепленными и сменными бригадами.

Коммерческий осмотр - проводится с целью определения пригодности вагонов для погрузки определенного груза, его состояния, сохранности в пути следования и на станции назначения.

Коммутация электрических цепей - разного рода переключения электрических соединений проводов, кабелей, машин, трансформаторов, аппаратов и приборов, производимые в установках, генерирующих, распределяющих и потребляющих электрическую энергию

Контактная сеть - комплекс устройств для передачи электроэнергии от тяговых подстанций к ЭПС через токоприемники.

Контейнерные перевозки - способ транспортирования грузов с использованием контейнеров, обеспечивающих беспересадочную доставку грузов.

Коэффициент сцепления - при неизменной массе локомотива характеризует его силу сцепления. Значение этого коэффициента зависит от многих факторов, в том числе от чистоты поверхности бандажей и рельсов, скорости движения, атмосферных условий /влажность и температура воздуха, осадки/, равномерности распределения нагрузок между тяговыми двигателями, группировки /схемы соединения/ тяговых двигателей, степени износа поверхности катания бандажей, степени проскальзывания колес относительно рельсов и т. д..

Коэффициент трансформации - отношение ЭДС, наводимых основным магнитным потоком, в первичной и вторичной обмотках электрического трансформатора.

Круговая кривая - дуга круга, служащая для плавного спряжения в горизонтальной плоскости двух смежных прямых участков железнодорожного пути.

Кузов - в кузове локомотива размещают электрическую аппаратуру, вспомогательные машины и пневматическое оборудование, а также запас песка. Кузова вагонов электропоездов - цельнометаллические несущей конструкции, т. е. все основные части кузова одновременно воспринимают действующие на вагон нагрузки. В кузове размещены сидения для пассажиров, а также оборудование освещения, отопления и др..

Листовые рессоры - различаются числом листов и их сечением. Листовые рессоры собирают из нескольких постепенно укорачивающихся, наложенных друг на друга и изогнутых по дуге стальных листов из желобчатой или плоской стали.

Локомотив - силовое тяговое средство, относящееся к подвижному составу и предназначенное для передвижения по рельсовым путям поездов или отдельных вагонов. К локомотивам относятся электровозы, тепловозы, паровозы, газотурбовозы. По роду выполняемой работы подразделяются на магистральные и маневровые, а также маневрово-вывозные.

Локомотивная бригада - группа работников, обслуживающая поездные или маневровые локомотивы, а также моторвагонные поезда, состоит из машиниста и его помощника, а на паровозах и кочегара.

Магнитный поток, поток магнитной индукции - поток вектора магнитной индукции через какую-либо поверхность.

Маневровая работа - работа на железнодорожной станции по перемещению вагонов и одиночных локомотивов в соответствии с установленным процессом. Процессы бывают: сортировочные, перестановочные, группировочные.

Маршрутная скорость - скорость движения поезда на данном железнодорожном направлении с учетом времени стоянок, разгонов, замедлений, задержек. Определяется, как произведение числа поездов на длину направления, деленное на продолжительность нахождения на данном направлении. Характеризует скорость доставки грузов.

Межламельное напряжение - напряжение, возникающее между двумя соседними ламелями (петушками) коллектора якоря электродвигателя, во вращающейся электрической машине постоянного тока.

Мощность локомотива - характеризует тяговые и скоростные качества локомотива, выражается отношением работы, выполняемой локомотивом, к интервалу времени ее совершения.

$$N = A/t = FS/t = FV ,$$

где A - работа; t - время; F - сила; S - путь, V - скорость.

Таким образом, N - это произведение силы тяги на скорость движения.

Наклонная тяга - элемент конструкции тележки тягового подвижного состава, передающий усилие от одного узла к другому.

Накопление состава - технологический процесс образования на станции железнодорожного состава. Продолжительность н.с. зависит от мощности вагонотока данного назначения и размеров формируемого состава.

Нейтральная вставка - устройство тягового электроснабжения, применяемого в тех случаях, когда нарушения электрической независимости анкерных участков недопустимо.

Нижнее строение пути - элемент железнодорожного пути, на котором размещается верхнее строение пути.

Оборот вагона - основной показатель использования вагонного парка по времени, включающий цикл операций от момента окончания погрузки до момента

окончания следующей его погрузки. Характеризует как степень использования вагона, так и сложность работы.

Оборот локомотива - время необходимое для обслуживания локомотивом одной пары поездов на участке работы локомотивных бригад. Складывается из времени движения локомотива и времени нахождения его на промежуточных, сортировочных и участковых станциях.

Объем перевозок грузов на железной дороге - определяется суммой ввоза грузов (прибытия под выгрузку), вывоза грузов (отправления грузов собственной погрузки), транзита и перевозок внутри дороги. Объем перевозок на подъездных путях определяется суммой перевозок грузов переданных с подъездных путей на сети МПС, принятых с сети МПС и перевезенных по подъездным путям.

Организация движения поездов - система мероприятий, обеспечивающих безопасность движения, слаженность действий всех железнодорожных подразделений, минимальные сроки доставки грузов и перевозки пассажиров, использование высокопроизводительных технических средств и передовой технологии.

Основное сопротивление движению - создается силами трения между отдельными частями подвижного состава, силами взаимодействия подвижного состава и пути, силами сопротивления воздушной среды.

Пара поездов - единица пропускной способности на однопутных участках ж.д. Время, затраченное на пропуск п.п. разных направлений по ограниченному перегону составляет период графика.

Паровоз - имеет котел и паровую машину, с помощью которых химическая энергия топлива преобразуется в механическую.

Пассажиروоборот - основной показатель пассажирских перевозок. Произведение числа перевезенных пассажиров на расстояние их перевозки.

Пассажиропоток - число пассажиров, проследовавших в единицу времени по определенному участку железной дороги. Характеризует интенсивность перевозочной работы железнодорожной сети.

Пассажирский поезд - поезд для перевозки пассажиров, багажа и почты, сформированный из вагонов пассажирского парка.

Перевозки - пространственное перемещение пассажиров и грузов.

Платформы - предназначены для перевозки лесных, сыпучих, штучных и тарных грузов, не требующих защиты от атмосферных осадков.

Подвижной состав - подвижной состав используют для перевозок грузов и пассажиров. Различают тяговый подвижной состав, который движется сам, и вагоны, прицепляемые к нему, которые он тянет за собой. В зависимости от источника энергии и машин для превращения ее в механическую работу тяговый подвижной состав подразделяют на автономный и неавтономный.

Подрез гребня - вертикальный износ колеса. Для выявления применяют специальный шаблон.

Подшипник - опора вала или оси, фиксирующая положение вращающейся или качающейся части механизма по отношению к другим его частям.

Подъездной путь - железнодорожный путь необщего пользования, обеспечивающий перевозки предприятия и соединяющий промышленную железнодорожную станцию или грузовой пункт с отдельным пунктом железнодорожного транспорта общего пользования.

Поезд - сформированный сцепленный состав вагонов с одним или несколькими локомотивами или моторными вагонами, а также локомотивы без вагонов, моторные вагоны и др., отправляемые на перегон и имеющие установленные сигналы.

Поездная бригада - группа ж.д. работников, сопровождающая пассажирский поезд и обслуживающая пассажиров в пути.

Полевая сторона - часть пространства вдоль железнодорожного полотна, куда входит система электроснабжения от тяговой подстанции и к чему не относится система токосъемного устройства электрического тягового подвижного состава.

Полувагон - грузовой вагон, используемый для перевозки каменного угля, руды, лесопиломатериалов, проката металлов и других сыпучих, навалочных и штучных грузов, не требующих защиты от атмосферных осадков. П. не имеет крыши.

Приемно-отправочный путь - станционный путь, на котором выполняются технологические операции, связанные с приемом и отправкой поездов, посадкой и высадкой пассажиров, скрещением поездов и ожиданием обгона более срочными поездами.

Провозная способность - возможные объемы грузовых перевозок в млн. т груза, которые могут быть выполнены на данной железной дороге в течение года.

Продольный профиль пути - основной документ каждой ж. д. трассы. Содержит данные расположения на местности линии, отметки высот точек перелома профиля над уровнем моря, крутизну и данные уклонов, расположение кривых, их радиусы, длины.

Прокат бандажа - степень износа бандажа колесной пары подвижного состава в зависимости от его пробега и величины силы поперечного воздействия на путь.

Пропускная способность – 1) п.с. участка - размер движения поездов (пар поездов), который может быть выполнен в единицу времени в зависимости от технической оснащенности железных дорог участка и способа организации движения поездов; 2) п.с. станции - наибольшее число грузовых поездов и заданное пассажирских, которое может быть пропущено станцией за сутки по всем примыкающим направлениям, при полном использовании технических средств.

Рама тележки - часть несущей конструкции кузова. Одна из основных частей вагона, на которую в зависимости от его назначения укрепляют кузов.

Расчетный вес локомотива - вес локомотива с 2/3 запаса песка, смазочных материалов, топлива, со штатным комплектом инструмента, инвентаря, с учетом веса локомотивной бригады.

Резистор пусковой - сопротивление, включающееся в силовые цепи ЭПС

постоянного тока последовательно с тяговыми электродвигателями и предназначенное для реостатного пуска.

Рейс вагона - расстояние (км), которое, вагон проходит от одной погрузки до следующей.

Рекуперация - возвращение части электроэнергии, расходуемой в каком-либо процессе для повторного использования в том же процессе.

Рентабельность - доходность, прибыльность. Один из важнейших показателей экономической эффективности производства.

Сжатый воздух - воздух в тормозной магистрали поезда или отдельной единицы подвижного состава, находящийся под давлением до 10 атм и служащий для передачи усилия отжатия тормозных колодок.

Сила сцепления - внешняя, по отношению к колесной паре, сила, обеспечивающая перемещение экипажа по рельсам при передаче вращающего момента от тягового привода или тормозного момента от механической или электрической системы торможения.

Сила тяги - создаваемая двигателем колесного транспортного средства во взаимодействии с твердой поверхностью /путем/ управляемая внешняя сила, которая направлена в сторону движения.

Сила тяги локомотива - сила, которую развивает локомотив для передвижения поезда. Различают силу тяги локомотива на ободах колес (касательную силу тяги) и на автосцепке. Сила тяги локомотива тянет поезд, преодолевая его сопротивление, которое зависит от массы и скорости движения поезда, плана и профиля пути, других особенностей и условий движения и работы локомотива.

Силы сопротивления движению - складываются из сил сопротивления движению локомотива и состава. Различают основное сопротивление и дополнительное.

Скорость доставки грузов - среднесуточная скорость передвижения грузов за время перевозки.

Соединительный путь - станционный путь, который служит для соединения основных станционных путей и парков путей друг с другом, грузовыми площадками, складами и т.д.

Составная кривая - круговая кривая железнодорожного пути, отдельные части которой имеют различные радиусы.

Спрямление профиля - замена нескольких, рядом лежащих участков, одним, более простым. Разница между уклонами не должна превышать 3-4 тысячных, не спрямляются станции, расчетный и скоростной подъемы.

Структурная схема системы автоматического регулирования (САР) - графическое изображение такой системы в виде совокупности частей, на которые её можно разделить по определенным признакам, и связей между частями с указанием направления передачи воздействий.

СЦБ линии - применяются для четкой организации безопасного движения

поездов, повышения пропускной способности железных дорог и обеспечения автоматического регулирования движения поездов.

Тележка - служит для обеспечения направления движения вагона по рельсовому пути, распределения и передачи всех нагрузок на путь, а также восприятия тяговых и тормозных сил, обеспечения необходимой плавности хода.

Тепловоз - представляет собой локомотив с двигателем внутреннего сгорания - дизелем, превращающим химическую энергию, заключенную в топливе, в механическую.

Транзитные перевозки - перевозки пассажиров, грузов из одного пункта в другой через промежуточные пункты.

Тяга поездов - прикладная наука, изучающая действующие на поезд силы и связанные с ними вопросы движения поездов и работы локомотивов.

Тяговая подстанция - магистральной железной дороги - электроустановка для преобразования электроэнергии и питания электроэнергией электроподвижного состава и других потребителей на железной дороге.

Тяговая характеристика - графическая зависимость касательной силы тяги от скорости при установившихся режимах работы на различных ступенях регулирования в пределах допускаемых ограничений.

Тяговые расчеты - прикладная часть теории тяги поездов, в которой рассматриваются условия движения поезда и решаются задачи, связанные с определением сил, действующих на поезд и законов движения поезда под воздействием этих сил.

Тяговый электродвигатель - электродвигатель в специальном, тяговом исполнении, служащий для приведения во вращение колесных пар подвижного состава.

Участковая скорость - средняя скорость движения поезда по участку с учетом времени стоянок на промежуточных станциях, разгона, замедления и стоянок на перегонах.

Фидер - фидерная линия - воздушная или кабельная линия, соединяющая сборные шины распределительного устройства электростанции или преобразовательной (трансформаторной) подстанции с питаемыми от этих шин распределительными и потребительскими электрическими сетями.

Ходовая скорость - средняя скорость движения поезда по участку при безостановочном пропуске его через отдельные пункты.

Хоппер - саморазгружающийся грузовой бункерный вагон для перевозки массовых сыпучих грузов. Различают открытые и закрытые хопперы, с разгрузкой в междельсовое пространство и на сторону от железнодорожного пути.

Цистерны - грузовые вагоны, кузовом которых является металлический цилиндрический резервуар. Для перевозки наливных грузов.

Экипаж локомотива - конструктивная часть тяговой железнодорожной единицы, обеспечивающая ее движение в рельсовой колее. Представляет собой повозку с

колесными парами, в которой располагается все необходимое оборудование.

Эксплуатационная длина сети железных дорог - расстояние (км) между осями станций, измеренное по оси главного пути. Служит характеристикой протяженности железнодорожных путей и используется при определении расстояния перевозки, пробега подвижного состава и др. показателей.

Электрический ток - упорядоченное направленное движения электрически заряженных частиц или заряженных микроскопических тел.

Электрическое напряжение - между двумя точками электрической цепи или электрического поля. Равно работе электрического поля по перемещению единичного положительного заряда из одной точки в другую.

Электровоз - локомотив с электрическими тяговыми двигателями, получающими питание от энергосистемы через тяговые подстанции и контактную сеть.

Электрод - проводник, которым заканчивается участок электрической цепи, содержащий источник электродвижущей силы.

Электропоезд - разновидность моторвагонного подвижного состава, получающего энергию от внешней электрической сети или от собственной аккумуляторной батареи.

Якорь тягового двигателя - вращающаяся часть тягового двигателя. Термин «якорь» обычно употребляют применительно к машинам постоянного тока (в отличие от ротора). Якорь представляет собой магнитный сердечник, набранный из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга лаком или бумагой и спрессованных в пакеты.

Библиографический список

1. Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте/А.А. Устинский, Б.М. Степенский, Н.А. Цыбуля и др. - М.: Транспорт, 1985. - 439 с.
2. Амелин С.В., Андреев Г.Е. Устройство и эксплуатация пути. - М.: Транспорт, 1986. - 237с.
3. Механическая часть тягового подвижного состава: Учебник для вузов ж.д. тр-та / И.В. Бирюков, А.Н. Савосин, Г.П. Бурчак и др.; под ред. И.В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
4. Железные дороги. Общий курс: Учебник для вузов / М.М. Филиппов, М.М. Уздин, Ю.И. Ефименко и др.; Под ред. М.М. Уздина. — 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1991. - 295 с.
5. Калинин ДК. Электровозы и электропоезда. - М.: Транспорт, 1991. - 480 с.
6. Локомотивное хозяйство: Учебник для вузов ж.-д. трансп./ С.Я. Айзинбуд, В.А. Гутковский, П.И. Кельперис и др.; Под ред. С.Я. Айзинбуда. — М.: Транспорт, 1986. - 263 с.
7. Организация движения на железнодорожном транспорте/Д.П. Заглядимов, А.П. Петров, С.С. Сергеев, В.А. Буянов. - М.: Транспорт, 1985. - 357 с.
8. Правила технической эксплуатации железных дорог РФ. - М.: Транспорт, 2000. - 190 с.
9. Правила тяговых расчетов для поездной работы. - М.: Транспорт, 1985. - 287 с.
10. Тепловозы/В.Д. Кузьмич, Э.К. Пахомов, Г.М. Русаков, И.П. Бородулин. - М.: Транспорт, 1987. - 540 с.
11. Электрические железные дороги. /В.А. Кисляков, А.В. Плакс, В.Н. Пупынин и др.; Под ред. А.В. Плакса и В.Н. Пупынина. - М.: Транспорт, 1993. - 280 с.

Учебное издание

ФЕОКТИСТОВ Валерий Павлович
РЯБЦЕВ Геннадий Георгиевич
ПРОСВИРОВ Юрий Евгеньевич
РЫБНИКОВ Евгений Константинович
ПУПЫНИН Владимир Николаевич
ВОЛОДИН Сергей Вячеславович
ИВАНОВ Виталий Викторович

Электрические железные дороги

Учебник

Под редакцией
профессора В.П. Феоктистова
профессора Ю.Е. Просвинова

Редактор И.А. Шимица
Техническое редактирование, компьютерный набор
С.В. Володин, В.В. Иванов

Подписано в печать 4.10.2006. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Ариал».
Уч.-изд.л. 19,9. Усл. п. л. 18,60. Тираж 500 экз. Заказ № 11255.

Отпечатано в типографии ООО «ИПК «Содружество».
443080, г. Самара, ул. Революционная, 70-П, офис 301 А.